

박사학위논문

중소 제조기업 스마트 공장 지속사용
의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구

-후기수용모델(PAM)을 중심으로-

2021년

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합컨설팅전공

김 용 성

박 사 학 위 논 문
지도교수 이석기

중소 제조기업 스마트 공장 지속사용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구

-후기수용모델(PAM)을 중심으로-

A study on the factors affecting the continuous use
intention for smart factories of small and medium-sized
manufacturing companies

-Focus on the Post Acceptance Model (PAM)-

2020년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합컨설팅전공

김 용 성

박 사 학 위 논 문
지도교수 이석기

중소 제조기업 스마트 공장 지속사용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구

-후기수용모델(PAM)을 중심으로-

A study on the factors affecting the continuous use
intention for smart factories of small and medium-sized
manufacturing companies

-Focus on the Post Acceptance Model (PAM)-

위 논문을 컨설팅학 박사학위 논문으로 제출함

2020년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합컨설팅학과

스마트융합컨설팅전공

김 용 성

김용성의 컨설팅학 박사학위 논문을 인준함

2020년 12월 일

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

국 문 초 록

중소 제조기업 스마트 공장 지속사용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 -후기수용모델(PAM)을 중심으로-

한 성 대 학 교 대 학 원
스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과
스 마 트 융 합 컨 설 팅 전 공
김 용 성

지금 우리는 1차 산업혁명과 2차 산업혁명을 지나 3차 산업혁명 시대에 살고 있으며, 사물인터넷 및 빅데이터 분석 등의 진보된 기술과 급격하게 발달한 정보통신기술(ICT)의 융합을 통해 곧 도래할 4차 산업혁명 시대를 맞이할 준비를 하고 있다. 4차 산업혁명의 시초가 된 독일의 인터스트리 4.0은 개인맞춤형 생산 혹은 대량 개인화와 같이 새로운 제조 패러다임의 변화 대응과 글로벌 경쟁력 강화를 위한 방안으로 등장하게 되었다. 이와 같은 4차 산업혁명은 제조업을 원천 핵심 분야로 보고 있으며 그 중심에는 스마트 공장이 있다. 고객 주문, 설비 고장 등의 외부 환경 변화에 공장 내 기기들이 즉각 반응하여 자율적으로 최적 솔루션을 제안하는 가상 물리 시스템(Cyber Physical System, CPS) 기반의 지능형 생산 공장을 스마트 공장이라 정의할 수 있다. 이러한 스마트 공장은 노동인구의 감소 및 고령화, 자원의 고갈 등 현재 직면하고 있는 문제에 대안으로 떠오르고 있으며 제조 강국들은 스마트

공장 도입 확산을 정책적으로 지원하고 있는 실정이다.

그러나 정부 지원을 통해 스마트 공장을 구축한 기업 현황을 살펴보면 전반적으로 도입 운영 중인 스마트 공장 수준이 기초 단계에 머물고 있어 활용도가 떨어지고, 스마트 공장의 인식 부족, 공급기업의 전문성 부족 등 여러 가지 문제가 지적돼오고 있다. 이와 같은 문제로 도입 운영 중인 시스템의 제한적 사용 또는 사용중단의 현상이 빈번하게 발생하고 있다.

이에 따라 본연구에서는 후기수용모델(PAM)에 이론적 기반을 두고 지난 5년간 정부 주도하에 급격하게 보급/확산하고 있는 스마트 공장의 구축 내용과 사후 기대 일치 정도가 유용성 및 사용자 만족도, 지속적 사용 의도에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여 보고자 하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 공장 자동화는 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

둘째, 공장 자동화는 유연성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

셋째, 제조데이터 활용은 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

넷째, 제조데이터 활용은 유연성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

다섯째, 가치사슬 통합은 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

여섯째, 가치사슬 통합은 유연성 향상에 유의미한 영향 관계가 없는 것으로 나타났다.

일곱째, 생산성 향상은 유용성에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

여덟째, 유연성 향상은 유용성에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

아홉째, 생산성 향상은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열째, 유연성 향상은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열한째, 유용성은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열두째, 유용성은 지속적 사용 의도에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열셋째, 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 유의미한 영향 관계가 없는 것으로 나타났다.

열넷째, 매개 변인인 생산성 향상과 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 공장 자동화가 지속적 사용 의도에 미치는 영향 관계에서 생산성 향상과 유용성의 경로가 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열다섯째, 매개 변인인 생산성 향상과 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 제조데이터 활용과 지속적 사용 의도에 미치는 영향 관계에서도 생산성 향상과 유용성의 경로가 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열여섯째, 매개 변인인 생산성 향상과 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 가치사슬 통합이 지속적 사용 의도에 미치는 영향 관계에서도 마찬가지로 생산성 향상과 유용성의 경로만이 영향을 미치는 것으로 나타났다.

열일곱째, 정부 지원활용을 조절변수로 하여 전체적인 조절 효과를 검정한 결과 제조데이터 활용과 생산성 향상 관계에서 부분 조절 효과가 있는 것으로 파악되었다.

열여덟째, 스마트 공장 구축 활용 누적 기간을 조절변수로 하여 전체적인 조절 효과를 검정한 결과 생산성 향상이 사용자만 족에 미치는 영향에서 부분 조절 효과가 있는 것으로 파악되었다.

위의 연구 결과로 얻은 주요 시사점은 다음과 같다.

첫째, 기존 공장의 물리적인 생산시스템과 정보시스템을 자동화, 정보화, 디지털화하는 것이 필요하며, 시스템 보완을 하거나 새롭게 도입하려는 기업들은 고객이 요구하는 사항들이 무엇인지, 우리가 필요로 하는 고객정보가 실제로 어떤 것들이 있는지 충분한 사전 검토 기간이 필요하다. 또한, 이러한 요구사항이 실제로 구현 가능한지 시스템 공급기업과 사전 협의하여 이행되

어야 할 것이다.

둘째, 센서로부터 수집된 데이터를 활용한 빅데이터 분석기술 지원과 외부 고객 시스템과 상호 연결이 되도록 하는 ICT 표준화 정책 강화 및 보완이 필요하다. 이와 같은 맥락으로 수집된 데이터가 분석되어 활용 가능한 정보로 변환되어야 하며 이정보들은 내/외부 네트워크망을 통하여 서로 공유된 정보가 상호 교환될 때 이러한 정보를 바탕으로 공정에 낭비를 줄이고 생산을 최적화 시킬수 있다.

셋째, 정부는 산업통상부가 독일의 RMAI 4.0을 참조하여 만든 스마트 공장 표준모델 아키텍처와 스마트 공장 참조 참조모델에 대하여 실무자 중심으로 교육을 강화할 필요성이 있다. 이는 시스템 사용 실무자의 스마트 공장 이해도를 높이고 활용영역을 구체화 할수 있는 역량을 강화시켜 공정을 최적화하여 활용성을 높이는 기초가 될 것으로 판단된다.

향후 스마트 공장의 지속적 사용의도에 대한 연구에서는 후기수용모델의 확장된 모형이나 다른 기술이론 또는 행동이론의 통합을 통해 연구 가설의 설명력을 향상 시키고, 업종의 특성 또는 고객의 형태, 조직의 역량, 조직 내/외부 상황등 다양한 조직적 환경적 영향을 고려한 변수를 추가하여 보다 다양한 관점에서 연구가 진행된다면 지금보다 더 구체적인 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 추측되며, 표본 모집을 지역별로 구분하여 조절 또는 원인 변인으로 추가하고, 시스템 초기 도입기간 이외 초기 사용기간, 정착기간, 확장기간 등으로 세분화하여 단계별 분석이 진행된다면 정부 지원정책 방안 및 기업 스마트 공장 활성화 전략 수립에 기여할수 있는 연구결과가 도출 될 것으로 예상 된다.

【주요어】 스마트 공장, 후기수용모델, 중소제조기업, 인더스트리 4.0, RMAI 4.0.

목 차

I. 서론	1
1.1. 연구 배경 및 목적	1
1.2. 연구 방법 및 구성	4
II. 이론적 배경	6
2.1. 스마트 공장	6
2.1.1. 4차 산업혁명 및 발전 단계	6
2.1.2. 스마트 공장 정의와 기술	10
2.1.3. 스마트 공장의 중요성	26
2.2. 스마트 공장 추진 현황	33
2.2.1. 주요 선진국의 스마트 공장 현황	33
2.2.2. 국내 스마트 공장 현황	44
2.2.3. 중소기업 스마트 공장	46
2.2.4. 스마트 공장구현 기대효과	48
2.3. 스마트 공장 구축 목적과 구축내용	50
2.3.1. 선행연구 고찰	50
2.3.2. 스마트 공장 구축내용	59
2.3.3. 스마트 공장 구축 목적	67
2.4. 후기수용모델(Post Acceptance Model, PAM)	71
2.4.1. 후기수용 모델 등장 배경	71
2.4.2. 기대일치 이론(Expectation Confirmation Theory, ECT)	73
2.4.3. 기술 수용모델의 개념	76
2.4.4. 후기 수용모델(PAM)의 구성요인	79
2.5. 선행연구의 시사점	87
III. 연구설계 조사 방법	93
3.1. 연구모형	93

3.2. 연구가설	96
3.2.1. 공장 자동화와 생산성 향상 간의 관계	96
3.2.2. 공장 자동화와 유연성 향상 간의 관계	97
3.2.3. 제조 데이터 기술 활용과 생산성 향상 간의 관계	98
3.2.4. 제조 데이터 기술 활용과 유연성 향상 간의 관계	99
3.2.5. 가치사슬 통합과 생산성 향상 간의 관계	100
3.2.6. 가치사슬 통합과 유연성 향상 간의 관계	101
3.2.7. 기대충족과 유용성간의 관계	102
3.2.8. 기대충족과 사용자 만족도 간의 관계	104
3.2.9. 유용성과 사용자 만족도 간의 관계	105
3.2.10. 유용성과 지속적 사용의도 간의 관계	106
3.2.11. 사용자 만족도와 지속적 사용의도 간의 관계	107
3.2.12. 스마트공장 구축내용과 지속사용의 매개효과.	107
3.2.13. 정부지원 활용과 스마트 공장 활용 누적 기간 조절 효과	109
3.2.14. 연구가설 요약	111
3.3. 연구 방법 및 설계	112
3.3.1. 변수의 조작적 정의	112
3.3.2. 설문지 구성	114
3.3.3. 자료수집 및 분석	115
IV. 연구결과	118
4.1. 표본의 특성	118
4.1.1. 표본의 일반적 특성	118
4.1.2. 기술적 통계분석	120
4.2. 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석	121
4.2.1. 탐색적 요인분석	121
4.2.2. 신뢰도 분석	125
4.2.3. 동일방법편의(Common Method Bias) 검정	126
4.3. 확인적 요인분석	128

4.3.1. 측정모델 분석	128
4.3.2. 집중 타당성 분석	134
4.3.3. 판별 타당성 분석	135
4.4. 가설검정	137
4.4.1. 연구모형 적합도 분석	137
4.4.2. 기본가설 검정	142
4.4.3. 매개효과 분석	145
4.4.4. 조절효과분석	153
 V. 결론	 164
5.1. 연구 결과와 시사점	164
5.1.1. 연구 결과 요약	164
5.1.2. 시사점.	174
5.2. 연구의 한계 및 향후 연구 방향	178
 참 고 문 헌	 181
부 록	220
ABSTRACT	228

표 목 차

[표 2-1] 가상 물리 시스템 5C 단계별 정의	13
[표 2-2] 스마트 공장 기능의 기술 구성 요소	15
[표 2-3] 국가별 스마트 공장 운영기술 유형 분류	18
[표 2-4] 스마트 공장 운영기술 유형의 다양성	19
[표 2-5] 스마트 공장과 자동화 공장의 차이 비교	22
[표 2-6] 스마트 공장에 대한 정의	22
[표 2-7] 독일 혁신전략 및 실행 계획	34
[표 2-8] Plattform Industrie 4.0의 대표성과	36
[표 2-9] 미국 주요 제조업 강화정책	40
[표 2-10] 중국제조 2025 10대 산업전략과 5대 프로젝트	43
[표 2-11] 대기업과 중소기업의 경영환경 비교	47
[표 2-12] 스마트 기술 적용으로 인한 잠재적 영향	49
[표 2-13] 스마트 공장 선행 연구	57
[표 2-14] 자동화의 정의	60
[표 2-15] 빅 데이터 기술 특징	63
[표 2-16] 빅 데이터 환경 특성	64
[표 2-17] 빅 데이터 역할	64
[표 2-18] PAM에 관한 선행연구	85
[표 3-1] 연구가설 요약	111
[표 3-2] 변수의 조작적 정의	112
[표 3-3] 설문지 구성	114
[표 3-4] 자료수집	116
[표 4-1] 표본의 인구 통계적 특성	119
[표 4-2] 기술통계량	120
[표 4-3] 탐색적 요인 분석 결과	123
[표 4-4] 신뢰성 분석	125
[표 4-5] 탐색적 요인분석 설명된 총분산(Total Variance explained)	127

[표 4-6] 상관관계 분석결과	128
[표 4-7] 모델적합도 지수 및 판단기준	130
[표 4-8] 측정모델 적합도 분석결과(최초)	131
[표 4-9] 측정모델 적합도 분석결과(2차~최종)	132
[표 4-10] 집중타당도 분석결과	134
[표 4-11] 판별 타당성 검증방법	136
[표 4-12] 판별 타당성 검증결과	137
[표 4-13] 구조모델 적합도 분석결과(최초)	139
[표 4-14] 수정된 구조모델 적합도 분석 결과	141
[표 4-15] 기본가설 검정결과	143
[표 4-16] 매개효과분석 결과	147
[표 4-17] 팬텀변수를 사용한 변환모형에서의 특정간접효과 분석 결과	152
[표 4-18] 측정동일성 검정결과(정부지원 활용 유/무)	155
[표 4-19] 측정동일성 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간)	155
[표 4-20] 조절효과 검정결과(정부지원 활용 유/무)	156
[표 4-21] 쌍대 매개 변수 비교 검정결과(정부지원 활용 유/무)	157
[표 4-22] 집단 간 경로 분석결과(정부지원 활용 유/무)	159
[표 4-23] 조절효과 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간)	160
[표 4-24] 쌍대 매개 변수 비교 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간) ..	161
[표 4-25] 집단 간 경로 분석결과(스마트 공장 활용 누적 기간)	163

그 립 목 차

[그림 2-1] 인터스트리 4.0 관점의 산업혁명의 역사	8
[그림 2-2] 4차 산업혁명의 범위와 구성 체계, 스마트 공장의 위치	10
[그림 2-3] 제조 가장 물리 시스템의	12
[그림 2-4] 스마트 공장 개념도	14
[그림 2-5] 스마트 공장 핵심기술 구조도	17
[그림 2-6] 종류별 제품 생산량의 변화와 생산방식의 관계	31
[그림 2-7] 4차 산업의 참조 구조모델 (RAMI4.0)	37
[그림 2-8] 자동화 공장과 스마트 공장의 계층 구조	38
[그림 2-9] 제조혁신 3.0 실행대책	45
[그림 2-10] 스마트 공장 구축 목적 연구	56
[그림 2-11] 스마트 공장 구축내용 연구	58
[그림 2-12] 빅 데이터의 3가지 특성	62
[그림 2-13] Bhattacharjee(2001) 후기기술수용모델(PAM)	73
[그림 2-14] Oliver(1980) 기대일치이론(ECT)	74
[그림 2-15] Fishbein & Ajzen(1975) 합리적 행동이론(TRA)	77
[그림 2-16] Davis(1989) 기술수용모델(TAM)	78
[그림 2-17] 스마트공장 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증연구.	88
[그림 2-18] 스마트 팩토리의 전략적 활용 연구.	89
[그림 2-19] Big Data기반 스마트 공장 수용의도와 경영성과 연구	90
[그림 2-20] 스마트 공장 수용 요인과 성과 분석을 위한 실증적 연구	91
[그림 3-1] 연구모형	94
[그림 4-1] 측정모델(최초)	131
[그림 4-2] 측정모델(최종)	133
[그림 4-3] 구조방정식 연구모형(최초)	138
[그림 4-4] 수정된 구조방정식 연구모형	140
[그림 4-5] 기본가설 검정모형	142
[그림 4-6] 팬텀변수를 활용한 변환 설정 모형	148

I. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

뉴노멀 시대, 언택트 시대 등 소비자 트렌드와 연관된 이말들은 모두 4차 산업 혁명과 연관성이 있다. 2008년 세계 금융위기 이후 장기적 경기침체에 따라 저성장, 저수익, 저소득, 고위험 시대가 도래 했으며 경기회복에도 이전으로 돌아 가기 어렵다 판단한 경제 학자들은 새로운 원칙들이 정립되는 뉴노멀 시대를 언급하였다. 현재 1인 가구의 증가, ICT기술을 통한 온라인 소비의 확대,고가 또는 저가 제품 수요 양극화, 개인 맞춤형 제품 선호 소비가 늘고 있다.

이러한 환경의 변화는 제조패러다임에 변화와 연결된다. 제조업은 산업화 사회에서의 주요한 근간이며, 서비스를 포함한 다양한 부문에서 부와 일자리를 창출한다(Abele et al., 2017). 따라서 글로벌 제조경쟁력은 국가의 현재 및 미래에 지속 가능 성장동력의 핵심이라 말할 수 있다. Yoram koren(2010)은 시장과 사회의 요구에 따른 제조 패러다임이 19세기 이전까지의 공예적 생산방식에서 대량생산, 대량 고객화를 거쳐 근래에는 개인맞춤형 생산 혹은 대량 개인화와 같은 새로운 추세로 변화하고 있다고 설명하였다. 현재의 이런 변화는 고객의 요구를 제품의 설계·생산에 반영하는 단순한 고객화가 아닌 완전히 개인화된 제품의 수요를 확대시키는 직접적인 계기가 되었으며, 더 나은 기술적 요소를 기반으로 “1 Lot size 1”을 지향하는 완전한 맞춤형 생산방식으로 패러다임이 전환되고 있다(Koren, 2010; Zuehlke, 2010).

이러한 변화에 대응하고 글로벌 경쟁력 강화를 위해 제조업 강국들은 제조업 스마트화를 통해 다품종 소량생산과 효율 생산을 추구하고 있는 것으로 나타났다(인더스트리뉴스, 2018). 독일의 경우 그들은 시장수요의 급변, 근로자의 고령화 그리고 저비용 대량생산 시스템을 기반으로 한 중국, 인도 등과의 경쟁 등 자신들이 직면한 현실적 문제에 대한 정확한 인식과 제조업 강국으로서 국제적 경쟁력을 유지하기 위한방안으로 자신들의 강점인 기계설비 부문에 사물인터넷을 접목시키는 인더스트리 4.0 전략을 수립하였다(김경래,

2018). 미국 또한 세계적인 R&D 역량과 규모를 확보하고 있으며, 중국과 일본 역시 글로벌 경쟁력 강화를 위해 4차 산업혁명의 첨단 기술 도입 및 육성을 위한 전략을 수립하여 진행 중이다.

독일에서 시작된 4차 산업혁명은 제조업을 원천 핵심 분야로 보고 있으며 그 중심에는 스마트 공장이 있다. 미래창조 과학부에서는 인터스트리 4.0은 스마트 공장과 공장운영 기반 기술인 가상 물리 시스템(CPS), 사물인터넷(IoT), 서비스인터넷(IoS)이 4가지 핵심 컴포넌트이며, 고객주문, 설비고장 등의 외부환경 변화에 공장 내 기기들이 즉각 반응하여 자율적으로 최적솔루션을 제안하는 가상 물리 시스템(Cyber Physical System, CPS) 기반의 지능형 생산 공장을 스마트 공장이라 정의하고 있다. 이러한 스마트 공장은 노동인구의 감소 및 고령화, 자원의 고갈 등 현재 직면하고 있는 문제에 대안으로 떠오르고 있으며 앞서 언급한 것과 같이 제조 강국들은 스마트 공장 도입 확산을 위한 정책적으로 지원하고 있는 실정이다.

국내에서도 독일의 인터스트리 4.0 주요 성과에 주목을 하여 2014년 6월, “제조업 혁신 3.0”에 대한 전략을 수립하였으며 2015년 3월 구체 적인 실행 계획안이 발표되었다. 특히 제조업의 부가가치 제고 및 성장 동력화 추진을 위해 스마트 팩토리의 고도화 및 확산을 제조업 혁신 3.0의 핵심 정책 중 하나로 제시(중소벤처기업부, 2018)하고 2020년까지 스마트 팩토리 1만 개 보급·확산을 통해 20인 이상의 중소·중견 기업의 1/3을 스마트화 목표를 수립하였다. 근래에는 2017년 4월 발표된 “스마트 제조혁신 비전 2025”을 통해 향후 2025년까지 스마트 팩토리 3만 개의 누적 보급·확산 및 관련 전문 인력 4만명 양성, 스마트 팩토리의 고도화 수준 향상을 목표로 하고 있다(중소벤처기업부, 2018).

그러나 정부지원을 통해 스마트 공장을 구축한 기업현황을 살펴보면 몇 가지 문제점이 보인다. 우선 국내 중소기업의 스마트 공장 수준은 전반적으로 기초 단계에 머물고 있다는 것이다. 중소기업중앙회(2018)에 스마트 공장 실태조사에 따르면 기초단계 77.4%, 중간1 20.7%, 중간2 0.6%로 중간2수준까지 고도화된 기업이 드물다. 다른 기관에서 분석한 실태조사도 같은 결과를 보여주고 있다. 기초단계의 경우 제조의 생산정보를 자동으로 취합되는 시스

템이 아니라 이전 수기기록 또는 전자매체를 통해 입력했던 정보를 스마트 공장 플랫폼 시스템에 직접 입력하는 방식으로 지속적 활용도가 떨어진다는 지적을 받고 있다. 또한 스마트 제조환경 구축에는 업무프로세스 분석, 최적화 설계, 실제 구축, 점검등 많은 단계가 요구되어 충분한 시간이 필요하지만 정부지원 사업은 5 개월 내구축 완료를 요구하여 이에 따른 수요기업의 부담가중 및 완성도 저하(조지훈, 2020)가 우려된다는 문제점도 나타나고 있다. 이외 스마트 공장의 인식부족, 공급기업의 전문성 부족 등 여러 가지 문제점이 나타나고 있다.

이러한 문제들은 스마트 공장 수용기업들의 시스템 활용도에 영향을 미치게 되고 최종적으로 사용 중단이라는 결과까지 나타나고 있다. 이에 대한 원인을 파악하고 개선하기 위하여 여러 연구자들이 스마트 공장에 대한 다양한 연구를 진행하고 있다. 그러나 대부분의 연구가 성공적인 스마트 공장 도입을 위한 주요변인 실증분석 또는 구축사례 연구에 치우쳐 있다. 스마트 공장을 도입한 기업에 대하여 운영상 문제점을 파악하고 개선/보안 하기 위한 지속적 사용의도에 관한 실증적 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 스마트 공장 구축내용과 지속적사용의도에 영향관계를 연구할 필요성이 있다고 판단하였다.

이에 본 연구에서는 지난 5년간 정부 주도하에 급격하게 보급/확산되고 있는 스마트 공장의 구축내용과 사후 기대일치 정도가 유용성 및 사용자 만족도, 지속적 사용의도에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여 보고자 하였다. 특히 본 연구모형은 Bhattacharjee(2001)가 정보시스템(IS)의 수용과 지속적 행동 사이의 차이를 고려한 정보시스템(IS) 연속성의 이론적 모델을 개념화하고 실험 한 후기수용모델(PAM)을 이론적 기반으로 하고 있다. 후기수용모델(PAM)은 Oliver(1980)의 기대일치이론(ECT)과 Davis et al.(1989)가 제안한 기술수용모델(TAM) 기반으로 하고 있으며 새롭게 적용되는 정보기술 및 정보시스템, 온라인 서비스 환경등에서 지속이용에 대한 연구부문에서 다양하게 적용되어 왔다. 또한 정부지원의 활용이 어떤 효과를 나타내고 있는지, 시스템 수용후 일정 기간이 지난후의 지속적 사용의도는 차이가 나타나는지 추가하여 분석하여 보고자 하였다.

중소기업 스마트 공장의 보급/확산 정부지원 이후 고도화 전략을 통해 시스템 활용도를 높이하고자 하는 이 시점에 스마트 공장 지속적 사용행동에 미치는 주요 변인들이 검증된다면 스마트 공장을 고도화 시키려는 기업 및 새롭게 수용하려는 기업의 구축 전략과 정부지원정책 설정에 시사하는 바가 있을 것이라 판단된다.

1.2. 연구 방법 및 구성

본 연구는 선행연구에 대한 문헌 고찰을 통해 이론적 개념 정립하고 이를 통해 중소제조기업의 스마트 공장 운영 시스템 중심으로 스마트 공장 구축 내용이 후기수용모델(PAM)의 주변인인 기대충족, 유용성, 사용자 만족을 거쳐 지속적 사용의도에 미치는 영향을 검증하기 위하여 연구모델과 연구가설을 설정 하였다. 이후 스마트 공장을 도입한 기업을 대상으로 설문조사를 실시하여 실증분석을 하고자 한다.

세부적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 근본이론으로 사용된 후기수용모델(PAM)의 독립 변인인 기대충족을 스마트 공장 구축 목적으로 하고 이변인에 대한 선행변인을 스마트 공장 구축 내용으로 하여 영향관계를 검증하고자 한다. 이러한 선행 변인들이 시스템 사용의 유용성과 사용자 만족도의 매개변인을 거쳐 지속적 사용의도의 종속 변수에 미치는 영향을 검증하고자 연구 모형과 가설을 설정하고자 한다.

둘째, 스마트 공장의 구축내용과 구축목적에 대한 선행연구 고찰을 통해 주요 변인들을 도출하고자 하며, 이후 설문조사를 통해 데이터를 취합하고, 수집된 데이터를 통계패키지 프로그램인 SPSS와 AMOS 22.0을 사용하여 분석하고자 한다.

셋째, 취합된 자료의 분석은 다음순서와 같이 하고자 한다. ①모집된 표본의 인구통계학적특성의 빈도수와 구성 비율을 파악하기 위한 빈도 분석을 실행. ②측정변수가 어떤 집단(요인,성분)에 묶이는지는 탐색적 요인 분석 실시. ③잠재변수를 설명하는 측정변수의 내적일치도를 확인하기 위하여 신뢰도 분

석을 실행. ④독립변수와 종속변 수를 동일한 측정도구와 응답자에 의해 측정 함으로서 발생하는 오류가 있는지 파악하기 위한 동일방법 편 의 검증. ⑤확인 적 요인분석을 통하여 집중타당성 및 판별타당성 검증. ⑥ 가설검증을 위해 구조방정식모델 분석 실시. ⑦ 외생잠재변수가 매개변수를 거쳐 내생 잠재변 수에 미치는 영향 알아보기 위해 Bootstrap 방법을 적용하여 매개효과를 분 석. ⑧ 조절변수에 대한 측정동일성 검증, 조절효과 검증을 위해 다중집단분 석 실시.

연구의 구성은 1장부터 5장까지 총 5장으로 구성하고자 한다. 세부적인 구성 내용은 다음과 같다.

제 1장 서론은 스마트 공장의 연구배경 및 목적과 연구 방법, 구성에 대 해 기술한다.

제 2장 이론적 배경에서는 스마트 공장의 등장 배경 및 개념, 발전 현황, 구축목적과 구축내용에 대하여 기술 하고자 하며, 후기수용모델(PAM)의 등 장배경과 기반이론, 주요 구성요인에 대하여 함께 기술 하고자 한다.

제 3장 연구설계 조사방법 에서는 선행연구를 기반으로한 연구모형을 제 시하고 기본 연구가설과 매개효과 및 조절효과에 대한 가설을 설정하여 기술 하고자 한다 이후 선택된 변수들의 조작적 정의 및 설문의 구성에 대하여 기 술 한다.

제 4장 연구결과에서는 표본의 일반적인 특성과 탐색적 요인 분석 및 확 인적 요인분석을 통한 변수 정제과정에 대하여 기술 하고자 한다. 이후 구조 모형 분석, 매개효과 분석, 조절효과 분석순으로 연구가설에 대한 통계적 검 정결과를 기술하고자 한다.

제 5장 결론에서는 본 연구의 결과를 요약하고 이론 및 실무적 시사점을 도출하며, 연구의 한계점 과 향후 연구방향에 대하여 기술 하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 배경

2.1. 스마트 공장

2.1.1. 4차 산업혁명 및 발전 단계

우리는 기술적 혁신으로 인해 사회적·경제적 변화가 크게 나타나는 시기를 산업혁명이라 한다(Toynbee, 1884). 최초 산업혁명은 18세기 중엽부터 19세기 중엽까지 영국을 중심으로 발생했던 기술적·조직적·경제적·사회적 변화를 지칭한다(김종현, 2006).

산업혁명(The Industrial Revolution)이란 용어를 처음 사용한 사람으로 오토(Louis-Guillaume Otto), 윌리엄스(Raymond Williams), 블랑키(Jérôme-Adolphe Blanqui), 엥겔스(Friedrich Engels) 등이 거론되며, 1884년에 아놀드 토인비(Arnold Toynbee)의 유고 『18세기 영국 산업혁명 강의』가 발간되면서 널리 사용되기 시작했다(송성수, 2017). 이어 1906년에 프랑스의 역사학자 망투(Paul Mantoux)에 의해 『18세기의 산업혁명』이 출간됨으로써 산업혁명은 학술적 용어로 정착되는 경향을 보였다(Mantoux, 1906). 그 후 일군의 학자들에 의해 ‘2차 산업혁명(The Second Industrial Revolution)’이 식별되면서 기존의 산업혁명은 ‘1차 산업혁명(The First Industrial Revolution)’으로 다시 정의되기도 했다(Mathias & Davis, 1989).

1차 산업혁명은 석탄과 석유등의 고에너지 원료를 사용하는 증기기관이 발명되면서 수공업 중심의 생산체제가 공장 생산체제로 변화되었으며, 증기기관차의 도입 및 활용을 위한 도로의 개량, 운하의 건설 철도의 설치는 비약적인 교통수단의 발전을 가져다주었다. 그 결과 지역간 연결성을 혁신적으로 증대시켰다.

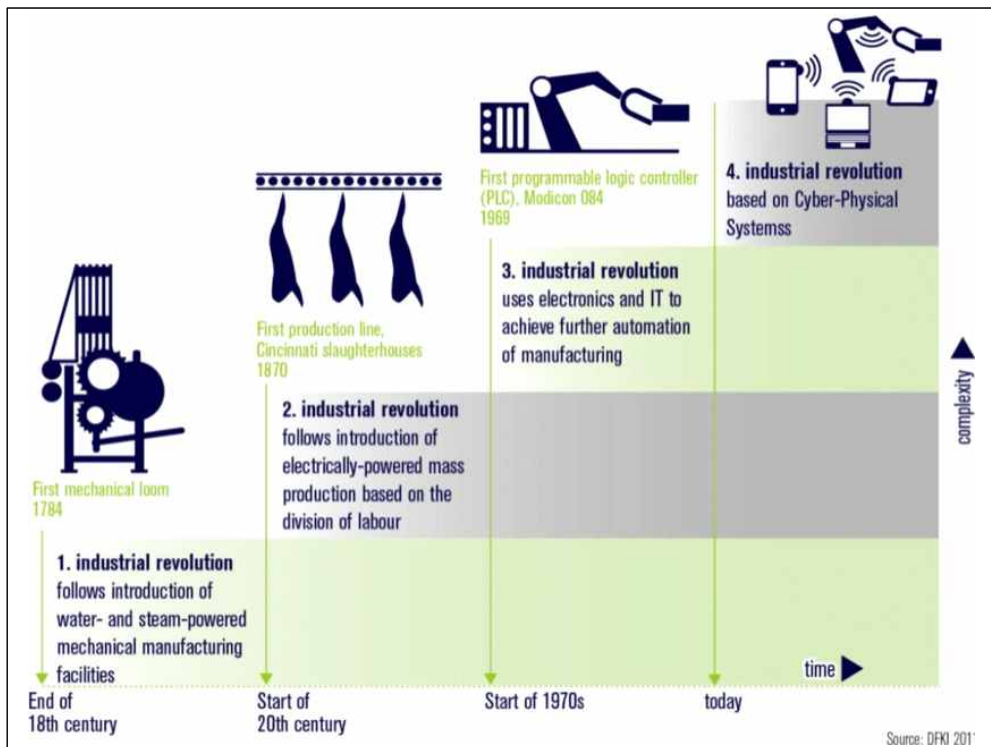
2차 산업혁명의 시기는 대략 1870~1920년으로 간주하고 있다(Hull, 1999). 2차 산업혁명이란 용어는 영국의 생물학자이자 사회학자인 게데스(Patrick Geddes)가 1910년에 발간한 『도시의 진화』에서 처음 사용했던 것으로 전해진다(Geddes, 1910). 2차 산업혁명은 미국의 경제 사학자인 랜디스

(David Landes)가 1969년에 발간한 『자유의 몸이 된 프로메테우스(The Unbound Prometheus)』을 통해 학술적 용어의 지위를 얻었다(Landes, 1969). 이어 경영사학의 개척자로 평가받는 찬들러(Alfred D. Chandler, Jr.)가 1990년에 『규모와 범위』을 발간하면서 2차 산업혁명이란 용어를 채택했다(Chandler, 1990). 2차 산업혁명의 특징으로 강철 및 화학물질과 같은 신소재의 등장, 전기와 내연기관을 비롯한 새로운 동력의 출현, 공장의 기계화와 분업의 진전을 들 수 있다(Landes, 1969). 이러한 특징들을 기반으로 1차 산업혁명 시기 국소적인 기능의 자동화를 작업 방법, 품질의 기준, 운송 방법 등의 표준화를 통하여 기업 및 국가 수준의 대량 자동화 생산으로 발전시켰다.

3차 산업혁명은 일반적으로 컴퓨터 및 정보통신기술(ICT)의 발전으로 인한 ‘디지털 혁명’ 또는 ‘정보혁명’으로 불린다. Richta(1969)는 16~17세기의 과학혁명, 2차 산업혁명에 해당하는 ‘기술혁명’에 이어 과학과 기술이 일체화된 과학 기술혁명이 전개되고 있다고 하였으며 유명한 미래학자인 Daniell Bell(1976)은 인류 사회의 거대한 변화를 농업사회, 산업사회, 탈산업사회로 구분했는데, 그것은 1980년에 또 다른 미래학자인 토플러(Alvin Toffler)가 제1 물결, 제2 물결, 제3물결로 구분한 것과 거의 유사했다(Toffler, 1980). Daniell Bell(1989)은 1989년에 발간한 논문에서 ‘3차 기술혁명’이란 용어를 사용하기도 했다. 3차 혁명은 1946년부터 개발된 컴퓨터의 발달과 1969년 인터넷의 전신인 알파넷이 개발되면서 자동화 기술이나 정보 기술처럼 다른 분야의 기술들이 결합 또는 융합되는 현상이 나타나기 시작했다. 컴퓨터의 향상된 계산능력은 이전보다 정교한 자동화 능력을 가져다주었고, 사람과 사람, 사람과 사물의 연결성을 증가시켜다. 그러나 3차 산업 혁명은 2016년의 세계 경제포럼에서 4차 산업혁명의 전 단계로 ‘3차 산업혁명’을 본격적으로 거론하면서 생겨난 용어로 아직 학술적으로 정착되지는 않았다.

4차 산업혁명은 2011년 1월 독일 경제·과학연구 연합이 ‘인더스트리 4.0(Industrie 4.0)’을 독일 연방정부에 제안하고 같은해 11월 이를 채택하면서 탄생하게 되었다(배경한, 2019). 또 한 인더스트리 4.0(Industrie 4.0)에 대하여 논의한 독일인공지능연구소(Deutsches Forschungszentrum für

Kunstliche Intelligenz, DFKI)에서는 [그림 2-1]과 같이 1차, 2차, 3차 산업혁명이 시작된 연도를 각각 1784년, 1870년, 1969년으로 간주하면서 이와 관련된 기술혁신으로 역직기, 도축장 해체라인, PLC를 들고 있다(송성수, 2017). 이후 2013년 4월 인터스트리 4.0에 대한 구체적인 정책과 기술 발전 방향을 독일연방정부가 공표하면서 세상의 주목을 받게 되었고, 독일 경제·과학연구 연합과 독일 공학 한림원(Acatech)은 4차 산업혁명 전략보고서를 발표하였다(배경한, 2019). 이보고서는 산업혁명의 발전단계를 정의하면서 가상 물리 시스템(Cyber Physical System: CPS)을 4차 산업혁명의 동력으로 명시하고 있다.



[그림 2-1] 인터스트리 4.0 관점의 산업혁명의 역사

출처: DFKI(2011), 재인용

이후 독일은 VDMA(독일기구제작연합회), ZVEI(독일전자산업협회), BITKOM(독일정보통신미디어산업협회)등의 협회, Siemens, Bosch 등의 솔루션 기업, Acatech(독일공학한림원)등의 단체와 대학이 광범위하게 연합하여

표준화 활동과 연구개발 활동을 활발히 수행하였으며, 2014년 말부터 법적, 정책적으로 해결해야 할 문제와 표준화 문제들을 철저하게 분석 하였다(배경한, 2019). 그리고 기존의 사업을 재정비하여 Plattform Industrie 4.0으로 확장·발전시켜 큰 성과를 거두고 있다.

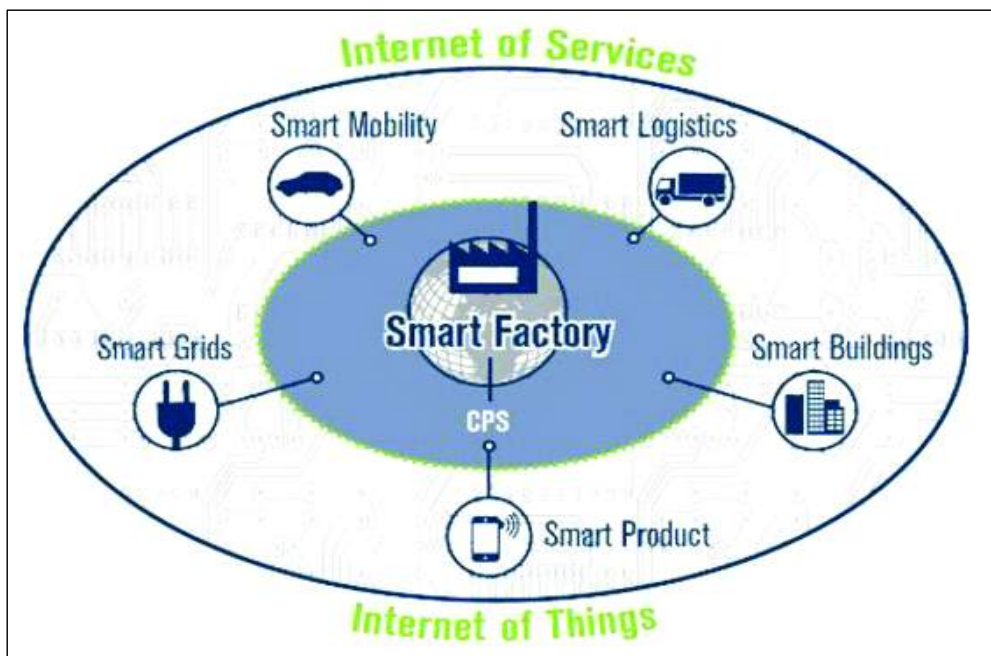
이러한 4차 산업혁명은 2016년 1월 다보스 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)에서 주요 주제로 선정되면서 세계적으로 부각 되기 시작했다. WEF는 「The Future of Jobs」 보고서를 통해 제4차 산업혁명이 근 미래에 도래할 것이고, 이로 인해 일자리 지형 변화라는 사회 구조적 변화가 나타날 것이라 전망하고 있으며, 제4차 산업혁명을 ‘디지털 혁명(제3차 산업혁명)에 기반하여 물리적 공간, 디지털적 공간 및 생물학적 공간의 경계가 희석되는 기술융합의 시대’라고 정의하면서, 사이버물리 시스템에 기반한 4차 산업혁명은 전 세계의 산업구조 및 시장경제 모델에 커다란 영향을 미칠 것으로 전망하고 있다(Schwab, 2016). 또한 Schwab(2016)은 물리학 기술에서는 무인운송수단, 3D 프린팅, 첨단 로봇공학, 신소재, 디지털 기술에서는 사물 인터넷(원격모니터링기술), 블록체인(비트코인), 공유경제/온디맨드경제, 생물학 기술에서는 유전공학, 합성생물학, 바이오프린팅 등의 제4차 산업혁명 시대의 10개 선도 기술들과 체내 삽입형 기기, 사물인터넷, 스마트도시, 유비쿼터스 컴퓨팅, 자율주행자동차, 웨어러블 인터넷 등 대변혁을 가져올 23개 기술을 제시하고 있다(김은경, 문영민, 2016).

4차 산업혁명을 통해 다가올 미래에는 인공지능과 사물인터넷 및 빅 데이터 분석등의 진보된 기술들이 정보통신기술(ICT)을 활용한 생물적, 물리적 융합을 통해 생산성이 향상되고 제품과 서비스가 지능화되면서 사회, 경제 등 인류의 삶 전반에 혁신적인 변화가 나타날 것이라 예측 할 수 있다.

1차~3차에 걸쳐 진화하는 산업혁명은 역사학자와 경제학자들이 산업의 발전 역사를 바탕으로 신산업 동력이 경제에 미치는 파장을 분석하여 정의한 것에 반해, 4차 산업혁명은 도래하고 있는 미래의 방향을 제시하고 이를 혁명이라 선언한 경우에 해당 된다(배경한, 2019). 따라서 현재 4차 혁명은 진행 되는 과정으로 보아야 할 것이다.

2.1.2. 스마트 공장 정의와 기술

독일 연방정부는 4차 산업혁명의 제조업을 원천 핵심 분야로 보고 있으며 독일 연방정부가 제시한 4차 산업 혁명의 산업구조도는 [그림 2-2]와 같다. 스마트 물류, 스마트 빌딩, 스마트 제품, 스마트그리드, 스마트 모빌리티 기술이 중앙에 스마트 공장을 중심으로 가상 물리 시스템(Cyber Physical System, CPS)과 연동되는 것을 볼 수 있으며 사물인터넷을 통해 CPS는 실시간으로 서로 및 인간과 통신하려 노력하며, 가치사슬의 참여자들은 서비스 인터넷(IoS)을 이용하여 내부 및 외부 관계 조직에게 서비스를 제공하고 활용한다(Hermann et al., 2014).



[그림 2-2] 4차 산업혁명의 범위와 구성 체계, 스마트 공장의 위치

출처: Shafiq et al. (2015), 재인용

Kagermann et al.(2013) 의 “전략적 이니셔티브 INDUSTRIE 4.0 구현을 위한 권장 사항” Industrie 4.0의 최종 보고서 이외 Drath & Horch(2014), Posada et al.(2015), Almada-Lobo(2016), Batista et al.(2017), Simons et

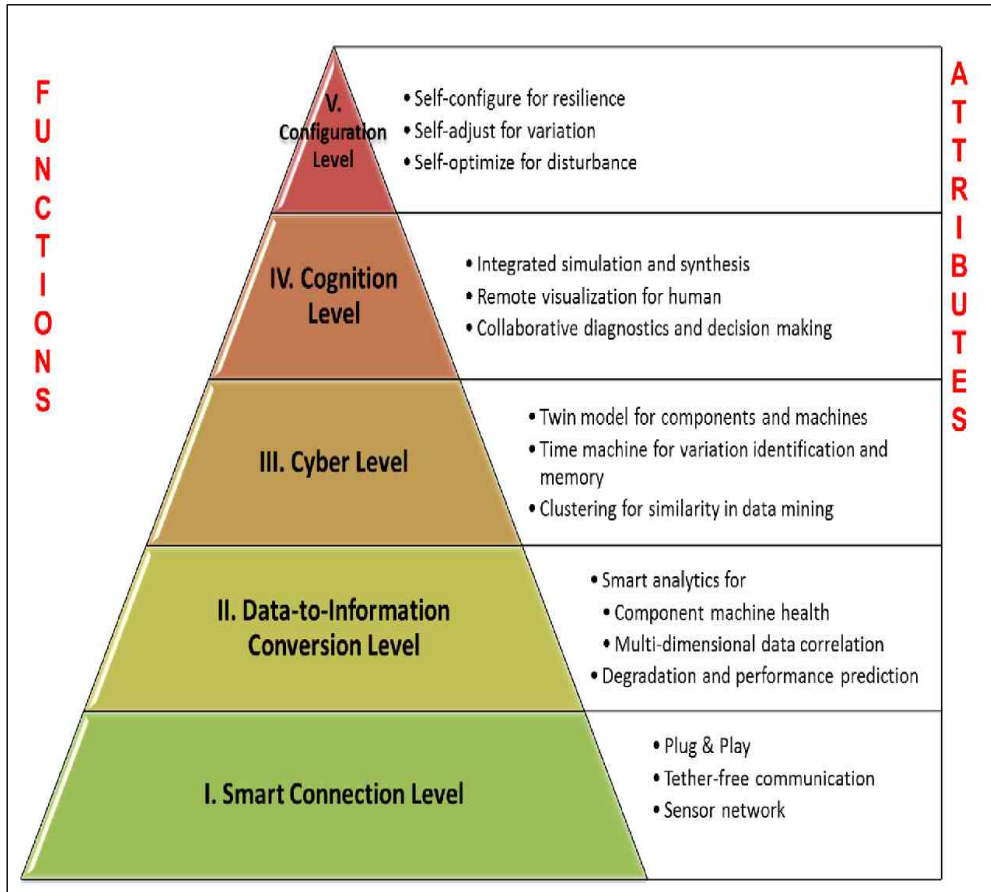
al.(2017), Wollschlaeger et al.(2017)등 여러 선행 연구자들은 사물인터넷(IoT)과 가상 물리 시스템(CPS)이 스마트 공장구현을 위한 기반 기술 핵심특성이라는 공통의견을 제시하고 있다.

사물인터넷(IoT, Internet of Things)은 1999년 미국 MIT 부설연구 기관인 Auto-ID Center에서 900MHz 대역의 수동형 RFID(Radio-Frequency Identification)를 활용한 무선 인식기술의 표준을 개발하고 인터넷 활용을 시작하면서 탄생하였다(배경한, 2019). 현재는 식별 데이터 교환 관점에서 정의된 IoT 개념을 넘어 센서와 제어기와 결합 되어 사물 간 인터넷 통신을 통한 식별뿐만 아니라 측정 및 제어의 기능을 수행하는 역할로 지속적 발전하고 있다.

Haller et al.(2008)는 사물인터넷(IoT)에 대하여 “정보 네트워크에 물리적 객체가 원활하게 통합됨으로써 비즈니스 프로세스에 적극적으로 참여할 수 있는 환경”이라 정의하였다. 국내에서는 한국표준협회(2016a)는 사물인터넷(IoT)을 물리/가상의 사물이 지능형 서비스와 연계되어 물리/가상의 정보를 처리하고 그 결과에 따른 대응을 가능하게 하는 기반 구조라고 정의하였다. 또 가상 물리 시스템(CPS)을 물리적 실제 시스템과 사이버 공간의 소프트웨어 및 주변 환경을 실시간으로 통합하고 상호 피드백하여 물리 세계와 사이버 세계가 실시간으로 동적 연동되는 시스템으로 정의하고 있다(한국표준협회, 2016a).

가상 물리 시스템의 경우 2006년 미국 국립과학재단(NSF, National Science Foundation)의 Helen Gill이 핵심연산 장치가 연산 모듈에 내장된 사물들과 커뮤니케이션을 통해 실시간으로 상황을 확인하고 제어하는 개념의 가상 물리 시스템을 소개 하였다(배경한, 2019). 이러한 개념은 광범위하고 복잡한 공학적 규정을 수용해야 하고 외부와 통신을 교환할 수 있고 연산이 가능한 매우 많은 내장형 시스템을 필요로 하므로 설계 및 개발이 매우 복잡하고 전문가들의 다자간 협력이 요구된다. 다쏘시스템을 중심으로 한 유럽 컨소시엄은 이러한 가상 물리 시스템의 표준화 및 개발 가이드라인에 필요성을 인식하고 2008년부터 2011년 까지 프로젝트를 수행하였으며, 그 결과 공개형 연계표준인 FMI(Functional Mock-up Interface)를 완성하였다(배경한,

2019). 이 표준은 다섯 단계로 수준이 진화하는 CPS 아키텍처를 [그림 2-3] 같이 제안 하였다. 이 5C 아키텍처는 1레벨 수준부터 5레벨 수준까지 정의하고 있으며 각 단계별 정의는 아래 [표 2-1]과 같다.



[그림 2-3] 제조 가장 물리 시스템의

출처: SLee et al. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems

[표 2-1] 가상 물리 시스템 5C 단계별 정의

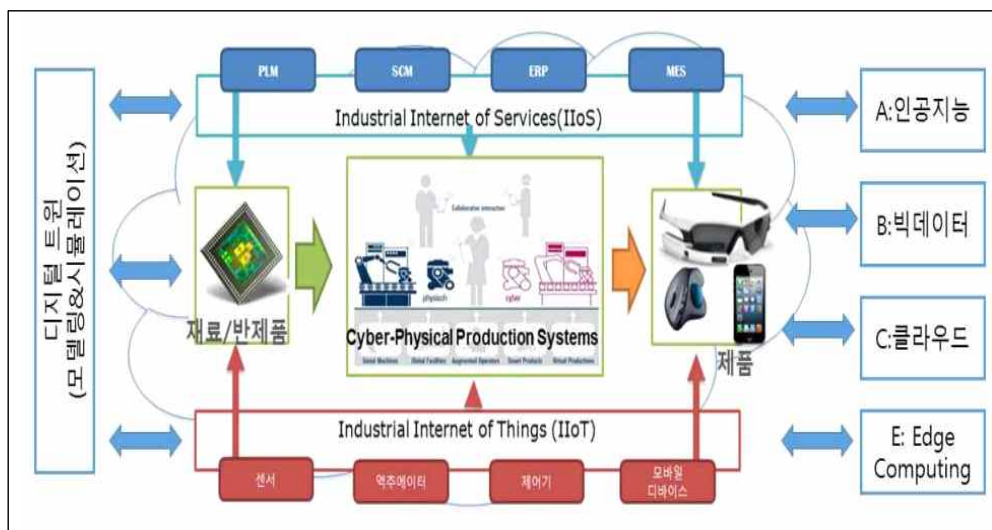
단계	구성	세부내용
1레벨	스마트 연결	설비 상태를 측정하고 설비를 제어하는 디바이스 들의 자가 측정 및 자가연결 가능 수준
2레벨	데이터 정보 변환	다차원 데이터 상관관계 분석 및 예지 정보를 추측 할 수 있는 능력을 갖는 수준.
3레벨	가상화	기계적 특성을 활용한 가상공간 Twin 을 구성하고 동등한 계층에서 성능을 스스로 비교할 수 있는 능력을 갖춘 수준
4레벨	인지	자가분석 및 평가 결과를 도해적으로 설명하여 잠재적 사안을 알릴 수 있는 수준
5레벨	구성	설비 및 생산시스템 위험 기준 또는 우선순위에 따라 스스로 재구성 할 수 있어서 복원력을 확보한 수준

출처: 배정환(2019) 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

중소벤처기업부(2018)는 가상 물리 시스템(CPS)을 사물들이 서로 연결되어 정보를 교환하는 IoT에서 컴퓨팅을 이용한 사이버 세계와 물리 세계가 발전된 IT 기술을 통해 유기적으로 융합되어 사물들이 서로 소통하며 자동적, 지능적으로 제어되는 시스템으로 정의하고 있다. 한편 Khaitan & McCalley(2015)는 가상 물리 시스템(CPS)을 “사이버 구성요소와 물리적 구성요소 간 긴밀한 상호작용을 제공하는 새로운 유형의 시스템”으로 정의하고 있다. Rad(2015)은 동일한 아키텍처(architecture)를 공유하는 측면에서 CPS와 IoT는 유사한 개념이지만, CPS가보다 상위의 개념으로서 시스템의 물리적 구성요소와 컴퓨터 구성 요소 간 더 높은 수준의 조합과 조정 역량을 지니고 있다고 설명하였다. 의견을 종합하면 IoT는 사물과 사물을 연결하는 기반 구조이며 CPS는 IoT를 통해 연결된 객체 간 유기적인 소통과 자동·지능적 제어를 가능하게 하는 시스템으로써 사물, 인력, 데이터, 프로세스 등의 초연결(hyper-connectivity)을 지향하는 ‘만물인터넷(internet of everything, IoE)’의 개념에 근접하다고 할 수 있다(권세인, 2019). 이러한 측면으로 볼 때, 독일

인공지능연구소(DFKI)의 Wahlster(2014)는 스마트 공장의 종합적인 구성도와 가상 물리 시스템(CPS)의 역할을 아래 [그림 2-4]와 같이 표현하였다. 중소벤처기업부 (2018)에서는 [그림2-4]의 내용을 기반으로 제조 부문에 활용되는 가상 물리 시스템(CPS)이 IoS의 정보시스템(ERP, CRM, SCM, MES 등) 및 컴퓨팅 시스템(PLC, CAD/CAM, 인공지능, 시뮬레이터 등)과 제조 프로세스 및 설비, 인력 등과 같은 물리적 개체를 통합하여 안전과 신뢰성을 기반으로 한 전체 공장을 분산 제어하는 지능적인 역할을 수행한다고 설명하였다(진희승, 2018).

이렇듯 IoT와 CPS가 스마트 공장의 구현에 중추적인 역할을 수행하기 때문에 스마트 공장을 기존의 자동화된 시스템에 혁신적인 IT 기술을 적용한 것으로 표현하기도 한다(Zuehlke, 2010).



[그림 2-4] 스마트 공장 개념도

출처: 진희승(2018). 재인용

한편, IoT와 CPS이외 스마트 공장구현을 위한 다양한 기술을 필요로 한다. 중소벤처기업부(2018)는 스마트 공장의 고객의 요구사항, 제품의 수명 등과 같은 “시장 환경”과 생산조건, 실적정보, 재고현황 등의 “제품 환경”, 기계·설비, 인력운용 등과 같은 “생산 환경”을 포함하여 제조와 관련한 다양한

환경 정보를 감지·수집하여 분석·판단하고, 판단되어진 결과를 현장에 반영하여 실행하는 3단계의 기능 요건을 강조하였다. 또 한 동일한 관점에서 미국 IIC(산업인터넷컨소시엄)의 Smart Factory Task Group(2017)에서는 스마트 팩토리로부터 창출되는 모든 가치는 Aggregate(내·외부 시스템 및 설비로부터 생성되는 방대한 데이터의 집계), Analyze(운영 및 경영 의사결정에 활용될 정보 형성을 위해 데이터를 분석), Act(프로세스 자동화, 시스템 최적화, 전략 활용을 통해 새로운 통찰을 시행)등의 세 가지 목표를 실현하는 기업의 역량에 달려있다고 설명하였다.

산업통상자원부와 중소벤처기업부에서는 스마트 공장의 이러한 기능적 요소들을 고려하여 아래 [표 2-2]와 같이 핵심 기술 요소를 분류하였으며 [그림 2-5]와 같이 전체 기술 구조도를 도식화 하여 제시하였다.

[표 2-2] 스마트 공장 기능의 기술 구성 요소

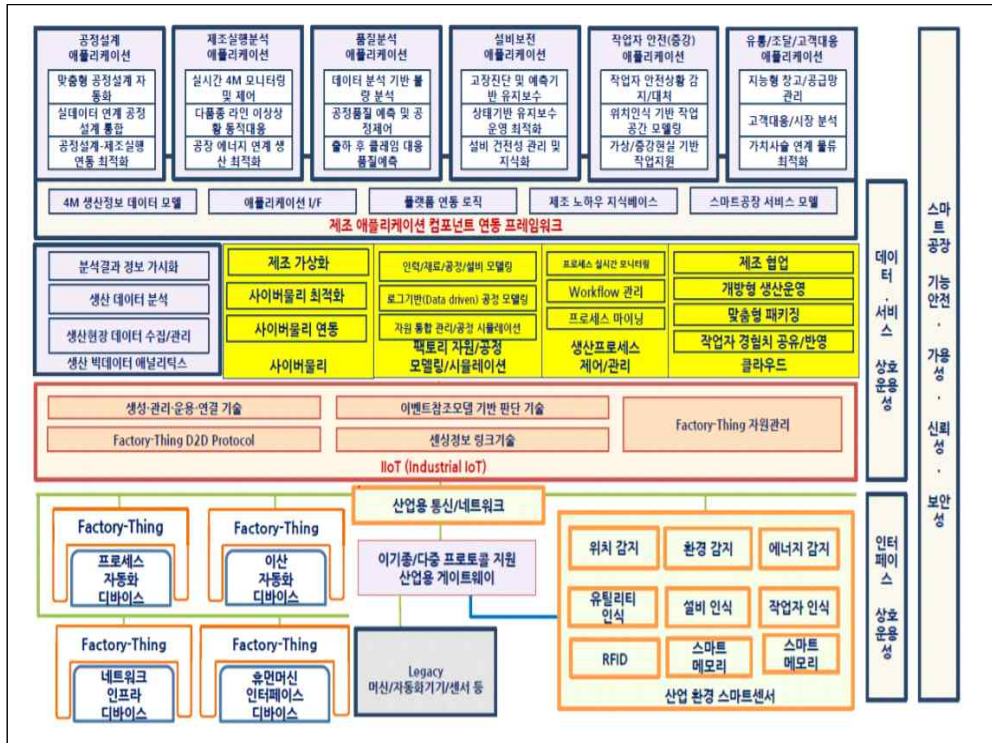
구분	개념 및 역할	주요 기술
애플리케이션 (Application)	실제 공장의 운영을 지원하는 통합, 응용 Software로 제조 실행에 직접적으로 관여하는 System.	• MES • EPP • PLM • SCM
플랫폼 (Platform)	수집된 데이터 및 정보를 Application에서 활용가능 형태로 가공 및 처리하는 중간 Software로 디바이스/센서와 Application의 매개 역할	• 빅 데이터 분석 • CPS • 모델링/시뮬레이션 • 프로세스 제어/관리 • 클라우드
디바이스/센서 (Device/Sensor)	제조 현장에서 발생하는 정보를 감지하여 Data를 취합하여 플랫폼과 애플리케이션에 연결되어 전달	• 컴포넌트 컨트롤러 • 로봇 • 인지형 스마트센서

출처: 산업통상자원부(2015) 및 권제인(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

스마트 팩토리의 기능을 구현하는 최하위의 기술 요소는 디바이스 및 센서로써 시장, 제품, 생산 환경으로부터 발생하는 다양한 정보를 식별하고 수집하여 상위의 플랫폼과 애플리케이션으로 전달하는 역할을 수행 한다(중소벤처기업부, 2017). 원활한 센서 네트워크를 통해 수집된 정보는 상위의 수준으로 전달됨으로써 데이터 기반의 통제 및 의사결정을 지원하는 근간이 된다(Lee et al., 2016).

플랫폼 기술은 최하위 단계의 디바이스 및 센서로부터 수집된 정보를 애플리케이션이 활용할 수 있도록 가공·처리하는 동시에 최하위 단계와 최상위 애플리케이션 단계를 연결하는 매개 역할을 한다(산업통상자원부, 2015). 특히, 플랫폼 수준에서는 하위 단계에서 수집된 방대한 양의 데이터를 저장하는 클라우드 컴퓨팅 기술과(Hermann et al., 2016; Thoben et al., 2017; Wu et al., 2013) 데이터를 유용한 정보로 전환하는 빅 데이터 분석(Hermann et al., 2016; Thoben et al., 2017; Zhang et al., 2017), CPS, 모델링, 시뮬레이션 등을 활용하여 가상환경에서의 경험을 실제 환경으로 전환하는 기술이 요구되며, 지능화된 시스템으로 하여금 프로세스를 모니터링하고 기능들을 통제함으로써 최상위 운영 활동에 적용될 수 있는 역량을 확보하는 것이 중요하다(Davis, 2009).

미국 IIC의 Smart Factory Task Group(2017) 및 중소기업부(2018), Deloitte(2017)등은 운영기술(OT)과 통신기술(IT)의 연계가 스마트 공장구현에 매우 주요한 기술이라고 의견을 제시하고 있으며, 이방실(2017)은 GE Digital Korea 실무진과의 인터뷰를 통해 OT와 IT의 긴밀한 연계를 용이하게 하는 것이 플랫폼 기술이라는 것을 확인하였다. 실제 제조 환경의 전반적인 프로세스에서 수행되는 활동은 애플리케이션을 통해 계획 및 실행되어진다(Wieland et al., 2010). 특히 애플리케이션 단계에서는 플랫폼 수준에서 분석된 데이터의 흐름을 도식화하여 최종 운영단계에서 적용되어지기 위해 CRM, SCM, MES, ERP(Lee et al., 2016; Wieland et al., 2010), 또는 PLM과 같은 통합된 정보 시스템을 활용한다(Zhang et al., 2017).



[그림 2-5] 스마트 공장 핵심기술 구조도

출처: 진희승(2018). 재인용

산업통상자원부는 스마트 공장 운영을 위한 기능의 기술적 구성 요소 간의 상호운용성과 상호연동시의 기능 안전성, 가용성, 신뢰성 등을 위한 보안 요소를 포함하여 총 4대 기술 개발 분야를 선정하고 2020년까지 국내 중소·중견기업의 현실에 적합한 고도화된 기술개발을 위해 분야별 로드맵을 구축하여 단계별로 시행하고 있다(산업통상자원부, 2015).

한편, 스마트 공장의 기능적 기술요건을 만족하기 위한 요구기술 유형들은 국가나 연구자 별로 매우 다양하게 구성되어 있으며 각각의 기술에 대한 중요성 인식도 아래 [표 2-3]과 같이 다르게 나타난다. 독일과 미국, 한국의 경우 가상 물리 시스템(CPS)과 사물인터넷(IoT) 및 빅 데이터, 클라우드 컴퓨팅, 센서등의 기술을 핵심 기술로 공통 분류하고 있으나 미국과 한국은 독일과 다르게 스마트 에너지와 3D 프린팅 기술을 포함하는 적층제조(additive manufacturing)를 주요 기술유형으로 추가 하여 분류하고 있다.

[표 2-3] 국가별 스마트 공장 운영기술 유형 분류

구분	핵심기술	보조기술
독일	- CPS - IoT - 빅 데이터 - 클라우드 컴퓨팅 - 센서	- IoS - 작업 조직/설계 - 복잡한 시스템 관리 - 브로드 밴드 인프라 - 보안/안전 - 자원 효율성 - 훈련/역량개발 - 스마트 에너지 - 규제 - 표준 - 레퍼런스 아키텍처
미국	- CPS - IoT/무선 플랫폼 - 빅 데이터/데이터 분석 - 클라우드 컴퓨팅 - 센서 - 스마트 에너지 - 적층 제조	- 레퍼런스 아키텍처 - 로봇 시스템 - 지속 가능 제조 - 시스템 통합 - 상호운용성 - 다중 모델링/시뮬레이션 - 지능형 자동화 - 사이버 보안
한국	- CPS - IoT - 3D 프린팅 - 빅 데이터 - 클라우드 컴퓨팅 - 센서 - 스마트 에너지 - 홀로그램	

출처: Kang et al.(2016) 및 권세인(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

그 외에도 아래 [표 2-4]와 같이 기술의 다양성으로 인한 공통된 기술유형을 분류하거나 그룹화 하는 것에만 초점을 둔 연구(Gerbert et al., 2015; Mittal et al., 2019; Strozzi et al., 2017)도 다수 존재한다.

[표 2-4] 스마트 공장 운영기술 유형의 다양성

대분류	소분류	
지능형 통제 (Intelligent Control)	완전 자동화(fully automated)	강건성(robustness)
	유연성(flexibility)	사전 대응성(proactivity)
	자율성(autonomy)	확장성(scalability)
	신뢰성(reliability)	지능화(intelligent)
	정확성(accuracy)	적응성(adaptability)
	대응성(responsiveness)	민첩성(agility)
	기계학습(machine learning)	
스마트 제품/부품/자재 (Smart Products/Parts/Materials)	기계 학습(machine learning)	실시간 통신(real-time communication),
	추적(tracking)	시뮬레이션(simulation)
	신뢰성(reliability)	스마트 센서(smart sensor)
	재사용 가능성(reusability)	스마트 자재(smart material)
	지리 정보과학(GIS)	빅 데이터(big data)
데이터 분석 (Data Analytics)	통계적 프로세스 제어(SPC)	기계 학습(machine learning)
	예측(forecasting)	지식 의사결정 기술(knowledge DM)
	빅 데이터(big data)	시뮬레이션(simulation)
	지리 정보과학(GIS)	예측 분석(predictive analytics)
	모델링(modeling)	스마트 자재(smart materials)
	추적(tracking)	데이터 가시화(data visualization)
	사전 대응성(proactivity)	
IT 기반 생산관리 (IT based Production Management)	PLM, MES, ERP, SCM	스마트 자재(smart material)
	CAD/CAM/CAx	운영계획(operations planning)
시각화 기술 (Visual Technology)	증강현실(augmented reality, AR)	홀로그램(hologram)
클라우드 컴퓨팅 (Cloud Computing)	가상현실(virtual reality, VR)	
첨단 제조 (Advanced Manufacturing)	클라우드 제조 및 컴퓨팅(cloud manufacturing & computing)	
	실시간 통신 및 데이터(real-time communication & data)	
에너지 절감/효율성 (Energy Saving/Efficiency)	유연 생산 시스템(FMS), 재구성형 생산시스템(RMS), 컴퓨터 통합생산(CAM)	
	지속가능성(sustainability)	
3D 프린팅/적층 제조 (3D Printing & Additive Mfg)		
사이버 물리/제조시스템 (CPS/CPSS)		
사이버 보안 (Cyber Security)		
사물인터넷 (IoT/IoS)		

출처: Mittal et al.(2019) 및 권제인(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

이와 같은 기능적 기술 요소 실행을 추구하고 있는 스마트 공장에 대하여 여러 연구자들은 사업목적에 포괄하는 개념적으로 또는 스마트 공장을 구현하는 기술·제품(방법)적 등으로 정의를 내리고 있다(길형철, 2019).

먼저 Industry4.0 핵심요소로서의 정의를 살펴보면, 미래창조 과학부에서는 인더스트리 4.0은 스마트 공장과 공장운영 기반 기술인 가상 물리 시스템(CPS), 사물인터넷(IoT), 서비스인터넷(IoS)이 4가지 핵심 컴포넌트이며, 고객주문, 설비 고장 등의 외부환경 변화에 공장 내 기기들이 즉각 반응하여 자율적으로 최적솔루션을 제안하는 가상 물리 시스템(Cyber Physical System, CPS) 기반의 지능형 생산 공장을 스마트 공장이라 정의 하고있다. 또한 Gabriel & Pessl(2016)는 독일 인더스트리4.0의 핵심 요소로 스마트제품과 프로세스에 중점을 두고 제조 현장에서 급격하게 증가하는 복잡성 대응능력과 효율성을 제공하고 사람과 설비 및 운반, 저장 시스템 뿐만아니라 모든 생산시설 사이에 직접적인 네트워크 통신을 하도록 구축되어 있는 공장이라 정의하였다. 이와 같은 선행연구를 볼 때 스마트 공장은 모든 사물이 유기적으로 연결된 지능형 공장이라 볼수 있다.

한편 사업·목적별 적인 개념적 정의를 살펴보면, 스마트 공장은 ICT와 제조 기술의 융합과 제조 공정의 통합을 통해 생산성 향상과 에너지 절약을 하여 수익성 증대를 추구하는 공장으로 단순히 공장 자동화가 아니고 전 제조 과정을 통합하는 과정(진희승, 2018)이라 할 수 있다. NIST(2016)는 스마트 공장은 높은 수준의 품질 유지를 하면서 생산 능력, 제품 디자인을 실시간으로 신속히 고객 요구에 대응하는 공장으로 진보된 제조역량과 디지털 기술을 통합하여 생산제품의 개발, 제조 및 배송 방법을 근본적으로 바꾸어 고객 전용화 제품을 더 빠르게, 낮은 가격으로, 더 좋게생산하면서, 동시에 저 배출 및 저 공해 제조를 가능하게 하여 작업자 안전을 향상시키고 환경을 보호하는 공장이라 주장하였다(NIST, 2016).

국내에서는 스마트 공장 보급/확산을 위해 한국산업표준협회를 통해 스마트 공장 표준을 규정하고 있는데 “전통 제조 산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획,

설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT기술로 통합, 최소비용, 시간으로 고객 맞춤형 제품 생산을 지향하는 공장으로 생산성 향상, 에너지 절감, 인간 중심의 작업 환경이 구현되고 개인 맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조 환경에 능동적 대응이 가능한 공장으로 정의 하였으며 협의의 의미로 제품의 기획·설계, 생산, 유통에서 판매까지 비즈니스 프로세스의 정보화 및 생산 시스템의 자동화를 실현하는 공장(한국표준협회, 2016a)”이라 제정하고 있다. 이와 같이 목적중심적 개념 관점에서 보면 스마트 공장은 이전 시스템 보다 빠르고, 효율적이며, 최소 비용으로 고객의 요구를 충족시켜 주는 공장이라 볼수 있다.

스마트 공장구현 관점의 기술/제품적 정의 측면으로 살펴 보면, 공장의 생산 설비(시스템)를 기반으로 한 수직적 통합과 고객의 요구사항을 시작으로 하는 제품개발 가치사슬 기반 수평적 통합이 구현되는 공장으로 연결과 통합이 스마트 공장이라고 할 수 있다(조용주, 2017). Wang et al.(2016a)은 제조 명령에 따라 최적화된 공정 과정을 스스로 설계하여 생산할 수 있는 공장으로 산업기기부터 생산프로세스까지 네트워크로 연결되어 정보를 교환함으로써 사람 없이도 기계 스스로 생산, 통제, 수리가 가능한 공장이라고 주장 하고있다. 권준화(2016)는 스마트 공장이 생산기계에 각종 센서를 연결함으로써 모든 기계의 실시간 모니터링이 가능하고 제품 생산의 전체 과정에서 어떠한 낭비도 없는 제조 최적화를 달성하는 공장이라 주장 하고있다.

연결 및 통합을 스마트 공장구현 기반으로 봤을 때 Lasi(2014)는 통신으로 데이터 간의 연결이 이루어지면 1차적으로 가시성을 확보하는 것이 가능하며 이후 단계로 생산 공정 자율화 및 유연화를 목표로 자동화 시스템을 통합한 후에 통합된 자동화를 기반으로 시스템 엔티티로부터 수집된 정보의 분석을 통해 가치사슬 전체의 생산성과 효율성을 향상 시킴으로서 궁극적으로는 대상 시스템의 지능화를 추구하는 것이 스마트 공장이라 주장 하였다.

공장 자동화와 스마트 공장의 차이를 통한 개념적 정의를 살펴보면, 스마트 공장은 공장 내 제조 가치사슬의 모든 구성 요소들이 실시간으로 수직/수평적

통합, 통신, 그리고 협업을 이루는 하나의 공장 시스템(Lasi et al., 2014) 으로서 기계적인 생산설비 및 공정에 전기적 또는 물리적 제어기술을 적용하여 이미 설계된 프로그램을 입력시켜 무인으로 전체 혹은 일부 공정을 자동으로 진행 하는 공장 자동화 와는 차이가 있다.

한국표준협회(2016a)는 스마트 공장과 기존의 자동화에 대하여 아래 [표 2-5]와 같은 차이점이 있다고 하였다.

[표 2-5] 스마트 공장과 자동화 공장의 차이 비교

구분	스마트 공장	자동화 공장
센서·액추에이터	통신 연결	물리적 연결
통신 프로토콜	표준 이더넷(ethernet), 단일 표준	필드 버스(fieldbus), 다양한 표준
통신 특성	개방형, 기업 네트워크 통합, 고속화, 유·무선 통합 인프라, 노드/공간 무제한	폐쇄적, 기업 네트워크와 분리, 제한된 속도, 유선 중심, 제한된 노드/공간
제어 장치	공장 정보통합 중심, IT 장치화, 스마트 설비	제어기능 중심, 전용 시스템, 중앙처리장치
정보화 시스템	전사적 통합, 모바일, 클라우드, 실시간 감지	아일랜드, 보고 형태
데이터 활용	무제한 수집 및 분석, 빅 데이터	제한적 수집 및 분석
업무 프로세스 및 기술	사람, 프로세스, 기술의 융합	개별적, 독립적
보안	설비, 시스템, 사이버 보안 등 전사적 측면의 보안체계	제한적 보안

출처: 한국표준협회(2016a). “스마트 공장-제1부: 기본 개념과 구조”

이와 같이 스마트 공장에 대하여 연구자마다 여러 관점에서 다양한 개념적 정의를 하고 있으며 이외에 다른 선행연구자들의 개념적 정의를 년도별 [표 2-6] 와 같이 요약 하였다.

[표 2-6] 스마트 공장에 대한 정의

년도	정의
1991	센서, 액추에이터, 디스플레이 및 컴퓨터 요소가 밀접하게 무형적으로 결합된 물리적 세계를 의미. 이들은 네트워크에 의해 서로 연결되어 있음(Weiser, 1991)
2008	독일 Stuttgart 대학에서는 스마트 팩토리를 상황(컨텍스트)기반 도구로서 사람과 기계가

	작업을 수행하는 상황을 인식하고 지원하는 공장이라고 정의 하였는데 여기서 상황 인식은 시스템이 도구 위치 및 작업 상태(작업, 손상된 상태 등)와 같은 공장 객체의 위치 및 상태를 상황 정보로 사용할 수 있음을 의미(Lucke et al., 2008)
	생산 프로세스의 관리 최적화를 위해 분산형 정보와 통신 구조를 활용하여 실시간 생산의 동적 상황에 적합하게 대응하는 제조 환경(Lucke et al., 2008).
2010	높은 수준의 품질 유지를 하면서 생산능력, 제품 디자인을 신속히 고객 요구에 대응하는 공장(Koren., 2010)
	의미론적 서비스(semantic services)를 기반으로 상호 작용하는 스마트 객체(오브젝트)로 구성된 공장의 모든 것(Factory of Things)(Zuehlke., 2010)
2011	비즈니스 속도에 맞춰 솔루션을 구현하는 동시에 부가가치를 창출할 수 있는 개방형 인프라를 통해 현재와 미래의 문제를 해결하는능력(SMLC., 2011).
2012	공장 내 장비, 장치 부품들이 서로 연결, 상호 소통 및 유기적으로 연결되어 지능적으로 운영되는 생산 체계(Davis et al., 2012)
	Industry 4.0같은 새로운 산업플랫폼의 핵심 인프라스트럭처의 요소(Kagermann et al., 2013)
2013	Industry 4.0의 핵심은 사이버 물리시스템(Cyber Physical System)기반의 스마트 공장 구축에 있음(der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft, 2013).
	지능적, 효율적, 대응적 운영을 가능하게 하기 위해 작업장 이상의 수준에서의 데이터 집약적 IT의 적용(Wallace & Riddick., 2013).
	스마트 공장은 복잡성이 증가하는 세계에서 역동적이고 빠르게 변화하는 경계 조건을 가진 생산 설비에서 발생하는 문제를 해결할 수 있는 유연하고 적응 가능한 생산 프로세스를 제공하는 제조 솔루션 및 소프트웨어, 하드웨어 및 또는 기계의 조합으로 이해되는 자동화와 관련 될 수 있으며, 이는 불필요한 노동 및 자원 낭비를 줄이는 제조 최적화로 이어질 것임(Radziwon et al., 2014).
2014	공장 내 제조 가치사슬의 모든 구성 요소들이 실시간으로 수직적/ 수평적 통합, 통신, 그리고 협업을 이루어 내는 하나의 공장 시스템으로 디지털화되고 통합된 프로세스들을 기반으로 제조 가치사슬 내의 모든 엔티티간 상호 데이터 통신을 통해 공장 내 가시성을 확보하고, 생산 공정 자율화, 유연화를 목표하는 통합형 자동화가 선행되며, 통합된 자동화를 기반으로 시스템 엔티티로부터 수집된 정보의 분석을 통해 밸류 체인 전체의 생산성과 효율성을 향상 시켜, 궁극적으로는 대상 시스템의 지능화를 추구하는 것(Lasi et al., 2014).
	동적 변화상황에 따른 생산 부문에서의 증가하는 문제를 해결하기 위한 유연하고 적응적인 생산프로세스를 제공하는 제조 솔루션(Radziwon et al., 2014).
2015	제품기획 · 설계, 생산, 유통 · 판매 등 모든 과정을 ICT기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 공장의 운영시스템과 생산정보를 활용한 지능화된 제조 형태로 운영하는 방식(이정철, 2015).
	산업기기부터 생산 과정까지 네트워크로 연결되어 정보를 교 환함으로써 사람 없이도 기계스스로 생산, 통제, 수리가 가능한 공장을 의미. 생산기계에 각종센서를 연결함으로써 모든 기계의 실시간 모니터링이 가능하며, 제품생산의 전 과정에서 어떠한 낭비도 없는

	‘제조최적화’를 달성함(권준화, 이성봉, 2016) 제품의 기획·설계, 제조·공정, 유통·판매 등 전 과정을 IT로 통합하여 최소 비용·시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 지능형 공장으로 전통적인 제조 산업에 ICT(정보통신기술)를 결합하여 개별공장의 설비, 공정이 스마트화 할 수 있도록 생산 현장으로 연결되고, 모든 생산 정보가 실시간으로 공유, 활용되어 최적화된 생산 운영이 가능한 공장으로 공장간의 협업적인 운영이 유지되는 생산체계라고 정의(산업통상자원부, 2017)
2016	전통 제조 산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT 기술로 통합, 최소비용, 시간으로 고객 맞춤형 제품 생산을 지향하는 공장으로 생산성 향상, 에너지 절감, 인간 중심의 작업 환경이 구현되고 개인 맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조 환경에 능동적 대응이 가능한 공장으로 정의 하였으며 협의의 의미로 제품의 기획·설계, 생산, 유통에서 판매까지 비즈니스 프로세스의 정보화 및 생산 시스템의 자동화를 실현하는 공장(한국표준협회, 2016a). 고객의 요구에 맞게 공급 망을 통하여 공장에서 실시간으로 변화하는 고객 요구와 조건을 만족시켜주는 완전히 통합되고 협동적인 제조시스템으로 진보된 제조역량과 디지털 기술의 통합으로 높은 고객전용화 제품을 더 빠르게, 낮은 가격으로, 더 좋게, 더 적은 에너지로 생산(NIST, 2016). 스마트 공장은 스마트 제품, 절차 및 프로세스에 중점을 두는 Industry 4.0의 핵심요소로 생산에서 빠르게 증가하는 복잡성과 효율성을 지원하며, 사람, 기계, 운반 및 저장 시스템은 물론 생산 시설 간에 직접 통신을 함(Gabriel & Pessl, 2016). 제조 명령에 따라 최적화된 공정 과정을 스스로 설계하여 생산할 수 있는 공장(Wang et al., 2016a) 스마트 공장은 IoT를 활용하여 공장의 모든 것 (Factory-of-things)으로 향하는 방법으로 IoT는 물리적 개체간의 스마트한 연결뿐만 아니라 디지털 공장에서 사용되는 다른 정보와 IT Tool과의 상호작용을 포함하며, Data와 정보는 여러 가지 IT시스템, 다른 도메인, 관점, 적합한 수준, 잠재적으로 발생하는 라이프 사이클 국면에서 수집(Shariatzadeh et al., 2016). 상황 인식(context-aware)을 통해 작업을 수행하는 인력과 기계를 지원하는 공장(Hermann et al., 2016) 초연결 네트워크(hyper-connected network) 기반의 통합된 제조 시스템(Park., 2016) 인간, 기술, 정보의 융합을 통해 기존의 제조 산업의 전략적 혁신을 증진 시키는 다양한 기술의 집합, 혹은 패러다임(Kang et al., 2016) 제조 시스템 간, 혹은 시스템 내에서의 광범위한 디지털 정보의 활용과 빠른 흐름을 촉진하는 ICT의 활용(Lu et al., 2016)
	공장의 생산설비(시스템)을 기반으로 한 수직적 통합과 고객의 요구사항을 시작으로 하는 제품개발 가치사슬 기반 수평적 통합이 구현되는 공장. 즉, 연결과 통합이 스마트 공장(조용주, 2017)
	다양한 고객의 비즈니스 요구에 유연하게 대응할 수 있도록 모든 현장의 설비가 정보시스템과 연결되고, 실시간 데이터 정보 수집과 분석을 통하여 설계 기준에 따라 정확하게 제품을 생산하고 납기를 준수하는 동시에 품질향상을 위해 스스로 학습을 통해

2018	공정 개선을 제시하는 제조 환경(최영환, 최상현, 2017)
	새로운 수요에 대응하기 위해 연결된 운영·생산 시스템으로부터 지속적인 데이터의 흐름을 활용하는 것으로써 전통적인 자동화에서 완전히 연결되고 유연한 시스템으로의 발전(Deloitte., 2017)
	향상된 모니터링, 분석, 모델링 및 시뮬레이션을 통해 지능(intelligence) 을포착, 생성, 확산 할 수 있는 디지털 인프라와 첨단 제조기능의 완벽한통합(Longo et al., 2017)
	작업장, 기업, 공급사슬 수준의 제품 가치사슬에 속하는 모든 관련 개체를 디지털로 연결, 데이터 분석에 기반할 수 있도록 하는 통신 및 컴퓨팅 기술(Ramakrishna et al., 2017)
	센서 네트워크 기술, 인공지능(AI), 최적화 역량이 강화된 차세대 제조 패러다임(Ren et al., 2017).
	제조 가치사슬의 모든 구성 요소들이 실시간으로 수직·수평으로 통합, 통신 그리고 협업을 이루어 내는 하나의 공장 시스템. 스마트 공장은 생산, 조달, 서비스를 통합관리 하는 것(이현호, 임춘성, 2018).
	스마트 공장은 ICT와 제조기술이 융합되어 제조 공정의 통합을 통해 생산성 향상과 에너지 절약, 그래서 수익성 증대를 추구하는 공장. 단순히 공장 자동화가 아니고 전 제조 과정을 통합하는 과정(진희승, 2018).
	제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 IT 기술로 통합 하여 최소비용 및 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 공장(중소벤처기업부, 2018).
	디지털 기술을 제조과정의 생산시스템에 적용하는 것으로 정보 활용, 자동화, 모니터링, 센싱, 모델링, 네트워킹 분야에 걸친 다양한 첨단기술들의 활용 가능성을 포함(구본진 외, 2018)
	하나의 공장처럼 실시간 연동·통합되는 생산 체계를 지향함 으로써, 생산성 향상, 에너지 절감, 인간중심의 작업환경 구현과 개인 맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조환경(Lu & Weng, 2018)
출처: 김형철(2019)과 권세인(2019) 자료를 바탕으로 연구 자가 재정리	

정리하면 스마트 공장은 독일 인터스트리 4.0에 핵심 도구로서 가상 물리 시스템 (Cyber Physical System, CPS)과 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 서비스 인터넷(IoS)이 핵심 기술로 활용 되고 있다. 또한 이러한 기술을 활용하여 스마트공장을 운영하기 위한 기능적 구성요소로 애플리케이션(MES, PLM, ERP 등), 플랫폼(빅 데이터 분석, 클라우드 서비스 등), 디바이스/센서(컴포넌트 컨트롤러, 로봇, 스마트센서 등) 등의 여러 주요 기술들이 통합적 유기적으로 연결되어 활용되어 진다. 스마트 공장은 자동화 공장과의 차이가 있으며, 이전 시스템 보다 빠르고 효율적이며, 최저 비용으로 고객의 요구를 충족시키 것을 목표로 하고 있으며 자가 진단 및 인지를 통해 지속적으로 발전하는 지능형 미래 공장으로 볼 수 있다.

그러나 김주희(2018)의 “4차 산업혁명과 독일의 담론, 전략 그리고 제도” 내용을 살펴보면 스마트 공장 수용에 몇 가지 오해가 존재한다고 하였다. 스마트 팩토리는 인터스트리 4.0을 구현하기 위한 하나의 수단으로 생산성 향상과 효율성 향상만을 위한 도구가 아니며, 인력 절감을 위한 자동화의 확대가 아니라는 점이다. 가장 주요한 것은 스마트 공장은 독일에서도 실험 중인 기술로 현재 완벽하게 보급화될 정도로 구축되어 있지 않았다는 것이다. 또한 중·소 제조 기업이 현실적으로 처한 입장에서 보면 현재의 대기업 중심의 산업 구조적인 문제점과 기업 자체의 취약적 요소와 함께 전문 인력의 부족으로 시스템수용이 제대로 이루어지지 못하고 있는 중·소기업으로서는 중·소 제조 기업에 적합한 성공적인 스마트 공장 구축을 위해서는 무엇보다도 현업·현장의 이해와 함께 중소기업에 쉽게 적용할 수 있는 수준별, 맞춤형 적용기술이 필요하다고 빅 데이터의 연구결과로 보고되고 있다(김재성, 2017).

따라서 본 연구에서는 국내 중소제조기업 스마트 공장 구축 운영 기업을 대상으로 운영에 실효성이 있는지 후기 수용모델 이론을 활용하여 연구를 수행 하고자 하였다.

2.1.3. 스마트 공장의 중요성

2.1.3.1. 제조 패러다임의 변화

역사적으로 서양 문명의 제조업 발전과 생산방식의 본격적인 변화 및 전파는 1850년 이후부터 진행되었으며(Parker, 2002), 19세기 이전까지의 공예적 생산 방식(craft production)에서 대량생산(mass production), 대량 고객화(mass customization)를 거쳐 최근에는 개인맞춤형 생산(personalized production) 혹은 대량 개인화(mass personalization)와 같은 새로운 추세로 변화하고 있다(Fogliatto et al., 2012).

Yoram koren(2010)은 시장과 사회의 요구에 따른 제조 패러다임의 변화를 [그림 2-6]의 모형을 통해 설명하고 있다. 첫 번째 패러다임인 ‘공예적 생산방식(craft production)’에서는 고객의 독특한 수요를 충족시키기 위한 측면에서 제품

이 생산되어졌다. 따라서 제품의 다양성 수준은 높지만 제품별 수량은 제한적인 측면에 해당한다. 한편, 체계적인 생산시스템의 부재로 인해 제품의 가격은 상대적으로 높은 시기로 분류되어진/다(Hu, 2013).

1913년, Henry Ford에 의해 소개된 이동식 조립 라인은 규모의 경제를 통한 낮은 가격의 제품을 대량으로 생산하는 새로운 패러다임의 변화를 창출하였다(Pine, 1993). 더 나아가 제품 생산에 요구되는 부품의 상호교환성과 노동의 분업화와 같은 추가 적인 개념의 적용은 대규모 제조에서의 생산성을 향상시키는데 기여하였다(Hermann et al., 2016). 그러나 전용 생산라인(dedicated manufacturing line)을 중심으로한 제조시스템은 제품의 수량을 극적으로 향상시켰으나 제품의 다양성에 대한 수준은 상당히 제한적이었다(Koren, 2010). 또한 생산성만을 극대화하고자 노력했던 대량생산방식은 곧 재고비용과 품질, 관리의 범위(span of control)와 같은 문제점을 초래하였다(Hu, 2013).

한편, 1937년, 일본에서 설립된 Toyota는 제2차 세계대전 이후 부족한 자원의 제약을 해소하고자 전통적인 공예적 생산방식에서의 사고를 포드 생산시스템(Ford Production System, FPS)의 작업표준화 및 이동식 조립라인에 결합시키는 한편, 팀워크 중심의 철학을 기반으로 1950년대 초에 도요타 생산시스템(Toyota Production System, TPS)을 창출함으로써 제조부문에서의 새로운 도약을 이끌었다(Krafcik, 1988). 결과적으로 TPS는 고품질과 높은 생산성을 창출하는 일관된 철학을 기반으로 제조업의 추세를 지배하였으며, 제조 산업에서 TPS를 기반으로 한 생산 및 공급 사슬 운영방식을 추종하는 세계적인 변화를 창출하였다(Krafcik, 1988; Qureshi et al., 2015). 이 후, TPS의 개념은 1984년, Toyota와 GM(General Motors)의 합작투자의 결과로 탄생한 NUMMI(New United Motor Manufacturing Inc.) 공장의 설립을 토대로 하여 공식적으로 미국에 소개되었으며(Shah & Ward, 2007), Womack et al.(1990)의 “The Machine that Changed the World”, Womack & Jones(1996)의 “Lean Thinking”과 같은 두 권의 서적이 출간됨으로써 “린 생산(lean production)”의 개념을 창출하는데 기

여하였다(Zuehlke, 2010). 린 생산방식은 전통적인 대량생산체제로부터 새롭고 성공적인 전환을 이끌어냈으며, 여전히 현대의 제조 산업에서 중요한 부분을 차지하고 있다(Holweg, 2007).

1969년 미국의 자동차 모델이 44개에 불과했던 반면, 2006년에는 165개로 증가한 현상은 당시 대량 고객화의 추세를 잘 반영하고 있다(Wards, 2006). 특히, 단순히 다양한 제품을 선택하던 기존의 수요패턴과는 다르게 개별 고객으로부터 제공 받은 독특한 정보를 반영한 차별적인 제품이 생산되어진다는 점에서 생산방식의 변화가 불가피하게 되었다(Piller et al., 2004; Zipkin, 2001).

21세기에 접어들어 정보통신기술(information communication technology, ICT)의 급격한 발전은 글로벌화를 촉진하였으며(Levy, 2005; Sagi et al., 2004), 이 시기에는 신흥국가의 저임금 노동력을 활용함으로써 비용 측면의 효율성을 달성하기 위해 아웃소싱(outsourcing) 및 오프쇼어링(offshoring)과 같은 전략이 지속적으로 확산되었다(Brennan et al., 2015). 특히, 1995년 혹은 1990년대 말에 태어난 현대의 젊은 소비층인 Z세대는 소셜 미디어(social media), 혹은 사회 관계망 서비스(social network service, SNS)의 활용에 상당히 능숙하며, 대중적인 제품에 대한 고객 충성도를 형성하기보다 개인의 경험에 대한 관심과 높은 기대를 충족시켜 줄 수 있는 것을 더욱 더 선호하는 성향을 지니고 있다(Pirvu & Zamfirescu, 2017). 이러한 고객소비형태의 변화는 고객의 요구를 제품의 설계·생산에 반영하는 단순한 고객화가 아닌 완전히 개인화된(fully personalized) 제품의 수요를 확대시키는 직접적인 계기가 되었으며, 더 나은 기술적 요소를 기반으로 “1 Lot size 1”을 지향하는 완전한 맞춤형 생산방식으로 패러다임이 전환되고 있다(Koren, 2010; Zuehlke, 2010).

또 한 정치·경제 및 산업의 환경 변화 대한 리쇼어링(reshoring) 현상은 최근의 제조환경과 변화의 특징을 잘 나타내고 있다. 1980년대부터 노동비용 측면에서의 경쟁적 우위를 확보하기 위해 해외로의 생산 공장을 이전했던 오프쇼어링은 1973년 오일쇼크로 인한 경제위기를 극복하고자 하는 기업의 돌파구였다

(Carrincazeaux & Coris, 2015; Schoenherr et al., 2008). 무역에 대한 장벽과 제약요인을 해소하고자 하는 국가 간 협력적 의사결정은 오프쇼어링을 통한 신흥 국가들의 경제성장에 기여하는 한편(Ashby, 2016), ICT의 발전에 따른 관련 소프트웨어의 활용은 공급사슬활동을 통합하는데 용이하게 작용함으로써 이러한 오프쇼어링을 더욱 가속화시켰다(Oshri et al., 2015). 저임금 국가로 생산 시설을 이전하는 것은 국내 생산에 비해 조정 및 물류비용 등과 같은 공급사슬 측면에서의 다양한 비용의 증가를 수반한다(Rostamzadeh et al., 2013; Shih, 2014). 제품과 서비스 수익의 80% 이상이 공급사슬의 비용 효율성 측면에서 발생한다는 점을 고려한다면 기업의 생존에 있어서 공급사슬비용은 매우 중요한 역할을 차지한다(Quayle, 2005). 그러나 1990년대 말부터 2000년대 초까지 미국에서 신흥 국가로 오프쇼어링을 했을 때의 경제적인 이익은 현지생산에서의 비용을 훨씬 능가했으며, 결과적으로 노동의 차익거래(labor arbitrage)를 활용한 생산부문의 변화가 폭발적으로 증대되었다(Shih, 2014). 2001년 WTO에 가입한 중국은 전 세계의 생산거점으로 발돋움함으로써 2000년부터 2009년 동안의 수출규모가 약 5배 증가한 1조 2,000억 달러를 달성하는 반면, 미국은 약 600만 명에 달하는 제조인력을 상실하였다(Sirkin et al., 2011). 그러나 최근들어 경제성장에 따른 신흥국가들의 단위당 노동비용에 대한 증가 및 공급사슬의 글로벌 네트워크화에 따른 위험 증대 현상, 제조업이 창출하는 경제적 가치에 대한 파급력이 다른 산업보다 크다는 이점 때문에 오프쇼어링에 대한 추세는 최근 들어 다시 리쇼어링의 추세로 변화하고 있다(Brennan et al., 2015).

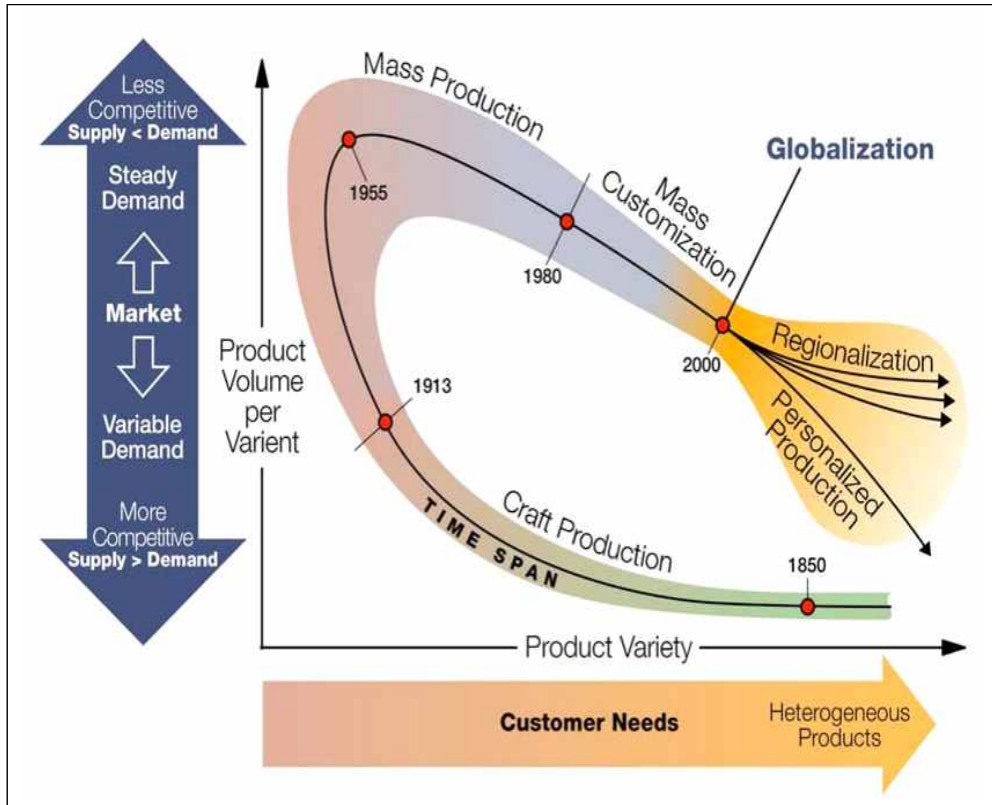
글로벌 금융위기가 초래된 이후 제조업에 대한 관심의 증대는 결과적으로 기업의 생산거점을 모국으로 회귀시키기 위한 정책적 변화를 유발하였다(Vanchan et al., 2018). 최근 위안화의 약세와 생산성 및 에너지 비용의 차이가 나타남에도 불구하고 미국에 비해 중국의 생산성 대비 노동비용에 대한 제조경쟁력 지수는 2004년 14%에서 2016년에는 1% 차이로 크게 감소하였다(Sirkin et al., 2014). 또한 일찍이 모듈생산방식을 활용한 글로벌 소싱을 추구했던 Boeing 787

Dreamliner의 실패사례와(Tang et al., 2009) 효율성 극대화에 주목했던 Toyota로부터 초래된 공급차질사례(Chopra & Sodhi, 2004)는 글로벌 네트워크로부터 확산된 공급사슬의 위험이 글로벌 네트워크화에 따른 위험에 대해 잘 보여주고 있다.

제조업의 경우 Moutray(2016)에 따르면, 제조업은 서비스업을 포함한 다른 주요 산업 부문 중 승수효과(multiplier effect)가 가장 높은 핵심 산업으로서 제조업에 지출되는 1달러는 약 1.81달러의 추가적인 경제효과를 창출하며,제조업 종사자 1인의 고용은 관련 부문에서의 4명의 추가 고용을 창출한다고 언급하였다.

이와 같은 사회적, 문화적, 정치적, 기술적 변화에 대한 제조 패러다임의 변화 추세를 볼 때 가상 물리 시스템을 기반으로 IoT및 IoS, 클라우드 컴퓨팅등의 첨단 기술을 융합하여 구현되는 스마트 팩토리가 대안으로 제시되고 있다.

사물인터넷(internet of things, IoT), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing) 등과 같은 첨단 기술은 개인화된 수요로 인해 증가 한 제품의 다양성 수준을 충족시키는 것을 가능하게 한다(Husejnagić & Sluga, 2015). Yao & Lin(2016)는 스마트 제조(smart manufacturing)가 전통적인 수요예측의 위험성 및 완제품 재고를 감소시킴과 동시에 대량생산의 신속성 및 비용 효율성과 같은 이점을 창출할 수 있다고 주장하였다. Amazon.com의 개인맞춤형 추천시스템과 Apple의 iPhone Apps는 서비스 부문에서 활용되는 첨단기술이 고객의 개인화된 수요를 충족시키는 대표적인 사례라고 볼 수 있다(Zhou & Jiao, 2013). 빠르고 다양하게 변화하는 시장의 수요패턴으로부터 발생하는 불확실성에 신속히 대응하게 위해 기업은 의사결정의 재조정을 필요로 하였으며(Gylling et al., 2015), 오프쇼어링의 과정에서 포기해야만 했던 모국의 높은 품질수준과 숙련된 기술 인력을 다시금 활용할 수 있다는 것이 리쇼어링의 큰 이점으로 작용하였다(Leibl et al., 2011; Müller et al., 2017; Zhai et al., 2016).



[그림 2-6] 종류별 제품 생산량의 변화와 생산방식의 관계

출처: Koren(2010). The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems

2.1.3.2. 글로벌 제조경쟁력

제조업은 산업화 사회에서의 주요한 근간이며, 서비스를 포함한 다양한 부문에서 부와 일자리를 창출한다(Abele et al., 2017). 따라서 글로벌 제조경쟁력은 국가의 현재 및 미래에 지속 가능 성장동력의 핵심이라 말할 수 있다.

특히 우리나라 제조업은 선진국의 기술을 배워 짧은 시간 동안 눈부신 발전을 하였으며, 인적, 물적 자원이 풍부하지 않고 경제성장을 수출에 의존하여야 하는 우리나라로서는 제조업과 산업현장이 빠른 발전을 할 수있었던 원동력이 되었다(김현규, 2019). 하지만 지속되는 원소재의 단가인상과 정체된 생산효율, 한정된 각종 자원들로 인하여 우리 제조업은 차츰 그 경쟁력을 잃어가고 있다(이재준,

2018). 우리나라는 GDP 대비 제조업 부가가치 비중이 30%를 상회하며, 고용유발계수가 높고 주요 경쟁국에 비해서도 제조업 의존 비중이 높은 편이다(김선임, 2018). 세계 최대의 회계법인 중 하나인 Deloitte에서 발표한 주요국 제조업 경쟁력 순위에 따르면 2010년 3위였던 우리나라의 제조업 경쟁력은 최근 세계적인 경제 성장 침체 및 고용불안 요인으로 인하여 2020년에는 6위로 하락할 것으로 예상하고 있다(Deloitte, 2010).

4차 산업혁명의 시초가 된 독일의 Industrie 4.0은 시장수요의 급변, 근로자의 고령화 그리고 저비용 대량생산 시스템을 기반으로 한 중국, 인도 등과의 경쟁 등 자신들이 직면한 현실적 문제에 대한 정확한 인식과 제조업 강국으로서 국제적 경쟁력을 유지하기 위한 방안으로 독일은 자신들의 강점인 기계설비 부문에 사물인터넷을 접목시키는 인터스트리 4.0에서 방안을 찾은 것이다(김경래, 2018).

로봇과 근로자의 협업을 기반으로 한 스마트 팩토리를 통해 낮은 임금을 기반으로 대량의 저가 제품을 제공하는 중국, 인도와 달리 시장에서 높은 품질 그리고 진입장벽이 높은 분야에서 부가가치 창출하고자 하는 것으로, 이는 또한 독일의 산업입지로서의 경쟁력을 높여 리쇼어링을 통한 고용 창출의 효과를 추구하는 것이다(김인숙, 남유선, 2016). 즉 독일은 인터스트리 4.0에 스마트 공장을 글로벌 제조 경쟁력 강화에 주요한 도구로 선택하여 활용하고 있는 것이다.

근래 급격하게 발달한 정보통신기술(ICT)이 제조업에 결합된 4차 산업혁명 시대를 맞아 제조업 강국들은 제조업 스마트화를 통해 다품종 소량생산과 효율 생산을 추구하고 있는 것으로 나타나고 있다(인터스트리뉴스, 2018). 21세기초 제조생산공정에 컴퓨터 및 로봇, 설비 자동화 기술을 수용하여 혁신을 추구했던 공장자동화가 최근에는 디지털 혁신기술과 결합되어 스마트 공장으로 진화되고 있는 것이다.

미국은 1980년대부터 산학협력(university-industry collaboration)에 대한 중요성을 꾸준히 강조해왔으며(Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Siegel et al.,

2003) 이를 기반으로 세계적인 R&D 역량과 규모를 확보하고 있다. 중국은 상대적으로 부족한 기술력과 노동비용의 증대현상을 해소하기 위해 R&D 지출을 지속적으로 확대하고 있으며, 세계적인 로봇 시장으로 발돋움 하고 있다(IFR, 2016). 일본은 지리적으로 인접한 중국의 성장과 한국의 혁신역량으로부터 제조 부문에서 세계적인 입지를 유지하였던 과거의 영광을 되찾기 위해 첨단제조기술을 중심으로 한 전폭적인 정책적 지원을 실시하고 있다(Wallace, 2017; Yasunaga et al., 2009).

국내에서도 4차 산업혁명의 첨단 기술 도입 및 육성하기 위해 다양한 정부 정책을 추진 중이다. 독일의 인더스트리 4.0을 기반으로 스마트 공장 보급사업을 진행중이며, 과학기술 및 ICT 기술을 근간으로 새로운 산업 발굴과 고용창출을 위한 ‘미래성장동력 종합실천계획’을 추진중이다. 또 한 가상현실(VR), 중소 벤처 기업기업 투자 활성화 방안 등을 추진하고 있다.

한국표준협회(2016a)는 스마트 팩토리를 “전통 제조산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT 기술로 통합, 최소 비용, 시간으로 고객맞춤형 제품 생산을 지향하는 공장으로 생산성 향상,에너지 절감, 인간중심의 작업환경이 구현되고, 개인맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조환경에 능동적 대응이 가능한 공장”으로 정의하였다.

현재 제조 선진국과 글로벌 기업들은 제조 패러다임 변화에 발빠르게 대응하고 있으며 제조경쟁력 우위를 유지하고 지속적 발전 가능 역량을 강화하기 위해 인더스트리 4.0의 스마트 팩토리 도입 및 첨단 산업 육성을 정책적으로 추진하고 있다고 보여 진다. 따라서 본연구에서는 국내 중소 제조기업들의 스마트 공장 구축내용 등이 고객맞춤 생산 및 제조 경쟁력 향상에 기여하는지 살펴보고자 한다.

2.2. 스마트 공장 추진 현황

2.2.1. 주요 선진국의 스마트 공장 현황

2.2.1.1. 독일의 Industrie 4.0 과 RAMI 4.0

독일 연방 정부는 지속 가능한 경제성장, 일자리 창출, 기후변화 및 고령화 그리고 제조업의 경쟁력 강화를 위하여 첨단기술전략(High-Tech Strategy for Germany)을 2006년부터 2018년 ‘하이테크전략 2025’까지 4차례 개정을 거쳐 발표하면서, 산업의 디지털 전환과 혁신정책 기본방향을 제시하고 있다(이주석, 김승연, 2018). 연방경제에너지부(BMWi)는 이 하이테크 전략의 구체적인 실행을 위해 2012년 ‘인더스트리 4.0’을 포함한, 2014년 ‘스마트 서비스 벨트’, 2016년 ‘디지털 전략 2025’을 [표 2-7]과 같이 발표 하였다.

[표 2-7] 독일 혁신전략 및 실행 계획

구분		주요내용
혁신전략 (연방고 육연구부)	하이테크전략 (2006년)	-최초의 범부처 연구개발혁신 포괄 전략 -혁신과 산업 경쟁력 강화 -혁신 정책설정 및 범부처차원의 공통목표설정
	하이테크전략2020 (2010년)	-독일의 과학 기술 역할강조 -전략 대상 구체화: 목적 달성을 중시하는 임무 지향성 강조 -5대 중점 과제 및 10대 프로젝트 발표
	하이테크전략2020 실행계획(2012년)	-10대 프로젝트 개발 최종 확정 -10대 미래프로젝트 + 인더스트리4.0포함
	신하이테크전략 (2014년)	-2015년 이후의 과학기술 혁신정책의 기본방향 제시 -혁신 파급력이 높은 6대 우선과제 육성, 산-학 협력강화, 창업지원 등 중소기업 역량강화 추진 (지속가능한 경제/에너지, 혁신적 일터, 건강한 삶, 지능형 이동성, 시민사회 보안)
	하이테크 전략2025 (2018년)	-다양한 정책 분야 간 협력 강화 (주요 사회과제 해결, 미래역량강화, 개방형 혁신 및 벤처 문화조성)
실행계획 (연방경 제에너지 부)	인더스트리 4.0 (2012년)	-기존 제조업 가치사슬에 ICT 기술 결합 -제조업의 스마트화 및 서비스화를 통한 새로운 비즈니스모델창출
	스마트 서비스 벨트(2014년)	-인더스트리 4.0 기반으로, 사물 인터넷을 확대-적용하여 세계 인프 라 시장 주도 -중소기업 중심이 업종간 융합-연계를 통한 새로운 서비스와 부가 가치를 창출
	디지털 전략 2025 (2016년)	-디지털 경제로의 이행 촉진을 위한 영역별 정책목표 제시 -디지털화의 10대 주요 이슈에 대한 정책적 목표와 우선순위 설정

출처: 이상근(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

총리의 임기에 따라 4년마다 개정하는 하이테크 전략은, 최근 2018년에 네 번째로 발표된 ‘하이테크전략 2025’에서 다양한 정책 분야 간 협력을 강화하고, 주요 사회과제 해결, 미래역량 강화, 개방혁신 및 벤처문화 확립이라는 3대 실행 분야를 선정하고 이행방안을 제시하였다(이상근, 2019). 이를 통해 독일정부는 경제의 가치사슬 발전뿐만 아니라 기존 시장의 판도를 뒤집을 수 있는 파격적인 ‘독일산(Made in Germany)’ 제품과 서비스 창출의 기회를 확보하고, 인구구조 변화, 디지털 시대로의 전환, 지속 가능한 경제발전, 에너지 공급, 기후변화 문제 심화 등 미래 리스크 최소화를 위한 혁신적 해결방안을 개발하고 하고 있다(BMBF, 2014).

하이테크 전략의 실행 계획중 하나인 인더스트리 4.0을 2012년 발표하면서 기존의 체계를 디지털 경제와 연계시키려 하고 있다. 이후 독일정보통신협회, 독일기계산업협회, 독일전기전자산업협회를 주축으로 4차 산업혁명의 조정과 부문 간 교차 접근을 보장하는 한편, 협의체의 발전을 위한 관점에서 2013년에 개최된 하노버 박람회(Hanovor Messe Fair)를 통해 공식적으로 발표되었다(Kagermann et al, 2013). 독일의 ‘인더스트리 4.0’ 전략 목표는 먼저, 제조업 4.0 시장 선도를 위해 전통 제조업 분야에 스마트 공장을 실현하는 것으로, 스마트 공장은 공장 설계부터 최적 생산과 생산제품의 유통등 물류까지 포함하여 최적화된 생산 플랫폼인 가상 물리 시스템(CPS)을 기반으로 한다(이상근, 2019). 그러나 초기의 인더스트리 4.0은 기대와 달리 표준화에 대한 합의의 지연 및 IT 보안 및 데이터 거버넌스 문제로 인한 상용화의 어려움, 제품/기술 중심적 사고와 중소기업의 인식 부재, 변화에 요구되는 적합한 인력의 부재와 같은 이유에 기인하여 구체적인 진행과정 및 성과의 비가시화등에 따른 불투명한 성공 가능성이 제기되면서 큰 비판을 받았다(임재현, 2015).

이에 대하여 독일은 초기 연구 및 이론을 중심으로 한 인더스트리 4.0의 접근방식에 대한 보완적 차원에서 2015년 4월, 독일의 BMWi(연방 경제 에너지부)와 BMBF(연방 교육 연구부)를 주축으로 정부 주도의 형태에 기반한 플랫폼 인더스트리 4.0(Plattfrom Industrie 4.0)을 새롭게 시작하였다(이상동, 2015; 임재현, 2015). Plattfrom Industrie 4.0의 대표성과는 다음 [표 2-8]과

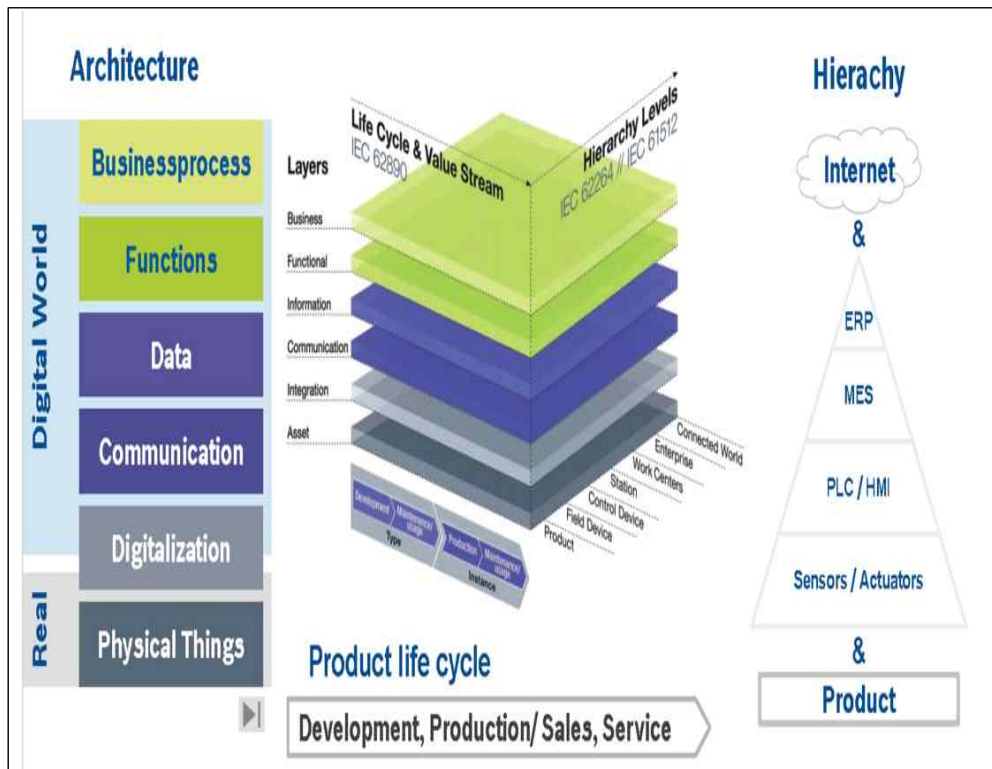
같다.

[표 2-8] Plattform Industrie 4.0의 대표성과

년도	주요내용
2015년 4월	4차 산업혁명 기술 구성 요소를 모아 레퍼런스 아키텍처를 구성한 RAMI 4.0(Reference architecture model for Industry 4.0) 개발 및 발표
2016년 1월	인간-기계 상호작용, 통신, IT 보안에 중점을 둔 4차 산업혁명 표준화 로드맵 개정
	강소기업과 중간기업 혁신을 주도하는 Mittelstand 4.0 이니셔티브 개발 및 11개 역량센터 설립을 통해 4차 산업 혁명에 대한 강소기업과 중간기업의 인신 개선, 참여 지원, 솔루션 제공
2017년 3월	고용훈련 평생교육 워킹 그룹이 4차 산업혁명 관련 기업 내 직업 교육훈련 사례 및 권고사항 발간
2017년 4월	기업과 연구기관의 4차 산업혁명 유스 케이스 280건 제공

출처: 배정환(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

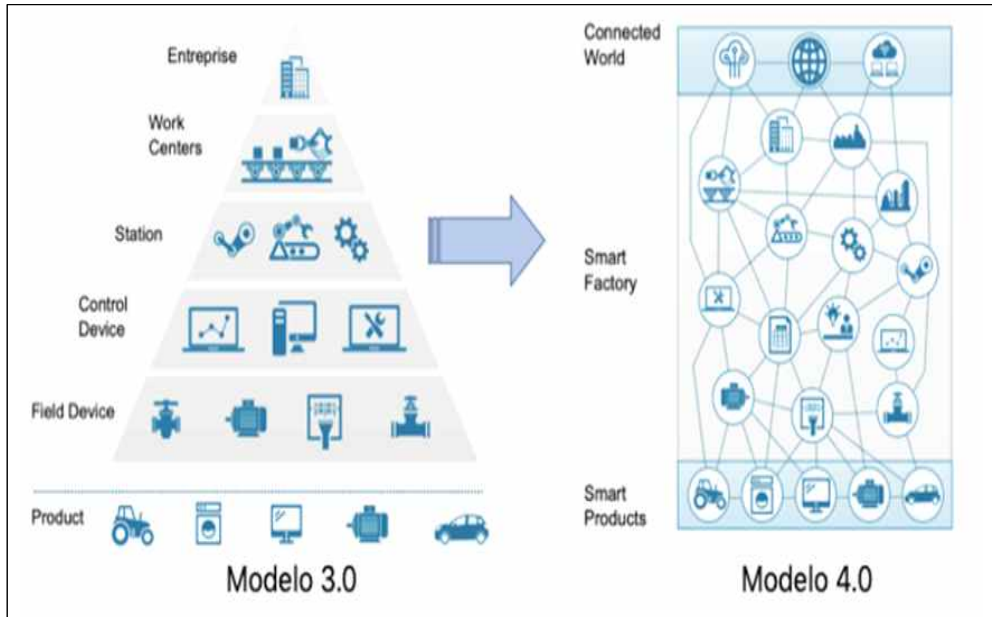
대표 성과중에 하나인 참조 아키텍처 모델(Reference Architecture Model Industrie 4.0: RAMI 4.0)은 사물 간의 통신, 인간과 사물 간의 통신을 위해서 표준화된 규약과 인터페이스가 필요한데, 이를 위해서 만들어진 결과가 RAMI 4.0 이다(김은, 2017). 다시 말하면, 인더스트리 4.0 의 구현을 위하여 만든 참조 아키텍처 모델이 [그림 2-7]의 RAMI 4.0 이다(Adolphs et al., 2015). RAMI4.0은 3차원으로 4차 산업의 구성요소들에 대해 Z축은 구성 요소의 계층(계층구조 수준, hierarchy level)을, X축은 구성요소의 라이프 사이클과 가치사슬의 흐름(life cycle & value stream)을, Y축은 비즈니스 또는 공장에서의 유무형 구성요소의 계층(layer)을 나타낸다(Lydon, 2016; Zezulka et al., 2016).



[그림 2-7] 4차 산업의 참조 구조모델 (RAMI4.0)

출처: Thoben et al. (2017). "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples.

계층 레벨(Hierarchy Level)축은 공장 또는 시설 내에 다른 기능요소를 대표하며 7개의 개별 레벨로 구성, 제품, 필드 디바이스, 제어 디바이스, 스테이션, 워크센터, 엔터프라이즈, 커넥티드 월드로 구성된다(Wang et al., 2016b). 이전 자동화 공장계층 구조와 RAMI 4.0에서 제시하는 계층구조는 [그림 2-8]과 같은 차이를 보인다. 반대로 말하면 이전 자동화 공장의 하드웨어 기반구조 및, 상/하향 계층의 제한된 커뮤니케이션 구조를 상호 네트워크 커뮤니케이션 및 협업체계를 갖추면 플랫폼 인더스트리4.0에서 요구하는 유연한 시스템과 설비, 네트워크를 통한 기능의 분산화, 모든 구성요소들의 커뮤니케이션이 가능한 공장으로 변화가 가능할 것이라 예측 된다.



[그림 2-8] 자동화 공장과 스마트 공장의 계층 구조

출처: Hankel et al. (2015). The reference architectural model industrie 4.0(rami 4.0).

라이프 사이클 및 가치흐름 축은 시설 또는 제품의 라이프 사이클을 나타내며, 크게 제품의 설계 또는 프로토타입 개발 단계에 해당하는 타입, 실제 제조공정을 실행하는 인스턴스로 구분된다(김은, 2017). 설계와 프로토타입이 완료되고, 실제로 제품이 만들어지면 타입이 인스턴스가 된다(Wang et al., 2016b). 가치흐름은 제품에 대한 고객의 요구사항 수집부터 설계, 생산, 유지보수에 이르기까지 유기적으로 모든 정보를 교환하고 공유하는 인터페이스를 의미한다(김은, 2017).

기능 계층 아키텍처(Functional Layers) 축은 서비스 지향 시스템을 IT 관점으로 분해한 축이며, 각 층은 독립적인 역할을 담당하고 각 층 간에는 느슨한 결합이 존재하며, 동일층 또는 인접 층 간에는 이벤트에 의해서 정보 교환이 가능하다(김은, 2017). 구체적인 내용은 아래와 같다.

- 자산 계층(Asset Layer): 로봇, 컨테이너 벨트, PLC, 문서, 아카이브 등의 물리적인 요소뿐만 아니라 소프트웨어, 아이디어 등의 비 물리적 요소를 포함하는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016)

- 통합 계층(Integration Layer): 물리적 요소에 대한 프로세스가 디지털

처리가 가능하도록 센서, HMI(Human-Machine Interface), 컴퓨터 제어를 통해서 정보를 제공하는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016)

- 통신 계층(Communication Layer): 사전 정의되고 통일된 데이터 포맷과 프로토콜을 사용하여 통신 표준화하는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016)

- 정보 계층(Information Layer): 데이터를 수집, 처리, 통합하여 유용한 정보로 전환하는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016)

- 기능 계층(Functional Layer): 형식화된 기능을 제공하는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016)

- 비즈니스 계층(Business Layer): 비즈니스 모델과의 맵핑, 다른 비즈니스 프로세스 간의 링크가 이루어지는 계층(Rojko, 2017; Zezulka et al., 2016).

독일은 이와같이 체계적이고 고도화된 전략 및 정책으로 스마트 공장을 적극적으로 육성 발전시키고 있으며, 지속적인 투자확대를 통한 4차 산업혁명 첨단 기술 시장을 선도하고자 노력하고 있다. 2013년 독일의 인터스트리 4.0에 대한 투자규모는 3억 2천만 유로에서 2020년 26억 2천만 유로로 꾸준히 증가하는 추세를 보일 것으로 예측되어지고 있다(Statista, 2018).

2.2.1.2. 미국의 제조혁신

미국의 4차 산업혁명과 관련된 추진전략은 크게 정부와 대기업에 대한 전략과 중소기업 및 개인의 장점을 활용하여 혁신에 참여하도록 하는 전략, 두 가지로 나누어 볼수 있으며. 주요 제조업 강화 정책은 [표 2-9]와 같다.

정부 주도 제조혁신 전략인 산업 인터넷 콘소시엄(Industrial Internet Consortium, IIC)은 업계와 연구기관이 참여하여 표준화를 주도하는 인터스트리 4.0과 달리, IIC는 GE 와 삼성을 포함한 220개의 참여기업이 주도하고 있다(전은경, 2017). IoT, 스마트 제조를 위한 기술혁신뿐만 아니라 서비스 부문을 포함한 신규 비즈니스 모델을 발굴하는 시장 주도적인 접근법을 보이는 한편(중소벤처기업부, 2018), 산업 간 IoT의 상호운용성을 위한 표준 제정에 앞장서고 있다(임명성, 2016). 정부는 성공률이 낮지만 파급 효과가 큰 연

구과제에 집중하며, 스마트 공장의 확산은 민간이 자발적으로 플랫폼을 구축하고 개별 기업이 각각의 장점을 살리며 혁신에 참여하도록 유도하고 있다(박재성, 강재원, 2020).

또한 첨단 제조 파트너십(Advanced Manufacturing Partnership, AMP)을 통해 산·학·연 연계협력을 통한 첨단기술 부문에서의 R&D를 강화하는 한편, 제조설비 및 인프라의 공유체계 구축 등 제조부문의 종합적 개선을 목표로 4차 산업혁명에 대응하고 있다(중소벤처기업부, 2018).

[표 2-9] 미국 주요 제조업 강화정책

발표 시기	주요 내용
2011년 6월	대통령 과학 기술 자문 위원회에서 정부와 산학연이 협력하는 첨단 제조 파트너십(AMP) 제안
2012년 7월	첨단 제조업에서의 경쟁우위 획득에 관한 대통령 보고(Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing) 발표
2013년 1월	국가 제조업 혁신 네트워크 초안(The National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design) 발표
2013년 9월	신기술 분야에서 고급 제조업 일자리 창출과 미국의 국제 경쟁력 제고를 목표로 하는 AMP 2.0 발표
2014년 12월	첨단기술국가사업사무처의 인가와 제조혁신연구소의 연구주제 공개 경쟁(open-topic competition)을 내용으로 하는 미국 제조업 혁신 재활성화 법(RAMI) 제정
2015년 2월	2015년 연례 보고서 및 제1차 3개년 계획 발표

출처: 박재성과 강재원(2020)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

2012년 발표된 첨단제조업 국가 기술전략의 구체적인 목적은 Manufacturing USA로 불리는 국가 제조혁신 네트워크, NNMI(National Network for Manufacturing Innovation)의 설립을 통해 전개·달성 되어졌다(이장균, 2012; 중소벤처기업부, 2018).

NNMI는 산·학·연의 체계적인 연계를 기반으로 “미국의 첨단 제조 부문의 글로벌 리더십 확보”를 비전으로 하고 구체적인 목표를 달성하고자 수립되었다(한국산업기술진흥원, 2016b). 제조경쟁력 강화 및 기술개발 촉진, 제조인

력의 역량 강화, 인프라의 안정성 및 지속가능성과 같은 네 가지 목표는 상호 연계성을 지니고 있으며, 자국 내 제조기업의 경쟁력을 위해 첨단기술의 개발 및 상용화를 지원하고 인력양성을 도모할 수 있도록 허브 역할을 수행하는 제조혁신연구소(Manufacturing Innovation Initiatives)를 산·학·연 공동출자 파트너십의 형태로 운영하고 있다(한국산업기술진흥원, 2016b).

이 제조혁신연구소(Manufacturing Innovation Institute, MII)는 특정 연구 분야를 중심으로 상업화 가능한 기술혁신을 촉진하는 것이 특징으로 광범위한 응용 프로그램과 산업 관련 제조기술에 투자하여 혁신을 가속화하고 연구실과 시장 사이의 격차를 줄여 제조기술을 상용화에 중점을 두고 있다(박재성, 강재원, 2020).

현재 미국은 IT 기술은 수준급인데 비해 제조공장은 주로 해외에 있어 정부는 리쇼어링 정책을 포함한 제조업 회귀·육성 정책을 추진하였으며 이를 통한 제조업 르네상스 운동을 전개하면서 제조업 경쟁력을 강화하고 있다(박종식, 강경식, 2017).

2.2.1.3. 일본의 재흥 전략과 로봇 전략

일본은 2010년 ‘신 성장전략’과 2012년의 ‘일본 재생전략’을 수정 및 발전시켜 2013년 6월에 ‘일본 재흥전략’을 발표하였다(최해옥 외, 2017). 한편, 2016년 6월에 개정된 일본재흥전략 2016에서 본격적으로 4차 산업혁명과 관련한 국가 차원의 전략이 마련되었으며(최해옥 외, 2017), 앞선 독일과 미국과는 차별적인 관점에서 산업기술뿐만 아니라 경제·사회시스템을 구축·고도화하는데 초점을 둔 일본 특유의 접근법을 채택하고 있다(현대경제연구원, 2017). 연구개발 투자 부진, 설비투자 감소, 비즈니스 모델 한계, 경영자원 효율성 저하와 같이 여러 가지 문제 해결을 위한 ‘일본재흥전략’ 중 하나인 ‘일본 산업재흥플랜’을 기반으로 한 산업구조 혁신에 나섰다(이정아, 김영훈, 2014).

한편 4차 산업혁명에 대응하기 위해 일본은 다른 국가보다 경쟁우위에 있는 로봇 기술을 활용하기로 하였으며, 산업 가치 사슬망 연합회(IVI)와 로봇 혁명 실현연합회(RRI)를 창립하여 공장마다 운영되는 설비 간에 데이터 전송

이 가능한 기술표준을 개발하고, 로봇 혁명을 통해 4차 산업혁명을 추진하기 위해 산·학·관이 적극 협력하고 있다(장원중 외, 2018).

그러나 일본은 2015년 1월에 수립된 ‘로봇신전략’을 통해 4차 산업혁명을 주도한 기술적 기틀을 마련하고자 하였으나 비즈니스 모델의 적용과 사회의 근본적 변화를 모색하기 어렵다는 한계점에 입각하여 IoT, 빅 데이터, AI 등과 같은 신규 기술을 추가한 새로운 전략을 구축하였다(권세인, 2019).

이러한 내용을 기반으로 2020년까지 GDP 600조 엔 달성을 목표로 한 성장전략을 통해 4차 산업혁명의 실현을 제시하였으며, IoT, 빅 데이터, AI, 로봇 등의 첨단기술부문에 30조 엔 이상의 부가가치를 창출하겠다고 선언하였다(안창현, 하윤금, 2018).

대표적인 우수사례는 미쓰비시전기(에너지 전기, 자동화 시스템, 전자 장비) 제조전문 기업으로 e-Factory개발과 데이터베이스화를 통한 이력관리 및 시각화, 지능형 로봇, 셀생산방식 도입을 통해 다품종 소량생산에 적합한 유연한 생산공정의 개선을 진행하였고, 그 결과 높은 수준의 제조기술과 빠른 시장대응 능력을 통해 생산성이 향상되었고 생산제품의 다변화를 추구하고 있다(민성희, 2018).

일본은 4차 산업혁명에 대한 인식이 상대적으로 낮은 한편, 낡은 기계·설비를 유지하는 등의 전통을 고수하는 일본 중소기업의 경향에 기인하여 정책방향의 수립 시기가 다소 늦은 점이 있으나 최근 4차 산업혁명에 대한 적극성을 보이고 있는 추세에 있다(중소벤처기업부, 2018).

2.2.1.4. 중국의 제조 2025

2000년대 초부터 지난 2011년까지 제조업 원가 경쟁력 원천인 저임금, 소품종 다량 생산을 통해 연평균 10% 이상 양적 성장을 이룩하던 중국은 제조업 임금 상승 및 인도, 베트남 등 신흥시장의 급격한 성장으로 2014년 7.4%로 성장률이 하락 하였으며, 최근 2019년 경제성장률은 6.1%로 29년 만에 최저치를 기록하였다. 이에 대하여 중국정부는 양적성장에서 질적성장으로의 제조강국 도약을 위한 정부주도하에 새로운 변화를 시도하고 있다.

2015년 5월, ‘중국제조 2025’를 발표함으로써 2025년까지 제조 강국으로

의 진입을 목표로 하고 있으며, 제조업의 특정 분야에 초점을 둔 지역적인 접근법이 아닌 제조업 전체를 아우르는 광범위한 개혁을 기반으로 다음과 같이 10년 주기의 3단계 중·장기계획을 통해 제조 산업의 고도화를 추진하고 있다(강지연, 2015; 중소벤처기업부, 2018).

1단계 계획은 2015년부터 2025년까지 세계 제조업 수준을 독일 및 일본 수준으로 진입하는 것을 목표로 하고 있으며, 2단계는 2025년부터 2035년까지 독일과 일본을 압도하겠다는 것이 목표이다. 최종 3단계는 2045년 까지 미국을 넘어 세계 제조 1위가 되겠다는 것이 최종 계획이다.

현재 중국은 2020년까지 제조업 부문에서 IT 경쟁력을 개선하는 한편, 2025년까지는 노동생산성의 향상과 제조와 IT의 융합, 에너지 소모 및 오염 배출 절감 등과 같은 환경적 이슈를 해소하는 측면에 집중하고 있다(강지연, 2015).

한편 중국은 제조 2025에 4차 산업 대응을 위해 10대 중점 산업전략과 5대 프로젝트를 [표 2-10]과 같이 제시하고 실행중에 있다.

[표 2-10] 중국제조 2025 10대 산업전략과 5대 프로젝트

구분	구분	세부내용
10대 중점 전략	차세대 정보 기술	반도체, IT 설비, OS 및 공업용 S/W
	고급 수치제어 공작기계 및 로봇	고급 NC 공작기계, 로봇(공업용, 특수, 서비스 등)
	항공우주 설비	항공(대형·간선 항공기, 무인기 등), 우주(로켓, 위성 등)
	해양 엔지니어 설비 및 첨단선박	해양 설비(해양탐사, 자원개발 등), 선박(크루즈, 천연가스 등)
	선진 궤도 교통설비	신소재, 신기술, 신가공 응용, 안전관리, 제품 경량화 및 모듈화
	에너지절약 및 신에너지 자동차	전기, 저탄소 자동차, 핵심기술(고효율 내연기관, 스마트제어 등)
	전력 설비	고효율 석탄 전력 정화, 수력·원자력 발전, 신재생 에너지 등
	농업 기계장비	첨단 농기구 및 관련 핵심부품
	신소재	특수금속, 고성능 구조재료, 기능성 고분자재료 등
	바이오의약 및 고성능 의료기기	바이오의약(신약, 중증 질병치료 등), 첨단의료(로봇, 3D프린터 등)
5대 프로	제조혁신능력센터 건설	산업 기초 및 R&D 성과물의 상업화, 인재개발 등

섹트	스마트 제조	제조 공정의 스마트화 및 로봇대체, 디지털화, 공급 사슬 최적화 등
	공업기반 강화	부품, 선진공법 등의 사용지원, 2025년까지 부품의 70% 국산화
	친환경 제조	친환경 생산수준 제고계획, 친환경기술 개선, 친환경 시험단지 설립 등
	첨단 설비	항공, 교통, 해양 부문을 중점으로 한 첨단기술설비 도입 및 혁신

출처: 권세인(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

2.2.2. 국내 스마트 공장 현황

국내의 스마트 공장 도입 논의는 독일의 인터스트리 4.0에 대한 벤치마크 필요성을 제기하는 논의에서 시작하였다(박재성, 강재원, 2020). 한국의 제조업은 내적으로 노동인구 고령화 및 생산성 정체, 노동임금의 지속적인 상승등 어려움을 겪고 있으며 중국의 급격한 성장, 일본의 장기적인 엔저현상과 더불어 제조패러다임 환경변화에 대한 주요 신진국들의 제조업강화 정책 추진등 외부환경 변화에 대응하기 위해 제조업의 구조적인 혁신 및 발전이 필요한 상황이다. 한국 정부는 제조업 강국인 독일의 인터스트리 4.0 주요성과에 주목을 하였으며 2014년 6월, “제조업 혁신 3.0”에 대한 전략을 발표하였다. 기본 방향은 IT/SW융합을 통한 제조업의 신부가가치 창출 및 경쟁우위 확보와 정부가 기업이 제조혁신을 주도할수 있는 환경을 조성하는 것이었다. 또한 융합형 신제조업 창출, 주력산업 핵심역량 강화, 제조혁신기반 고도화의 3대 전략을 수립하였으며, IT/SW 기반공정혁신, 융합 성장동력 창출, 소재·부품 주도권 확보, 제조업의 소프트파워강화, 수요맞춤형 인력·입지 공급, 동북아 R&D 허브도약에 6개 과제를 선정하였다.

이후 2015년 3월 [그림 2-9]와 같이 4대 추진 방향 및 13대 추진 과제를 기반으로 하는 ‘제조 3.0 전략 실행대책’을 발표하고 2017년까지 24조 원규모의 예산을 투자할 것을 명시하였다(산업통상자원부, 2015). 특히 정부는 제조업의 부가가치 제고 및 성장 동력화 추진을 위해 스마트 팩토리의 고도화 및 확산을 제조업 혁신 3.0의 핵심 정책 중 하나로 제시하였다(중소벤처기업부, 2018). 2020년까지 스마트 팩토리 1만 개 보급·확산을 통해 20인 이상의

중소·중견 기업의 1/3을 스마트화 하는 한편, 2017년까지 스마트 팩토리의 고도화된 융합에 요구되는 8대 기술(CPS, 에너지절감, 스마트센서, 3D 프린팅, IoT, 클라우드, 빅 데이터, 홀로그램)의 개발 강화를 위한 1조 원 규모의 민·관 R&D 협력을 추진하였다(최동학, 2018).

제조업 혁신 3.0은 기업이 제조업 혁신을 주도할 수 있도록 정부차원에서의 환경을 조성하는데 주력하고 있으며, 이에 따라 정부와 민간 부문의 공동 협의체인 “민관 합동 스마트 공장 추진단”을 2015년 7월에 설립하고 민간 역량을 중심으로 하는 스마트 팩토리 보급·확산 정책을 시행하고 있다(중소벤처기업부, 2018).

목표	제조업의 창조경제 구현
기본 방향	① 제조업과 IT의 고도화된 융합을 통해 생산현장, 제품, 지역산업 생태계를 근본적으로 혁신 ② 성공사례를 조기 창출하여 제조업 전반으로 확산
제조업의 스마트 혁신 촉진	
4대 추진방향	13대 세부 추진과제
1. 스마트 생산방식 확산	① 스마트공장 보급·확산 ② 8대 스마트 제조기술 개발 ③ 제조업 소프트웨어 강화 ④ 생산설비 고도화 투자 촉진
2. 창조경제 대표 신산업 창출	① 스마트 융합제품 조기 가시화 ② 30대 지능형 소재·부품 개발 및 사업화 ③ 민간 R&D 및 실증 투자 촉진
3. 지역 제조업의 스마트 혁신	① 창조경제혁신센터를 통한 제조업 창업 활성화 ② 지역 거점 산업단지의 스마트화 ③ 지역별 특화 스마트 신산업 육성
4. 사업재편 촉진 및 혁신기반 조성	① 기업의 자발적 사업재편 촉진 ② 융합신제품 규제시스템 개선 ③ 제조업 혁신을 뒷받침하는 선제적 인력 양성

[그림 2-9] 제조혁신 3.0 실행대책

출처: 중소벤처기업부(2018). 중소기업 기술로드맵 2018-2020: 스마트 공장.

그러나 스마트 공장 보급확산 정부 지원사업 수혜기업중 70%이상이 기초 단계 수준에 머물러 있으며, IoT를 활용하는 중간 2수준에 고도화가 준비된 스마트 공장 구축은 저조한 것으로 나타나고 있다. 또한 공급업체들도 선진국 대비 MES(Manufacturing Executive System; 제조실행시스템), SCM(Supply Chain Management: 가치사슬 관리)등 소프트웨어 기술은 상대적으로 격차가 적으나 센서, 로봇 등 하드웨어는 해외 선진업체 대비 40%수준으로 격차가 큰 것으로 조사되고 있으며, 스마트 공장 수요 공급기업 모두 전문 인력 확보에 애로를 겪고 있는 것으로 조사되었다(산업통상자원부, 2017).

이에 따라 정부는 업종·수준에 따른 다양한 모델공장을 구축하고 각 특성에 적합한 가치사슬 전반의 스마트화를 추진하고자 노력하고 있으며(산업통상자원부, 2017), 2017년 4월 발표된 “스마트 제조혁신 비전 2025”을 통해 향후 2025년까지 스마트 팩토리 3만 개의 누적 보급·확산 및 관련 전문 인력 4만명 양성, 스마트 팩토리의 고도화 수준 향상을 목표로 하고 있다(중소벤처기업부, 2018).

2.2.3. 중소기업 스마트 공장

독일의 Schröder(2016)는 ‘중소기업을 위한 Industry 4.0의 과제’ 연구에서 스마트 팩토리 도입시 기업규모에 따른 차이가 있을 것이라 가정을 하고 자원의 부족 및 디지털 전략의 부재, 표준의 결여, 데이터 보안 인식 부족 등의 제약 요인들을 구분하여 연구하였다.

연구 결과, 중소기업은 아직 자체적인 자원 및 인프라 부족으로 빅 데이터와 클라우드 시스템 구축이 완벽하지 못하며, 대기업에 비해 인터스트리 4.0 구축전략이 부족함을 확인하였다. 또한 시스템 공급기업의 일반적인 표준을 수용하다 보니 기업간 네트워크 표준과 기준이 달라 외부의 가치사슬 통합에 제약을 받는 것으로 나타났다.

이러한 문제의 개선안으로 Schröder(2016)는 내부 인프라 역량의 지속적인 교육과 중소기업을 위한 ICT 정부 지원 정책 강화를 언급하였다.

또한 네덜란드 철강 산업의 제조 중소기업을 대상으로 실시한

Nieuwenhuize(2016)의 스마트 제조 연구에서는 중소기업의 기술적 한계 및 신뢰부족, 인식부족, 산업표준의 결여를 제약 요인으로 연구하였다.

연구결과 중소기업은 스마트 제조 기술 및 인식이 부족한 것으로 나타났으며 이러한 현상은 현장 자동화 수준에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2015년 독일연방경제에너지부의 발표자료에 의하면 중소기업은 대기업에 비해 스마트 공장을 포함한 인터스트리 4.0 추진을 위한 기본요소인 자원, IT 인프라, 프로세스, 생산기술/장비 측면에서 모두 열위에 있는 것으로 나타났다(권준화, 이성봉, 2016).

앞선 연구 결과와 국내 상황도 크게 다르지 않다. 지경철(2020)에 따르면 [표 2-11]과 같이 대기업에 비해 중소기업은 열악한 경영환경에 놓여 있으며, OECD(2018) 보고서에서는 국내 중소기업의 생산성은 대기업의 30% 수준으로 나타났다.

혁신기술 수용은 기업 체계의 변화와 자본의 소요, 시간적인 노력, 그리고 새로운 기술에 대한 교육을 받을 자세가 갖춰진 인력 등 많은 자원이 소요될 것을 고려해야 한다(정재은, 2019). 따라서 생산성 및 유연성향을 위한 자체적인 스마트 공장구현에 어려움이 있는 상황이다.

[표 2-11] 대기업과 중소기업의 경영환경 비교

구분	대기업	중소기업
운영체계	-체계적 -광범위 -선진시스템	-산발적 -세부적 -전통 시스템
업무관리	-이직 소수 -1인 1역 -예방관리 -비용관리 -전산화 관리 -보이는 관리	-이직 다수 -1인 다역 -사후관리 -지표관리 -수동관리 -숨겨진 관리
재무상태	-자금 여유 -투자 가능	-자금 부족 -투자 어려움

출처:김현득(2020)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

한국의 스마트 공장과 관련된 혁신과 변화는 대기업과 대기업에 관련된 1~2차 하청기업을 중심으로 진행되고 있으며, 중소, 중견기업으로 점차 범위가 확대되고는 있으나 대기업과의 기술수준 및 정보화 격차는 지속해서 벌어지고 있다(정선양 외, 2016). 정선양 외(2016)은 이러한 현황에 대한 해결점으로 중소기업이 스마트 공장을 보다 적극적으로 수용하기 위한 표준화 전략 및 확산 방안을 도출 하기위한 시사점을 제시하고자 하였다.

제조혁신 3.0 정책을 통한 스마트 공장 보급에 있어 정부 공급자의 방향과 타이밍에도 불구하고 민간 수요자의 기술 및 시스템 개발 투자 시점의 차이 혹은 규모의 차이가 발생할 수 있다(박종만, 2015). 김은영과 박문수(2018)는 지역 대기업에 비행 열악한 환경은 중소기업 상황에서 제조혁신을 수용하기에는 한계점이 있음을 제시하고 스마트 공장 정책의 방향을 다시 검토하기를 촉구하였다.

현재 상황으로 볼 때 한국 중소기업의 스마트기술 수용 수준은 국제적 패러다임 변화에 대응할만한 수준을 갖추지 못한 현황이며, 스마트기술 수용을 위해 다소 부담스러울 수 있는 자본의 소요는 물론 경영진과 기업 종사자들의 강한 혁신의지를 필요로 한다는 점에서 중소기업의 스마트기술수용 의지를 향상시키기 위해서는 정부의 보다 적극적인 지원이 필요할 것으로 보인다(정재은, 2019).

2.2.4. 스마트 공장구현 기대효과

한국표준협회(2016a)에 따르면 스마트 팩토리는 “전통 제조산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT 기술로 통합, 최소 비용, 시간으로 고객맞춤형 제품 생산을 지향하는 공장으로 생산성 향상, 에너지 절감, 인간중심의 작업환경이 구현되고, 개인맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조회경에 능동적 대응이 가능한 공장”으로 정의되며, 그리고 스마트 제조는 “제품기획·설계, 생산, 품질, 재고, 조달 등 스마트 팩토리 내 제조 프로세스의 정보화, 최적화 및 생산시스템의 자동화를 ICT 기반 스마트 기술로 실현하는 제조 공정”으로 정의하고 있다. 따라서 스마트 공장구현은

글로벌 제조 패러다임 변화의 능동적인 대응 및 제조혁신을 통하여 다가오는 4차 산업혁명 시대 기업이 직면한 노동인구 감소 및 고객 요구의 다양성 증가, 생산비용 증가 등에 복잡한 경영문제에 대한 해결방안을 제시하여 기업경쟁력 및 국가제조 경쟁력에 긍정적인 효과를 나타낼 것이라 예측된다.

Kagermann et al.(2013), Deloitte의 김억과 김승택(2015), Park(2016) 등의 다수 연구에서도 스마트 공장의 구현은 생산성 향상, 설비운영의 효율성 극대화, 제조데이터를 분석을 통한 유연성 향상, 고객대응 능력 향상, 기업의 최적화된 의사 결정 능력 향상, 노동비용 절감을 등을 통한 기업경쟁력 향상에 구체적인 효과가 나타날 것이라 공통적으로 설명하고 있다.

권세인(2019)은 Deloitte Consulting의 Sniderman et al.(2016)의 'Industry 4.0 및 조직생태계'의 보고자료를 근거로 스마트기술 적용에 따른 제조 생태계와 부문별 잠재적 영향을 [표 2-12] 와 같이 정리 하였으며, 제품의 지능화에 따른 고객요구사항 충족, 신제품 개발 및 출시 기간 단축, 빅데이터 기반 수요와 공급의 최적화 스케줄링 수립, 외부환경 대응의 유연성, 작업자 안전과 품질, 설비의 유지 보수 능력, 생산성 등의 수준이 향상된다고 언급하였다.

[표 2-12] 스마트 기술 적용으로 인한 잠재적 영향

항목	잠재적 영향
제품 (Product)	- 센서에 기반한 연결성을 통해 기존제품의 스마트화(성능, 안전 개선) -스마트기술로부터 수집된 데이터를 활용하여 제품 및 서비스제공 -첨단 기술을 활용한 새로운 제품, 서비스, 비즈니스 모델의 개발
고객 (Customer)	- 예측·분석을 통해 제품 및 서비스의 지능적인 판매·마케팅 -2차 부품시장(aftermarket)의 사용자 경험(userexperience) 증대 -데이터 분석에 따른 유통 과정과의 최적화(재고관리,위치추적등)
엔지니어링 (Engineering)	- 설계에서 상업화(idea to market)까지의 소요 기간감소 -데이터 활용을 통한 향상된 연계설계(linkdesign) -가상 시뮬레이션 S/W를 활용한 엔지니어링의 전체 효과성 향상
계획 (Planning)	- 데이터수집 및 분석에 의한 수요 감지(예측) 및 계획 -정보수집과 모니터링에 따른 향상된 공급계획과 공급자전환 -추적시스템을 통한 출하(outbound) 물류 네트워크의 관리 최적화

공장 (Factory)	- 실시간 모니터링에 기반한 노동생산성 및 효과성의 증대 -생산 자산의 지능화에 기반한 품질관리, 예방보전 -동적인 변경사항을 고려한 생산프로세스의 동기화
지원 (Support)	- 증강현실(AR) 등을 활용한 현장 수리의 생산성 및 품질향상 지원 -고객 데이터를 활용한 부품, 제품, 서비스 실패의 사전예측 -문제 상황발생, 혹은 예방적 차원에서의 적시, 정확, 효과적인 대응

출처:권세인(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

그 외 명상일(2018), 서창성 외(2018) 등 다른 연구에서도 유연한 생산체제, 적시 생산 시스템(Just In Time), 컴퓨터 통합 생산시스템, 소비자 맞춤형 대량생산 확대, 사전 시뮬레이션 및 End-to-End 엔지니어링, 제조업의 서비스화를 통한 경쟁력 강화, 도심형 공장 증가 및 재택근무 활성화 등 여러 요소들이 스마트 공장구현의 기대효과로 언급되고 있다.

2.3. 스마트 공장 구축 목적과 구축내용

2.3.1. 선행연구 고찰

스마트 공장 도입시 기업의 현황(규모, 재무 준비성, 스마트 공장 인지도, IT 인프라 역량 등)및 업종 특성별 구축목적과 구축내용이 다양하게 나타나고 있다. 앞서 Schröder(2016)의 스마트 공장구현의 제약 요인 연구에서도 나타나듯이 기업의 자원과 인프라 역량은 규모별 차이가 있고 그 차이는 빅데이터 및 클라우드 시스템 및 구축 전략 측면에 영향을 미친다고 하였다.

2015년은 독일의 신하이테크 전략이 발표된 이듬해로 2015년 4월 플랫폼 인터스트리 4.0(Plattfrom Industrie 4.0)이 새롭게 시작되었으며 4차 산업혁명 기술 구성 요소를 모아 레퍼런스 아키텍처를 구성한 RAMI 4.0(Reference architecture model for Industry 4.0) 개발 및 발표가 되었다. 당시의 선행 연구를 살펴보면 우선 Veza et al.(2015)은 다중기준 의사결정(MCDM) 요소 방법을 사용한 생산 네트워크 관리를 통한 인터스트리 4.0 달성을 소개 하면서, 인터스트리 4.0은 새로운 유형의 스마트 팩토리 모델을 기반으로 하며,

자동화된 프로세스는 혁신적이고 새로운 가치사슬 통합에 대한 최적화된 파트너의 자동선택 기능을 제공 하고 기업 경계를 넘어 실시간 정보 교환이 가능하여 혁신적인 생산 네트워크 관리가 가능하다고 하였다.

2016년부터 독일은 인간과 기계 상호작용, 통신, IT 보안에 중점을 둔 4차 산업혁명 표준화 로드맵 개정하고 강소기업과 중간기업 혁신을 주도하는 Mittelstand 4.0 이니셔티브 개발 및 11개 역량센터 설립을 통해 4차 산업혁명에 대한 강소기업과 중간기업의 인신 개선, 참여지원, 솔루션 제공 하기 시작했다. 한편, 한국은 2015년 3월부 발표된 제조 3.0 전략 실행대책의 핵심 정책인 스마트 공장이 보급/확산 되기 시작한 시기 였다. 이 후의 선행연구를 살펴보면, Prinz et al.(2016)는 인터스트리 4.0이 최근 화제가 되고 있으며 많은 기업들이 ICT 기술을 도입 활용하고 있으나 일부 기업 및 관리자들은 스마트 공장 도입 준비가 부족하다고 지적하면서 직원에 대한 교육을 강조 하였다. 직원들의 스마트 공장의 지원시스템 및 분산 및 서비스, 수직/수평 결합과 통합, 데이터의 수집 및 활용, 지능화된 자율성등의 교육을 통해 인터스트리 4.0 실행에 기여할 것이라 주장 하였다.

김지대 외(2016)는 중소 제조기업의 제조 빅 데이터 활용 욕구가 무엇인지를 파악하고 그러한 욕구들이 실제적으로 제조 빅 데이터 기술의 도입의도에 미치는 영향이 어느 정도인지를 규명하러 연구 하였다. 연구 결과 국내 중소기업들은 제조 빅 데이터에 대해 갖고 있는 다양한 활용욕구 증가가 품질, 유연성, 납기와 같은 전통적 생산영역에서 유연성 향상과 생산성과를 개선하고자 하는 욕구가 크다는 것을 확인하였다(김지대 외, 2016).

권준하와 이성봉(2016)은 독일의 인터스트리 4.0 도입에 대한 미ittel슈텐트(Mittelstand) 정책 및 사례 분석을 실시 하였으며, 그 결과 스마트 제조 혁신을 통한 생산성 향상방안 및 국내 정부 및 중소기업의 제조혁신 활성화를 위한 시사점을 도출 하였다.

인터스트리 4.0의 독일 제조업 혁신 추진전략을 연구한 임명성(2016)은 국내 4차산업혁명 추진전략 실행계획의 하나인 제조업 3.0을 성공적으로 추진하기 위한 벤치마킹 전략으로 산·학·관 연계를 통한 유연 생산구조 전략을 제시 제시하였다.

Park(2016)은 스마트 공장을 네트워크 기반의 통합 제조시스템으로 정의하였으며, 인터넷을 활용한 생산 및 설비의 모든 정보를 실시간으로 제공 받아 자율적인 제조방식 변경을 통한 최적화된 동적 생산 시스템을 구현할 수 있다고 주장 하였다. 생산 시스템과 제품수명주기, 기업간 가치사슬 통합이 초연결된 성공적인 스마트 공장의 구현의 핵심이 요인이라 주장 하였다.

변대호(2016)의 연구에서는 스마트 공장의 구축 목적은 품질개선과 안전한 작업장 및 비용절감, 생산성 향상등으로 나타났으며, 스마트 공장의 보급과 확산을 위한 8대 핵심요소 기술은 사물인터넷(IoT), 빅 데이터 분석, 가상물리 시스템(CPS), 스마트센서, 클라우드 컴퓨팅, 3D프린팅, 에너지절감, 홀로그램의 기술들을 제시하였다.

인더스트리 4.0 개념의 선행 연구를 살펴본 Cimini et al.(2017)는 지난 몇 년 동안 제안된 스마트 공장의 기능을 설명하는 많은 참조모델에 부족한 면을 보충하여 통합된 모델을 제시하였으며 전통적인 제조 시스템을 인더스트리4.0의 스마트 공장으로 진화시키는데 필요한 비즈니스 혁신 변화에 대하여 논하고 있다.

Szejka & Junior(2017)는 스마트 공장의 효율적인 정보 공유를 위한 통합된 제품 개발 프로세스의 의미론적인 상호 운영성에 대하여 연구 하였으며, 공유된 개념화의 공식화 및 명시화된 참조 온톨로지 기반 상호 운용성의 잠재적 이점과 한계가 논의되어 의미 있는 상호 운용성 분야 및 제품과 제조설계를 개선할 수 있는 부분에 기여하였다.

Ramakrishna et al.(2017)는 스마트 생산의 목적은 생산성 향상과 비용절감 및 시장에 대한 제품 맞춤화 그리고 자원 효율성, 제조의 부정적인 환경영향 완화 등이 있다고 언급 하였다. 연구결과 이러한 스마트 팩토리의 목적달성을 위하여 센서,데이터 분석, 알고리즘, IoT, 기계 학습, 인공지능및 스마트 제조와 관련된 지식과 기술을 가진 엔지니어를 양성을 제시하였다(Ramakrishna et al., 2017).

명상일(2018)의 “IoT 기반의 스마트 공장 자동화 관리 시스템 구축에 관한 연구”에서는 자동화 기술인 FPS, HMI, IoT 플랫폼, MES, 영상처리 기술을 응용한 실제 스마트 공장 구축사례를 연구하였으며, 이와 같은 5가지 기

술이 적용될때 플라스틱 사출제품 생산 과정에 대한 모니터링이 가능하고 또한 데이터 관리의 안정화 및 균일한 제품생산, 불량감소, 자재 관리의 효율화를 통한 생산성 향상을 통한 경영관리 효율성 향상이 나타난다고 하였다.

Waibel et al.(2017)는 사물인터넷(IoT) 플랫폼에 가상 세계와 실제 세계를 통합하여 유연성과 자원 효율성을 나타내는 4차 산업혁명의 역동성을 조사하고 현재의 추세를 파악하기 위하여 시장, 공급업체 및 고객에 대한 사례 연구를 실시 하였으며, 가능한 스마트한 혁신의 기술적, 경제적, 사회적 및 환경적 요인을 자원 효율성 측면에서 평가 및 연구하였다.

조용주(2017)는 국내 및 해외 4차 산업혁명과 관련된 문헌 연구 및 사례 연구를 수행하여 거시적 관점에서의 한국형 스마트 팩토리 추진전략으로 공급기업 전략과 OEM/ODM 기업전략 및 브랜드 기반 대량생산 기업전략 그리고 사용자 맞춤형 제품 기업전략, Factory Maker의 5가지 전략을 제시 하였다.

소병업과 신성식(2017)은 스마트 팩토리를 구축하려는 전통 제조업체 1개사를 대상으로 구축 진행에 참여 하면서 효과를 분석 하였다. 분석결과 3D 가상 공정 설계를 통한 병목 구간과 개선이 필요한 공정을 파악한 후 센서를 설치하고 이를 통하여 수집 된 제조 빅 데이터를 분석한 후 공정 개선 및 생산성이 향상되었는지를 확인 검증 하였다(소병업, 신성식, 2017).

최영환과 최상현(2017)은 스마트 공장을 구축하고자 하는 경우 최고경영자의 의지 및 정부지원과 외부 컨설팅 그리고 조직참여 요인들이 어떠한 영향을 미치는지를 중소기업을 대상으로 실증 분석 하였다. 분석 결과 조직 참여도도가 가장크 영향을 미치며 이후 정부지원, 외부 컨설팅 그리고 최고경영자의 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다(최영환, 최상현, 2017).

임정우 외(2017)는 스마트 공장에 관한 문헌 연구와 적용사례 분석을 통해 Industry 4.0을 성공적으로 추진하기 위한 전략 연구를 실시 하였다. 스마트 팩토리의Industry 4.0 기반이 적용되지 않은 전자부품 조립라인을 대상으로 어떻게 제조라인을 변화시킬 수 있고, 스마트 팩토리 구현 요소를 포함할 수 있는지를 사례를 들어 설명하였다(임정우 외, 2017). 연구 결과 스마트 공장의 성공적인 구현을 위해서는 스마트 공장과 관련되어 적용 되어야 할 여

러 첨단 기술들을 하나로 결합 할 수 있는 기술과 현장의 장비들과 솔루션의 통합적 연결이 중요하다는 것을 확인 하였다.

신장철 외(2017)의 연구에서는 기업들이 스마트 공급망 구현 시 대상 선정기준을 유연성 및 비용 절감, 서비스로 가정한 후 구현 시 필요한 기본요소들을 공급망 통합과 빅 데이터 분석 체계 구축 및 IT 인프라 재정, 자동화로 구분 하였으며, 각 요소에 해당하는 하위 기본요소 8가지를 도출하였으며, 외부 공급망 통합이 스마트 SCM에서 개선되어야 할 가장 주요한 영역임을 확인 하였다.

서창성 외(2018)은 스마트 공장의 등장 배경과 필요성 및 기술요소, 동향 그리고 기대 효과에 대한 연구를 하였으며, 사물인터넷, 빅 데이터, 웨어러블 컴퓨터, 고장 예측 시스템을 통하여 생산성 향상, 제조업의 서비스화를 통한 고객센터 향상 등에 영향을 확인 하였다.

윤준서(2018)는 제조기업들의 생산성 향상을 위하여 설비 데이터를 활용한 스마트 제조실현에 많은 관심이 있으며 수기로 작성된 텍스트와 같은 비정형 데이터를 이용하여 설비의 오류를 분석하고 예방하여 생산성 향상에 기여 하고자 하는 사례 연구를 실시 하였다.

De Felice et al.(2018)은 스마트 제조에서 가장 관련성 높은 주제를 파악하는 것과, 그들의 중요성을 파악하고 상호 의존성을 정의하는 것을 목표로 스마트 제조에 대한 2011년과 2018년 사이에 발표 된 1,498개의 연구 문헌을 업계 관점에서 검토하였으며, CPS와 빅 데이터, IoT 시스템이 가장 많이 인용 되었음을 확인하였다.

Lopez et al.(2018)는 스마트 제조 시스템을 통합적인 프로그램으로 관리할 수 있는 프레임 워크로서 소프트웨어 정의제어(SDC:성능을 모니터링하고 변화하는 조건을 감지하는 중앙 컨트롤러에서 생산 및 기업 수준의 정보를 통합하는 역할)에 대해서 연구하였다. 연구결과 웨이퍼 제조시설에 SDC 프레임워크를 적용하였 을때 고부가가치 제품의 수율을 향상시켜 수익성을 1.2 % 증가시키는 것으로 나타났다(Lopez et al., 2018).

Kumar(2018)는 현재 운용되고 있는 제조방법과 극복해야 할 과제를 확인 하고, 스마트 제조를 사물인터넷(IoT), 사이버 물리(CPS) 및 로봇 상호작용,

인간과 물리적 상호작용의 기반 형태로 이해하고 검토 및 논의하였으며, Industry 4.0의 지능형 제조 시스템을 구현하기 위해서는 제조 프로세스의 혁신이 중요하다는 것을 확인하였다.

오주환(2019)은 스마트 팩토리의 구축 목적 을 생산성 향상과 유연성 향상으로 분류하고 스마트 팩토리의 구축내용을 자동화와 제조 빅 데이터 활용 및 내부통합 그리고 외부통합으로 구분하여 스마트 팩토리의 전략적 활용 연구를 실시 하였다. 스마트 공장의 구축 목적으로서 생산성 향상과 유연성 향상은 자동화 영역, 제조 빅 데이터 기술 활용영역, 가치사슬 통합 에 중요한 요인으로 작용하고 있음을 확인 하였다(오주환, 2019).

권세인(2019)은 4차 산업혁명의 패러다임에서 기업의 성과를 이끄는 성공적인 스마트 팩토리의 도입을 위해 요구되는 핵심성공요인에 대한 연구에서는 안전 및 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 정보시스템, 지능형 자동화의 기술적 측면과 최고경영자의 리더십 및 조직원 역량개발, 디지털 문화, 협력에 조직·인적 측면, 모두 스마트 공장 운영 및 환경 성과에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

강정석(2019)은 중소 제조기업들을 위한 자동화와 스마트 공장 지원사업의 효율적인 방향제시와 효과분석을 위해 자동화와 스마트 공장에 대한 수준을 정확히 파악하고 정부에서 수행하고 있는 사업이 기업의 경영성과에 미치는 요인들을 실증 분석하여 효과성을 살펴보고자 하였다. 연구결과 자동화 설비 지원사업은 기업 연구 개발 비율과 매출액 부가가치율에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(강정석, 2019).

김상문(2020)의 빅데이 기반 중소제조기업의 스마트 팩토리 수용의도와 경영성과에 관한 실증 연구결과, 공장 자동화 및 빅 데이터 분석, 신사업 생산성은 스마트공장의 도입의도와 지속사용 의도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

김현득(2020)은 제조업 특성을 고려하여 개발된 평가모형을 전국 67개 중소기업에 적용하여 수준 평가를 실시하고 결과에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자(업종, 생산방식, 대기업납품, IT 인프라, 매출액, 종업원수, 스마트 공장 지원횟수 등)에 따라 통계적·정성적 분석을 실시하였으며, 연구 결과, 중소기업은 기준정보 및 프로세스 데이터가 미흡하고 신뢰도가 낮아 구축된 S/W

운영시스템 활용도가 낮고, 스마트 공장을 위한 전담 추진인원과 과제 수행인력 부족 하게 나타 났으며, 규모가 작을수록 CEO 의지 전략, 공장기본관리 등 기업운영에 근간이 되는 부분이 중요하며 규모가 클수록 자동화, 품질, SCM 등 제조 프로세스 Level-up하는 부분이 강조되는 것으로 나타 났다.

지금까지 스마트 공장의 구축 목적과 구축내용에 대한 선행연구들의 연구 분야를 정리하면 [표 2-13]과 같이 나타났으며, [그림 2-10]과 같이 스마트 공장 구축 목적에 생산성 향상과 유연성 향상이 공통된 연구 분야로 조사되었다. 한편 스마트 공장 구축내용에서는 [그림 2-11]과 같이 공장 자동화 및 제조데이터의 활용, 가치 사슬 통합이 가장 많이 연구된 것으로 나타났다.



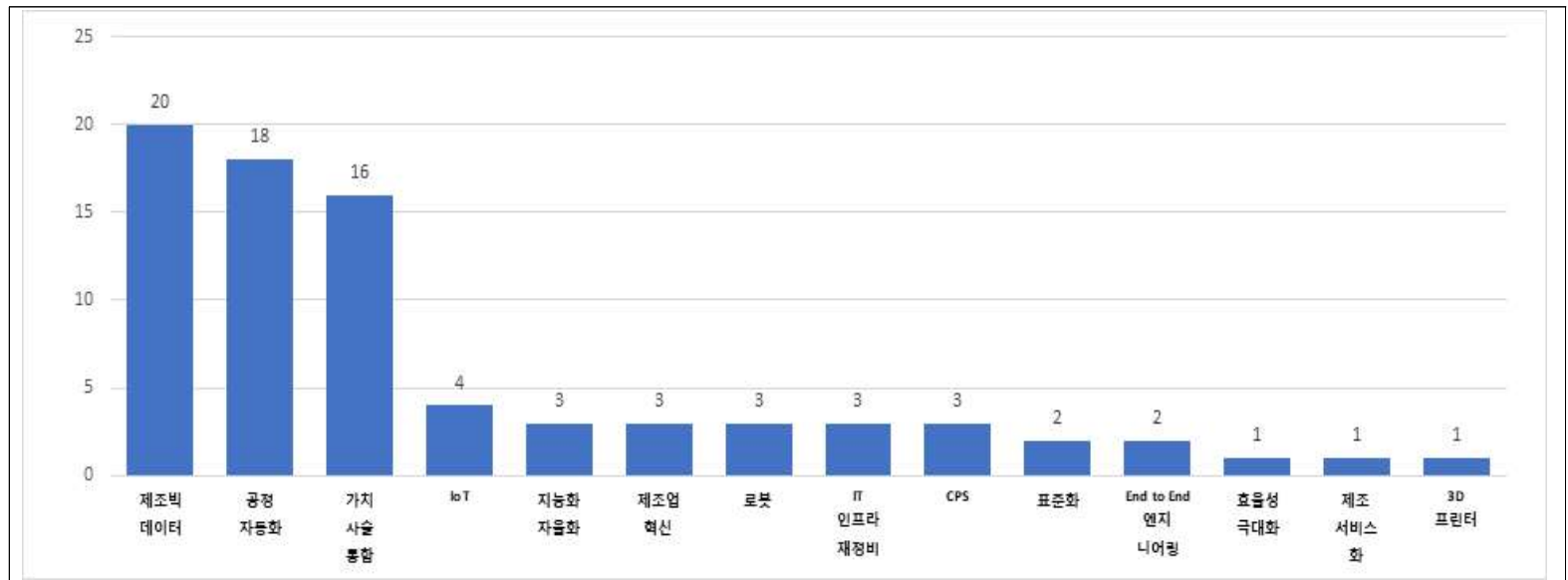
[그림 2-10] 스마트 공장 구축 목적 연구

[표 2-13] 스마트 공장 선행 연구

연구자	스마트 공장 구축 목적									스마트 공장 구축내용														
	생 산 성 향 상	유 연 성 향 상	고 객 서 비 스 향 상	비 용 절 감	품 질 향 상	인 력 효 율 화	자 원 효 율 성	환 경 및 안 전	신 산 업 모 델 개 발	공 정 자 동 화	제 조 데 이 터 활 용	가 치 사 슬 통 합	사 물 인 터 넷	제 조 업 혁 신	효 율 성 극 대 화	제 조 서 비 스 화	End to End 엔 지 니 어 링	IT 인 프 라 재 정 비	지 능 화, 자 율 화	로 봇	3D 프 린 터	CPS	표 준 화	
김현득(2020)					✓	✓				✓	✓													✓
김상문(2020)	✓	✓		✓	✓					✓	✓	✓												
강정석(2019)	✓	✓								✓														
권세인(2019)	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓						
오주환(2019)	✓	✓								✓	✓	✓												
Kumar(2018)	✓			✓	✓							✓	✓							✓			✓	
Lopez et al (2018)						✓	✓			✓	✓	✓												
De Felice et al.(2018)	✓	✓								✓	✓	✓								✓	✓	✓		
윤준서 외(2018)	✓									✓	✓													
서창성 외(2018)	✓		✓								✓		✓											
임정우 외(2017)	✓			✓	✓	✓				✓									✓					
신장철 외(2017)		✓	✓	✓						✓	✓	✓						✓						
최영환과 최상현(2017)	✓									✓	✓			✓										
소병엽과 신성식(2017)	✓	✓								✓	✓													
조용주(2017)	✓	✓									✓	✓		✓										
Waibel et al.(2017)	✓	✓		✓						✓	✓	✓							✓	✓				
명상일(2017)	✓									✓	✓	✓												
Ramakrishna et al(2017)	✓		✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓						✓						
Szejka & Junior(2017)		✓	✓									✓					✓							

Cimini et al.(2017)		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓							✓	
Prinz et al.(2016)	✓	✓		✓						✓	✓	✓					✓				
변대호(2016)	✓			✓	✓			✓		✓	✓			✓							
Park(2016)	✓	✓							✓			✓									
임명성 (2016)	✓	✓													✓	✓	✓				
권준하와 이성봉(2016)	✓																				
김지대 외(2016)	✓	✓									✓										
Veza et al.((2015)	✓	✓	✓				✓				✓	✓	✓								✓

출처:선행 연구자료를 바탕으로 연구자가 정리



[그림 2-11] 스마트 공장 구축내용 연구

2.3.2. 스마트 공장 구축내용

앞서 여러 선행연구에서 살펴본 바와 같이 스마트 공장 구축내용 중 공장 자동화와 제조 빅 데이터 활용 그리고 가치사슬 통합의 요인들이 일반적으로 공통된 연구 요인으로 확인되었다. 따라서 본연구에서도 스마트 공장의 구축 내용의 잠재적 요인을 이 세 가지 요인으로 하여 연구하고자 세부적으로 살펴보고자 한다.

2.3.2.1. 공장 자동화

전통적으로 자동화는 컴퓨터와 같은 전자 기술을 응용하여 기계화된 생산 공정을 조작하고 진행하는 것을 말하며, 단순히 기계가 인간의 작업을 대신하는 기계화와는 구분되어 사용되며, 자동화 기술은 미리 작성된 프로그램에 따라서 사람이 관여하지 않고도 전체 혹은 일부 공정을 스스로 진행하는 데 필요한 모든 기술을 말한다(Groover Jr, 1980). 구체적으로 사물인터넷(IoT)과 가상물리시스템(CPS) 및 로봇, 인공지능, 3D프린터, 시뮬레이션 등과 같은 다양한 소프트웨어와 하드웨어 기술들이 설비 자동화와 업무 자동화 분야에 속하는 기술들이다(윤준서 외, 2018).

김윤상(1992)은 자동화에 대하여 수동적 생산방식이나 기계적 생산방식으로서 생산시스템의 효율을 높이기 위해서 생산 공정의 전반에 걸친과정을 분석하였다. 분석 결과 인간과 기계 및 자재 그리고 정보를 가장 조화롭게 통합시켜 작업 과정이 자동적이며 연속적으로 운영되도록 조직화하는 것으로 주장 하고 있다(김윤상, 1992). Bessant(1991)는 공정 자동화에 대하여 기계와 전자 기술의 복합기술 등을 응용하여 생산성과 유연성을 동시에 달성할 수 있도록 단위 또는 전체 생산공정의 유연 자동화 체계를 구축하는 것으로 정의 하고있다.

따라서 중소기업들은 높은 품질의 제품을 낮은 원가로 생산하고자 하는 사고의 전환을 통해 설비 자동화를 추진하고 있으며, 기업의 생산성과 유연성을 동시에 높일 수 있는 혁신 수단으로서 새로운 환경변화 대응에 꼭 필요한 요건이라고 할 수 있으며 기계, 전자기술의 복합기술 등을 이용하여 생산성과

유연성을 동시에 제고할 수 있도록 하는 전 생산 공정의 시스템화 경향 및 경제적, 사회적 효과를 도출하기 위한 방법으로 자동화를 활용하고 있다(강정석, 2019).

이러한 공장 자동화의 용어는 국가마다 보는 관점에 따라 각각 달리 표현되고 있으며, 용어의 의미 자체도 통일되어 있지 않다(고광환, 1992).

일본의 경우 공장자동화를 Factory Automation으로 표현하는데, 기계나 기기 자체에 중심을 둔 하드웨어 측면에서 정의하고 있는 반면, 미국의 경우 자동화된 공장 또는 컴퓨터 통합생산으로 하드웨어 측면보다는 기기나 기계의 운영기술의 비중을 중시하는 소프트웨어 측면에서 표현하고 있다(박광순 외, 1989; 이정원, 1996).

또한, 자동화는 설계업무를 자동화하기 위해 컴퓨터 지원설계(CAD: Computer-aided Design), 지원공학(CAE: Computer-aided engineering), 컴퓨터지원 공정계획 (CAPP: Computer-aided process planing) 등과 같은 기술을 적용하여 설계 기간 단축과 생산성 향상, 공학적 성능의 분석, 평가를 가능하게 해주는 설계 자동화와, 제조자원계획(MRP: Manufacturing Resources Planning), 집단관리기법(GT: Group Technology), 적시생산시스템(JIT: Just in Time)으로 생산부문의 생산 활동을 지원하는 관리업무 자동화를 통해 효과적으로 업무를 수행하는 관리 자동화, 생산과정에서 행해지는 조립, 가공, 이동,저장 등의 많은 제어활동들을 자동화 시설을 이용하여 효율적으로 제품을 생산하는 제어자동화로 크게 세가지 부문으로 분류가 가능하다(강성, 1997; Adler, 1988). 자동화 정의에 대한 선행 연구를 정리 하면 [표 2-14] 와 같다.

[표 2-14] 자동화의 정의

년도	연구자	잠재적 영향
2006	유원범	단위 기계의 부분 또는 완전 자동화, 생산라인의 자동화, 공장의자동화 단계로 구분하여 시스템 전체의 통합자동화 설비 구축(유원범, 2006).
1991	Bessant	기계, 전자 기술의 복합기술 등을 응용하여 생산성과 유연성을동시에 달성하도록 유연자동화 체계 구축(Bessant, 1993).

1992	고광환	자동조립기, 로봇, 자동화기기와 이를 이용하여 생산을 달성할 수 있도록 하는 생산 공정의 시스템화로서 단위기계부터전체공장의 자동화 기술(고광환, 1992).
1992	김운상	수동적 생산방식이나 기계적 생산방식으로서 생산시스템의효율을 높이기 위해 서 생산 공정의 전반에 걸친 과정을 분석하여 인간, 기계, 자재 및 정보를 가장 조화롭게 통합시켜 작업을자동적, 연속적으로 운영(김운상, 1992).
1980	Groover Jr	미리 작성된 프로그램에 따라서 사람이 간여하지 않고도 전체혹은 일부 공정을 스스로 진행시키는 데 필요한 기술(Groover Jr, 1980).

출처:강정석(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

소병엽과 신성식(2017), 변대호(2016), 명상일(2017), 신장철 외(2017)의 선행연구를 살펴보면 설비 및 업무 자동화는 스마트 공장 구축내용의 중요한 부분임을 알 수 있었다.

보편적으로 기업에서 신규 설비의 개발 및 투자는 생산능력 향상, 신제품 개발대응, 제품의 품질향상, 고객 맞춤형 제품의 생산과 같은 차별화 우위 및 경쟁우위를 확보하고자 하는 기업들의 목적과 밀접한 관련이 있다(신준철, 2012). 즉 자동화 설비를 도입/운영하는 것은, 기업경쟁력 확보와 연관이 있는 것이다.

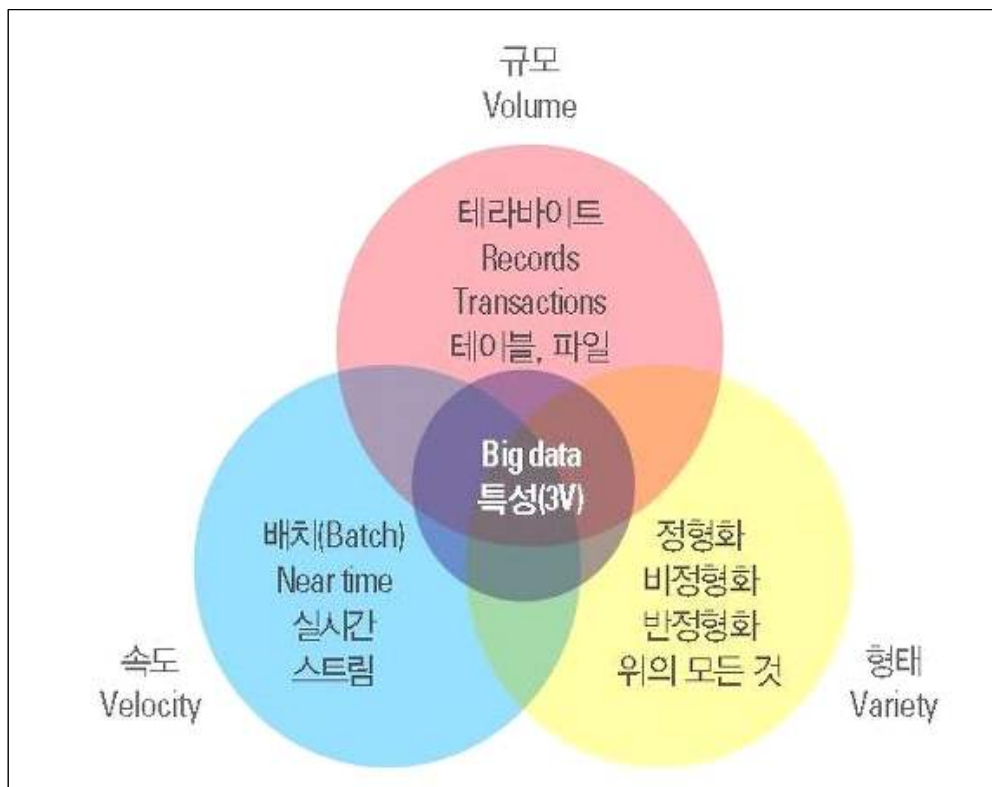
클라우드 슈밥이 제시한 4차 산업혁명을 이끌 10개의 선도적 기술 중 하드웨어 기반 스마트 팩토리 구현을 위한 물리학 기술로서 첨단 로봇공학, 무인운송수단, 3D 프린팅, 신소재 등으로 4개를 선정하였는데 이러한 선도적 기술을 기반으로 하여 자율주행차, 드론, 스마트 단말기, 딥러닝과 같은 최첨단 기술이 실현된 관련 산업이 발전하고 있다(이상진 외, 2018). 다양한 설비에서 센서 및 디바이스를 통하 여 신호를 획득하고, PLC(Programmable Logic Controller) 및 HMI(Human Machine Interface) 등의 제어기술을 통하여 설비가 제어하는 사례는 전형적인 자동화이다(조용주, 2017; Zuehlke, 2010).

2.3.2.2. 제조 데이터의 활용.

최근 ICT 기술의 혁신적인 성장으로 개인과 기업들은 매우 많고 다양한 디지털 데이터 정보를 이전보다 빠르게 제공받고 있다. 이러한 디지털 정보에 대하여 산업계 및 학계는 다양한 연구를 진행 중이며, 기존의 관리 및 분석

체계로는 감당할 수 없을 정도의 거대한 데이터의 집합을 일반적으로 빅 데이터 라고 정의 한다(Manyika et al., 2011).

한편, 리서치 기관인 가트너의 더그 레이니(Doug Laney)가 발표한 연구 보고서에서는 [그림 2-12] 빅 데이터를 크기 (volume), 속도(velocity), 그리고 다양성(variety)이라는 3V로 정의(Laney, 2016). 하였으며, 보통이 세 가지 특성 중 두 가지 이상을 만족하면 빅 데이터라고 말한다(배경한, 2019). 또한 [표 2-15]와 같이 미국의 컴퓨터 기업인 IBM 및 여러 연구자에 의해 이 세 가지 본원적인 특성에 부가적으로 진실성(veracity), 복잡성(complexity)이 추가되어 연구되고 있다(송민정, 2013).



[그림 2-12] 빅 데이터의 3가지 특성

출처: 김상문(2020)재인용

[표 2-15] 빅 데이터 기술 특징

특징	내용
규모 (Volume)	정보 기술의 발전과 생활화가 진행되면서 디지털 정보량이 기하급수적으로 증가하고, 아날로그 자료가 디지털화 되면서 데이터 급증
속도 (Velocity)	센서를 통한 사물 정보, 다양한 스트리밍 정보 등 실시간 정보가 증가하고 이로 인한 데이터 생성, 이동 및유통 속도가 기존 데이터에 비해 증가. 따라서 큰 규모의 데이터 처리 및 가치 있는 실시간 정보 활용을 위하여 데이터 처리와 분석을 위한 속도 중요
다양성 (Variety)	로그 기록, SNS, 위치 정보, 장소 정보, 실시간 데이터등 기존 정보 외 취합 데이터의 종류가 늘어나고 텍스트 이외 이미지, 음성, 영상 등 비정형화 된 다양한 데이터 유형 존재
복잡성 (Complexity)	체계화 되지 않은 기업 외부 데이터, 데이터 저장 방식등의 차이로 인하여 데이터의 정형화가 어려우며, 데이터 종류 확대, 외부 데이터 활용 등으로 관리 대상이증가함. 데이터 관리 및 처리의 복잡도가 높아짐에 따라 새로운 분석 기법이 요구됨
진실성 (Veracity)	방대한 데이터 분석을 통한 통찰력을 의사결정, 목표및 적용범위, 활용방법 등을 고려하여
이용가치 (Value)	빅 데이터 분석을 통한 가치 구현 및 많은 분야 적용을위해서는 우선적으로 데이터의 정확성, 타당성, 신뢰성등에 대한 검토 필요

출처:박귀희(2017)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

기존의 데이터와 최근의 빅 데이터 환경을 비교하면 [표 2-16]과 같은 차이가 나타 난다. 이 기종에 수집하는 일반적인 정형화된 데이터뿐만 아니라 사진과 오디오, 그리고 비디오 형식의 데이터나 로그 데이터와 같은 비정형화된 데이터, 그리고 고정되어있는 시스템에 저장되지 않은 XML 혹은 HTML-tagged text 등을 포함하는 반정형화된 데이터가 빅 데이터에 포함된다(ITU, 2013).

[표 2-16] 빅 데이터 환경 특성

구분	기존	빅 데이터 환경
데이터	정형화된 수치자료 중심	비정형의 다양한 데이터 문자데이터(SMS, 검색어) 영상데이터(CCTV, 동영상) 위치데이터
하드웨어	고가의 저장장치 데이터베이스 데이터웨어하우스	클라우드 컴퓨팅 등 비용효율적인 장비 활용 가능
소프트웨어/분석방법	관계형 데이터베이스(RDBMS) 통계패키지(SAS, SPSS) 데이터마이닝 machine learning knowledgediscovery	오픈소스 형태 무료소프트웨어 Hadoop, NoSQL 오픈소스통계솔루션® 텍스트마이닝 온라인버즈분석 감성분석

출처:김상문(2020)의 자료 재인용

또한 빅 데이터의 실질적인 가치를 활용하기 위하여 텍스트 마이닝(Text mining), 평판 분석(Opinion mining), 소셜 네트워크 분석(Social network analysis), 클러스터 분석(Cluster analysis)과 같은 대표적인 분석 기술이 활용되고 있으며(김정숙, 2012), 빅 데이터가 감당할 것으로 예상되는 미래사회의 역할에 대하여 [표 2-17]과 같이 설명하고 있다(강만모 외, 2012),

[표 2-17] 빅 데이터 역할

미래 사회 특징	빅 데이터의 역할	
불확실성	통찰력	사회 현상, 현실 세계 데이터를 바탕으로 패턴분석 및 미래전망 - 다양한 가능성에 대한 시나리오 시뮬레이션을 통하여 다각적인 상황을 고려한 통찰력을 제시하고, 다양한 시나리오의 상황 변화에 유연하게 대처
리스크	대응력	환경, SNS, 모니터링 정보의 패턴 분석을 통해 위험 징후 및 이상 신호 포착

		-이슈 사전 인지, 분석 및 신속한 의사 결정과 실시간 대응 지원 -기업과국가경영을위한명성제고및낭비요소절감
스마트	경쟁력	방대한 데이터 분석을 통하여 상황 인지, 인공지능 서비스 등 수행 -개인화, 지능화 서비스 제공 확대 -소셜분석,평가,신용,평판분석을통해최적의선택지원 -트렌트변화분석을 통한제품경쟁력확보
융합	창조력	타분야와 결합하여 새로운 가치의 창출 -인과관계, 상관관계 분석으로 안전성 확보및 시행착오 최소화 -방대한데이터활용을 통한새로운융합시장창출

출처:조용원(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

제조 현장에서도 기업자원관리(ERP), 제조실행시스템(MES), 제품생애주기(PLM), 공급사슬관리(SCM) 등 대표적 정보시스템에는 관계형 데이터베이스 내에 부품, 가격, 설비, 주문, 생산일정, 재고 등 제품설계 및 생산운업을 위한 수많은 구조적 데이터가 저장되고 있고, 도면이나 제품설계에는 이미지 및 텍스트 형식의 무수한 비구조적 데이터 뿐만 아니라 제조과정에서 수집 가능한 온도, 압력, 진동, 소음, 장비 이동위치 등의 데이터 스트림으로 수집되는 비구조적 시계열 데이터등 수많은 빅 데이터가 축적되고 있다(배경한, 2019).

제조업에서는 일찍이 설계, 생산 과정의 자동화와 정보시스템 등을 도입하였으며, 제품의 품질과 제조 공정의 효율성을 높이기 위하여 바로이러한 기술들을 통해 생성된 데이터를 분석하여 그 결과를 활용하였다(Hessman, 2013). 제조 빅 데이터를 이전에는 설비의 예방정비 분야와 같이 주로 특정분야 위주로 한정해서 사용하였다면, 현재는 빅 데이터의 분석기술의 발전으로 그 폭을 넓혀서 통합적인 의미로 사용하고 있다(박상휘, 노규성, 2014).

제조 빅 데이터의 분석 및 활용은 최적의 생산 프로세스의 구축, 생산성 및 품질 개선, 생산 리드타임 단축 등과 같은 측면에서 생산 프로세스를 재구축할 수 있게 하며, 제조 빅 데이터 기술은 작업방법의 효과성, 생산성 및 품

질 성과, 신제품 성과와 같은 항목들을 실시간으로 모니터링 하여 생산 프로세스의 점진적 개선을 달성하게 해줄 수 있다(오주환, 2019).

2.3.2.3. 가치사슬 통합

Porter(1985)는 가치사슬에 대해 한 기업의 활동을 전략적으로 연관성 있는 몇 개의 활동들로 나눈 후 최종 소비자에게 제품이나 서비스를 전달하는 전체 과정을 긴사슬 형태로 표현한 것으로 가치활동은 크게 본원적 활동(primary activities)과 지원활동(support activities), 2가지로 구분되며, 본원적 활동은 내부물류, 제조, 외부물류, 판매, 서비스를 포함하고, 지원 활동은 조달, 기술 개발, 인적자원관리, 기업 인프라를 포함한다고 정의하였다. 또 한 정보통신기술은 정보를 생성, 처리, 활용하는 기술일 뿐만 아니라 이와 연계되는 집합적인 기술로 제품(서비스)을 만드는 전체 프로세스에 영향을 미치며, 더 나아가 제품 자체를 변화시킨다 주장하였다(Poter, 1985).

즉, 정보통신기술이 전반적인 가치사슬(value chain)과 결합하여 가치활동(value activities)이 수행하는(performed) 방식과 연계(linkage)되는 특성을 변형시킨다고 보았다(Poter, 1985). 구체적으로 정보통신기술은 정보의 생성, 수집, 전달, 처리, 분석 등의 흐름을 통해 개별적인 가치활동들이 수행하는 방식에 영향을 줄 뿐만 아니라,기업의 내부 및 외부 가치활동 사이를 연계하는 기업의 능력을 강화하기 때문에, 가치활동 사이에 새로운 연계를 생성하고, 구매자·공급자와 더욱 밀접하게 가치활동으로 연결될 수 있다(김민식, 2020).

또한 Porter(1985)는 정보통신기술이 구매자가 요구하는 방식으로제품(서비스)을 변화시킨다고 분석하였다(Poter, 1985), 세부적으로 정보통신기술은 물리적 제품과 함께 훨씬 더많은 정보요소를 제공할 수 있게 해주어서 제품의 성능을 강화하고 제품의 내용을 쉽게 향상시키기 때문에 정보통신기술을 이용해 제품의 정보요소(내용)가 확장되고, 가치사슬의 변화와 결합됨에 따라 정보통신기술의 전략적인 가치가 강조된다(김민식, 2020).

이러한 관점에서 볼 때, 스마트 공장의 ICT기술 적용은 기업의 가치사슬 전반에 최적화 전환을 가능하게 하기 때문에 성공적인 스마트 공장을 구현하기 위해서는 기존 공장의 물리적인 생산시스템과 정보시스템을 자동화, 정보

화, 디지털화하는 것이 필요하다. 디지털기술에 기반을 두는 디지털화는 정보 시스템 및 생산시스템을 최적화 및 효율화하여 생산성 향상, 생산비용 절감 등의 효과를 가져올수 있으며, 빠르게 변하는 외부 환경 및 맞춤화·개별화 추세에 있는 고객의 요구에 능동적으로 대응하는 제조기업 구현을 가능하게 한다(김민식, 2020).

Wang et al.(2016b)은 스마트 팩토리 구현을 위한 내부활동 가치사슬 통합은 기술적으로 제조현장의 액추에이터 및 센서, 설비제어, 생산관리, 기획, 제품수주, 판매 등과 같은 기업내부의 서브시스템들의 포함을 필요로 한다고 설명하고 있다. 즉, 스마트 팩토리 구현을 위해 현장의 액추에이터와 센서 신호가 기업 상위수준에서 다양한 부서들에게 공유될 필요가 있다(오주환, 2019). 그 이유는 스마트 팩토리의 가치사슬 통합을 통하여 얻은 내부의 방대한 빅 데이터 자료를 바탕으로 개인 맞춤형 제품의 스마트한 생산시스템의 구현이 가능하며, 생산 공정에 낭비를 제거할 수 있기 때문이다(조용주, 2017; Park, 2016). 또한, 외부활동 가치 통합은 스마트 공장에서 가치사슬 외부 구성원들이 유기적이고 실시간으로 연결된 상태를 의미하며, 보편적으로 이러한 외부활동 가치통합을 통하여 기업들은 기업들간에 전략적 제휴를 포함한 협력, 정보공유를 통한 파트너십 구축, 시장 상황에 대응 등을 할 수 있다(Narasimhan & Kim, 2002; 김훈, 2013). Wang et al.(2016b)은 외부활동 가치사슬 통합은 다양하고 많은 기업들과 경쟁하고, 협력을 통하여 효율적인 생태계를 형성할 수 있기 때문에 4차 산업혁명의 실현을 위해서는 외부 활동에 대한 가치 사슬통합의 구현이 필수적이라고 주장하고 있다.

2.3.3. 스마트 공장 구축 목적

앞서 여러 선행연구에서 살펴본 바와 같이 스마트 공장 구축목적에 대하여 생산성 향상과 유연성 향상요인들이 일반적으로 많이 연구된 것으로 확인하였다. 따라서 본연구에서도 스마트 공장구현의 구축목적은 생산성 향상과 유연성향상을 요인으로 하여 연구하고자 세부적으로 살펴보고자 한다.

2.3.3.1. 생산성 향상

실제적인 기업운영 활동을 통해 조직이 달성하고자 하는 최종 결과물을 나타내는 운영 목표(operating goals)는 일차적으로 조직이 수행해야 하는 일차적인 과업과 관련이 있으며, 전형적인 운영 목표로 성과 목표, 자원 목표, 혁신 또는 생산성 목표 등이 있다(Perrow, 1961). 생산성은 생산의 효율성, 즉, 투입된 자원 대비 산출량을 의미하며 기업 수준 연구에서 생산성은 기업의 생존과 번영을 위해 중요하다(이윤하, 2020). 따라서 기업의 경쟁력과 생산성 향상은 매우 높은 영향 관계가 있다고 판단된다.

한편, Foster et al.(2001)의 연구에서는 생산성이 높은 공장은 생산량이 더 높았고, 공장들 사이의 상대적인 생산성은 임금, 수출 성공, 기술 사용과 관련이 있다고 나타났다. 여기서 본연구는 기술 사용에 대하여 좀더 알아보고자 한다.

기술혁신은 무작위로 발생하는 것이 아니라 의도적이고 체계적인 프로세스의 결과이다(Teece, 1986). 대표적인 혁신의 투입물인 연구개발은 생산성을 높이며(Segarra & Teruel, 2011), 외부 지식을 활용해 성과를 창출하고 그 성과를 이전할 수 있는 능력은 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미친다(North & Smallbone, 2000).

제4차 산업혁명 시대는 기술적 혁신은 이전 3차례 산업혁명과 비교할 수 없는 속도로 전개될 것이며 우리가 예상하지 못한 방향으로 전개될 가능성이 높고 새로운 기술의 형태로 생활방식의 변화와 함께 모든 기존의 기술의 변화를 이끌어 낼 것이며 대기업 또는 글로벌 기업중심으로 새로운 기술과 새로운 적용분야에 많은 투자와 변화가 예상된다(정의성, 2019). 따라서 4차 혁명시대 스마트 공장구현 기술은 앞서 기술혁신에서 언급된 바와 같이 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미치 것이다.

기업의 생산성 향상을 위한 현장성과 개선 중 대표적인 생산역량 요인으로 는 원가, 품질, 납기, 유연성이 있다(김지대 외, 2016). 이는 다양한 문헌에서 연구자들이 사용하는 중요한 현장성과 개선의 요인들로서, 기업이 가지고 있는 경쟁적 무기이며 내부 생산시스템과 공급사슬관리를 효과적으로 이용하는 것을 의미한다(Park, 2016).

스마트 공장 ICT 활용은 신제품 개발 및 가치사슬을 통합적으로 구현하기 때문에 현장성과 개선을 위한 낭비제거, 원가절감, 품질개선, 납기단축, 생산성 향상, 환경개선, 작업안전을 확보할 수 있다(서창성 외, 2018).

또한 자동화기술은 대량생산에 따른 생산량 증대, 품질의 향상, 근로자 안전성 향상, LOSS의 최소화로 인한 비용 절감 등과 같은 이점 때문에 대부분의 기업에서 선호하고 있다(신준철, 2012). 더 나아가 스마트 팩토리의 빅 데이터, MES, ERP, 사이버물리시스템(CPS), 사물인터넷(IoT), 클라우드, 시뮬레이션과 같은 기술을 활용하여 생산성 및 작업자의 업무효율을 극대화하고 있다(조용주, 2017).

한편 전통적으로 기업규모가 클수록 투자자금 및 인력, 인프라, 네트워크 등 기술혁신 활동에 요구되는 자원이 풍부하여 기술혁신의 불확실성과 위험이 상대적으로 낮고, 이는 결과적으로 기술혁신 활동을 유발한다고 보았다(봉강호 외, 2019). 그러나 Scherer(1965)는 오히려 기업규모가 클수록 기술혁신 활동에 비효율성이 발생할 가능성이 높기 때문에 기술혁신에 불리하다고 주장하였으며, Pavitt et al.(1987)의 경우, 실증분석을 통해 기업규모 및 기술혁신 활동 간 반비례하는 관계가 존재함을 보고하였다.

이러한 선행연구 결과를 종합해 볼 때 생산성은 기업경쟁력에 주요한 요인이며 기술혁신을 통해 생산성을 향상시킬 수 있다고 제안하고 있다. 이러한 관점에서 살펴보면 스마트 공장의 자동화 및 ICT, 빅 데이터 분석 등의 핵심 기술은 매우 영향력이 큰 기술혁신으로 인식되고 있으며, 대기업 보다 중소기업에 더큰 영향을 미칠 것이라 언급되기도 한다.

2.3.3.2. 유연성 향상.

Aggarwal(1997)는 유연성을 초과적인 비용이나 시간 혹은 조직의 혼란이 야기되지 않으면서 성과의 손실 없이 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 조직의 능력으로 설명하였다.

한편 Upton(1994)은 유연성을 외부 변화를 수용하고 대처할 수 있는 내부 역량의 영역의 정도라고 정의하고 외부 변화의 정도가 커도 기업이 그러한 변화를 수용하고 경영할 수 있는 능력이 있다면 그 기업은 유연성이 있으

며, 이러한 유연성에는 크게 제품 유연성(Product Flexibility; 외부 환경이 원하는 다양한 종류의 제품을 제공할 수 있는 능력)과 수량 유연성(Volume Flexibility; 외부에서 수량의 변화를 요구하는 경우 대응할 수 있는 능력) 두 가지 영역으로 나뉘어진다.

이 외에도, Vickery et al.(1999)는 유연성을 제품(고객화) 유연성, 생산량 유연성, 출시(신제품 출시) 유연성, 접근 유연성, 목표 시장에 대한 반응성을 유연성의 차원으로 제시하였다. 일반적으로 많은 연구에서 공통적으로 제품 유연성과 생산량(수량) 유연성을 언급하고 있다. 구체적인 내용으로 제품(고객화) 유연성은 표준화되지 않은 주문을 처리할 수 있는 능력과 특별한 고객의 요구사항을 만족시킬 수 있는 능력을 말하고, 생산량 유연성은 고객의 요구에 따라 효과적으로 생산량을 조절할 수 있는 능력을 말한다(서영복, 박찬권, 2013).

오중산(2010)은 제조 유연성을 고객들의 다양한 요구조건을 수용하기 위하여 생산자원과 불확실성을 효과적으로 관리할 수 있는 조직능력으로 정의하였다(오중산, 2010). 또한 제조 유연성은 생산자원유연성과 상품유연성으로 크게 나뉠 수 있으며 일반적으로 재료와 사람 그리고 설비 및 생산방식으로 구분되는 4M은 생산자원 유연성이며, 상품 유연성은 순수하게 제조와 연관된 혼합유연성, 물량유연성, 납기유연성을 의미하고 있으며, 상품유연성이 높으면 고객과 관련된 복잡하고 다양한 시장의 요구사항에 대해서 빠르고 효과적으로 대응이 가능하다고 주장하였다(오중산, 2010).

스마트 팩토리의 궁극적 목적은 생산시스템을 지능화·유연화·최적화·효율화하여 생산성 향상과 생산비용을 절감하고 빠르게 변화하는 외부적 환경과 고객의 니즈에 능동적으로 대응할 수 있도록 하는 제조기업을 구현하는 것이다(서창성 외, 2018). 또한 고객의 니즈가 다양해지면서 다품종 대량 생산 시대의 도래에 맞춰 맞춤형 유연생산체제의 전환이 요구됨에 따라 스마트 팩토리 도입은 필수적이다(김현규, 2019).

Suarez et al.(1996)는 제조 유연성을 확보하기 위한 방안으로 생산운영관리, 생산기술 수준 향상, 공급업체와의 전략적 관계, 회계정보시스템 구현, 인적자원 확보 및 관리, 상품디자인 개발능력과 관련된 활동들을 포괄적으로 제

시하였다. 이는 최근 ICT와 자동화, 빅 데이터 기술을 적용한 스마트 공장이 추구하는 개념과 일치한다. 구체적으로 스마트 팩토리에서 자재, 제품 또는 기계에 부착된 센서(즉, 제조 내역, 작동속도, 진동, 품질, 장비 로그 데이터와 같은 정보)로부터 수집된 데이터를 활용하는 것은 제조 유연성 향상에 기여한다(Kumar, 2018). 생산 활동 과정에서 개별 요소 간 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 분석하여 생산 공정 전체의 생산성과 효율성을 높여주고, 수집된 데이터는 IoT, 빅 데이터, 딥러닝 AI 기술과 로봇, 장비 자동화 등의 ICT 기술을 활용하여 시스템의 지능화를 추구하고 유연생산이 가능하도록 능동성, 민첩성, 생산에 대한 신뢰성 확보를 추구하고(임정우 외, 2017). 따라서 스마트 팩토리는 실시간으로 고객의 요구를 반영할 수 있게 되고, 다품종 소량 생산에 적합한 유연 생산체계를 통하여 소비자 중심의 맞춤형 생산을 가능하게 할 것이다(김현규, 2019).

이러한 기술 활용으로 스마트 팩토리는 전체 생산 공정을 최적화·효율화하고, 산업 공정의 유연성과 성능을 새로운 차원으로 업그레이드시킬 것이다(이정아, 김영훈, 2014).

2.4. 후기수용모델(Post Acceptance Model, PAM)

2.4.1. 후기수용 모델 등장 배경

후기 기술수용모델(Post Acceptance Model : PAM)은 Bhattacharjee(2001)가 제안한 이론적 모델로 정보시스템(IS)의 수용과 지속적 행동 사이의 차이를 고려한 정보시스템(IS) 연속성의 이론적 모델을 개념화하고 실험 한 최초의 문서 중 하나이다(Bhattacharjee, 2001).

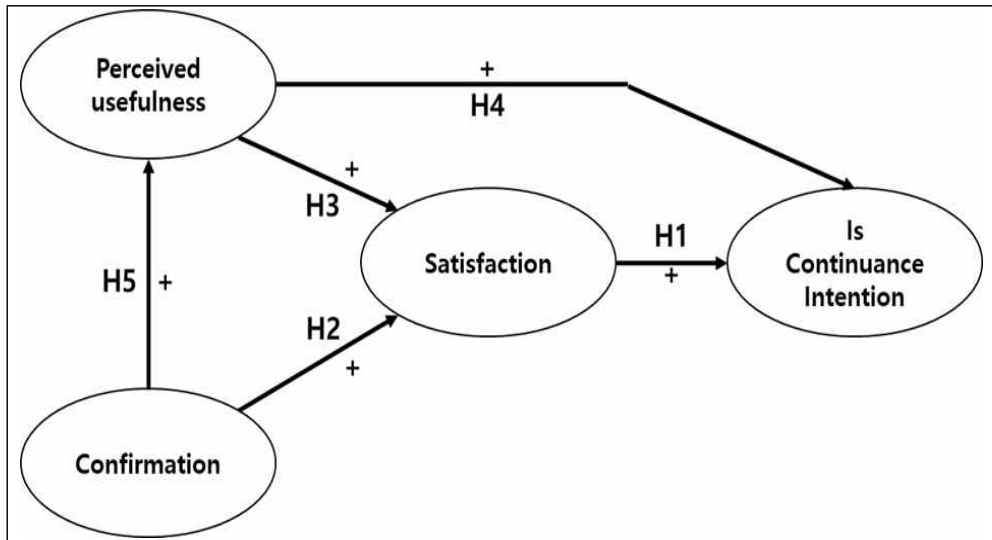
Bhattacharjee(2001)는 그간 정보시스템(IS)의 이론적 연구가 증가하는 것에 대하여 주목을 하였으며, 혁신 확산 이론 (Rogers 1995), 기술 수용 모델 (Davis et al. 1989), 계획 행동 이론 (Ajzen, 1991)을 기반으로 개인이 새로운 정보시스템(IS) 수용동기를 부여하는 변수와 이를 수행하는 방법을 조사 진행하였다. 조사결과, 정보시스템(IS)의 초기 수용은 정보시스템(IS) 성공을 실현하

기 위한 중요한 첫 번째 단계이지만 정보시스템(IS)은 현대의 비즈니스 프로세스에서 중용한 역할을 담당하기 때문에 드물고, 부적절 하며 비효율적인 정보 시스템(IS)의 장기간 사용이 종종 사업실패에 기여한다(Lyytinen & Hirschheim, 1988). 따라서 정보시스템(IS)의 장기적인 생존 가능성과 궁극적인 성공은 처음 사용하는 것이 아니라 지속사용하는 것에 달려 있다고 판단하였다.

이후, 소비자 행동이론에 근거한 Oliver(1980)의 기대일치이론(Expectation Confirmation Theory, ECT)을 기반으로 하며, 사회적 심리학 이론에서 추론된 합리적 행동이론에 근거하여 Davis et al.(1989)가 제안한 기술수용모델(TAM: Technology Acceptance Model)이론화 과정과 유사하게 개념화한 후기기술수용모델(Post Acceptance Model : PAM) 이론을 [그림 2-13]과 같이 제시하였다. Oliver(1980)가 제안한 기대일치이론(ECT)의 기대(Expectation)가 사용 전 기대와 사용 후 기대가 다를 수 있는 잠재적 변화 영향을 고려하지 못한 점과 기술수용모델(TAM)의 공통된 사전 수용 변수 세트를 기반으로 수용-불연속 이상에 대한 명확한 설명을 제공할 수 없는 점을 보완하여 제안된 모델이다(Bhattacharjee, 2001).

가설 모델의 검증은 온라인 banking(OBD) 사용자를 대상으로 현장조사 데이터를 실증 분석 하였으며, 수용 후 지각된 유용성이 사용자의 지속 의도에 계속 영향을 미치는 반면, 우선 사용에 대한 사용자 만족은 종속 변수에 상대적으로 더 강한 영향을 미친다는 것을 확인 하였고 사용자 만족도는 주로 사용자가 이전 사용에 대한 기대를 확인하고 2차적으로 인지 유용성에 의해 결정되었음을 확인 하였다(Bhattacharjee, 2001).

후기기술수용모델(Post Acceptance Model : PAM)에 대한 구성적 요소를 좀 더 살펴보기 위해 주요 기반 이론으로 사용된 Oliver(1980)의 기대일치이론(ECT)과 Davis et al.(1989)가 제안한 기술수용모델(TAM) 이론을 먼저 살펴보고자 한다.



[그림 2-13] Bhattacharjee(2001) 후기기술수용모델(PAM)

출처: Bhattacharjee(2001). Understanding Information Systems Continuance: An Expectation-Confirmation Model.

2.4.2. 기대일치 이론(Expectation Confirmation Theory, ECT)

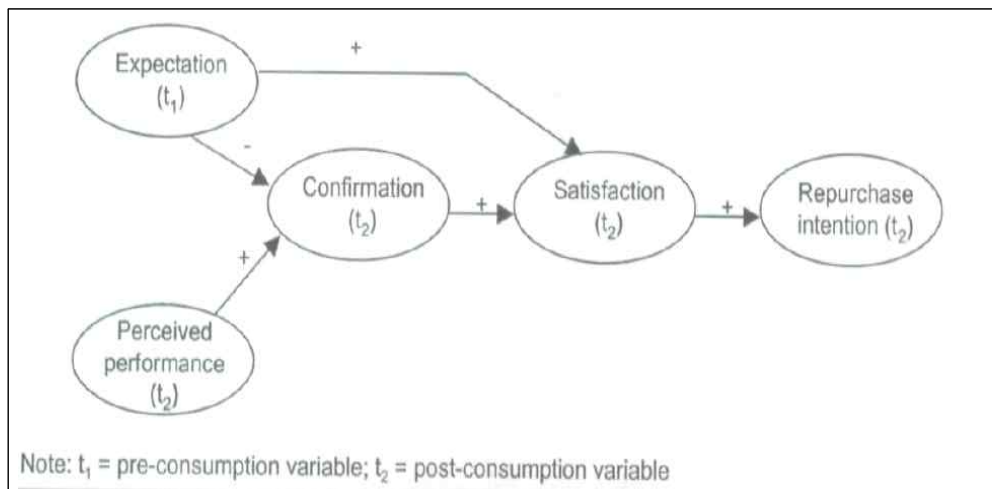
기대일치 이론(Expectation Confirmation Theory: ECT)은 소비자 행동 연구에서 소비자 만족도, 구매 후 행동 및 일반적인 서비스 마케팅을 연구하는 분야에서 많이 사용하는 이론이다(Oliver, 1980).

기대 수준이 소비자 만족에 미치는 영향을 조사한 최초의 연구는 불펜을 사용하여 제품 성능과 기대가 만족에 미치는 영향을 조사한 Cardozo(1965)의 연구인데, 연구 결과 기대보다 좋은 제품을 받은 피실험자들은 제품을 보다 높게 평가하려는 경향이 있다는 사실을 발견하였다(구본걸, 박지혜, 2016). 또한 Hempel(1977)은 소비자가 소비 이전에 상품에 대해 가졌던 기대 수준과 실제 결과 간의 일치 정도에 따라 소비자 만족이 결정된다고 하였다(Hempel, 1977). 이후에도 기대수준과 소비자 만족에 대한 여러 연구가 진행되었으며, 1977년 과 1980년 Richard L. Oliver의 두차례 연구논문을 통해 이론적 개념이 구조화 되어 개발 되었다.

기대일치이론(ECT)의 주요 관계 및 구성은 [그림 2-14]와 같다. 기대에 대한 기대일치이론(ECT)에서 소비자가 최종적으로 재구매 의도에 도달하는

과정을 Oliver(1980)는 다음 5단계에 걸쳐 설명한다. 1단계, 특정제품 및 서비스에 대한 구매자들의 사전 기대치 형성. 2단계, 해당 제품 및 서비스 구매 후 초기 사용에 대한 소비자 성능 인식. 3단계, 초기 인식된 성능 기준과 구매전 기대 수준을 비교하여 사후 기대 수준을 확인. 4단계, 사후 비교 불일치 수준에 따른 소비자들의 만족감 또는 불만족감 형성. 최종 5단계, 만족한 소비자는 향후 해당제품 및 서비스 재사용 및 재구매 성향 형성, 반대로 불만족한 소비자는 후속 사용 중단 성향 형성. 결론적으로 소비자들은 특정제품 및 서비스에 대하여 사전 기대와 사후 초기에 형성된 기대수준 불일치 정도가 만족에 영향을 미치고 이는 곧 재구매 및 재사용 행동에 영향을 미친다.

연구결과 기대일치이론(ECT)에 근거하여 기대일치에 대한 사용자의 기대치와 실제 성과(Performance)간의 관계를 규명하였으며 기대일치는 사용자의 기대치와 실제 성과(Performance) 사이의 일치정도로 정의하였다(Oliver, 1980). 이러한 연구를 통해 향후 Bhattacharjee(2001)의 온라인뱅킹(OBD) 사용자들의 지속적 사용 의도를 분석하기 위한 후기수용모델에(PAM)의 기반이 되었다.



[그림 2-14] Oliver(1980) 기대일치이론(ECT)

출처: Bhattacharjee(2001). 자료 재인용

향후 기대일치이론(ETC)은 Bhattacharjee(2001)의 후기수용모델 이 외 다

양하게 확장된 연구가 진행되었다.

Thong et al.(2006)의 연구는 사용자가 수용 이전에 가졌던 기대와 실제 성과와의 불일치를 인식하면 초기 신념을 수정하여 불일치를 감소시키는 경향이 있음을 보여주며, 정보시스템 사용 전 사용자가 가지는 기대 수준은 사용자가 인식하는 시스템 성능에 유의한 영향을 미치며 사용자의 기대 수준에 따라 사용자가 인지하는 만족도는 달라진다(김종욱 외, 2005).

Lin(2005)은 기대일치이론(ETC)을 기반으로 플로우 이론(Flow Theory)요인 중 지각된 놀이성(Perceived Playfulness) 요인을 추가하여 웹 포털을 사용하는 사용자들을 대상으로 연구를 진행한 결과 지각된 유용성과 지각된 놀이성 그리고 사용자 만족은 지속적인 사용 의도에 대하여 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 기대 일치는 지각된 유용성과 놀이성 그리고 사용자만족에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 지각된 유용성이 사용자 만족도에 미치는 영향 정도는 파악하지 못하였다.

Roca et al.(2006)의 이러닝 사용자를 대상으로 지속적 사용에 관한 연구를 살펴보면, 기술수용모델(TAM)과 기대불일치이론(EDT)을 기반으로 지각된 품질 및 편의성, 통제 등의 요인들을 추가시켜 이론적 모형을 확장하였다. 연구 결과 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 영향을 미치는 것으로 나타났고 사용자 만족은 기대충족과 지각된 품질 그리고 편의성에 의하여 결정되는 것으로 나타났으나, 주관적 규범에 대한 사용자의 만족에는 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다(Roca et al., 2006).

국내에서는 이선로와 정연오(2008)가 해당 이론을 기반으로 인터넷 쇼핑 사이트의 지속적 사용에 관한 연구가 진행되었다. 인터넷 쇼핑 사이트의 기대충족을 제품 특성과 사이트 특성 그리고 서비스 특성 등으로 세분화하여 신뢰가 지속적 사용 의도에 미치는 영향과 기대 충족이 소비자에게 주는 신뢰의 영향도 파악하고자 하였다. 연구 결과 제품과 서비스 그리고 사이트의 특성은 유용성과 사용자 만족 그리고 신뢰에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났고, 유용성과 사용자 만족은 지속적인 사용의도에 영향을 미치게 되고 유용성은 사용자 만족에 영향을 미치게 되나 신뢰에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(이선로, 정연오, 2008).

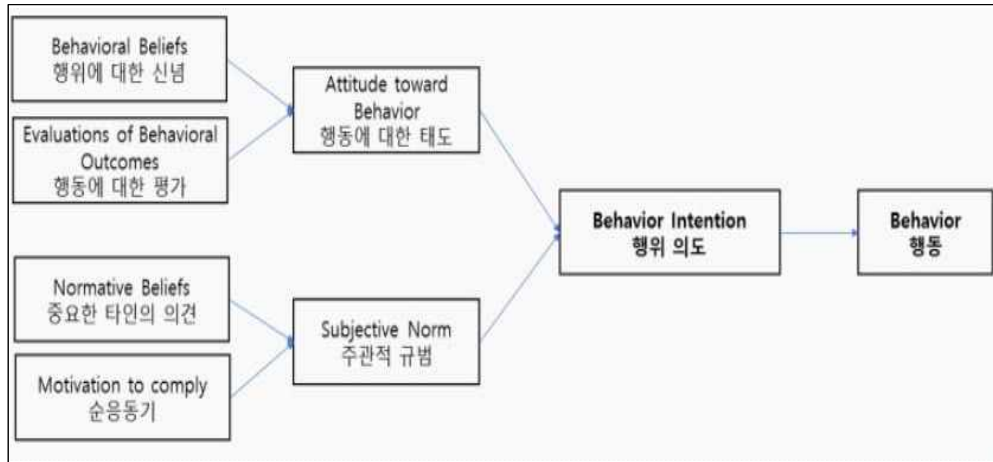
2.4.3. 기술 수용모델의 개념

기술수용모델(Technology Acceptance Model: TAM)은 수용자의 새로운 기술 수용 행동을 설명하기 위한 모델로 Davis(1989)가 경영정보시스템 수용과 관련하여 처음 소개된 후 많은 후속 연구들이 진행 되어지고 있다(유재현, 박철, 2010). 또한 수용모델 (AM; Adoption Model)은 합리적 행동이론(TRA: Theory of Reasoned Action) 모델에서 기술수용모델(TAM: Technology Acceptance Model)로 진화되었고, 이후 확장된 기술수용 모델(TAM2)로 발전하였다(Taherdoost, 2018).

앞서 언급된 것과 같이 기술수용모델(TAM)은 심리학 및 마케팅 분야 에서 인간의 행동을 설명하기 위해 제안된 Fishbein & Ajzen(1975)의 합리적 행동이론(TRA)을 근간으로 하고 있다. 합리적 행동이론(TRA)은 [그림 2-15]와 같이 주요 관계가 구성되어 있다. 해당 이론에 따르면 실제행동을 발생시키는 직접적인 결정 요인은 행동에 대한 태도가 아닌 수행하려고 하는 행동 의도라고 할 수 있다(최민수 2011; Norman & Smith, 1995). 또한 이러한 의도는 태도에 영향을 받는 것으로 설명되고 있다(Fishbein & Ajzen, 1975). 또한 실제 행동은 행동을 실행하고자 하는 의도에 영향을 받고 이 행동하고자 하는 의도는 태도와 주관적 규범에 의해 결정된다(강성욱 외, 2013).

합리적 행동이론(TRA)은 인간이 합리적인 동물이기 때문에 체계적인 정보처리와 활용이 가능하여 스스로 행동을 통제할 수 있다는 전제를 바탕으로 하지만 실제 상황에서는 개인이 자신을 온전히 통제한다는 것이 불가능한 상황이 존재하기에 이론에 대한 한계 역시 존재한다(조대우 외, 2001).

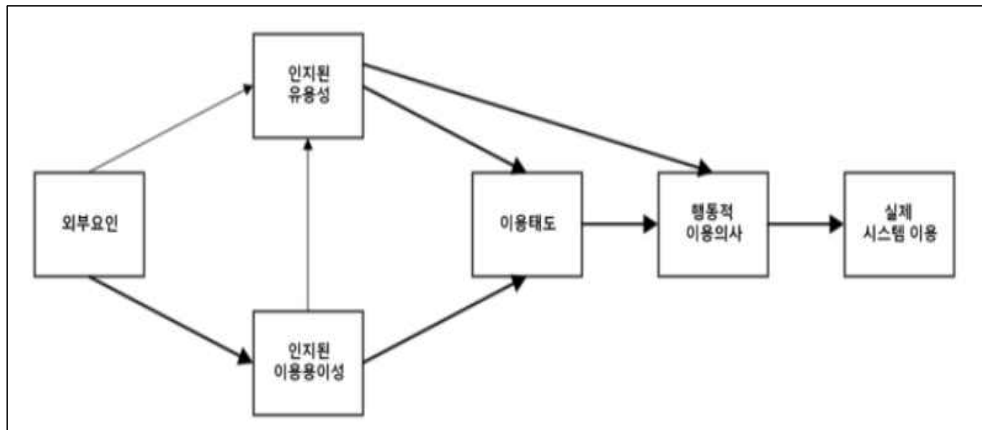
합리적 행동이론(TRA)의 태도(attitude)는 특정 대상에 대한 호의적 또는 비호의적인 심리상태를 설명한다. 이와 같은 맥락에서 Davis는 기술이나 혁신 채택 시에는 채택 의도가 형성되어야 하며, 채택 의도는 그 대상에 대한 태도에 영향을 받는다고 주장하였다(Davis, 1989).



[그림 2-15] Fishbein & Ajzen(1975) 합리적 행동이론(TRA)

출처: Fishbein et al.(1975). Belief, Attitude, Intention and Behavior.

기술수용모델(TAM)의 구체적인 모형은 [그림 2-16]과 같고 여기에서 설명하는 태도는 기술에 대한 두 가지 신념의 정도인 지각된 용이성(perceived ease of use)과 지각된 유용성(perceived usefulness)과 관련이 있는데, 지각된 용이성(Perceived ease of use)이란 '특정한 기술이나 혁신은 사용하기 쉽다'라는 신념이며, 지각된 유용성(perceived usefulness)이란 '특정 기술이나 혁신을 사용함으로써 개인의 업무수행을 향상시켜 줄 것이다'라는 신념이다(Davis, 1989). 구체적으로 지각된 유용성은 이는 정보기술 이용자가 업무생산성 및 효율성과 관련해서 기존 기술이 할 수 없었던 특정기술을 유용하게 이용하는 것이 개인의 업무 능력이나 삶의 질을 향상시킬 것이라는 결과에 대한 평가로 이해할 수 있으며, 지각된 이용 용이성은 정보기술이나 혁신제품에 대해 습득하고 사용하는데 필요한 개인의 정신과 물리적 부분에 대한 노력이 감소될 것이라는 과정으로 이해할 수 있다(안상호, 2020). 즉 신기술이나 새로운 시스템에 대해 사용하기 편하다고, 어려움이 없다고 판단하는 정도에 따라 해당 정보 기술수용에 대한 고객의 이용 태도가 결정된다고 볼 수 있다(오종철 외, 2010). 이용 태도는 개인의 행동에 대한 자신의 신념과 태도에 대한 감정을 들어내며 직접적으로 행동을 하고자 하는 의도에 영향을 미치게 되기 때문에 태도는 지각된 유용성과 지각된 이용 용이성에 영향을 주고 이어서 행동의도에 영향을 끼치게 되는 것이다(장형유 외, 2010).



[그림 2-16] Davis(1989) 기술수용모델(TAM)

출처: Davis(1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and Use Acceptance of Information Technology.

Davis(1989)는 위의 두 가지 과정이 선행될 때 긍정적인 태도가 형성된다고 주장 하였다. 즉 지각된 유용성과 지각된 용이성은 특정 기술에 대한 태도를 형성하고 그 태도는 수용 의도에 영향을 미치고, 다시 수용 의도는 실제사용과 높은 상관관계를 갖는다고 주장하였다(Davis, 1989).

특히 기술수용모델은 사용자가 지각하는 기술의 지각된 유용성(Perceived Usefulness)와 지각된 용이성(Perceived Ease of Use)라는 두 변인을 통해 새로운 기술에 대한 태도와 행위 의도 및 실제 행위와의 관계를 45~57% 가량을 설명할 수 있는 것으로 나타났는데(Davis et al., 1989) 먼저 지각된 유용성은 기술 사용자가 업무의 생산성 혹은 효율성의 측면에서 기존의 것들과 비교해 보다 업무의 생산성, 효율성 그리고 삶의 질을 높여주는 변수라고 할 수 있으며 지각된 용이성은 새로운 기술을 습득 하는데 있어 들이는 개인의 정신적, 물리적 노력을 설명해주는 변수라고 할 수 있다(Davis, 1989).

선행연구에서는 특정한 기술의 이용성이 좋을수록 더 유용하게 생각하며, 이용 용이성은 유용하게 인지하는데 영향을 준다는 것을 알아낼 수 있었다(신동희,장우성, 2013; 오상현, 김상현, 2006; Davis, 1989). 기술수용 모델은 제품, 서비스 분야의 혁신적 기기 및 software의 수용을 증명하는 연구에 많이 활용되며, 개인 차원에서의 새로운 정보기술을 수용하는 과정을 설명하는 일반적인 이론으로 인정받고 있다(문용주, 이해영, 2017).

그러나 시간이 지나면서 두 개의 변수만으로는 설명할 수 없는 부분이 많은 한계점이 지적되어 이후 유용성과 용이성 외에 여러 변수들을 대상에 맞게 포함하여 설명하려는 시도들이 이루어져 왔었다(신동희, 김성중, 2012).

Venkatesh & Davis(2000)는 외부변수들의 영향을 고려한 비자발적 또는 자발적 환경에서 새로운 업무 시스템 수용을 측정하기 위한 확장된 기술수용 모델을 제안하였다. 확장된 기술수용모델은 좀 더 다양한 측면에서 기술수용의 과정이 이해될 수 있게 하기때문에 독립 변수를 설정할때에도 기술의 특성을 고려하여 선행 연구의 변인들을 활용해 볼 수 있다(김해연, 성동규, 2018).

박성제 외(2019)는 스마트 머신 수용 의도에 미치는 영향에 관하여 확장된 기술수용모델을 이용하였고, 혁신성에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다.

정은유(2019)는 항공사 애플리케이션 재사용의도에 대한 연구에서 확장된 기술수용모델의 사회적 영향, 가격 효용성등 일반적이나 검증된 요인을 기반으로 연구를 진행하였고, 추후 항공사별 애플리케이션의 특성이 반영된 요인이 추가된 연구가 필요함을 방향성으로 제시하였다.

김해연과 성동규(2018)는 자율주행자동차 구매의도에 미치는 영향요인 연구에서 일반적인 외부요인 외에 자동차의 특성이라 할 수 있는 개인의 운전능력을 추가하여 연구를 진행하였다.

이처럼 기술수용모델을 기반으로 이를 다른 변수와 함께 쉽게 변형하고 확장할 수 있는 것은 모델 자체가 가지고 있는 구조의 복잡성과 모듈성에 기반하고 또한 정보기술 수용 현상의 다양성을 다루는데 적합하기 때문이다(유재현, 박철, 2010). 기술수용모델이 가지고 있는 복잡성은 모델이 합리적 행동이론, 기대이론, 자기효능감 이론 등과 같은 복수의 다른 이론을 기반으로 하고 있다는 것을 의미하며 모듈성은 변수의 삭제나 교체가 가능할 만큼 근거 이론의 역할들이 각각의 독립성을 갖는다는 것을 의미한다(유재현, 박철, 2010).

2.4.4. 후기 수용모델(PAM)의 구성요인

지금까지 후기수용모델(PAM)의 등장 배경 및 기반이론에 대한 선행연구를 살펴보았다. 선행연구에서 나타나듯이 후기수용모델(PAM)은 Oliver(1980)의 기대일치이론(ECT)을 기반으로 하고 있으며 Davis et al.(1989)가 제안한 기술수용모델(TAM)에 지각된 유용성의 개념을 차용하여 사용 하고있는 것으로 파악되었다. 또 한 여기서 나타나는 지각된 유용성은 합리적 행동이론(TRA)의 행위에 대한 신념에서 추론되어 나타난 것을 알수 있었다. 이제부터 후기수용모델(PAM)을 구성하는 주변인들(기대일치, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용의도) 관계에 대하여 좀더 살펴보려고 한다.

2.4.4.1. 기대일치와 사용자 만족 및 지각된 유용성의 관계

Bhattacharjee(2001)는 기대일치이론(ETC)에서 사용자 만족도가 정보시스템(IS)기대와 실제 초기 사용 후 기대 확인의 두 가지 구성에 의해 결정된다고 보았다, 즉 정보시스템 사용전 기대와 그 초기 사용시 기대의 일치 및 불일치 정도(정보시스템(IS)사용에 대한 이점)에 따라 사용자 만족도에 영향을 미친다는 것이다. Bhattacharjee(2001)는 기대일치이론(ETC)에서의 기대가 정보시스템(IS)처럼 지속사용에 따라 기대가 변경 될 수 있다는 것에 대해 설명이 불충분하다고 판단하고 후기수용모델(PAM)에서는 사전기대-확인-만족에 관계를 기대충족과 만족의 관계로 수정하여 제안하였다. 한편, 기술수용모델(TAM)은 광범위한 컴퓨터 기술 사용자 집단의 최종 사용자들을 통해 유용성과 사용 편의성이 정보시스템(IS) 수용 행동에 영향을 미치는 두드러진 신념으로 확인되고 있다고 판단하였다. 이러한 추론은 인지된 유용성과 사용 용이성이 정보시스템(IS) 수용의 주된 동기이기 때문에 이후의 연속 결정에도 영향을 미칠 수 있다고 가정하여 유용성이 사용자의 수용 후 영향에 영향을 미치는 가장 두드러진 외교 기대치가 될 것으로 예상하였다(Bhattacharjee, 2001). 따라서 기대일치이론(ETC)에서 기대(Expectation)를 지각된 유용성으로 표현하였다.

마지막으로 기대일치와 유용성에 관계에 대해 살펴 보면 기대에 대한 확인이 일치/불일치 정도에 따라 지각된 유용성에 영향을 미친다고 가정하고 있다. Bhattacharjee(2001)는 사용자들이 새롭게 도입된 정보시스템(IS)의 초

기에 무엇을 기대 할 수 있는지 확실하지 않기 때문에 초기 유용성에 대한 인식 또한 낮을수 있다고 판단하였다. 그럼에도 불구하고 사용자들은 자신의 경험보다 구체적인 인식을 형성하기 위해 시스템을 수용하려는 경향이 있으며 초기 사용후 유용성은 쉽게 인식될 수 있다. 이후 사용자들이 초기 기대했던 인식이 비현실적으로 낮다는 것을 확인하게 되면 초기에 인식된 유용성의 정도가 높게 조정될 수 있다고 예측하였다Bhattacharjee(2001).

선행연구에 의하면 기대일치는 지각된 유용성과 더불어 제품에 대한 만족에도 영향을 미치는 것으로, 지각된 용이성과 유희성에도 유의한 영향이 있다고 하였다(Thong et al., 2006).

본연구에서 기대일치 요인으로 사용하려는 변인은 생산성 향상과 유연성 향상이다. 스마트 공장과 관련된 여러 선행연구를 살펴 보면 이 두가지 변인이 공통된 도입 목적으로 사용 되고 있기 때문이다. 후기 수용 모델(PAM)에서 기대일치 측면으로 살펴보면, 스마트 공장 도입후 사전 기대한 생산성 향상과 유연성 향상 일치 정도가 유용성 및 사용자 만족에 영향을 미칠 것으로 판단되며 이는 최종적으로 지속적 사용 행동에 영향을 미칠 것으로 예측하였다.

2.4.4.2. 지각된 유용성과 사용자 만족도 및 지속적 사용의도의 관계

앞서 언급되었지만 기대일치이론(ETC)에서 기대(Expectation)를 사 전 기대보다 사용후 기대에 초점을 두고 있는 후기수용모델(PAM)에서는 기술수용 모델(TAM)에서 지각된 유용성이 초기 도입에 주요한 변인이며 향후 지속사용에도 영향을 주는 기대변수로 판단하기 때문에 지각된 유용성으로 표현하였다. 선행 연구에 따르면 정보시스템 사용 전 사용자가 가지는 기대 수준은 사용자가 인식하는 시스템 성능에 유의한 영향을 미치며 사용자의 기대 수준에 따라 사용자가 인지하는 만족도는 달라진다(김종욱 외, 2004) 연구된 사례가 있다,

한편 Bhattacharjee(2001)는 유용성에 대한 개념에 대해 '특정 기술이나 혁신을 사용함으로써 개인의 업무수행을 향상시켜 줄 것이다'라는 신념(Davis, 1989)으로 보고 향상된 성능을 통해 승진이나 금전적 이득과 같은 의도로 확

장되는 다양한 보상을 달성하는 데 중요한 도구적 역할을 한다 (Vroom 1964)고 판단하였다. 따라서 무의식적으로 도구 행동을 추구하거나 보상을 추구하는 인간적 성향은 연속적 맥락에서 지속적 사용 행동에 영향을 줄 가능성이 높다고 가정 하였다(Bhattacharjee, 2001).

선행 연구를 살펴 보면 우선 Lee et al.(2005)은 온라인 교육의 상황에서 지각된 유용성과 지각된 편리성의 인지적 반응과 지각된 즐거움의 정서적 반응이 태도에 대한 영향을 확인하였다. 김나은과 김민화(2010)의 관광 구전 정보와 커뮤니티의 상호작용의 영향에 관한 연구에서는 소셜 네트워킹 서비스(Social Network Service, SNS) 이용객이 SNS를 이용하여 획득한 정보가 자신의 소비활동에 유용한 가치를 제공하고 있는 것으로 지각하게 될 때, 정보 유용성은 향후 해당 제품 구매를 하거나 해당 기업체를 방문하고자 하는 의도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. Lin & Lu(2000)은 지각된 유용성에 대해 Web을 중심으로 한 연구에서 지각된 유용성은 Web에서 흥미롭고 유용한 정보를 비교적 빠른 시간에 얻을 수 있을 것이라는 믿음으로 정의하였다. 또한 Gefen et al.(2003)은 온라인 상 구매의도를 설명하는 변수인 지각된 유용성을 통해 온라인 쇼핑에서 구매의도 간의 유의함을 설명하였다.

2.4.4.3. 사용자 만족과 지속적 사용의 관계

후기수용모델(PAM)에서 사용자 만족은 지각된 유용성과 기대일치 변인에 영향을 받으며 기대일치이론(ETC)이론에 따라 정보시스템(IS)의 지속적 사용 행동을 결정하는 변인으로 사용된다.

한편 Bhattacharjee(2001)는 PAM 연구 목표에 초기 사용 또는 수용과 대조되는 지속성을 이해하는 것을 명시하고 있다. 정보시스템(IS) 지속성은 인터넷 서비스 제공 업체 (ISP), 온라인 소매 업체, 온라인 은행, 온라인 중개 업체, 온라인 여행사 등과 같은 많은 B2C 전자 상거래 회사의 생존에 핵심적인 요소이다.

정보시스템(IS)에 대한 이용객들의 만족(Satisfaction)은 소비자의 감정적 경험과 관련되어 있어(Crosby et al., 1990), 제품이나 서비스 이용 후 이용객들이 최종적으로 경험하는 정서적 평가이다(Spreng et al., 1996). 또한 고

객이 소비 경험에 의해 사전에 가지고 있던 감정과 기존의 불일치된 기대가 결합하여 발생한 종합적 심리상태이다(Oliver & Desarbo, 1988). 즉, 고객 만족이 결정되는 요인으로서는 해당 제품이나 서비스가 고객이 원하는 정도에 일치되는 여부의 지각된 성과 또는 지각된 품질이다(Anderson et al., 1994; Fornell et al., 1996). Tse & Wilton(1988)은 만족을 제품이나 서비스의 구매(이용) 전의 기대와 제품이나 서비스의 구매(이용) 후의 일치정도에 대한 소비자 반응으로, 제품이나 서비스의 수용여부가 제품이나 서비스의 이용목적과 적합한가에 대한 의식적 평가 또는 판단이라고 하였다. 이유재(1997)는 소비자가 기대하는 것에 대한 일치정도로 지각된 성과가 사전 기대에 부합하게 되는경우 만족하게 되며, 지각된 성과가 사전 기대와 부합되지 않을 경우 불만족하게된다고 하였다. IS 분야에서의 만족은 IS 품질을 바탕으로 IS에 대한 이용객의 지각적이고 주관적인 평가이다(Seddon, 1997).

정보시스템(IS)에 대한 사용자 들의 지속이용의도(Continuance Use Intention)는 소비자들이 일정한 시간동안 해당 기술을 효율적으로 이용하려는 의도이며(Sorebo & Eikebrokk, 2008), 초기 수용 후에 일어나는 반복적인 서비스 이용 형태로 긍정적인 만족이 충족되었을 때 형성된다. 일회적인 행동이 아닌 일상 활동의 지속적인 행동에서 보이는 이용 패턴이다(Bhattacharjee, 2001).

한편, 사용자 만족은 정보시스템(IS) 성과의 매개적인 요인으로 다양한 연구가 진행 되어왔다. 고객 만족과 기업의 성과와의 관계에 대해 고객 만족은 소비자들의 긍정적 구전을 유발하게 하며, 시장의 정체기에 고객 만족은 해당 기업의 중요한 자산이 되며, 퇴출장벽(Exit Barrier)이 되기도 함에 따라 고객 유지에 중요한 역할을 한다(Fornell et al., 1996). 또한 사용자 만족에 대해 강주희와 문태수(2017)는 이용 만족도가 높아질수록 지속이용의도가 높아진다고 밝혔으며, 유지혜와 정의준(2015)은 SNS를 활용한 사회공헌 콘텐츠의 만족도와 지속 이용 의도를 밝힌 연구에서 오락적 만족도가 높을수록 지속 이용 의도가 높아졌으나, 기능적 만족도는 지속이용의도에 유의미한 영향을 주지 않는다는 것을 밝혔다.

2.4.4.4. 후기수용모델(PAM) 연구동향

새로운 정보 기술이 등장하였을 때 소비자들이 왜 새로운 기술을 수용하는지를 파악하는 것은 중요하다(Swanson, 1987). Oghuma et al.(2016)은 후기수용모델(PAM)이 새로운 정보기술의 수용 이후 지속적인 이용 의도를 설명하기에 적합한 모델이라고 하였다. 하지만 지각된 유용성만으로 정보시스템 이용자들의 지속의도를 설명하는 데에 한계점이 있기 때문에 정보시스템이 가지고 있는 다양한 가치 및 특성을 충분히 고려하여야 한다(신동희, 김성중, 2012). 이와 같은 이유에서 여러 연구자들은 후기수용모델(PAM)을 기반으로 하여 수정 및 확장하여 다양한 연구모형을 제안하고 실증분석 하고 있다.

Hsu & Lu.(2004)은 Web 이용 경험자를 대상으로 한 연구에서 지각된 유용성(일치/불일치) 및 만족이 지속이용의도에 유의한 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

Thong et al.(2006)은 모바일 인터넷 서비스를 대상으로 TAM, IT의 기대일치이론(ECT-IT), IT의 확장된 기대일치이론(EECT-IT)을 비교하고 모바일 인터넷 연구에 PAM을 도입했다.

이와 같이 PAM을 활용한 초기 연구들은 사용자가 새로운 IS를 이용하는 동기에 지각된 유용성과 만족 등의 신념 변수를 가지고 IS의 지속이용의도에 대한 연구를 진행하였지만, 점차 지각된 즐거움이나 지각된 유희성등과 같은 변수들을 추가하여 특정 IS에 대한 쾌락적 특성을 함께 고려하는 연구로 확장되고 있다(정영훈 외, 2015; 배재권, 2016).

정철호와 정영수(2010)는 인터넷 비즈니스분야에서 높은 관심이 집중되고 있는 UCC 서비스를 대상으로 이용자의 사용 후 행동을 설명할 수 있는 변수로 지각된 유희성을 기존 PAM에 도입하여 각 변수들 간의 상호영향 관계를 살펴보았다. 그 결과 UCC 이용객이 지각된 유용성과 지각된 유희성을 높게 지각할수록, 그리고 만족의 수준이 높을수록 지속적으로 UCC 서비스를 방문 및 이용한다는 것을 증명하였다(정철호, 정영수, 2010).

최계봉(2012)은 모바일뱅킹 서비스의 지속적 이용 여부를 판단하기 위해 PAM에 신뢰를 통합하여 신뢰, 지각된 유용성, 기대일치, 만족, 지속의도 간의 관계를 살펴보았으며, 그 결과 사용자 경험에 따른 기대 일치와 신뢰가 지

각된 유용성과 만족에 영향을 미치며, 만족도는 지속의 도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Zhou(2013)의 연구에서는 모바일 지불 시스템에 대한 이용객들의 지속이용 의도를 파악하기 위하여 실증분석을 수행하였으며, 시스템품질, 정보품질, 서비스품질은 신뢰, 몰입, 만족을 통해 지속이용의도에 모두 유의미한 영향이 있는 것으로 나타났다.

특히, Oghuma et al.(2016)은 기대일치모델이 사전 수용 변수의 영향을 이미 확인하였거나 만족하였다고 가정하고 사후 수용변수에만 초점을 맞추었기 때문에 모델에 대한 더 나은 이해를 위해서 연구의 목적과 맥락에 맞게 독립 변수의 선택이 필요하다고 하였다.

이광원(2017)은 프로야구 모바일 어플리케이션의 행동지속성을 파악하기 위해서 서비스 품질을 기대일치모델의 선행변수로 제시하여 연구모형을 설계하였다.

은지훈과 김상현(2018)은 모바일 간편결제의 서비스 특성이 지속적 사용의도에 미치는 영향을 파악하기 위해 기대일치모델을 기반으로 연구모형을 설계하였으며, 기대일치모델의 외부변수로 서비스 특성을 제시하였다.

결과적으로 PAM은 이용객들의 기대가 충족되어 나타나는 사용자 만족은 수용 이후의 행동에 중요한 요인으로 간주된다(정경수 외, 2015). 다시 말해 어떤 기술에 대한 사용자 들의 만족정도는 상품의 성능 수준으로만 판단하는 것이 아니라 사용자 들이 상품의 성능에 대해 가지고 있던 기대와 사후에 갖게 되는 기대의 충족 여부에 의해도 결정된다는 것이다. 이러한 만족은 해당 기술의 지속이용의도를 이끌어 낸다(김기병, 2020).

이외에도 새롭게 적용되는 정보기술 및 정보시스템, 온라인 서비스 환경등에서 지속이용에대한 연구 부문에서 후기수용 모델은 아래 [표 2-18]과 같이 다양하게 적용되었다.

[표 2-18] PAM에 관한 선행연구

연구자	연구대상	활용변수	종속변수
천종성(2020)	유튜브 채널 구독	인지된 네트워크 외부성, 인지된 유용성, 인지된 즐거움, 일치, 만족	구독의도

김기병(2020)	온라인 여행사(OTA)	지각된 유용성, 브랜드애착, 고객반응, 온라인 리뷰 평점	지속사용의도
안상호(2020)	인터넷 전문 은행	기대일치, 지각된 용이성, 기술보안성, 경제적이점, 지각된 유용성, 만족	지속이용의도
이한나(2019)	면세점 어플리케이션 서비스	기대충족, 유용성, 디자인, 보안통제, 서비스용이성, 만족	지속사용의도
김수지(2019)	모바일 간편결제 서비스	간편결제 서비스 특징, 유용성, 일치, 만족도,	지속사용의도
이주희 외(2018)	1인 미디어 이용자들의 라이브 스트리밍 방송	이용동기, 인지된 유용성, 기대충족, 만족	지속사용의도
김효석(2018)	모바일 IPTV	주관적 규범, 지각된 유용성, 기뻐일치, 만족, 플로우 경험, 모바일 IPTV 서비스 품질	지속이용의도
정철호와 서용석 (2017)	O2O(Online to Offline) 서비스	기대충족, 편의성, 촉진환경, 가격가치, 지각된 유용성, 만족	지속사용의도
한상연 외(2017)	다중채널네트워크 개인방송 서비스	인지된 유용성, 콘텐츠 다양성, 상호작용성, 즐거움, 인지된 위험, 이용만족	지속사용의도
Oghuma et al.(2016)	모바일 메신저	서비스 품질, 충족, 유용성, 즐거움, 인터페이스, 보안성, 만족	지속사용의도
Zhang et al.(2015)	공동구매 웹사이트	충족, 인지된 가격이점, 평판, 사이트 품질, 만족	지속사용의도
Chen et al.(2013)	모바일 서비스	기술준비도, 충족, 인지도니 유용성, 만족	지속사용의도
Zhou(2013)	모바일 결제서비스	시스템 품질, 정보 품질, 서비스 품질, 신뢰, 몰입, 만족	지속사용의도
신동희와 김성중(2012)	스마트폰	충족, 기능적 가치, 지적 가치, 용이성	지속사용의도
Lin et al.(2012)	IPTV	인지된 품질, 콘텐츠풍부함, 인지된 비용, 인지된 유용성, 지각된 가치	지속사용의도
최계봉 (2012)	모바일 뱅킹서비스	신뢰, 기대일치, 지각된 유용성, 만족	지속사용의도
Venkatesh et al.(2011)	e-government 정보시스템	인지된 유용성, 신뢰, 만족, 태도	지속사용의도
정철호와 정영수 (2010)	사용자제작콘텐츠(UGC)	기대일치, 지각된 유용성, 지각된 유희성, 만족	지속사용의도
이선로와	인터넷쇼핑 사이트	제품특성, 사이트 특성, 서비스 특성, 유	지속사용의도

정연오(2008)		용성, 신뢰	
김영택 외(2006)	개인형 커뮤니티 사이트	사용용이성, 지각된사회심리성, 지각된즐거움, 만족	구전의도, 재이용의도
Hsu et al.(2004)	WWW 응용 프로그램	지각된 사전 일치, 기대 결과,인 터넷 자기효능감, 기대 결과, 사전 이용 만족, 기대 결과	Web 지속사용의도
Bhattacharjee(2001)	온라인 बैंकिंग	충족, 인지된 유용성,만족, 지속사용의도	지속사용의도

출처:김기병(2019)의 자료를 바탕으로 연구자가 재정리

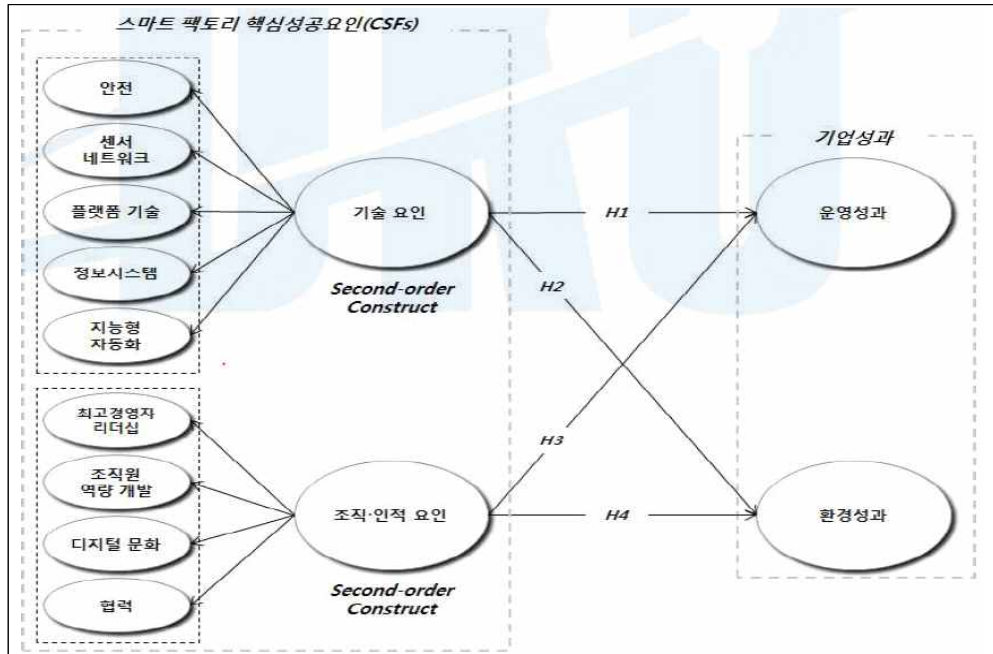
2.5. 선행연구의 시사점

스마트 팩토리의 도입의 핵심 성공 요인과 기업성과에 관한 권세인(2019)의 연구는 성공적인 스마트 팩토리의 도입을 위한 기술 및 인적·조직적 측면에서의 핵심요인을 규명하고 각각의 요인이 기업의 운영적, 환경적 성과에 미치는 영향을 실증적으로 검증하고자 하였다(권세인, 2019).

권세인(2019)은 사례를 중심으로 스마트 팩토리의 구축과 성과 간의 인과적 관계를 설명했던 기존의 연구·보고 자료를 통계적인 분석에 기반한 실증연구를 통해 재입증 하였다는 점과 4차 산업혁명과 스마트 팩토리 등과 관련하여 사회-기술적체계를 강조했던 기존의 선행연구를 실증적으로 검증함으로써 해당 중요성을 다시금 확인하였다는 점에서에서 의의가 있다고 보았다. 연구 모형은 [그림 2-17]과 같으며, 연구결과 기술적 측면과 조직·인적 측면으로 구분된 스마트 팩토리의 핵심성공요인은 모두 운영성과와 환경성과에 유의한 인과적 관계가 있는 결과가 도출되었으며, 스마트 팩토리의 기반 구축을 통해 기업이 지속적으로 긍정적인 성과를 창출하기 위해서는 센서 네트워크, 플랫폼 기술, 정보시스템의 구축이 반드시 필요하다는 점을 다시금 강조하고 있다(권세인, 2019).

연구의 한계점으로는 수집된 연구 샘플에 다양성과 사이즈 부족으로 보다 정밀하고 세부적인 연구가 어려웠다는 점을 들고 있으며, 광범위한 스마트 공장기술을 모두 다루지 못하였고 특히 스마트 공장 표준과 관련된 사항을 다루지 못하였으며, 산업별 핵심 성공요인이 다를 수 있다는 한계점을 언급하고

있다.



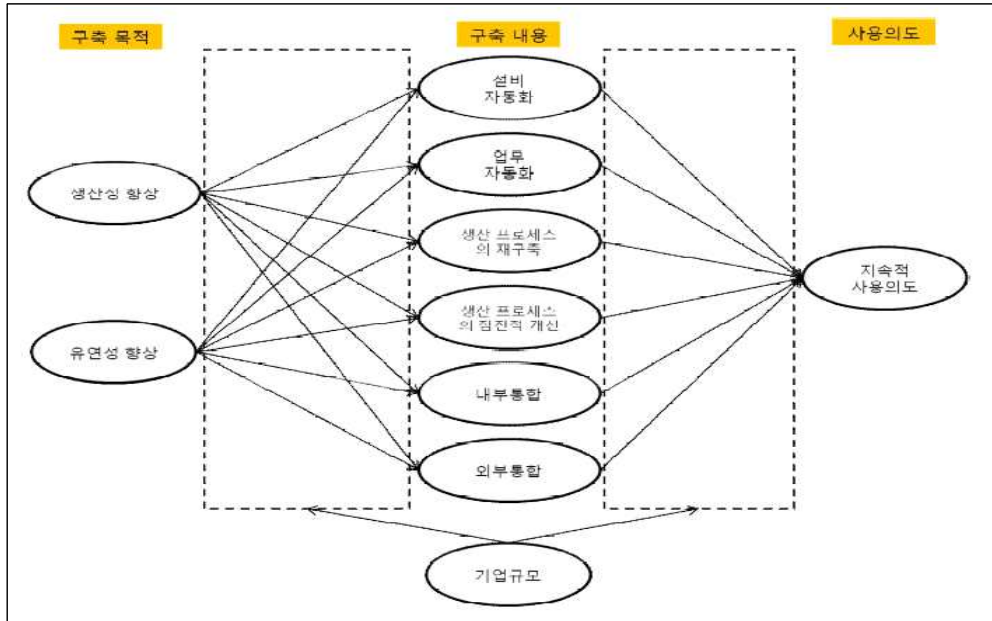
[그림 2-17] 스마트공장 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증연구.

출처: 권세인(2019). 스마트공장 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증연구.

오주환(2019)의 스마트 팩토리의 전략적 활용 연구에서는 스마트 팩토리의 전략적 활용을 위한 스마트 팩토리의 구축 목적을 생산성 향상과 유연성 향상으로 분류하였고, 스마트 팩토리의 구축 내용으로 설비 자동화, 업무 자동화, 생산 프로세스의 재구축을 위한 제조 빅데이터 활용, 생산 프로세스의 점진적 개선을 위한 제조 빅데이터 활용, 내부통합, 외부통합으로 구분하여 지속적 사용의도에 관한 연구를 진행 하였다(오주환, 2019).

연구 모형은 아래 [그림 2-18]과 같다. 연구결과 스마트 팩토리의 구축 목적으로서 생산성 향상과 유연성 향상을 위한 구축 내용으로 자동화 영역, 제조 빅데이터 기술 활용영역, 가치사슬 통합범위가 중요한 요인으로 작용하고 있음을 알 수 있었으며 저 비용으로 기존의 설비에 센서 등을 부착하여 얻은 방대한 제조 빅데이터를 분석 및 활용하여 제조 생산성을 높이는 것이 효율적이며 과감한 자동화 투자를 실시하고, 가치사슬 통합을 위한 노력을 할 때 목표한 유연성 향상이 될수 있다 언급하였다(오주환, 2019).

그러나 기업의 스마트 팩토리 구축에 관한 조직문화나 능력, 기타 기업의 내·외부 변수등의 중요 변수들 및 산업특성을 고려하지 못한 점과 연구 샘플 표본의 규모가 작아 일반화에 신뢰성이 부족하고, 산업특성이나 제품특성, 조직문화, 기업능력 등의 조절효과를 다루지 못한 점에 한계점이 있음을 언급하였다.



[그림 2-18] 스마트 팩토리의 전략적 활용 연구.

출처: 오주환(2019). 스마트 팩토리의 전략적 활용 연구.

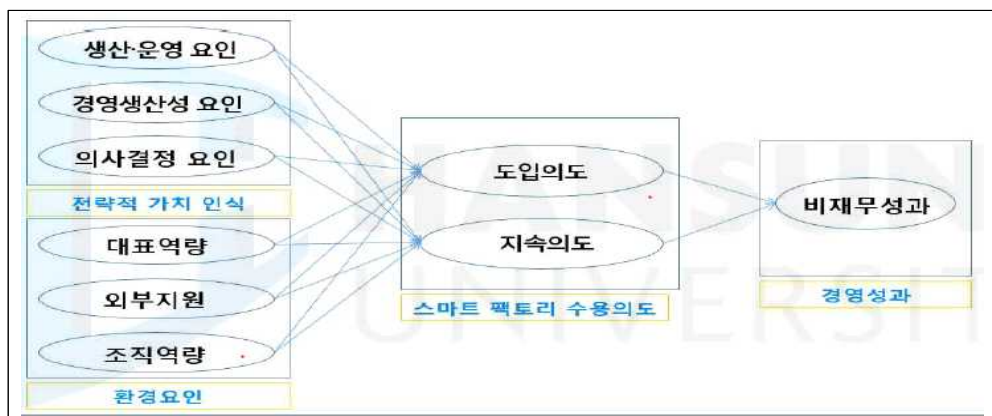
김상문(2020)에 연구에선 [그림 2-19]와 같이 기술수용모형과 Elizabeth & Michael 모형을 바탕으로 중소기업의 스마트 팩토리 구축에 대한 수용의도와 경영성과에 영향을 미치는 설명변수를 전략적 가치 인식 측면에서 도출하고 이들 변수사이의영향 관계를 연구 하였다.

연구결과 컨설턴트 역량이 스마트 공장 지속의도에 미치는 영향을 제외하고 종장자동화, 빅데이터 분석, 신산업 생산성, 프로세스 개선, 컨설팅 만족, 대표역량, 외부지원, 조직역량 요인 모두 도입의도와 지속의도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

해당 연구를 통하여 기업의 성장단계에서 대표역량, 외부지원, 조직역량이

중요한 요소임을 확인하였다. 특히 외부지원은 정부의 금전적·비금전적 정책 지원이 포함되어 있어, 기업의 성장단계별로 스마트 팩토리 지원을 차별화해야 함을 시사하고 있다(김상문, 2020). 또한 중소기업만이 느끼는 스마트 팩토리 구축과 관련한 실질적인 문제점과 더 많은 구축사례를 통해 중소기업에게 특화된 솔루션을 제공할 필요가 있으며 중소기업의 관점에서 스마트 팩토리성숙단계를 보다 세분화하고 구체화하여 성숙단계를 새롭게 정의해야 정부기관 또는 기업 외부의 지원정책이 효과적이고, 또한 중소기업의 스마트 팩토리 구축과 관련한 성과를 연구가 효과적일 것이라 언급하고 있다(김상문, 2020)

향후 연구 방향으로 중소기업의 재무자료에 스마트 팩토리 도입 시기에 대한 정보를 추가하여 스마트 팩토리 도입 연차별 스마트 팩토리 구축 효과 연구 및 중소기업의 스마트 팩토리 도입에 대한 지역별 산업 특성에 따른 도입의도 또는 경영성과에 대한 연구를 통해 보다 세분화된 지원책을 제시할수 있을 것으로 판단하고 있다(김상문, 2020).



[그림 2-19] Big Data기반 스마트 공장 수용의도와 경영성과 연구

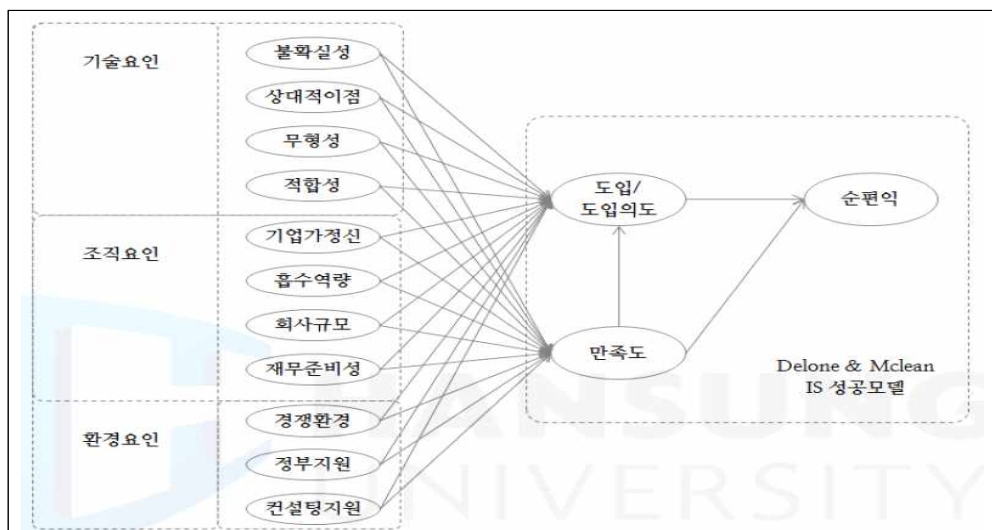
출처: 김상문(2020) 빅 데이터기반 중소제조기업의 스마트 팩토리 수용의도와 경영성과에 관한 실증연구.

길형철(2019)의 연구는 [그림 2-20]과 같다. 기업현장에서의 실질적이고 효과적인 스마트 공장의 수용 확산을 위한 방안을 연구하기 위하여 제조 기업들이 스마트 공장 수용을 할 때 제조 기업들은 어떠한 요소를 중요시 하고

설치 후 어떻게 만족을 하는지 살펴보고자 실제 제조 기업 스마트 공장 관련자들을 대상으로 실증적인 분석을 수행하였다(길형철, 2019).

길형철(2019)은 ICT분야의 기술 수용모델 중에서 조직의 특성을 가장 잘 반영하고 있는 기술-조직-환경(TOE) 프레임워크와 혁신 확산 이론(Innovation Diffusion Theory), 그리고 Delone & Mclean의 Information system 성공모델을 중심으로 연구모델 구조를 구성하고 여기에 스마트 공장의 특성 중 기술 요소로 무형성, 불확실성과 업무-기술 적합 모델을 추가하였으며, 조직 요소로 기업가 정신과 흡수역량을 추가하여 연구 모델을 설정하였다.

연구 결과, 스마트 공장 경험이 있는 기업들이 상대적 이점이나 불확실성, 경쟁 환경같은 기술적 환경적 요인이 스마트 공장수용의도/수용에 영향을 주고 있으나, 스마트 공장 경험이 없는 기업은 스마트 공장에 대한 컨설팅이 필요하다고 느낄 만큼 이해도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 만족도에도 흡수역량만이 영향을 주는 것으로 나타나 기업의 역량이 기업에 적합한 스마트 공장 구축에 영향을 주는 것으로 조사되었다(길형철, 2019).



[그림 2-20] 스마트 공장 수용 요인과 성과 분석을 위한 실증적 연구
출처: 길형철(2019) 스마트 공장 수용 요인과 성과 분석을 위한 실증적 연구.

따라서 최초로 성과를 빠른 시일 내에 가시화 할 수 있는 분야를 찾아 일

단 작게 시작을 하는 것이 중요하며, 중소기업의 경우 처음에는 컨설팅 등 외부의 도움을 받아 가장 절실한 부분을 찾아 작게 시작해서 성공시킴으로 스마트 공장 솔루션의 장점과 실질적 효용가치를 느끼고 이를 바탕으로 스마트 공장의 수준을 높여가는 것이 바람직하다 제시하고 있다(길형철, 2019).

이외에도 스마트 공장의 보급과 기업성장에 관한 연구를 진행한 김진한 외(2019), 스마트 공장 표준화 이행과 인더스트리 4.0 대응 능력과의 영향을 분석한 신종창(2018), 자동화 및 스마트 공장 구축에 대한 정부지원 사업의 효과분석을 실시한 강정석(2020), 중소제조기업을 대상으로 스마트 공장 평가 모형 개발 및 수준평가를 제안한 김현득(2020), 중소제조업 스마트 공장 준비도가 기술수용성과 기업경쟁력 기대성과관계를 분석한 이예림(2019)등 최근 다양한 분야에서 여러 연구가 진행되어 왔다.

그러나 선행연구들은 문헌 또는 특정 사례 연구중심으로 전개되고 있을 뿐 아니라 실증 연구를 전개하여도 제한된 표본 수로 진행하는 관계로 연구자들은 스스로 연구의 한계점에 객관화가 어렵다고 표현하고 있다(최영환, 김상현, 2017).

또 한 앞선 선행 연구를 살펴보면 정보시스템과 자동화기술에 융합이라고 볼 수 있는 스마트 공장 분야에서 기술수용모델(TAM) 및 정보시스템(IS)성공모형 등의 도입성장에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 사용자들의 기대충족과 지속이용의도 간의 영향관계를 살펴본 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 본연구에서는 후기수용모델(PAM)에 이론적 기반을 두고 지난 5년간 정부주도하에 급격하게 보급/확산되고 있는 스마트 공장의 구축 내용과 사후 기대 일치 정도가 유용성 및 사용자 만족도, 지속적 사용의도에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여 보고자 하였다.

Ⅲ. 연구설계 조사 방법

3.1. 연구모형

본 연구에서는 정보·기술 분야의 기술수용모델(TAM)에 이론적 토대를 두고 사용자의 후기 행동을 파악하기 위해 Bhattacharjee(2001)가 제안한 후기수용모델(Post Acceptance Model: PAM) 이론을 바탕으로 하였다.

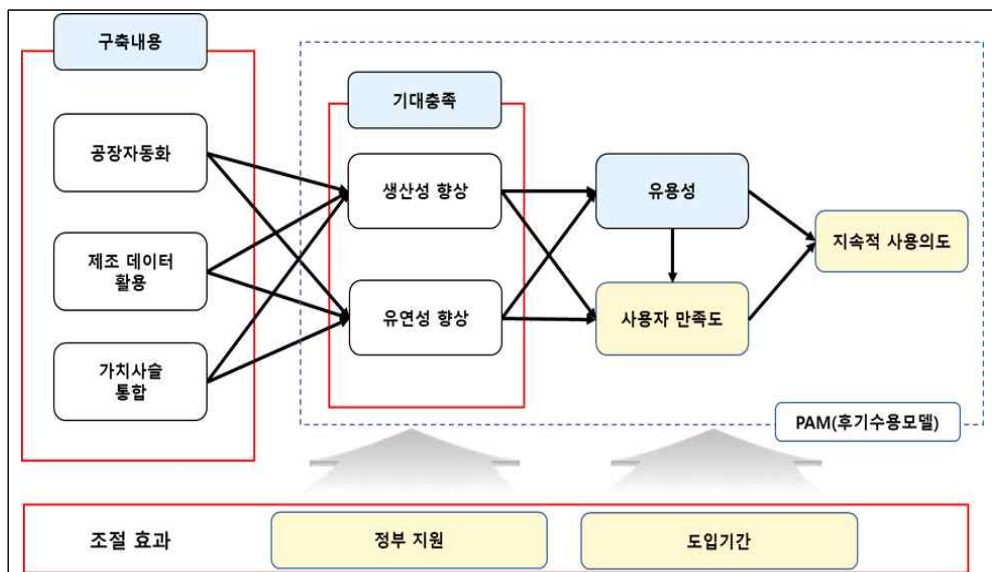
그러나 후기수용모델(PAM)이론은 인터넷 뱅킹 서비스, 온라인 예약 서비스, 유튜브 콘텐츠 사용의도 등 개인사용 측면에서 연구된 사례가 대부분이며 정보시스템과 같은 조직적 사용 측면에서 연구된 사례는 찾기 어려운 실정이다. 따라서 후기수용모델이론(PAM)을 바탕으로 스마트공장의 조직의 지속적 사용의도를 설명하기에는 다소 부족한점이 있을 수 있다. 그러나 앞서 언급된 바와 같이 후기수용모델이론(PAM)은 Oliver(1980)의 기대일치이론(ECT)을 기반으로 하며, Davis et al.(1989)가 제안한 기술수용모델(TAM)이론화 과정과 유사하게 개념화된 이론이다.

기대일치이론(ECT)에 경우 남길우(2009)의 정보시스템 사용자 성격유형이 지속사용의도에 미치는 영향요인에 대한 연구를 살펴보면 정보시스템이 조직에 도입된 후의 활용단계에서 지속적 사용에 미치는 영향을 분석 하고자는 연구로서 MBTI성격 유형을 독립변수로 하고 기대일치이론(ECT)이론을 매개로 하여 조직의 정보시스템 지속적 사용의도를 분석하는 연구모형을 설계하고 결과를 도출 하였다. 또한 병원정보시스템의 편리성, 유용성, 만족도 간의 관계에 있어 업무 복잡성의 조절 효과 분석 연구를 진행한 오중근(2019)의 연구에서는 기대일치이론(ECT)을 기반으로 병원정보시스템 영향요인을 분석하기 위한 연구로서 사용자의 업무 복잡성이 인지 요인과 결과에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

기술수용모델(TAM)이론을 조직적 관점측면에서 연구한 사례를 살펴보면 빅데이터기반 중소제조기업의 스마트 팩토리 수용의도와 경영성과에 관한 실증연구를 실시한 김상문(2020)의 연구에서는 기술수용모형(TAM)을 기반으로 스마트 팩토리 도입과 관련한 전략적 가치 인식이 스마트 팩토리 수용의도와

경영성과에 미치는 영향관계를 분석하고자 연구 모형을 설계하고 결과를 도출 하였으며, 김기웅(2017)의 중소기업의 사물인터넷 수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구에서는 기술수용모델(TAM)에서 확장된 통합기술수용이론(UTAUT)을 기반으로 연구모형을 설계하고 기업 차원의 기술 수용의도를 규명하려 하였다. 이 외의 연구에서도 정보시스템 및 혁신기술에 대한 조직의 수용의도와 사용행동 영향관계를 규명하기 위한 분야에서 기대일치이론(ECT)과 기술수용모델(TAM)이 활용되고 있다.

따라서 스마트공장의 조직의 지속적 사용의도를 설명하기에 후기수용모델(PAM)이론을 기반하는 것에 있어 무리가 없다고 판단하였다. 본 연구에서의 연구 모형은 [그림 3-1]과 같다.



[그림 3-1] 연구모형

후기수용모델(Post Acceptance Model: PAM) 이론의 외부 잠재 요인을 기업들의 주된 스마트 공장 구축내용인 공장 자동화, 제조 데이터 활용, 가치사슬의 통합 3개의 요인으로 하였다.

외부 잠재 요인에 대한 기대충족 요인에는 기업들의 공통적인 스마트 공장 구축 목적으로 나타난 생산성 향상과 유연성 향상 2개의 요인으로 설정하

였다. 앞서 여러 선행연구에서 살펴본 바와 같이 스마트 공장 구축목적에 대하여 생산성 향상과 유연성 향상요인들이 일반적으로 많이 연구된 것으로 확인하였다. 생산성은 생산의 효율성, 즉, 투입된 자원 대비 산출량을 의미하며 기업 수준 연구에서 생산성은 기업의 생존과 번영을 위해 중요하다(이윤하, 2020)며 고객의 니즈가 다양해지면서 다품종 대량 생산 시대의 도래에 맞춰 맞춤형 유연생산체제의 전환이 요구됨에 따라 스마트 팩토리 도입은 필수적이다(김현규, 2019)라는 주장과 일치한다. 이러한 외부 잠재 요인과 기대충족에 대한 영향도를 파악하고 후기수용모델 이론의 매개 변인으로 설정된 유용성과 사용자 만족도를 통해 사용자의 지속적인 사용의도에 미치는 영향 관계를 파악하고자 하였다.

또 한 스마트 공장 구축 시 정부 지원 활용 유/무 및 스마트 공장 구축 활용 누적 기간에 따라 사용자의 지속적 사용 의도에 미치는 영향 강도가 다를 것으로 예측하여 연구 모형을 설계하였다.

스마트 공장 구축 시 정부 지원 활용은 스마트공장 수준 사전전단, 스마트 공장 구축 전략 자문, 자동화 설비 구축 지원, IoT 장비 구축 지원, 빅데이터 분석 기술 지원, 산업용 로봇 구축 지원, 응용프로그램(MES, ERP, PLM, SCM 등) 설계 및 구축 지원, 공장 네트워크 및 클라우드 서비스 지원등 설계초기 컨설팅 지원부터 자동화 설비 확보, 운영프로그램 구축, 네트워크 구성까지 광범위한 영역에서 지원이 이루어지고 있다. 따라서 정부지원이 생산성 향상이나 유연성 향상 어느 한부분에 국한되어 영향을 미치기보다 전체적인 부분에서 영향을 미치고 있다고 판단되어 모형의 전체적인 영향 관계를 파악하고자 하였다.

스마트 공장 구축활용 누적기간은 초기사용에 단점을 보완하고 구축된 기업에 최적화 과정을 거치면서 구축 목적에 부합시키려하는 기간으로 기업의 지속사용에 영향을 주는 유용성 및 만족도 뿐만 아니라 생산성 향상과, 유연성 향상에서도 전체적인 영향을 미칠 것이라 판단된다. 따라서 스마트 공장 구축활용 누적기간도 정부지원 활용 유/무와 마찬가지로 모형의 전체적인 영향 관계를 파악 하고자 하였다.

3.2. 연구가설

3.2.1. 공장 자동화와 생산성 향상 간의 관계

일반적으로 자동화는 공정 설비 간의 자재 반송 간을 최소화하여 대기 시간을 줄이고 공정 설비의 상태에 따른 작업의 효율적인 배치로 설비 가동률 증대로 인한 생산성 향상을 기대할 수 있다(Hopp et al., 2005). 근래에 자동화는 정보기술을 활용하여 시스템에서 작업 지시 및 실적 데이터를 자동으로 생성하는 것으로, 인간의 개입 없이 설비 및 정보의 흐름을 자동화시켜 오류를 줄이고 전체 공급망의 복잡성을 낮출 수 있다는 장점이 있다(Chui et al., 2010). 따라서 생산성 향상을 위해 스마트 팩토리를 도입하려는 기업들은 설비 자동화와 업무 자동화 구축을 추구한다는 경향을 발견할 수 있다(신장철 외, 2017; Balasingham, 2016). 현재 중소제조기업들에 대한 고객의 다품종 소량 생산의 기조와 제품 품질향상 및 원가절감에 대한 요구는 이러한 자동화 공정 구축을 더욱 가속화하고 있으며, 수 년 전부터 도입되고 있는 스마트 팩토리 기술과 결합하여 기업의 경쟁력 확보에 상당히 중요한 부분으로 자리매김을 하고 있다(범진환, 2009). 인공지능과 로봇 등과 같은 하드웨어에 기반한 설비 자동화는 최소한의 인력 투입과 무인화를 가능케 하여 기업 생산성 향상에 기여하기 때문에, 생산성 향상을 추구하는 기업들에게 설비 자동화는 중요한 수단이 된다(임정우 외, 2017). 한편, IoT, MES, ERP 등의 소프트웨어를 이용한 업무 자동화는 기업에게 업무수행의 정확도와 신속성을 제고시킬 수 있어 생산성 향상에 기여할 수 있다(오주환, 2019). 따라서 생산성 향상을 추구하는 기업들은 업무 자동화라는 스마트 팩토리의 기술 옵션을 절대 포기하지 않을 것이다(신장철 외, 2017; Wu et al, 2016; Waibel et al, 2017).

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 자동화 구축내용과 생산성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H1 : 공장 자동화는 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.2. 공장 자동화와 유연성 향상 간의 관계

유연성이란 외부 환경 변화에 효과적으로 대처할 수 있는 기업 능력을 의미한다(Gupta & Goyal, 1989). 그리고 제조유연성은 불확실한 경영환경에서 생산 분야 자원을 활용하여 복잡하고 다양한 고객요구에 효과적으로 대응할 수 있는 역량을 의미한다(Zhang et al., 2003). 다품종 소량 생산이 많은 중소제조기업들의 특성상 제품 종류가 바뀔 때 발생하는 제조 공정 수정이 문제점으로 나타나며 상당 시간이 체인지 오버과정에 소요되어 왔다. 근래에는 스마트 팩토리의 핵심기술인 IoT(Internet of Things)와 CPS(Cyber Physical System), 3D 프린터 기술과 같은 첨단 기술을 활용하여 개인 맞춤형 제품생산과 제품 생산규모 및 범위 측면에서 자동화는 더 높은 유연성을 가능하게 한다(조용주, 2017). 즉, 스마트 공장의 자동화는 CPS 등을 통해 제품을 다양한 방법으로 설계하는 ‘설계의 유연성’, 3D 프린터, 로봇 등을 통하여 다양한 고객 맞춤형 제품을 생산할 수 있는 ‘생산 제품의 유연성’, IoT를 통해 하나의 제품을 다양한 제조공정에서 생산하거나 하나의 제조 라인에서 다품종 소량 생산을 가능케 하는 ‘제조 공정의 유연성’을 증진시킨다(명상일, 2018). 또한 스마트 공장기술에 적용되는 정보시스템인 ERP, MSS(Manufacturing System Scheduler), RTS(Real-time Scheduler), MCS(Material ControlSystem)등의 시스템은 실시간으로 생산현황을 확인하고, 공정을 통제하여 실시간으로 최적의 생산계획을 수립 및 진행사항을 감시한다. 이러한 정보시스템의 기반으로 고객과 협력사 간에 정보의 소통을 통하여 고객의 주문부터 생산에 이르기까지 최적화된 유연생산 체제가 구축된다(임정우 외, 2017). 이러한 스마트 팩토리의 유연성은 다양한 상품들을 필요에 따라 적재적소에 생산이 가능하도록 설계하고 관리할 수 있도록 함으로서 최소의 비용으로 최적의 결과물을 창출할 수 있다는 특징이 있다(김성일, 2017; Campbell et al., 2011; Berman, 2012; Gibson et al., 2010; 명상일, 2018).

위에 내용을 정리 하면 스마트 공장의 주요 구축 목적인 유연성 향상은 공장의 자동화를 통해 이전보다 효율적으로 스마트 공장의 완성도를 높일 수 있을 것으로 예측 되어진다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 자동화 구축내용과 유연성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H2 : 공장 자동화는 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.3. 제조 데이터 기술 활용과 생산성 향상 간의 관계

현재의 스마트 공장은 사물인터넷을 공정에 설치하여 자유롭게 데이터를 연결, 수집, 분석이 가능하고 실시간 의사결정 환경 하에 복합생산이 가능해진 제조 시스템을 실현할 수 있다(정운수, 2018). 이것을 통해 제품 생산에서부터 고객사 납품, 반송에 이르기까지 보다 정밀한 관리체계가 가능하며, 궁극적으로 제품 생산 전반에 걸친 효율화를 기반으로 제품생산에 대한 원가부분을 절감시키고, 제품 생산성 증대 목표를 달성할 수 있다(Goryachev et al., 2013). 그리고 기업의 생산성 향상을 위하여는 정보기술 도입과 활용이 필수적이며, 제조과정에서 생성되는 Big Data 를 단순하게 수집하고 활용하는 것이 아니라 운영 프로세스를 혁신하기 위한 수단으로 활용한다(Hopkins et al., 2011). 송은주(2020)의 연구에서는 제조설비 상태 진단 알고리즘기반의 공장 모니터링 시스템에 대한 연구를 통하여 설비의 상태와 설비간의 오류 관계를 분석을 효율적으로 분석가능한 시뮬레이션 시스템을 통하여 높은 생산성을 확보할 수 있다고 하였다(송은주 외, 2020) 공정개선을 통한 생산성 향상 측면에서 보면 기업들은 생산 프로세스의 획기적 재구축을 위해 제조 빅 데이터 기술을 제조현장에 구축할 것이다(신장철 외, 2017). 수집된 제조 빅 데이터를 기반으로 생산 프로세스의 구조적 문제를 파악하고 최적의 생산 방법, 즉 Golden Recipe 라는 처방을 내릴 수 있기 때문이다(김지대 외, 2016; Wang et al., 2016b; He, Wang, 2018). 또한 실시간으로 모니터링된 제조 데이터를 통해 생산 프로세스를 점진적으로 개선하려는 노력은 수율 증가, 품질비용 감소, 자재비용 절감 등의 생산성 향상에 기여한다(신장철 외, 2017; Hopkins et al., 2011).

위에 내용을 정리 하면 스마트 공장의 제조 데이터 활용 기술은 기업들의

생산 프로세스의 재구축 및 실시간 모니터링을 활용한 지속적 개선을 통해 생산성 향상에 효과가 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 제조데이터 활용 기술과 생산성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H3 : 제조데이터 활용은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.4. 제조 데이터 기술 활용과 유연성 향상 간의 관계

제조현장의 설비, 자재, 사람, 작업방법등의 공정 정보를 스마트 공장의 IOT 센싱 기술 또는 기타방법을 활용하여 데이터를 수집/저장하고 이러한 데이터를 실시간으로 또는 정기적으로 분석하여 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 시각화 해주고, 분석 정보를 현장에서 즉각 활용하여 개선 또는 보정 할 수 있도록 해줌으로써 공장의 현황을 즉각적으로 파악하여, 최적화된 공정 운영을 가능하게 할 수 있다. 예를 들면 다품종 소량생산 체계의 확립에 따라서 생산되는 모든 제품이나 부품에 RFID나 바코드를 부착하여 실시간 제조공정의 상황을 모니터링 함으로서 바로 이어서 생산될 제품에 사용될 자재 및 지그 등을 미리 준비할 수 있도록 하는 등의 유연성 향상을 위한 제조공정의 시뮬레이션이 가능하다(임정우 외, 2017). 또한 제조 빅 데이터 분석에 기초한 시뮬레이션은 개인 맞춤형 제품생산을 효율적으로 수행하게 해 준다(신장철 외, 2017; Park, 2016). 이러한 제조 데이터에 대하여 Gartner(2012)는 향상된 시사점과 더 나은 의사결정을 위해 사용되는 것으로 효율이 높고 혁신적이며 대용량의 데이터에 다양한 특성을 가진 정보자산. 이라 정의 하였으며, 박귀희(2017)의는 생산되는 대규모 데이터를 통해 새로운 패턴을 발견하고 이를 다양한 분야에 활용하여 잠재적 가치를 도출할 수 있는 미래지향적 데이터 로 정의 하였다. 따라서 기업에서는 제조 빅 데이터를 활용하는 이유는 유연성 향상을 이루고자 하는 욕구와 밀접한 관련이 있다(김지대 외, 2016). 위에 내용을 정리 하면 스마트 공장의 제조 데이터 활용 기술은 미래 예측이 불확실한 상황에서 데이터 분석을 통해 명확한 통찰력과 대응력을 제

공하기 때문에 유연성 향상에 효과가 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 제조데이터 활용 기술과 유연성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H4 : 제조데이터 활용은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.5. 가치사슬 통합과 생산성 향상 간의 관계

스마트 팩토리는 새로운 정보통신기술과 디지털기술을 통해 생산공정의 물리적인 사물과 제품(서비스)을 연결하고, 이를 기반으로 가치활동을 효율적으로 그리고 효과적으로 활용 목적에 맞추어 조합 및 배치·구성하고 연계하며 적합성을 개선시킨다(김민식, 2020). 이것은 가치사슬 전반의 최적화(Optimization)와 전환(Transformation)을 가능하게 하고 고객의 요구를 실시간으로 분석하고 적용할 수 있도록 변화시킨다. 이와 같이, 스마트 팩토리를 도입·활용하는 가치사슬의 최적화와 전환은 기업 생산성 증가, 비용 절감, 새로운 가치 창출 등이 가능한 비즈니스 프로세스의 구축과 연계를 의미한다(김민식, 2020). 또 한 기업의 생산성 향상은 개인이나 어느 한 부서의 노력만으로 이루어지기 보다는 기업 내부 공급망과 기업 외부 공급망과의 통합을 통해 이루어진다(조용주, 2017; Park, 2016).

김창봉(2013)은 내부의 공급망 통합은 각 부서 간에 유기적인 협력을 통하여 공장내 제조과정의 체계화된 정보연계를 통해 생산성 및 품질의 향상을 이룰 수 있다고 주장 하였다. 한편 조용주(2017)는 생산 공정의 프로세스 개편으로 제품의 개발에서부터 원재료의 조달, 생산, 출하에 이르기까지 효율적인 공급사슬 구축으로 자원의 낭비를 줄이고, 효율적인 생산시스템을 구축할 수 있다고 주장 하고있다. 기업 외부환경 측면에서는 기업 간에 전략적 제휴를 통한 정보공유로 비용 절감, 프로세스 효율화, 품질만족, 유연성 확보, 납기관리, 혁신창출, 협업을 통한 가치네트워크 형성 등을 포함한 기업의 사업성과에 영향을 미친다(김창봉, 2013; 신장철 외, 2017; Park, 2016). 또 한 서비스의 개선과 혁신전략에 긍정적인 영향을 주어 신제품 개발 전략에도 많

은 도움이 된다(조용주, 2017).

위에 내용을 정리하면 가치사슬의 통합은 스마트 공장의 정보통신기술과 디지털기술을 기반으로 하고 있으며 가치사슬의 최적화를 통해 제품의 계획 및 설계 단계부터 생산의 준비, 공정의 제어/관리/운영, 생산제품의 수주 서비스, 에너지 효율 까지 전반적인 경영의 가치활동에서 생산성 향상에 효과가 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 가치사슬 통합과 생산성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H5 : 가치사슬의 통합은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.6. 가치사슬 통합과 유연성 향상 간의 관계

스마트 공장 수평적 통합 모델은 생산시스템의 물리적 생산 계층과 정보 시스템(기업업무시스템)의 기능 계층을 연동하는 수직적인 통합에 기반을 두며, 제품 기획부터 설계, 생산, 제품의 사용, 유지보수 혹은 애프터서비스, 단종 단계까지 제품의 전 생애주기에 따라 가치활동을 조합, 재구성·배치하고 연계하여 통합하는 모델로 이해할 수 있다(김민식, 2020).

조용주(2017)는 수평적 통합 모델은 제품을 사용하는 고객이 원하는 요구사항을 도출하기 위한 시장조사 및 제품기획 단계를 거쳐 고객의요구사항을 충족시키기 위한 제품개발 R&D 단계 및 공정설계 후 제품을 생산하여 제품을 고객에게 전달하는 과정까지를 포함하고 있다고 주장 하였다.

따라서, 기업의 가치사슬 통합은 신제품 설계에서부터 판매에 이르기까지 내·외부 조직의 전문가들을 참여시켜 고객의 경향을 파악하고 추진하여, 리스크를 줄이면서 사용자인 고객 위주의 제품설계 및 맞춤형 생산을 가능케 한다(김성일, 2017).

또한, 정보시스템인 제품수명주기관리(PLM), 전사적 자원관리(ERP), 공급망관리(SCM), 제조실행시스템(MES) 등은 가치활동을 조합·구성·연계하고, 적합성을 향상시켜 제품개발, 생산계획, 공정관리, 품질관리, 설비관리, 물류관리

등 주요 경쟁력이 있는 프로세스를 구축하여 가치사슬을 형성한다(김민식, 2020).

이러한 기술들을 통해 소량의 개인 맞춤형 제품을 효율적으로 생산할 수 있다(조용주, 2017). 그리고 각 공장의 설비능력 정보를 통합하면, 어느 한 공장의 생산능력이 부족할 시 다른 여유가 있는 공장의 설비를 이용하여 유연하고 효율적인 생산을 구현할 수 있다(김성일, 2017).

위에 선행 연구를 정리하면 고객의 개인 맞춤형 제품을 효율적으로 생산하기 위해서는 스마트 공장의 정보기술과 디지털기술을 기반으로 가치사슬의 수평적 통합이 선행되어 할 것을 의미하고 있다. 그러므로 가치사슬의 통합은 기업의 유연성 향상에 효과가 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 가치사슬 통합과 생산성 향상 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H6 : 가치사슬의 통합은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.7. 기대충족과 유용성간의 관계

스마트 팩토리 구축 목적들 중 생산성 향상과 유연성 향상 요인이 넓은 의미에서 다양한 구축 목적들을 내포하고 있으며, 결과적으로 기업들의 주된 스마트 팩토리 구축 목적이다(오주환, 2019). 따라서 본 연구에서는 스마트 공장의 구축 목적인 생산성 향상과 유연성 향상을 후기수용모델(Post Acceptance Model: PAM) 이론의 외생변인중 하나인 기대충족 요인으로 설정 하였다.

인지-불일치(cognitive dissonance theory)이론에 의하면 제품 및 서비스의 이용자들은 실제 제품과 서비스를 사용하는 동안의 경험이 사용 전 가졌던 유용성과 일치하지 않을 경우 이를 조정하려는 경향을 보이게 된다(Bhattacharjee, 2001; Ohguma et al., 2016). 기대충족은 제품과 서비스 사용 전 가졌던 기대에 대한 신념과 실제 사용경험 후 평가하게 되는 제품 및

서비스의 성능에 대한 종합적인 평가라고 할 수 있는데 이러한 평가는 제품 및 서비스의 유용성에 대한 인식을 향상시키는 반면 불충족은 그 인식을 감소시킬 것이다(Thong et al., 2006).

스마트 워크의 경우 스마트 기기 및 센서, 정보시스템 등을 활용하여 사용자가 언제 어디서든지 자율적으로 일하고 자유롭게 협업함으로써 성과를 극대화 하도록 하는 업무 방식으로 정의할 수 있다(이민혜, 이준기, 2011).

이대형(2014)의 “스마트워크를 통한 직원 만족도와 업무 생산성 증대에 관한 연구”에서 직원만족도와 생산성 증대에 미치는 요인들을 도출하여 이를 바탕으로 실증분석한 연구결과에서 업무 시스템 적합도가 직무 만족도에 직접적인 영향을 미침을 확인하였고, 업무 만족도가 생산성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

IT시스템은 기존 업무 프로세스에서 처리할 수 없었던 대량의 데이터를 효과적으로 수집하고 처리함으로써 업무능력을 향상시키고, 경영자에게 유용한 정보를 제공해주고, 업무 및 프로세스개선을 위한 데이터분석을 가능하게 함으로써 기업의 생산성을 향상시킨다(Quinn et al., 1994).

한편, 합리적 의사결정의 경우 새로운 대안에 대한 전환 의사결정 이전에 변화에 대한 상대적 비용과 혜택을 평가하여, 변화하는 경우의 비용이 전환에 따른 혜택보다 더 크다고 판단한 경우 현재 상태를 유지하게 된다(Samuelson & Zeckhauser 1988). 합리적 의사결정 측면에서 현상 유지 편향이 발생하는 경우의 예를 들면, 업무를 수행하는데 스마트 기기를 사용하는 대안이 더욱 효율적이라 하더라도 대안이 주는 변화 후의 혜택은 불확실하고(즉, 불확실성 비용), 학습 등 적응하는데 들어가는 비용이 전환후 혜택에 비해 더 크다고 판단한다면 차라리 현재의 상황을 유지하게 된다는 것이다(박상철 외, 2014).

위에 내용을 정리하면 스마트 공장의 기대충족 요인인 생산성 향상과 유연성 향상은 설비에 적용된 스마트 센싱기술과 데이터 처리기술을 기반으로 사용자들에게 정보를 제공함으로써 나타난다. 그리고 이러한 정보는 시스템 사용의 편의성이 있어야 하며 결과적으로 업무효율 증진에 유용한 영향이 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 가 기대 충족 요인과 유용성 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H7 : 생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

H8 : 유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.8. 기대충족과 사용자 만족도 간의 관계

후기수용모델(PAM)이론을 제안한 Bhattacharjee(2001)는 전자상거래서비스 연구에서 사용자들의 서비스 수용 이후 행동에 대한 실증분석을 실시하였다. 연구결과 기대 충족도는 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미치며, 사용자 만족에 긍정적인 영향을 미친다는 것이 나타났다.

한편 Oliver(1988)는 사용자의 제품 및 서비스의 사용전 기대와 실제사용 효과에 대한 지각 간의 차이가 사용자 만족의 영향이 미치는 차이를 설명하기 위해 기대불일치 이론(Disconfirmation Theory)을 제시하였다. 이 이론에 따르면 특정 제품이나 서비스에 대한 개인의 기대 보다 성과를 높게 평가할 경우(기대<성과), 긍정적인 불일치가 발생할 수 있지만, 개인의 기대보다 성과가 낮게 평가될 경우(기대>성과), 부정적 불일치가 발생할 수 있다(Oliver, 1988). 긍정적 불일치가 증가할수록 만족이 증가할 수 있지만, 부정적 불일치가 증가할 경우 제품이나 서비스에 대한 불만족이 증가할 수 있다(McCollough et al., 2000). 부정적 불일치는 불만족 뿐 만 아니라 부정적 구전, 다른 상품이나 서비스로 이동,구매 중단과 같이 부정적인 결과를 가져올 수 있기 때문에 긍정적 불일치보다 더 중요하게 살펴보아야 하는 요인이라고 할 수 있다(Audrain-Pontevia et al., 2008; Lu et al., 2012).

스마트 공장의 정보시스템(IS)에 경우 시스템 이용객들의 만족(Satisfaction)은 소비자의 감정적 경험과 관련되어 있어(Crosby et al, 1990), 제품이나 서비스 이용 후 이용객들이 최종적으로 경험하는 정서적 평가이다

(Spreng et al., 1996). 또한 고객이 소비 경험에 의해 사전에 가지고 있던 감정과 기존의 불일치된 기대가 결합하여 발생한 종합적 심리상태이다(Oliver & Desarbo, 1988). 즉, 고객 만족이 결정되는 요인으로는 해당 제품이나 서비스가 고객이 원하는 정도에 일치되는 여부의 지각된성과 또는 지각된 품질이다(Anderson, Fornell & Lehmann 1994; Fornell, Johnson, Anderson, Cha & Bryant 1996).

위에 내용을 정리하면 스마트 공장의 기대충족 요인인 생산성 향상과 유연성 향상에 기대일치 정도가 사용자 만족도에 영향이 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 기대충족 요인과 사용자 만족도 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H9 : 생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

H10 : 유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.9. 유용성과 사용자 만족도 간의 관계

기대일치 이론과 기술수용모델(TAM)을 기반으로 후기수용모델을 정보시스템 분야의 지속사용의도에 영향을 미치는 요인에 대한 Bhattacharjee(2001)의 연구 모델에서 지각된 유용성은 시스템 사용자의 만족에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다.

정영훈 외(2015) 연구에서는 혁신확산이론과 후기수용모형을 기반으로 하여 “모바일 신용카드 사용자 만족 및 지속사용의도에 영향을 미치는 요인”을 연구한 결과 이용 용이성이 만족에 긍정적인 영향을 미친다고 나타났으며, 강형모 외(2017) 연구에서는 지각된 용이성은 사용자 만족에 영향을 미치고 간접적으로 지속이용 의도에 긍정적 영향을 주고 있는 것으로 증명하였다.

이주희(2018)는 후기수용모델을 사용한 1인 미디어 이용자들의 라이브 스트리밍 방송 시청 동기 및 사용자 반응에 관한 연구에서 미디어적 특성, 상황

적 특성, 내용적 특성이라는 영향변수가 인지된 유용성과 기대충족, 만족 등의 변수에 유의한 영향을 미치는지를 분석한 결과 유용성이 만족에 영향을 주는 요인임을 확인하였다.

앞서 제시된 선행 연구들을 살펴보면 스마트 공장 운영의 지각된 유용성이 사용자 만족도에 영향이 있을 것으로 추측된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 유용성과 사용자 만족도 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H11 : PAM이론의 주 변인인 유용성은 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.10. 유용성과 지속적 사용의도 간의 관계

기술수용모델 관점에서 보면, 기술의 유용성이 높으면, 해당 기술의 지속적 사용의도가 증가된다(이종만, 2012; Davis, 1989). 오주환(2019)의 스마트 팩토리의 지속적인 사용의도에 대한 연구에서는 스마트 공장을 도입한 기업은 스마트 공장 구축내용이 현장에서 사용 유용성이 있을 때 지속적 사용의도를 가지게 된다고 나타났다. 전통적 제조 환경에서는 복잡하고 비효율적인 생산 공정들과 단순하고 반복적인 업무들로 인하여 작업자들의 피로감이 높고, 각종 환경적인 위험요소들이 내재되어 있으며, 이런 상황에서 스마트 팩토리 기술들은 근로자들의 작업환경을 개선해 주기 때문에 기업의 지속적 사용의도가 증가된 것이다(오주환, 2019)

앞서 제시된 선행 연구들을 살펴보면 스마트 팩토리를 성공적으로 도입 및 구축한 기업들은 스마트 팩토리 기술들의 사용 용이성과 사용 유용성을 높이 평가하고 있었고, 해당 기술에 대한 지속적 사용의도가 매우 강하였다는 공통된 특징을 갖고 있다(김지대 외, 2018).

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 유용성과 지속적 사용의도 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H12 : PAM이론의 주 변인인 유용성은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.11. 사용자 만족도와 지속적 사용의도 간의 관계

소비자들이 느끼는 만족감은 제품이나 서비스의 지속이용의도를 형성하는 강력한 선행변수이며, 이를 경험한 소비자는 재화나 서비스를 지속이용할 의도나 재구매 의도를 갖게 되며 불만족감을 형성한 소비자는 이용을 중단하게 된다(나은빈, 2016).

Oliver(1980)는 사용자 만족이 지속적 사용의도와 같은 미래 잠재적 행동 의도에 직접적으로 긍정적인 영향을 미친다고 주장 하였으며, Bitner(1990)의 연구에서는 지속적 이용의도는 제공 되어지는 서비스에 대하여 사용자와 고객이 갖는 좋고 나쁨에의 인식에 따라 결정된다.고 나타났다.

Limayem et al.(2007)는 웹포털 이용자를 대상으로 사용자 만족과 지속적 인 사용의도 사이에에 영향이 있다고 나타났고, Dorsch et al.(2000)은 지속적 사용의도는 사용자와 기업이 지속적인 관계를 유지하기 위한 핵심개념이며, 지속적 사용의도가 형성되는 기반으로 과거의 경험이 중요한 영향을 미친다고 주장 하였다.

앞서 제시된 선행 연구들과 같이 여러 연구에서 만족은 후기 시스템 사용 행동에 대한 주요한 요인으로 작용될 것이라 실증적으로 연구되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 스마트 공장의 사용자 만족도와 지속적 사용의도 간의 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가 설을 설정하였다.

H13 : PAM이론의 주 변인인 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

3.2.12. 스마트공장 구축내용과 지속사용의 매개효과.

오주환(2019)의 스마트 팩토리의 전략적 활용연구 결과를 살펴보면 스마트 팩토리 구축내용인 설비 및 업무 자동화, 제조 빅 데이터 활용, 가치사슬

의 내·외부통합은 스마트 팩토리의 지속적 사용의도에 직접적인 영향을 미친다고 나타났다.

한편 정보시스템의 지속이용 모델이라 볼수 있는 Bhattacharjee(2001)가 제안한 후기수용모델은(PAM) Oliver(1980)가 제안한 기대·충족 이론과 Davis(1989)가 제안한 기술수용모델을 기반으로 하고 있다. 후기수용모델(PAM)에서는 정보시스템의 지속적 이용 의도가 초기 사용자의 기대 일치와 지각된 유용성에 영향을 준다고 주장 하였으며, 지각된 유용성이 직접적으로 지속이용의도를 형성하고, 이용객 만족을 통해 간접적으로도 지속이용의도 형성에 영향을 미친다는 것을 제안하고 있다.

후기수용모델(Post Acceptance Model: PAM)을 기반으로 하는 연구를 살펴보면 신동희와 김성중(2012)은 스마트폰의 지속사용에 대한 연구에서는 기대충족과 용이성이 인지된 소비가치에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 연구결과 충족은 스마트폰의 기능적 가치와 지적 가치에 긍정적인 영향을 미치고 충족은 용이성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며 기능적 가치는 스마트폰에 대한 만족에 영향을 미치고 만족은 결과적으로 지속사용의도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(신동희, 김성중, 2012).

Zhang et al.(2014)는 공동구매 웹사이트의 지속사용의도에 대한 연구를 진행하면서 후기수용모델을 적용하였다. 연구결과 기대충족은 온라인 공동구매 특성인 인지된 가격 이점, 평판, 사이트 품질과 만족에 긍정적인 영향을 미쳤으며 만족 역시 지속사용의도에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다(Zhang et al., 2014).

Oghuma et al.(2016)는 모바일 메시지의 지속사용의도에 대한 연구에서 기대충족 이론과 후기수용모델을 통합하여 연구를 진행하였다. 연구결과 사용 전 갖게 되는 서비스 품질은 기대충족과 만족에 긍정적인 영향을 미치고 기대충족은 유용성, 즐거움, 인터페이스, 보안성에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다(Oghuma et al., 2016). 한편 유용성과 즐거움, 인터페이스는 만족에 유의미한 영향을 미치나 보안성만은 만족에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 만족과 유용성, 즐거움은 직접적으로 지속사용 의도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Oghuma et al., 2016).

앞서 제시된 선행 연구들을 살펴 보면 후기수용모델에 이용된 주요 변인들 지각된 유용성 및 사용자 만족은 기대일치와 지속적 사용의도 사이에 매개하는 것으로 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 후기수용모델(PAM)의 기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도가 스마트 공장의 구축내용(공장 자동화, 제조 데이터 활용, 가치사슬 통합)과 지속적 사용의도 사이에 매개 영향 관계를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H14 : 기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 공장 자동화와 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.

H15 : 기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 제조데이터 활용과 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.

H16 : 기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 가치사슬 통합과 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.

3.2.13. 정부지원 활용과 스마트 공장 활용 누적 기간 조절 효과

3.2.13.1 정부지원

향후 다가오는 미래의 산업 변화에 있어 제조업의 스마트화 육성이 국가의 제조경쟁력을 좌우하는 중요한 이슈로 제시되고 있다. 국내의 경우 중소기업의 경쟁력 강화를 위하여 2020년까지 스마트 공장 1만개 도입을 목표로 2014년부터 스마트 공장 보급확산 사업을 진행하고 있으며, 현재 2022년까지 스마트 공장 보급 목표를 3만개로 상향조정하여 중소기업을 지원중이다. 본 연구에서는 이러한 현황을 반영하여 정부지원 사업을 통해 스마트 공장 구축을 하였는지 여부를 조절변수로 설정하여 국내 정부지원정책이 중소기업의 스마트 공장 지속사용의도에 어떠한 영향을 미치고 있는지 파악하고자 한다.

김호와 김병근(2012)의 연구에서는 정부 지원사업 수혜기업들은 자체적인 연구·개발 투자 감소 및 집약도와 매출액, 민간 연구개발 투자 증가등의 요

인을 통해 기업에게 긍정적인 효과가 있다고 나타났다. 윤운규와 고영우(2011)는 국내 지역산업진흥사업 기술개발 수혜기업의 매출액, 고용, 특허, R&D 등에 유의한 영향력을 가지는 같은 결과를 도출하였다.

반면, 이의영 외(2009)의 연구에서는 정부지원금의 연구개발 투자의 기업 성과 측면에서 중소기업은 긍정적인 효과가 나타나는 반면 대기업은 부정적인 효과가 나타난다고 하였다.

노용환(2015)은 정부의 연구개발 정책은 사업참여업체의 특허 출원 및 등록에 유의미한 영향을 주지만 기업성과의 매출 또는 영업이익 등에는 유의미한 효과가 없는 것으로 나타났다.

앞선 선행연구를 살펴보면 스마트 공장 운영에 정부지원의 상반된 효과에 대하여 실증 분석이 추가적으로 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 스마트 공장 구축내용과 지속적 사용의도의 인과 관계에 있어 정부지원의 조절효과를 파악하고자 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H17 : 정부지원의 활용은 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용의도에 조절효과가 있을 것이다.

3.2.13.2 스마트 공장 활용 누적 기간

스마트 공장 도입시 구축계획 및 전략을 수립하고 운영 시스템 공급 업체의 담당자나 전문가와 사전 충분한 협의를 거쳐 실행한다고 하여도 운영 시스템 사용 중간에 여러 변수나 문제로 인한 변경 및 보완사항이 발생이 일반적이라고 나타난다. 그러므로 시스템 운영 초기부터 사용자의 만족스런 결과를 나타내기는 어렵다. 지속적 운영시 나오는 문제점에 대한 수정 및 보완을 통해 점진적으로 시스템 유용성 만족도가 높아지고 목적 했던 기대성과를 이룰 수 있다 예측된다.

한편 스마트 공장 구축시 해당 기업의 경영 시스템을 고려한 최적화 협의가 불충분한 상태에서 시스템 공급기업의 운영시스템 패키지가 구축된다면 수혜기업은 스마트 공장 시스템의 원활한 활용을 위하여 조직 및 기업 환경에 많은 변화가 수반될 거라 판단된다. 따라서 시스템 구축의 효율성을 고려해 공급기업 패키지의 무조건적인 수용보다 기업 환경 및 운영 전략에 맞는

커스터마이징 및 부분적이고 단계적인 시스템 도입을 통해 유용성 및 사용자 만족에 긍정적인 영향이 나타날 것으로 예상된다.

앞선 상황을 근거로 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

H18 : 스마트 공장 활용 누적기간은 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용의도에 조절 효과가 있을 것이다.

3.2.14. 연구가설 요약

본 연구의 가설을 아래의 [표 3-1]과 같이 요약 정리하였다.

[표 3-1] 연구가설 요약

가설 번호	연구가설 내용
H1	공장 자동화는 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H2	공장 자동화는 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H3	제조데이터 활용은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H4	제조데이터 활용은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H5	가치사슬의 통합은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H6	가치사슬의 통합은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H7	생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H8	유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H9	생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H10	유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H11	PAM이론의 주 변인인 유용성은 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H12	PAM이론의 주 변인인 유용성은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H13	PAM이론의 주 변인인 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
H14	기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 공장 자동화와 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.
H15	기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 제조데이터 활용과 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.
H16	기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도는 가치사슬 통합과 지속적 사용 의도 사이에 매개할 것이다.
H17	정부지원의 활용은 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용의도

	에 조절효과가 있을 것이다.
H18	스마트 공장 활용 누적기간은 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용의도에 조절 효과가 있을 것이다.

3.3. 연구 방법 및 설계

3.3.1. 변수의 조작적 정의

구성 개념인 변수가 어떻게 측정되고 있는지를 설명하고, 변수에 대한 의미를 부여하는 내용을 가지고 있어야 하며, 변수의 개념과 그 변수의 측정값 사이에서 연결고리 역할을 하는 것이 조작적 정의이다(이군희, 2014).

본 연구의 독립변수는 공장 자동화, 제조 데이터 활용, 가치사슬의 통합이며, 매개변수는 생산성 향상, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도, 종속변수는 지속적 사용의도로 설정 하였으며, 조절변수는 정부지원 활용과 스마트 공장 누적활용으로 선정 하였다. 본 연구에서 채택된 모든 측정문항은 내용타당성의 확보를 위해 기존 문헌으로 부터 사용되었고, 그 타당성을 실증적으로 검증된 항목들로부터 선택되어 본연구의 의도에 맞도록 적절히 조작화 하였으며, 각 변수의 정의는 이하 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 변수의 조작적 정의

변수구분	연구변수	조작적 정의	측정항목	관련문헌
독립변수	스마트 공장 자동화	생산과정 및 생산활동 지원 업무에 자동화 시설 또는 응용프로그램을 이용한 효율적인 업무 수행 정도	- 설비 자동화 수준 -설비보전활동정도 -품질분석자동화정도 -생산일정자동화정도	오주환(2019) 최영환,최상현(2017),Davis & Edgar(2011),천연옥(2000)
	제조데이터 활용	공장운영과 관련하여 발생하는 각종 데이터를 관리하고 분석하는 능력 및 지식 보유 정도	- 생산 최적화를 위한 활용 정도 -리드타임단축을위한활용 정도 -실시간데이터분석활용정	김상문(2020), 오주환(2019), 김재성(2017),김지대 외(2016),

			제조데이터분석을사용하여생산에필요한정보를이용하여활용하는정도	도	
		가치사슬 통합	기업 내/외부간 생산 계획 및 작업, 재고, 물류, 제품 현황 등의 정보를 공유하여 공동 협력과 통합운영 정도	- 업무 목표 및 정보에 대한 상호 공유 및 협력 정도 - 개발 및 재고, 생산 계획 정보에 대한 고객 또는 공급사 간 공유 및 협력 정도	오주환(2019), 김형기, 문종범, 최창열(2008), Lee & Turban(2001), Bowersox & Closs(1996), 오주환(2019),
매개변수	PAM 기대충족	생산성 향상	현장에서 발생하는 실시간 정보분석을 활용한 생산성 향상 정도	- 제품 원가 절감 정도 - 설비가용성향상 정도 - 품질비용절감 정도	Badr(2011), Deloitte(2016), Baur & Wee(2015), 이정철(2015)
		유연성 향상	업무에서 발생하는 실시간 정보를 분석 활용하여 고객요구 및 이상 발생 상황에 대하여 빠르고 효과적으로 대응하는 정도	- 생산일정 변경의 용이성 - 신속한 공정 변경 정도 - 고객요구 사항 공정한 대응 정도	오주환(2019), 오중산(2010), Pagell & Krause(2004), 황지영(2001), Suarez et al(1996), Gupta & Somers(1996), Sethi & Sethi(1990)
	PAM	유용성	스마트 공장 시스템 활용을 통한 업무의 효율 및 편의성 향상 정도	- 업무 효율 및 수행능력 향상 정도 - 시스템 사용의 학습 및 편의성 정도 - 기업 업무의 유용 정도	김현규(2019), Davis (1989)
		사용자 만족	스마트 공장 이용 후 사용자가 평가하는 사전 기대와 성과의 일치 평가 정도	- 시스템 정보 제공의 만족 정도 - 운영 서비스 만족 정도 - 운영 프로세스 이용 만족 정도	길형철(2019), Hunt(1877), Delone & McLean(2003)
	PAM	지속적 사용의도	사용자들이 가까운 미래에도 지속적으로 스마트 공장 시스템을 사	- 시스템에 만족하고 계속 사용할 의지의 정도 - 시스템 고도화하여 지속적	오주환(2019), 우도성(2014), Ohguma et
종속변	PAM				

수			용하려는 정도	으로사용하려는의지의정 도 -운영중인시스템이회사의 경쟁력과가치를향상을위 해 계속해서 사용하려는 의지의 정도	al.(2016), Bhattachrejee (2001),Oliver(1988, 1980)
조절변수	정부지원 활용	기업이 시스템 구축에 있어 정부의 정책적 지 원을 받았는지 여부	-정부지원사업 참여를 통 한 금융 지원혜택 수혜 여/부	정재은(2019), 이선우(2016)	
	스마트 공장 활용 누적 기간	스마트 공장 구축 활용 누적기간	- 구축활용 누적 기간	최창혁(2018), Venkatesh(2003)	

3.3.2. 설문지 구성

본 연구가설 검정을 위한 설문 문항은 기존 문헌의 선행연구를 기초로 하여 설계 하였다. 설문은 8개의 측정변수와 인구통계 문항을 포함하고 총 56개 설문 항목으로 설정 하였다. 스마트 공장 구축내용에 공장 자동화에 관한 설문항목이 8개, 제조 데이터 활용에 관한 설문문항 8개, 가치사슬에 관한 설문항목 10개로 총 26개의 설문 항목으로 구성하였으며, 기대충족에 생산성 향상에 관한 설문항목 5개, 유연성 향상 측정 설문문항 5개 총 10개의 문항으로 구성하였다. 그 외 유용성에 관한 설문 문항 5개, 사용자 만족에 관한 설문 문항 4개, 지속적 사용에 관한 설문문항 5개, 인구통계 항목 6개의 항목으로 아래의 [표 3-3]과 같이 설문을 구성하였다. 인구통계 및 일반사항을 제외한 나머지 설문은 Likert 5점 척도를 활용하여 구성 하였다.

[표 3-3] 설문지 구성

설문항목 구분			문항수	척도
독립	스마트공장	공장자동화	8	5점 Likert 척도

변수	구축내용	제조데이터 활용	8	5점 Likert 척도
		가치사슬 통합	10	5점 Likert 척도
매개 변수	PAM 기대충족	생산성 향상	5	5점 Likert 척도
		유연성 향상	5	5점 Likert 척도
	PAM	유용성	5	5점 Likert 척도
		사용자 만족	4	5점 Likert 척도
종속변수	PAM	지속적 사용의도	5	5점 Likert 척도
인구통계 및 일반사항			6	명목, 비율척도
합계			56	

3.3.3. 자료수집 및 분석

3.3.3.1 자료 수집

본 논문의 의도는 중소 제조기업의 스마트 공장 구축내용이 구축목적에 일치하였는지 파악하고 스마트 공장 운영의 유용성 및 사용자 만족도를 통한 지속적 사용 의도에 미치는 영향 관계를 연구하고자 하였다.

따라서 표본의 선정은 국내 중소제조기업 중 스마트 공장을 도입한 기업을 대상으로 설문 조사를 실행하였다. 설문대상은 스마트 공장을 구축한 기업에 스마트 공장 관계자(솔루션 응용 프로그램 관리자, 자동화 설비 운영자, 생산관리 담당자, 영업관리 담당자, 자재 관리 담당자 등)로 하였다. 조사 방법은 민관합동 스마트 공장 추진단 공급기업 POOL에 등록되어있는 기업의 담당자에게 스마트 공장 구축 수혜기업을 대상으로 설문을 의뢰하여 전자 우편을 통해 응답을 접수하였고, 일부는 대상기업을 직접 방문 또는 전자 우편, 메시지, SNS를 활용한 권유 등을 통하여 설문지 응답을 의뢰하였다. 설문은 총 332부를 접수하였으며 이중 중견기업(자산총액 5천 억원 이상)과 대기업

응답 설문 14부 및 이상치 및 부정확한 자료 17부를 제외한 301부의 설문 응답으로 통계분석을 통해 연구가설을 검증하는 분석을 실행하였다. 자료수집 내역은 아래 [표 3-4]과 같다.

[표 3-4] 자료수집

설문응답	중견기업, 대기업	이상응답	유효표본
332	14	17	301

3.3.3.2 자료 분석 방법

본 연구에서는 자료 분석을 위하여 수집된 자료를 사회과학 통계 패키지 프로그램 SPSS 22.0 와 AMOS 22.0을 활용하였다. 빈도 분석과 탐색적 요인 분석은 SPSS 22.0을 이용 하였으며, 측정모형 분석 및 판별 타당도, 구조 방정식 모형, 매개효과 분석, 조절 효과 분석은 AMOS 22.0을 이용하여 분석하였다.

구조방정식모형(Structural Equation Modeling, SEM) 이란 ‘공분산구조 분석 Analysis of Covariance Structures, or Causal Modeling’ 이라고도 불리는 것으로, 측정모형(measurement model)과 구조모형(structural model)을 통해 여러 잠재변수들(latent variable) 간에 존재하는 인과관계를 분석하기 위한 모형을 말한다(신건권, 2013). 이는 모형속에 내재된 측정오차(measurement error)를 고려하여 분석 결과를 제시하므로 사회현상을 더 잘 설명할 수 있고, 분석 결과도 좀 더 신뢰할 수 있다(송지준, 2016). 또한, 독립변수 및 종속변수가 다수 있어도 다차원 분석기법으로 동시추정이 가능하며, 다수의 외생변수와 내생변수 간의 인과관계 분석이므로 직접효과, 간접효과 및 총 효과를 파악할 수 있고, 측정모델 분석, 구조모델 분석 및 경로 간 차이 분석 등 다양한 표현기법을 제시할 수 있는 장점을 가지고 있는 방법이다(최창호, 2018).

본 논문의 세부적인 통계분석 과정은 다음과 같다.

- 1) 일반적인 표본의 인구통계학적 특성들을 조사하기 위해 빈도 분석을 실행하였다.
- 2) 독립변수 및 매개변수, 종속변수들의 탐색적 요인분석과 신뢰성 검증을 위하여 요인회전에 직각 회전방식 중 VARIMAX를 활용하였으며 Cronbach's α 계수를 활용하여 신뢰성 분석을 실시하였다.
- 3) 확인적 요인분석의 모델 적합도 향상을 위한 변수정제 과정을 거쳐 도출된 결과를 바탕으로 측정변수들의 요인적재 값과 유의성 검정 및 측정모델 분석, 잠재변수와 관측변수 간의 평균분산추출법(AVE), 구성개념신뢰도(CR), 분산추출법(VE) 검정을 활용한 집중 타당도 분석과 잠재변수 간의 상관계수 측정을 활용한 판별타당도 분석을 하였다.
- 4) 본 연구에서 제안한 연구모델의 잠재변수들 간의 인과관계와 가설검정을 위하여 구조모델 분석을 실행하였다.
- 5) 후기수용모델(PAM)에 적용된 다중 매개변수들에 대하여 팬텀 변수를 활용하여 간접효과의 유의성을 검증하였으며, 이후 정부 지원 활용 및 스마트 공장 도입활용 기간 변수에 대하여 측정 동일성 검정 및 다중 집단 분석을 실시하여 조절 효과 검정을 진행하였다.

IV. 연구결과

4.1. 표본의 특성

4.1.1. 표본의 일반적 특성

설문 응답자에 인구통계학적 특성을 살펴보고자 SPSS 22.0을 활용하여 빈도 분석을 하였다. 응답자의 기업 규모 분포는 벤처기업·소기업(년 매출 120억원 이하)이 42.9%, 중소기업(년 매출 1,500억원 이하)은 57.1% 나타났고, 스마트 공장 정부지원 활용 여부에서는 정부 지원 활용 응답이 65.4%, 미활용 응답이 34.6%로 정부 지원 활용기업이 미활용 기업보다 높게 나타났다.

산업 분야 분포를 세부적으로 살펴보면 기계·금속 업종이 26.9%로 가장 높게 나타났으며, 그다음으로는 정보통신 업종이 18.9%, 화학·재료·소재 업종이 11.0%, 정보통신 업종이 10.3%로 분포하고 있으며 그 외 기타업종이 32.9%로 나타났다.

연 평균 근로자의 수는 50명에서 100명 사이가 30.2%로 가장 높게 나타났으며, 100명 이상이 20.9%, 20명에서 50명 사이가 20.9%, 20명 이하가 27.9% 비율로 각각 고르게 분포하고 있는 것으로 나타났다.

다음 스마트 공장 도입 후 활용 누적 기간에 대한 응답을 살펴보면 도입 후 1년 미만에 응답이 43.2%로 가장 높게 나타났으며, 1년 이상 2년 미만 응답이 21.3%, 2년 이상 3년 미만 응답이 17.9%, 3년 이상 응답이 17.6%로 나타났다.

스마트 공장 수준 현황을 세부적으로 살펴보면 기초2 수준(스마트 생산실적 집계, 바코드 시스템을 통한 공정 물류 관리 및 데이터 분석)이 31.2%로 응답 비율이 가장 높게 나타났으며, 고도화 수준(제어 자동화, 디지털식별 결합된 IoT형 자동화/사물/서비스/비즈니스/모듈 간 실시간 대화체제 구축, 사이버공간 비즈니스 실현)이라고 답변한 응답은 없는 것으로 나타났다. 기초1 수준(전통제조 방식과 다른 IT 기술을 활용한 기초 자료수집, 자료분석 등 수행) 응답은 25.2%, 중간1 수준(설비 실시간 데이터 수집, 다양한 ICT 활용한

설비정보 자동 획득) 응답은 26.2%, 중간2수준(설비제어 자동화/협력사와 공급사슬/엔지니어링 정보공유, 제어자동화 기반 공정운영 최적화, 실시간 의사결정)은 17.3%로 나타났다. 응답자의 빈도 분석 결과는 아래 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1] 표본의 인구 통계적 특성

변수	특성	빈도(개)	비율(%)
기업규모	벤처기업·소기업(년 매출 120억원 이하)	129	42.9
	중소기업(년 매출 1,500억원 이하)	172	57.1
정부 지원 활용 여부	일부 또는 전체 정부지원활용	197	65.4
	자체자본만 소요	104	34.6
산업분야	기계, 금속	81	26.9
	전기·전자	31	10.3
	정보통신	57	18.9
	화학·재료·소재	33	11.0
	기타	99	32.9
연 평균 상시 근로자수	20명이하	84	27.9
	20명이상 50명이하	63	20.9
	50명이상 100명이하	91	30.2
	100명이상	63	20.9
스마트 공장 누적 활용 기간	1년미만	130	43.2
	1년미상 2년미만	64	21.3
	2년미상 3년미만	54	17.9
	3년이상	53	17.6
스마트 공장 구축 수준	기초1수준(전통제조 방식과 다른 IT 기술을 활용한 기초 자료수집, 자료분석 등 수행)	76	25.2
	기초2수준(스마트 생산실적 집계, 바코드 시스템을 통한 공정 물류 관리 및 데이터 분석)	94	31.2
	중간1수준(설비 실시간 데이터 수집, 다양한 ICT 활용한 설비정보 자동 획득)	79	26.2
	중간2수준(설비제어 자동화/협력사와 공급사슬/엔지니어링 정보공유, 제어 자동화 기반 공정 운영 최적화, 실시간 의사결정)	52	17.3
	고도화 수준(제어 자동화, 디지털식별 결합된 IoT형 자동화/사물/서비스/비즈니스/모듈 간 실시간 대화체제 구축, 사이버공간 비즈니스 실현)	0	0.0

4.1.2. 기술적 통계분석

잠재변수의 측정변수에 대한 정규성 검정을 위해 기술통계분석을 실시하였다. 기술통계분석은 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등을 확인하였다(최창호, 2018). 기술통계 분석의 결과는 아래 [표 4-2]과 같다.

[표 4-2] 기술통계량

측정문항	N	최소값	최대값	평균	표준 편차	분산	왜도	첨도
AT01	301	1	5	3.30	1.038	1.078	-.290	-.187
AT02	301	1	5	3.44	.966	.934	-.314	-.020
AT03	301	1	5	3.45	.949	.901	-.100	-.240
AT04	301	1	5	3.50	.958	.917	-.329	-.069
AT05	301	1	5	3.37	.927	.859	-.056	-.168
AT06	301	1	5	3.09	1.059	1.122	-.095	-.407
AT07	301	1	5	3.15	.986	.972	-.087	-.139
AT08	301	1	5	3.37	.996	.993	-.133	-.520
DU01	301	1	5	3.558	.849	.721	-.101	-.427
DU02	301	2	5	3.58	.819	.670	-.018	-.524
DU03	301	2	5	3.60	.860	.740	-.027	-.661
DU04	301	1	5	3.58	.839	.705	.007	-.430
DU05	301	1	5	3.55	.956	.914	-.065	-.633
DU06	301	1	5	3.58	.896	.804	-.061	-.372
DU07	301	1	5	3.49	.951	.904	-.051	-.518
DU08	301	1	5	3.61	.923	.852	-.125	-.589
VI01	301	1	5	3.37	.845	.714	.084	-.115
VI02	301	1	5	3.38	.881	.776	-.024	-.225
VI03	301	1	5	3.38	.925	.856	.042	-.200
VI04	301	1	5	3.42	.944	.890	-.053	-.320
VI05	301	1	5	3.42	.889	.790	-.114	-.142
VI06	301	1	5	3.558	.849	.721	-.101	-.427
VI07	301	2	5	3.58	.819	.670	-.018	-.524
VI08	301	2	5	3.60	.860	.740	-.027	-.661
VI09	301	1	5	3.58	.839	.705	.007	-.430
VI10	301	1	5	3.55	.956	.914	-.065	-.633
PE01	301	1	5	3.49	.855	.731	-.018	-.161
PE02	301	1	5	3.47	.885	.783	-.088	-.062
PE03	301	1	5	3.59	.854	.729	-.282	.095

PE04	301	1	5	3.60	.861	.741	-.143	-.307
PE05	301	1	5	3.52	.839	.704	.078	-.412
PF01	301	1	5	3.30	.778	.605	-.413	.622
PF02	301	1	5	3.28	.883	.780	-.745	.483
PF03	301	1	5	3.35	.981	.962	-.818	.623
PF04	301	1	5	3.30	.781	.610	-.283	.271
PF05	301	1	5	3.35	.883	.780	-.648	.757
UF01	301	1	5	3.28	.933	.870	-.070	.085
UF02	301	1	5	3.42	.926	.857	-.283	.031
UF03	301	1	5	3.45	.932	.869	-.120	-.458
UF04	301	1	5	3.34	.971	.944	-.386	.312
UF05	301	1	5	3.42	.982	.965	-.588	.362
US01	301	1	5	3.62	.802	.643	-.264	-.146
US02	301	1	5	3.61	.827	.684	-.317	-.052
US03	301	1	5	3.61	.847	.718	-.330	-.143
US04	301	1	5	3.59	.884	.782	-.392	.095
CU01	301	1	5	3.50	.823	.677	.031	-.342
CU02	301	1	5	3.57	.848	.719	-.253	-.051
CU03	301	1	5	3.59	.838	.703	-.195	-.016
CU04	301	1	5	3.53	.892	.797	-.209	-.323
CU05	301	1	5	3.56	.891	.794	-.461	.413

분석결과, 표준편차는 모두 절대값이 3이하로 이상치가 없었으며, 왜도의 절대값이 모두 3이하이고, 첨도의 절대값이 10이하로 개별 측정변수들은 정규분포를 가진다고 볼 수 있다(신건권, 2013).

4.2. 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석

4.2.1. 탐색적 요인분석

송지준(2016)의 탐색적 요인분석에 따르면 이론상으로는 아직 체계화 또는 정립되지 못한 연구에서 향후에 연구 방향을 파악하기 위한 탐색적 목적으로 실시한다고 하였다. 탐색적 요인분석(Exploratory Factor Analysis)은 이론 생성과정(theory generating procedure)으로 각각의 집단(요인, 성분)에

모든 측정변수가 연관(상관관계)되어 있다고 가정하고 요인분석을 실시하는 것으로 어떤 측정변수가 어떤 집단(요인, 성분)에 묶이는지는 탐색적 요인분석을 실시해 보아야 알 수 있다(최창호, 2018).

이 탐색적 요인분석은 주로 SPSS 통계 패키지를 활용한 회귀분석에서 구성개념을 형성하기 위해 활용된다(최창호, 2018). 측정하고자 하는 개념을 얼마나 정확히 측정하였는가를 파악하는 것으로, 같은 개념을 측정하는 변수들이 동일한 요인으로 묶이는 지를 확인함으로써, 측정도구의 타당성을 검증하는 방법으로 이용된다(신건권, 2013).

본 논문의 연구 변수의 타당성 분석을 위해 독립변수인 구축내용에 공장 자동화, 제조 데이터 활용, 가치사슬통합과 매개 및 종속변수인 생산성 향상, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도, 지속적 사용 의도에 대하여 탐색적 요인분석을 실시하였다. 탐색적 요인분석은 수많은 변수들을 상관관계가 높은 것끼리 묶어 줌으로서 그 내용을 단순화 시키고(변수의 축소), 연구해야할 주요 변수를 제시해 준다(송지준, 2016). 탐색적 요인분석에서 요인적재값은 변수들의 중요도 정도를 나타내는 것으로 그 수치가 낮을수록 중요도가 낮다는 것을 의미한다. 일반적으로 요인적재치가 0.4 이하일 때는 해당 변수를 제거하는 것이 좋으며(변수의 제거), 탐색적 요인분석을 거쳐 정제되고 생성된 새로운 변수는 회귀분석 등 추후 분석에 적용된다(송지준, 2016). 즉, 탐색적 요인분석의 목적은 ① 데이터의 요약, ②변수의 구조 파악, ③불필요한 변수의 제거, ④측정도구의 타당도 검증, ⑤회귀분석이나 판별 분석등의 추가적 분석에 요인점수의 이용이라고 할 수 있다(신건권, 2013).

측정변수들이 탐색적 요인분석에 적합한지 확인을 위하여 연속형 데이터 적용 여부를 확인하고, KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) 척도로 평가하였으며, 변수들의 상호 독립성 평가를 위해 바틀렛 구형성검정(Bartlett's test of sphericity)을 통계적 유의성($p < .05$)으로 해석하였다(최창호, 2018).

탐색적 요인분석 방법으로 주성분 분석(PCA, principal components analysis)을 적용하여 측정변수의 구성요인을 추출하였으며, 직각 회전(orthogonal rotation)의 베리맥스(varimax)방식을 채택하여 분석 하였다. 통상적으로 사회과학 분야에서는 요인과 문항의 선택기준을 Eigen value(고유

값) 1.0이상, 요인적재량은 0.5 이상으로 측정된 변수를 중요한 변수로 본다. 본 연구에서도 위와같은 기준을 채택하여 Eigan value(고유 값) 1.0이상, 요인적재량 0.5이상을 기준으로 하였다.

측정변수의 탐색적 요인분석에 대한 데이터 수의 적정성과 단위행렬 여부 검정 결과, KMO 지수 값이 0.944로 적합도 기준인 0.8를 상회 하고 있어 데이터 수가 적정한 것으로 나타났다. Bartlett의 구형성 검정결과 p값이 0.001보다 작아 단위행렬이 아닌 것으로 나타났다. 따라서 이 데이터는 탐색적 요인분석 시행이 가능한 것으로 판명되었다.

탐색적 요인분석 진행 중 적재된 요인 값이 잘못된 것으로 판단된 잠재변수는 해당 변수를 제거한 후 요인분석을 다시 진행하였다. 최종적으로 공장 자동화 8개 문항 중 6번 문항과 7번, 8번 문항, 제조 데이터 활용 8개 문항 중 6번 문항과 7번 문항, 가치사슬통합 10개 문항 중 6번 문항과 7번, 8번, 9번, 10번 문항 총 10개의 문항은 요인 적재치가 0.5 미만으로 나타나 분석 문항에서 제외되었다. 탐색적 요인분석 결과는 [표 4-3]과 같다.

설명된 총분산에서 고유값(eigen value)은 공장 자동화, 제조 데이터의 활용, 가치사슬 통합, 생산성, 유연성, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용 8개 변수 모두 1보다 큰 값을 보여주었고, 전체 회전 누적분산(%) 값이 77.10%로 기준치인 60%을 상회하는 것으로 나타났다. 회전된 성분행렬 분석결과, 선행 연구와 상이하게 적재된 변수는 발생하지 않았고, 각각 변수의 요인 적재 값은 0.607~0.864 사이에 분포하여 집중 타당도가 확보되었다(최창호, 2018).

[표 4-3] 탐색적 요인 분석 결과

요인분석	성분								
	1	2	3	4	5	6	7	8	공통성
데이터활용03	.753	.124	.177	.219	.178	.167	.167	.137	.768
데이터활용02	.736	.165	.238	.172	.192	.160	.139	.072	.743
데이터활용01	.723	.107	.181	.109	.132	.209	.211	.264	.754
데이터활용04	.687	.126	.230	.269	.168	.199	.171	.116	.724
데이터활용05	.664	.128	.172	.145	.142	.263	.161	.076	.629
데이터활용08	.626	.175	.190	.062	.167	.214	.163	.177	.594

유연성01	.159	.864	.099	.128	.096	.066	.110	.121	.838
유연성05	.064	.860	.112	.116	.135	.088	.019	.093	.804
유연성02	.185	.853	.160	.087	.111	.138	.114	.087	.848
유연성03	.076	.847	.052	.054	.134	.059	.157	.217	.822
유연성04	.142	.820	.099	.160	.092	.148	.144	.037	.780
지속사용04	.213	.136	.793	.244	.134	.212	.164	.116	.760
지속사용05	.178	.160	.790	.284	.178	.185	.140	.165	.760
지속사용02	.251	.124	.775	.223	.199	.161	.146	.113	.760
지속사용03	.277	.133	.709	.224	.220	.196	.167	.198	.760
지속사용01	.325	.137	.704	.210	.202	.179	.122	.204	.760
유용성05	.181	.175	.219	.778	.220	.162	.134	.234	.864
유용성04	.194	.155	.289	.769	.233	.148	.086	.211	.865
유용성02	.230	.116	.232	.702	.170	.231	.225	.171	.776
유용성03	.184	.147	.223	.693	.240	.147	.232	.247	.779
유용성01	.205	.151	.289	.665	.237	.188	.110	.145	.715
생산성01	.138	.098	.211	.212	.776	.174	.144	.139	.594
생산성04	.283	.135	.152	.152	.711	.219	.122	.144	.735
생산성02	.095	.135	.130	.325	.705	.177	.212	.183	.594
생산성05	.236	.201	.189	.162	.703	.101	.159	.205	.729
생산성03	.191	.152	.179	.177	.699	.293	.171	.099	.594
가치통합04	.270	.117	.187	.175	.172	.752	.130	.005	.875
가치통합03	.225	.142	.167	.149	.226	.723	.145	.053	.875
가치통합01	.241	.106	.205	.123	.107	.702	.259	.229	.875
가치통합02	.288	.127	.123	.198	.192	.680	.182	.187	.875
가치통합05	.152	.132	.232	.161	.344	.646	.224	.142	.875
자동화01	.129	.065	.160	.173	.078	-.024	.790	.158	.732
자동화02	.191	.144	.055	.108	.058	.342	.739	.030	.739
자동화04	.243	.123	.204	.112	.147	.226	.684	.141	.689
자동화03	.159	.175	.137	.165	.312	.278	.684	.081	.751
자동화05	.230	.201	.111	.103	.382	.181	.670	.126	.760
사용자만족03	.205	.196	.234	.283	.268	.141	.152	.729	.861
사용자만족02	.231	.218	.172	.313	.205	.214	.156	.719	.858
사용자만족01	.291	.236	.186	.236	.221	.161	.181	.691	.815
사용자만족04	.181	.204	.309	.360	.216	.082	.161	.607	.747
Eigen-value	4.44	4.41	4.12	3.98	3.98	3.69	3.49	2.77	-
분산의 %	11.10	11.03	10.28	9.94	9.93	9.22	8.71	6.92	-
누적률(%)	11.10	22.13	32.41	42.34	52.27	61.48	70.18	77.10	-
KMO	KMO=.944 p=.000								

4.2.2. 신뢰도 분석

탐색적 요인분석을 이용한 잠재 변수정제 과정 이후, 잠재변수를 설명하는 측정변수의 내적일치도(internal consistency)를 확인하기 위하여 신뢰도 분석을 실행하였다. 신뢰도 분석은 측정하고자 하는 개념이 설문 응답자로부터 정확하고 일관되게 측정되었는가를 확인하는 방법으로 측정 도구의 정확성이나 정밀성을 나타내는 것이고, 동일한 개념에 대해 측정을 반복했을 때 동일한 측정값을 얻을 수 있는 가능성을 말한다(송지준, 2016). 신뢰도 분석은 각 변수별 측정항목에 대한 Cronbach α 와 같은 신뢰도 척도를 계산한 값을 가지고 판단하고 있다(최창호, 2018).

신뢰도 분석 결과, 문항 제거 시 신뢰도가 전체 신뢰도 보다 높지 않기 때문에 문항을 제거하지 않았다. Cronbach α 값이 공장 자동화는 0.888, 제조 데이터 활용은 0.909, 가치사슬 통합은 0.903, 생산성 향상은 0.911, 유연성 향상은 0.938, 유용성은 0.936, 사용자 만족은 0.924, 지속적 사용 의도는 0.947로 모두 0.7 이상값을 보여주고 있어 모든 요인의 신뢰도가 확보되었다. 신뢰성 분석 결과는 아래의 [표 4-4]와 같다.

[표 4-4] 신뢰성 분석

변수	측정항목	항목 삭제 시 척도 평균	항목 삭제 시 척도 분산	수정된 항목 총계 상관	항목 삭제 시 (C α)	신뢰도 (C α)
공장 자동화	자동화01	13.75	10.609	.667	.879	.888
	자동화02	13.61	10.706	.721	.866	
	자동화04	13.60	10.547	.771	.854	
	자동화03	13.55	10.708	.730	.864	
	자동화05	13.68	10.723	.761	.857	
제조 데이터 활용	데이터활용01	17.934	13.376	.782	.887	.909
	데이터활용02	17.907	13.598	.775	.889	
	데이터활용03	17.887	13.201	.802	.884	
	데이터활용04	17.914	13.506	.768	.889	
	데이터활용05	17.937	13.186	.698	.900	
	데이터활용08	17.880	13.539	.671	.904	
가치사슬	가치통합01	13.59	9.756	.761	.881	.903
	가치통합02	13.58	9.618	.749	.883	

통합	가치통합03	13.58	9.385	.749	.883	
	가치통합04	13.54	9.169	.775	.877	
	가치통합05	13.54	9.562	.752	.882	
생산성 향상	생산성01	14.19	8.785	.805	.885	.911
	생산성02	14.20	8.753	.775	.891	
	생산성03	14.08	8.937	.770	.892	
	생산성04	14.07	8.938	.761	.894	
	생산성05	14.15	9.057	.759	.894	
유연성 향상	유연성01	13.27	10.106	.860	.920	.938
	유연성02	13.30	9.477	.866	.917	
	유연성03	13.22	9.074	.834	.925	
	유연성04	13.28	10.327	.802	.930	
	유연성05	13.23	9.651	.826	.925	
유용성	유용성01	13.62	12.075	.765	.932	.936
	유용성02	13.49	11.897	.806	.925	
	유용성03	13.46	11.815	.815	.923	
	유용성04	13.57	11.246	.877	.911	
	유용성05	13.49	11.184	.876	.911	
사용자 만족	사용자만족01	10.82	5.486	.820	.903	.924
	사용자만족02	10.83	5.275	.855	.891	
	사용자만족03	10.83	5.168	.863	.888	
	사용자만족04	10.85	5.314	.763	.923	
지속적 사용 의도	지속사용01	14.25	10.209	.824	.940	.947
	지속사용02	14.18	9.934	.855	.935	
	지속사용03	14.17	10.072	.835	.938	
	지속사용04	14.22	9.594	.874	.931	
	지속사용05	14.20	9.538	.888	.929	

4.2.3. 동일방법편의(Common Method Bias) 검정

동일 방법 편의는 독립변수와 종속변 수를 동일한 측정도구와 응답자에 의해 측정함으로서 발생하는 오류, 즉 Likert 척도 등으로 응답자의 설문을 받는 방법을 사용할 때, 응답자가 무의식적으로 일관성을 유지하려거나 특정 방향으로 몰고 가고자 함으로써 현실을 왜곡시키는 것을 말한다(Podsakoff et al., 2003). 즉 동일방법편의는 측정도구의 타당성을 저해하는 요인이 되며 변수 간의 관계와 연구결과 자체의 왜곡을 유발하는 원인이 된다(김용희 외, 2015). 본 연구에 사용된 응답자료를 탐색적 요인분석과 신뢰도 분석을 통하여 타당성과 신뢰성을 일정 부분 검정 하였으나 응답자의 무의식적인 일관성

을 유지하려는 경향에 대한 데이터 편향성 검증이 추가적으로 검증되어야 타당성과 신뢰성을 확보하였다고 할 수 있다. 따라서 변수의 동일방법편의(Common Method Bias)를 검정 하고자 한다. 동일방법편의 검정방법으로 Harman의 단일요인검정(Harman's Single Factor Test)을 채택 하여 실시하였다. Harman의 단일요인검정(Harman's Single Factor Test)은 SPSS의 탐색적 요인분석에서 회전하기 전의 해법(Ubrotated Solution)내에서 한 개의 지배요인(One Dominant Factor)이 존재 하는지를 검정하는 기법이다((Podsakoff et al., 2003). 요인분석을 통해 나타난 분산설명력이 50%를 초과하게 되면 해당 데이터는 동일방법편의가 발생한 것이라고 판단한다(Podsakoff et al., 2003).

동일방법편의 분석결과 분산설명력(%)이 47.34% 나타났으며 기준치인 50%에 다소 근접하고 있으나 기준을 초과하지 않아 동일방법편의가 발생하지 않은 것으로 판된하였다. 분석 결과는 아래의 [표 4-5]와 같다.

[표 4-5] 탐색적 요인분석 설명된 총분산(Total Variance explained)

구성 요소	초기 고유값			추출 제곱합 로딩		
	총계	분산의 %	누적률(%)	총계	분산의 %	누적률(%)
1	18.935	47.338	47.338	18.935	47.338	47.338
2	2.848	7.120	54.458			
3	2.212	5.529	59.987			
4	1.796	4.490	64.478			
5	1.484	3.709	68.187			
6	1.362	3.404	71.591			
7	1.229	3.073	74.663			
8	.971	2.428	77.091			

일반적으로 잠재변수간의 상관관계가 높은 경우(0.9 이상) 동일방법 편의가 존재할 수 있다(Palov et al., 2007). 따라서 상관관계 분석도 추가하여 수행하였다. 상관관계 분석결과 가장 높게 나타난 값은 0.729로 0.9이하로 나타났다. 그러므로 동일방법편의 에는 문제가 없다고 볼 수 있으며, 잠재 변수

간 상관관계 변수가 0.8이하 이므로 다중 공선성(Multicollinearity)의 문제가 없다고 볼 수 있다(Bagozzi et al., 1991). 분석 결과는 아래의 [표 4-6]과 같다.

[표 4-6] 상관관계 분석결과

요인분석	자동화	데이터 활용	가치 통합	생산성	유연성	유용성	사용자 만족	지속 사용
자동화	1							
데이터활용	.587**	1						
가치통합	.612**	.664**	1					
생산성	.578**	.592**	.631**	1				
유연성	.403**	.421**	.393**	.418**	1			
유용성	.537**	.608**	.593**	.651**	.420**	1		
사용자만족	.542**	.627**	.563**	.641**	.493**	.729**	1	
지속사용	.521**	.654**	.605**	.594**	.399**	.690**	.646**	1

Pearson 상관계수(양측 검정): p-value: $p < 0.05$ 이하로 모두 유의

동일방법 편의에 대한 탐색적 요인분석의 충분산 및 상관관계 계수의 크기 검정 결과를 볼 때, 본 연구의 설문 응답 데이터는 신뢰성을 확보하였다고 판단 할 수 있다.

4.3. 확인적 요인분석

4.3.1. 측정모델 분석

본 연구모델에 대한 탐색적 요인분석을 실시하여 정제된 측정변수들이 타당성과 신뢰성이 확보된 것을 확인하였다. 다음으로 구성 개념간의 가설 검정에 앞서 AMOS 22.0를 통한 확인적 요인분석(confirmatory factor analysis)을 실행하여 각 측정 변수들의 단일 차원성을 검정하였다.

확인적 요인분석은 잠재변수와 관측변수 간의 관계 및 잠재변수 간의

관계를 검증하는 것으로 특히, 확인적 요인분석은 관측변수와 잠재변수 간의 요인부하량을 측정할 수 있고, 모델의 전반적인 적합도를 평가할 수 있기 때문에 구성개념 타당성(Construct Validity)을 측정하는데 유용하게 사용되고 있다(우종필, 2015).

인과관계 연구에서 확인요인분석은 자료의 타당성을 증명하는데 활용되고 있으며, 그 목적은 잠재변수들의 단일차원성(unidimensionality)을 저해하는 항목을 제거하는 것이다(송지준, 2016). 탐색적 요인분석이 체계화되어있지 않은 이론 및 연구의 방향을 파악하기 위해 탐색적 목적으로 실행하는 것인데 비해, 확인적 요인분석은 선행이론에 근거하여 잠재변수 및 측정변수를 다시 한번 확인하고 검증하는 데 이용된다(송지준, 2016). 즉, 확인적 요인분석은 잠재변수와 관측변수 간의 관계 및 잠재변수 간의 관계를 검증하는 것으로서, 선행연구의 이론적 배경이나 논리적 근거를 중요시하기 때문에 이론 검증 과정(theory testing procedure)에 가깝다고 할 수 있으며, 이러한 특성으로 인해 확인적 요인분석은 집중타당성이나 판별타당성과 같은 측정도구의 타당성 검증에 이용되며, 측정모델의 평가가 χ^2 또는 다른모델의 적합도(GFI, AGFI, CFI, RMR) 등에 의해 이루어 진다(우종필, 2015).

일반적으로 확인적 요인분석은 모든 잠재변수를 대상으로 한 번에 측정모델분석(analysis of measurement model)을 하는 것이 원칙이나, 측정변수가 많거나, 모델의 복잡성 등으로 분석이 어려울 경우 외생, 매개, 내생변수 별로 확인요인분석을 실시 후 다시 전체 변수대상의 측정모델 분석을 시행할 수도 있다(최창호, 2018).

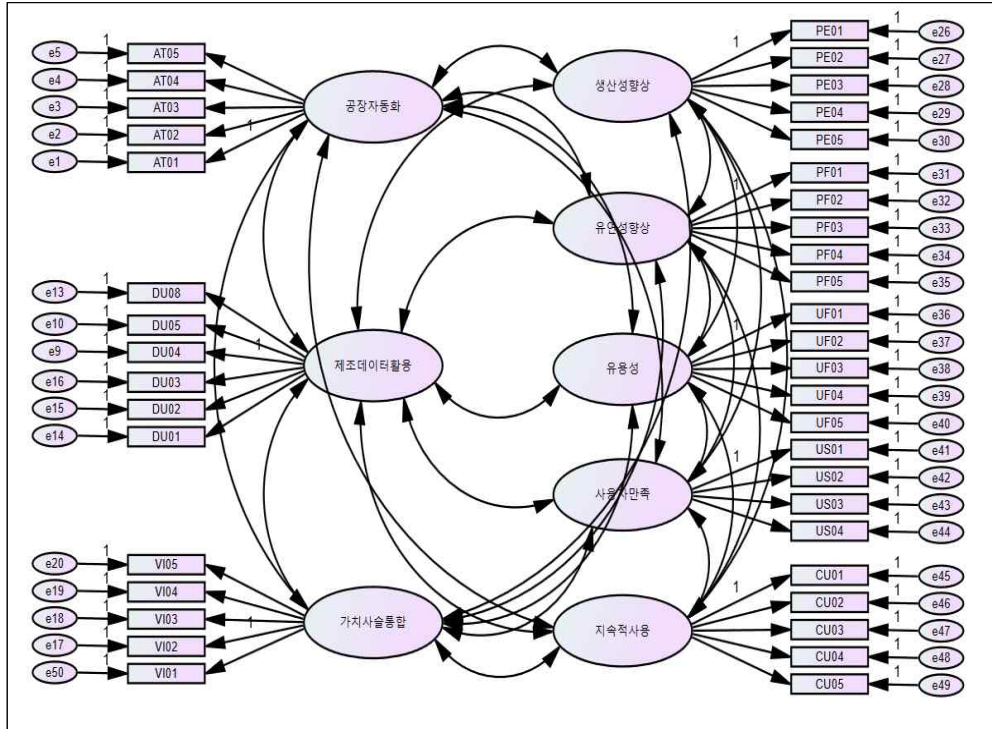
측정모델분석에서 집중타당도가 떨어지는 변수의 정제방법은 ① 표준화 요인부하량이 0.7보다 작은 측정변수부터 제거하는 방법과 ② SMC(squared multiple correlation) 값이 0.5보다 작은 측정변수를 제거하는 방법이 있으며, 본 논문은 후자의 방법을 적용하였다(최창호, 2018). 모델적합도 평가는 크게 절대적합지수(Absolute Fit Index)와 증분적합지수(Incremental Fit Index) 등을 이용하며, 적합도에 대한 판단 기준은 [표 4-7]과 같이 적용하였다(우종필, 2015).

[표 4-7] 모델적합도 지수 및 판단기준

구분	판정기준	적합 기준	기타
$CMIN(\chi^2)(p)$	>.05	양호	절대 적합지수
$CMIN(\chi^2)/df$	2 이하	양호	
	3 이하	보통	
	5 이하	수용가능(Hayduk, 1987)	
RMR	.05 이하	양호	
	.08 이하	수용가능(Etezadi-Amoli & Farhoomand; Joreskog & Sorbom,1993)	
GFI	.9 이상	양호	
	.8 이상	수용가능(Joreskog & Sorbom, 1993)	
AGFI	.9 이상	양호	
	.8 이상	수용가능(Joreskog & Sorbom, 1993)	
RMSEA	.1 이하	보통	중분 적합지수
	.08 이하	양호	
	.05 이하	매우 좋음	
NFI	.9 이상	양호(.8이상, 수용가능)	
TLI	.9 이상	양호(.8이상, 수용가능)	
CFI	.9 이상	양호(.8이상, 수용가능)	

출처: 최창호(2018). 재인용

탐색적 요인분석을 실시한 후 정제된, 공장 자동화, 제조 데이터의 활용, 가치사슬통합, 생산성 향상, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도, 지속적 사용의도의 8개 잠재변수 및 측정변수들에 대하여 측정모델 분석을 진행하였다. 최초 측정모델은 [그림 4-1]과 같다.



[그림 4-1] 측정모델(최초)

최초 측정모델에 대하여 모델적합도 측정을 하였다. 분석 결과는 [표 4-8]과 같다.

[표 4-8] 측정모델 적합도 분석결과(최초)

Model Fit	p-value	CMIN/df	RMR	GFI	AGFI	RMS EA	NFI	TLI	CFI
기준치	>.05	<3	<.08	>.8	>.8	<.08	>.9	>.9	>.9
측정치	.000	2.178	.033	.806	.777	.063	.867	.915	.923
적합도	-	보통	양호	수용 가능	수용 불가	양호	수용 가능	양호	양호

CMIN/df의 측정치가 2를 초과하고 있어 양호하지 못하며, GFI 및 NFI 측정값은 수용 가능한 상태이긴 하나 양호하다 판단 하긴어렵다. AGFI 측정값은 0.8미만 으로 수용하기 어려운 상태로 측정되었다. 전반적인 모델적합도

가 기준에 부합하지 못하는 것으로 판단되어 변수 정제 작업을 진행하였다. Estimates의 SMC 값이 0.5이하 이며, 값이 가장 작은 공장 자동화 1번 문항(0.461)의 측정변수부터 순차적으로 유용성 1번 문항(0.626), 사용자 만족도 4번 문항(0.651), 가치사슬 통합 4번 문항(0.652), 유용성 2번 문항(0.657), 제조 데이터 활용 4번 문항(0.680)의 총 6개의 측정변수들을 제거하면서 반복적으로 측정모델의 적합도 수준 변화를 관찰하였다. 분석 결과 Variances의 분산지수는 (-)값을 보이지 않았고, 표준화요인부하량인 SMC값이 잔여 측정변수 모두 0.5 이상의 설명력을 보여 주고 있다. 최초 모델부터 최종적인 모델 적합도 수용수준 확인 단계까지 순차적 확인적 요인 분석결과는 [표 4-9]와 같다.

[표 4-9] 측정모델 적합도 분석결과(2차~최종)

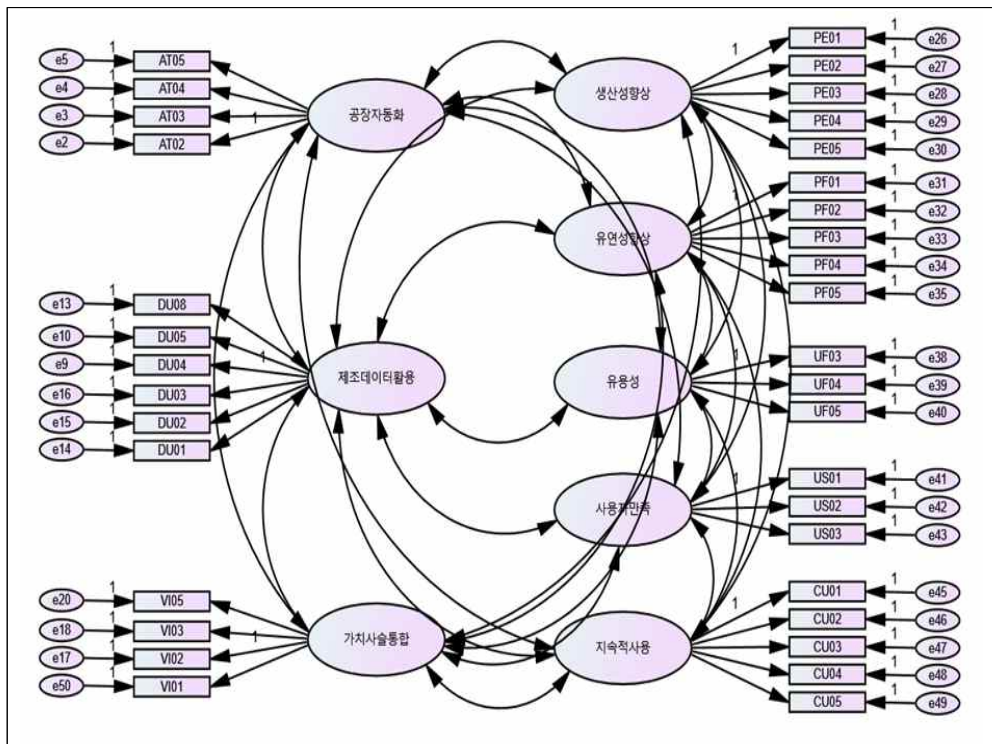
Model Fit	p-value	CMIN/df	RMR	GFI	AGFI	RMS EA	NFI	TLI	CFI
2차 검정	.000	2.15	.032	.812	.782	.062	.873	.920	.927
3차 검정	.000	2.086	.032	.820	.791	.060	.879	.926	.933
4차 검정	.000	2.037	.031	.828	.799	.059	.885	.931	.937
5차 검정	.000	1.985	.030	.834	.805	.057	.890	.935	.942
6차 검정	.000	1.933	.030	.842	.812	.056	.896	.940	.946
최종 검정	.000	1.91	.029	.848	.818	.055	.900	.943	.949
기준치	>.05	<3	<.08	>.8	>.8	<.08	>.9	>.9	>.9
적합도	-	양호	양호	수용 가능	수용 가능	양호	양호	양호	양호

변수 정제 결과, 정제하는 과정에서 모델 적합도가 향상되는 양상을 보였으며 최종 검정 결과에서 χ^2 / p 값을 제외하고는 모든 지표가 기준치에 부합하는 모델적합도로 나타나고 있다.

모델적합도 검정 결과를 최종적으로 판단하는 기준은 모든 적합도 수준이 기준치 이상의 값을 얻을 필요는 없으며, 위의 결과에서 카이스퀘어 검정 결

과는 가설이 기각되어 부적합 판정이 되었지만, 카이스퀘어 검정결과의 적합 여부는 모델의 필요조건이지 충분조건이 아니기 때문에 다른 적합도 검정 결과로 판단하면 된다(송지준, 2016). 제안된 측정모델이 부적합 검증이 되었더라도 실제로는 적합도가 높은 측정모델일 수도 있고, 반대로 모델검증의 조건들이 위배되었을 가능성도 배제할 수 없기 때문에 다른 적합도 지수를 함께 고려하여 모델적합도를 결정하는 것이 필요하다(신건권, 2013).

따라서 최종 측정된 모델은 RMR 측정 값은 .029로 .05이하 이고, RMSEA 측정 값은 .055로 0.8 이하이며, GFI, AGFI 측정값은 0.8이상, NFI, TLI, CFI 측정값 모두 0.9를 초과하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 절대적합지수 및 증분적합지수 대부분의 측정값이 기준치를 만족시킴으로써 전반적으로 측정모형의 적합도가 허용하는 범위에서 수용 가능하다고 판단 할 수 있다. 최종 측정모델은 [그림 4-2]와 같다.



[그림 4-2] 측정모델(최종)

4.3.2. 집중 타당성 분석

측정모델 분석을 시행하여 측정 가능한 모델적합도를 도출한 후 측정모델의 타당성을 평가해야 하는데, 집중 타당성(convergent validity)이란 동일한 개념을 측정하기 위하여 서로 다른 방법으로 측정한 값 사이에 높은 상관관계가 있어야 한다는 의미이다(송지준, 2016). 구조방정식 모델에서 집중 타당도를 확인하는 방법은 ① Estimates에서 표준화요인 부하량(standardized factor loading)으로 측정하는 방법 (>0.7), ② 분산추출의 평균값(Average Variance Extracted, AVE)을 기준으로 검증하는 방법(>0.5), ③ 개념신뢰도(Construct Reliability: CR) 측정값을 기준으로 하는 방법(>0.7)이 있다(최창호, 2018).

본 연구에서는 집중타당서의 대표적인 지표인 평균분산추출(AVE)과 구성 개념신뢰도(CR) 값을 기준으로 활용하여 집중 타당도 분석을 하였다. 각 잠재변수의 관측변수들에 대한 평균분산추출(AVE)과 개념신뢰도 (CR) 분석결과 값은 [표 4-10]와 같다.

[표 4-10] 집중타당도 분석결과

잠재 변수	관측 변수	표준화 계수	S.E	C.R.	P	Variances	C.R.	AVE	신뢰도	SMC
공장자동화	AT02	.744				.416	.890	.671	.879	.553
	AT03	.860	.077	14.834	***	.234				.740
	AT04	.769	.078	13.207	***	.374				.591
	AT05	.843	.075	14.546	***	.248				.711
제조데이터 활용	DU01	.836	.057	17.362	***	.217	.913	.679	.889	.698
	DU02	.827	.055	17.103	***	.211				.684
	DU03	.839				.219				.703
	DU05	.713	.068	13.834	***	.448				.509
	DU08	.736	.065	14.446	***	.389				.542
가치사슬통합	VI01	.821	.060	16.108	***	.232	.902	.697	.877	.674
	VI02	.819				.254				.671

	VI03	.755	.067	14.393	***	.367				.569
	VI05	.814	.063	15.918	***	.266				.662
생산성향상	PE01	.845				.209	.933	.737	.911	.713
	PE02	.829	.058	17.578	***	.244				.688
	PE03	.818	.056	17.189	***	.241				.669
	PE04	.806	.057	16.791	***	.259				.649
	PE05	.803	.056	16.717	***	.249				.645
유연성향상	PF01	.896				.119	.955	.808	.938	.803
	PF02	.902	.048	23.789	***	.144				.814
	PF03	.865	.056	21.637	***	.241				.748
	PF04	.840	.046	20.339	***	.179				.706
	PF05	.850	.052	20.845	***	.216				.723
유용성	UF03	.836				.260	.938	.834	.929	.699
	UF04	.941	.053	22.002	***	.108				.885
	UF05	.935	.054	21.788	***	.121				.874
사용자만족	US01	.879				.146	.947	.857	.923	.772
	US02	.927	.046	23.484	***	.096				.859
	US03	.881	.050	21.378	***	.160				.777
지속적사용	CU01	.850				.187	.961	.832	.947	.723
	CU02	.871	.053	20.054	***	.172				.759
	CU03	.862	.053	19.651	***	.180				.743
	CU04	.911	.053	21.804	***	.135				.830
	CU05	.926	.052	22.5	***	.114				.857

분석결과, AVE 값은 최소값 0.671부터 최대값 0.857에 범위로 측정되었으며 전체 0.5이상의 값을 나타내고 있다. 구성개념신뢰도인 CR 값은 최소 0.890부터 최대 0.961로 허용 기준인 0.7을 상회하고 있는 것으로 나타나 종합적으로 집중타당성이 확보되었다고 판단하였다. 또 한 측정모델의 신뢰도 Cronbach α 값을 확인한 결과 최소 0.877부터 최대 0.947 로 수용 기준 값인 0.7을 상회하는 것으로 측정되어 신뢰도가 확보된 것으로 판단하였다.

4.3.3. 판별 타당성 분석

판별타당성은 서로 다른 잠재변수 간의 차이를 나타내는 정도로 잠재변수 간 낮은 상관을 보인다면 판별타당성이 있는 것이며, 잠재변수 간 높은 상관을 보인다면 두 구성개념 간의 차별성이 떨어지는 것을 의미하므로 잠재변수 간 판별타당성이 없는 것으로 판단한다(우종필, 2015).

판별타당성을 검증하는 방법은 다음과 같이 세 가지가 있다. 첫 번째로, 평균분산추출(AVE) 지수와 구성개념 간 상관계수를 제공한 값(즉, 상관자승치: Squared Correlation)을 비교하여 평균분산추출 지수가 상관계수의 제공한 값보다 크면 판별 타당성이 확보되었다고 할 수 있는 방법이며 보다 엄격한 방법이다(노경섭, 2019). 두 번째로, 각 구성개념 간 95% 표준오차 추정구간의 상관관계가 구성개념 간 완전한 상관계수를 의미하는 1에 대한 포함 유/무를 비교하는 것으로 구성개념 간 동일하다는 가설의 기각 여부를 판단함으로써, 95% 신뢰구간에서 1이 아니면 판별타당성이 있다고 볼 수 있다(Anderson & Gerbing, 1988). 셋 째, 두 변수 간 비제약모델(unconstrained model)과 두 변수 간 공분산을 1로 고정한 제약모델 간의 χ^2 차이 분석을 실시 한 후, 두 모델 간 χ^2 차이 값이 3.84 이상이면 판별타당성이 있다고 판단한다(우종필, 2015; 최창호, 2018). 판별 타당성 검증방법을 세부적으로 정리하면 다음 [표 4-11]과 같다.

[표 4-11] 판별 타당성 검증방법

구분	검증 방법
AVE > Φ^2	두 구성개념 간 각각의 AVE 값과 두 구성개념 간 상관계수 제공 값을 비교하여 AVE값이 상관계수의 제공 값보다 클 경우 판별타당성이 있음
$[\Phi \pm 2 \times \text{S.E.}]$ 의 1 포함 여부	두 구성개념 간 상관계수에 ± 2 곱하기 표준오차를 계산한 결과 값이 1을 포함하지 않는다면 판별타당성이 있음
비제약모델과 제약모델 간의 $\Delta \chi^2$ 차이 검정	두 구성개념 간 자유로운 상관을 갖는 비제약(자유)모델과 그 구성개념 간 공분산을 1로 고정시킨 제약모델간의 차이분석을 실시한 후, 두 모델 간 통계적으로 유의한 차이가 있는지 없는지를 비교하여 $\Delta \chi^2 \geq 3.84$ 이면 판별타당성이 있음

출처: 우종필(2015). 재인용

본 연구에서는 판별타당성 검증을 위하여 세가지 방법 중 가장 일반적으로 사용되는 AVE 값과 상관계수 제곱 값을 비교하는 분석을 실시하였다. 검증 결과 공장 자동화와 가치사슬통합의 잠재변수 간 상관계수가 가장 크게 나타났다(0.742). 상관계수의 제곱 값인 결정계수는 0.551이다($0.742^2=0.551$). 본 연구의 AVE 값 들이 모두 0.551 보다 크므로 판별타당도는 확보되었다고 할 수 있다(신건권, 2013). 판별타당성 검증에 대한 상세한 분석 결과는 다음의 [표 4-12]와 같다.

[표 4-12] 판별 타당성 검증결과

구분	공장자동화	제조데이터 활용	가치사슬통합	생산성향상	유연성향상	유용성	사용자만족	지속적사용
공장자동화	.671							
제조데이터 활용	.656	.679						
가치사슬통합	.742	.724	.697					
생산성향상	.685	.637	.709	.737				
유연성향상	.466	.455	.437	.448	.808			
유용성	.540	.592	.598	.668	.434	.834		
사용자만족	.587	.669	.648	.677	.516	.731	.857	
지속적사용	.565	.677	.656	.629	.424	.693	.643	.832

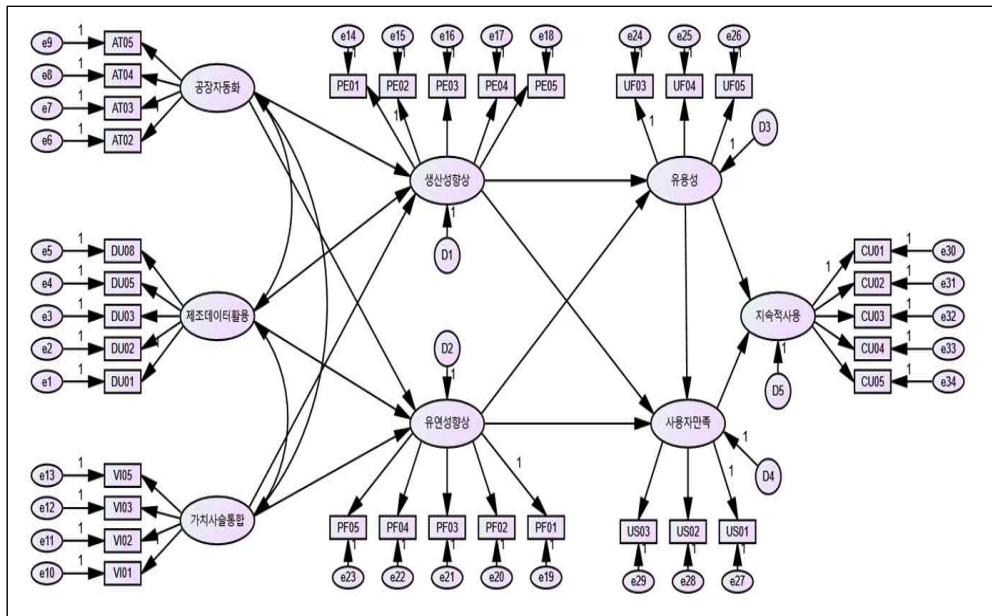
확인적 요인분석의 측정모델 분석 및 집중타당성과 판별타당성 분석 결과, 본 연구 측정모델에 대한 집중타당도와 판별타당도가 확보되었으며 구조방정식모델 분석을 실시할 준비가 완료되었다.

4.4. 가설검정

4.4.1. 연구모형 적합도 분석

본 연구 모델에 대한 구성개념들 간의 인과적 관계검정을 실행하기에 앞서 탐색적 요인분석과 확인적 요인분석을 통해 구조모델 분석 실행의 적합성을 확인 하였다.

구조방정식모델 분석이란 연구자가 제안한 연구모델을 분석하는 것이다(최창호, 2018). 구조방정식모델 분석을 하기 전에 모델적합도를 검정을 실시하였다. 구조모델분석에서 모델적합도가 확보되지 않으면 가설 검정은 무의미하며, 확인된 구조방정식모델에 대하여 ① 외생잠재변수의 측정오차 간, 내생잠재변수의 측정오차 간, 그리고 내생 잠재변수의 구조 오차간 공분산 설정, ② 잠재변수 간 경로 추가하는 방법들을 수정지수 방법 이라 하는데, 이들 수정 및 개량작업을 거쳐 최종적으로 모델적합도가 확보된 상태에서 가설 검정을 실시해야 한다(최창호, 2018). 구조모델 적합도 분석에 최초 연구모형은 [그림 4-3]과 같다.



[그림 4-3] 구조방정식 연구모형(최초)

본 논문의 잠재변수는 총 8개로 독립변수로는 스마트 공장의 구축내용인 자동화, 제조데이터의 활용, 가치사슬 통합으로 설정하였으며 매개변수는 후기수용모델 이론의 기대충족(구축목적: 생산성 향상, 유연성향상,) 정도와 유용성, 사용자 만족도로 설정하였다. 종속변수는 지속적 사용의도로 구성되어 있다. AMOS 22.0을 활용하여 연구모델의 구조모델분석을 실행하여 모델의

적합도를 최초 측정하였다. 분석결과는 [표 4-13]과 같다.

[표 4-13] 구조모델 적합도 분석결과(최초)

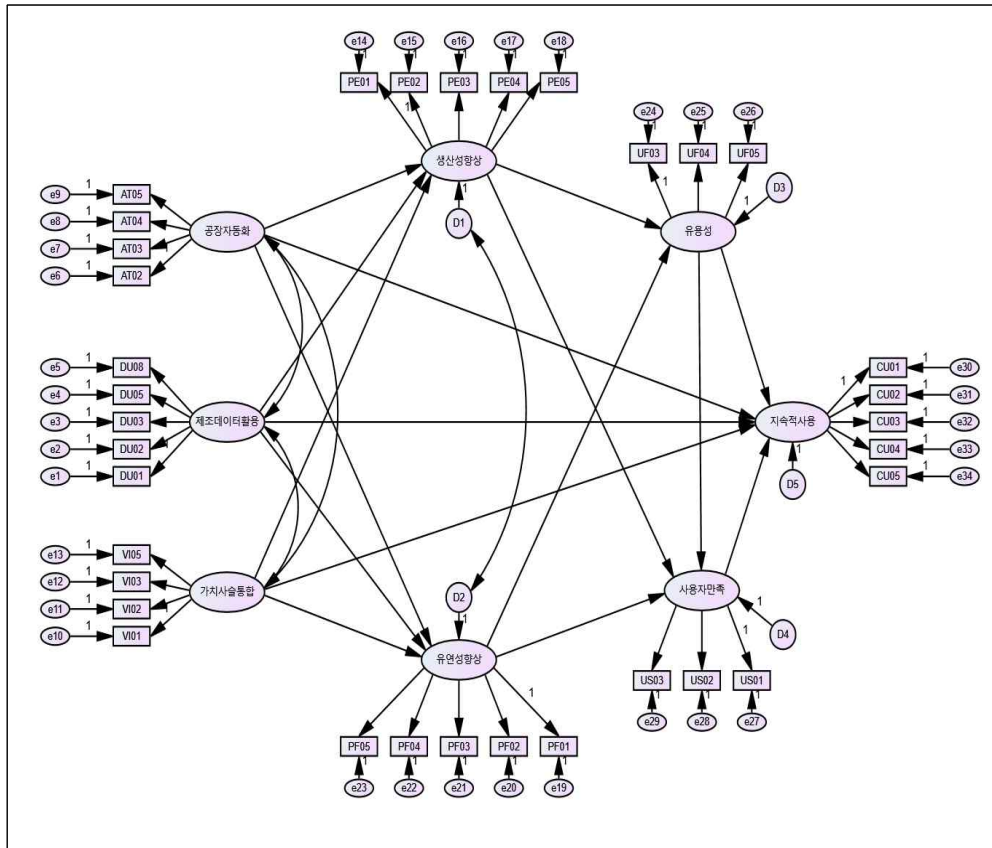
Model Fit	p-value	CMIN/df	RMR	GFI	AGFI	RMS EA	NFI	TLI	CFI
기준치	>.05	<3	<.08	>.8	>.8	<.08	>.9	>.9	>.9
측정치	.000	2.036	.059	.836	.809	.059	.891	.935	.941
적합도	-	보통	수용 가능	수용 가능	수용 가능	양호	수용 가능	양호	양호

구조모델의 적합도 분석결과, CMIN/df의 측정치가 2를 초과하고 있어 양호하지 못하며, GFI 및 AGFI를 제외한 기타 모델 적합도 수준은 전반적으로 양호하나 GFI 및 AGFI 측정값이 각각 0.836과 0.809로 나타나 수용 불가능한 수준은 아니나 다소 낮다. 따라서 향상된 모델적합도 확보를 위하여 공분산 설정(covariance) 및 경로추가(Regression Weights)를 통해 연구모델의 개량 작업을 실시 하였다.

공분산 설정시 이론적 정당성 확보가 요구된다. 동일 외생(내생)잠재변수를 구성하고 있는 측정오차 간의 공분산 설정은 이론적 정당성이 확보 되었다고 할 수 있다(최창호, 2018). 본 연구에서는 동일구성 개념인 기대충족에 대한 생산성 향상과 유연성 향상의 하위 구성개념들의 구조 오차 간 공분산을 설정 하였다.

경로추가(Regression Weights)는 새로운 가설이 추가된다는 것으로, 이런 경우에는 선행연구 등의 이론적 정당성 확보가 필요하며, 이로 인해 연구자의 당초 모델이 훼손될 우려가 있다. 당초 연구 모델에서 간접효과(매개효과)가 설정되어 있다면 직접경로에 대한 경로 추가는 정당성이 확보되었다 할 수 있다(최창호, 2018). 본 연구에서는 독립변수인 구축내용(자동화, 제조 데이터의 활용, 가치사슬 통합)과 종속 변수인 지속적사용의도 사이에 매개 요인인 기대충족(생산성향상, 유연성향상)과 유용성, 사용자 만족의 효과를 검정하고자 하였다. 따라서 독립변수(자동화, 제조 데이터의 활용, 가치사슬 통합)와

종속변수인 지속적 사용의도 사이에 직접 효과를 파악하고자 경로를 추가하였다. 수정된 구조모델 적합도 분석에 연구모형은 [그림 4-4]와 같다.



[그림 4-4] 수정된 구조방정식 연구모형

수정된 구조모델의 적합도 분석결과, 최초 측정 지표 보다 기준치에 더 부합하는 향상된 모델적합도를 보여주고 있다. 그러나 $GFI=.842$ 와 $AGFI=.815$ 가 다소 향상되긴 하였으나 완벽한 모델 적합도를 보여주진 못하고 있다. 그러나 송지준(2016)에 의하면 GFI와 AGFI는 표본 특성에 기인한 비일관성으로 인하여 영향을 받을 수 있기 때문에 표본 특성으로부터 자유로운 CFI(Comparative Fit Index)를 권고하고 있다(송지준, 2016). 특히 홍세희(2000)에 의하면 모형을 제대로 평가하기 위해서 적합도 지수는 최소한 다음의 두 가지 조건을 충족시켜야 한다고 하였으며, 첫째, 적합도 지수는 표본크

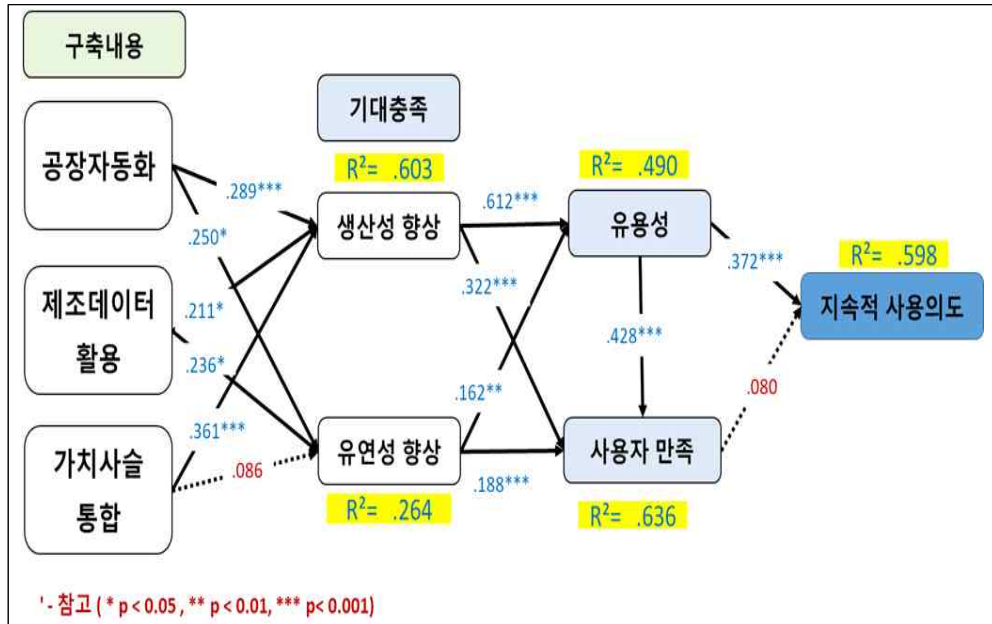
기에 민감하게 영향을 받지 않아야 하고, 둘째, 적합도 지수는 데이터에 잘부합되면서 동시에 간명한 모델을 선호해야 한다고 하였다(홍세희, 2000). 모든 적합도 지수는 데이터에 잘 부합되는 모형을 선호하지만, 많은 지수들이 모형을 평가할 때 모형의 간명성을 고려하지 않아, 이러한 지수를 사용하면 불필요하게(또는 필요 이상으로) 모형을 복잡하게 만들어도 모형이 데이터를 충분히 설명하므로 적합도의 값이 좋게 나온다(홍세희, 2000). 따라서 모형의 간명성은 고려하지 않지만 표본 크기에 영향을 받지 않고 모형오류를 측정할 수 있는 CFI 지수와 표본의 크기에 영향을 받지 않으면서 모형오류와 모형의 간명성을 고려하는 지수인 NNFI(TLI)와 RMSEA를 함께 고려되어야 한다(홍세희, 2000). 홍세희(2000) 연구를 근거로 하면, 본 연구의 증분적합지수 CFI=.946, TLI=.946으로 0.9 이상의 기준을 상회하였고, 절대적합지수인 RMSEA 지수값은 .056으로 0.08 이하의 기준으로 양호(Reasonable Fit)한 적합도로 판단되며, 특히, RMSEA의 신뢰구간 LO90=.051, HI 90=.062으로 간격(0.009)이 넓지 않아 RMSEA 지수값을 신뢰할 수 있다고 판단되어 구조 모형의 모델 적합도는 전체적으로 수용 가능한 수준이라고 평가할 수 있으며, 또한 구조방정식 모델에서 모두 만족스러운 적합도 지수를 얻기 어렵다는 점을 고려해 볼 때 모형의 적합도는 전반적으로 양호하다고 평가할 수 있다(Gefen et al., 2000). 따라서 수정된 모델이 본 연구에 사용하기에는 무리가 없다고 판단되어 그대로 진행 하기로 하였다. 결과는 [표 4-14]와 같다.

[표 4-14] 수정된 구조모델 적합도 분석 결과

Model Fit	p-value	CMIN/df	RMR	GFI	AGFI	RMSEA	NFI	TLI	CFI
기준치	>.05	<3	<.08	>.8	>.8	<.08	>.9	>.9	>.9
최초	.000	2.036	.059	.836	.809	.059	.891	.935	.941
수정	.000	1.952	.039	.842	.815	.056	.896	.940	.946
적합도	-	양호	수용 가능	수용 가능	수용 가능	양호	수용 가능	양호	양호

4.4.2. 기본가설 검증

기본 가설에 대한 8개의 외생변수와 내생변수들 간의 인과 분석 결과는 [그림 4-5], [표 4-15]와 같다.



[그림 4-5] 기본가설 검증모형

본 연구의 내생잠재변수들의 설명력을 살펴보면, 자동화와 제조데이터 활용 및 가치사슬 통합이 생산성 향상을 설명하는 설명력은 60%($R^2 = .603$) 이고, 유연성을 설명하는 설명력은 26%($R^2 = .264$)이다. 생산성 향상과 유연성 향상이 유용성을 설명하는 설명력은 49%($R^2 = .490$)이며, 생산성 향상과 유연성향상, 유용성이 사용자 만족을 설명하는 설명력은 63%($R^2 = .636$)으로 나타났다. 유용성과 사용자 만족도가 지속적 사용의도를 설명하는 설명력은 59%($R^2 = .598$)로 나타났다.

[표 4-15] 기본가설 검정결과

가설	경로	표준화 계수	비표준화 계수	C.R.	P - value	결과
H1	공장자동화→생산성향상	.289	.288	3.677	***	채택
H2	공장자동화→유연성향상	.250	.242	2.586	.010	채택
H3	제조데이터활용→생산성향상	.211	.213	2.869	.004	채택
H4	제조데이터활용→유연성향상	.236	.232	2.580	.010	채택
H5	가치사슬통합→생산성향상	.361	.374	4.060	***	채택
H6	가치사슬통합→유연성향상	.086	.087	.793	.428	기각
H7	생산성향상→유용성	.612	.666	9.872	***	채택
H8	생산성향상→사용자만족	.322	.316	5.096	***	채택
H9	유연성향상→유용성	.162	.182	3.045	.002	채택
H10	유연성향상→사용자만족	.188	.190	3.957	***	채택
H11	유용성→사용자만족	.428	.386	6.769	***	채택
H12	유용성→지속적사용	.372	.328	5.419	***	채택
H13	사용자만족→지속적사용	.080	.079	1.176	.240	기각
구조모델 적합도		CMIN=989.449, df=507, P=0, CMIN/DF=1.952, RMR=0.039, AGFI=0.815, TLI=0.94, CFI=0.946, NFI=0.896, RMSEA=0.056				

가설 H1 공장 자동화는 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .289, C.R. 3.677, p 값 < .001으로 가설은 채택되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 자동화 요인은 생산성 향상에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H2 공장 자동화는 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .250, C.R. 2.586, p 값 < .05으로 가설은 채택되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 자동화 요인은 유연성 향상에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H3 제조데이터 활용은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .211, C.R. 2.869, p 값 < .05으로 가설은 채택되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 제조데이터 활용은 생산성 향상에 정의

영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H4 제조데이터 활용은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .236, C.R. 2.580, p 값 $< .05$ 으로 가설은 채택되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 제조데이터 활용은 유연성 향상에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H5 가치사슬통합은 생산성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .361, C.R. 4.060, p 값 $< .001$ 으로 가설은 채택되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 가치사슬통합은 생산성 향상에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H6 가치사슬통합은 유연성 향상에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .086, C.R. .793, p 값 .428로 가설은 기각되었다. 즉, 스마트 공장의 구축내용인 가치사슬통합은 유연성 향상에 정의 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

가설 H7 생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .612, C.R. 9.872, p 값 $< .001$ 으로 가설은 채택되었다. 즉, 생산성 향상은 PAM 이론의 주 변인인 유용성에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H8 유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .162, C.R. 3.045, p 값 $< .01$ 으로 가설은 채택되었다. 즉, 유연성 향상은 PAM 이론의 주 변인인 유용성에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H9 생산성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이라는 경로분석 결과 경로계수 .322, C.R. 5.096, p 값 $<$

.001으로 가설은 채택되었다. 즉, 생산성 향상은 PAM 이론의 주 변인인 사용자 만족에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H10 유연성 향상은 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .188, C.R. 3.957, p 값 < .001으로 가설은 채택되었다. 즉, 유연성 향상은 PAM 이론의 주 변인인 사용자 만족에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H11 PAM이론의 주 변인인 유용성은 사용자 만족에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .428, C.R. 6.769, p 값 < .001으로 가설은 채택되었다. 즉, PAM이론의 주 변인인 유용성은 사용자 만족에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H12 PAM이론의 주 변인인 유용성은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .372, C.R. 5.419, p 값 < .001으로 가설은 채택되었다. 즉, PAM이론의 주 변인인 유용성은 지속적 사용 의도에 정의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

가설 H13 PAM이론의 주 변인인 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다 의 경로분석 결과 경로계수 .080, C.R. 1.176, p 값 .240으로 가설은 기각되었다. 즉, PAM이론의 주 변인인 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 정의 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

4.4.3. 매개효과 분석

본 논문 연구에서의 잠재변수 간 경로관계 중, 자동화와 제조데이터의 활용, 가치사슬 통합의 독립변수와 지속적 사용 의도인 종속변수 사이에 영향 관계에서 생산성 향상 및 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도의 매개 변인의 작용 효과를 분석하고자 한다. 특히 외생 잠재변수인 자동화와 제조데이터의

활용, 가치사슬통합은 후기수용 모델 이론(PAM)의 주 변인(기대충족, 유용성, 사용자만족도)을 통하여 지속적 사용의도에 영향을 미치는 다중매개모델로 팬텀변수(Phantom Variable)를 이용하여 매개효과를 분석 하였다. 팬텀변수는 가상의 변수로서 모델적합도 및 모수치에 영향을 주지 않는다(배병렬, 2014).

Baron & Kenny(1986)의 연구를 기초로 하여 Hair et al.(2006)은 매개 분석에 대해서 다음과 같은 절차를 제시하고 있다(우종필, 2015). 첫째, 변수 간 관계에서 외생잠재변수(X)와 내생 잠재변수(Y) 간 상관관계(ϕ)는 유의하여야 하고, 외생잠재변수(X)와 매개변수(M) 간 상관관계도 유의하여야 하며, 매개변수(M)와 내생잠재변수(Y) 간 상관관계가 유의하여야 한다(우종필, 2015). 둘째, 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 사이에 매개변수(M)가 개입된 상태에서 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 관계가 유의한 상태로 전혀 변함이 없다면 매개효과가 없는 것이다(우종필, 2015). 셋째, 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 사이에 매개변수(M)가 개입된 상태에서 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 관계가 유의하지만 약하게 영향을 미치는 것으로 변하면 부분매개효과가 있다는 것이고, 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 사이에 매개변수(M)가 개입된 상태에서 외생잠재변수(X)와 내생잠재변수(Y) 관계가 유의하지 않은 상태로 변하면 완전매개효과가 있다는 것이다(우종필, 2015). 연구모델에서 외생잠재변수가 내생잠재변수에 직접 미치는 영향($X \rightarrow Y$)을 ‘직접효과’라고 하며, 외생잠재변수가 매개변수를 거쳐 내생 잠재변수에 미치는 영향($X \rightarrow M \rightarrow Y$)을 ‘간접효과’라고 하고, 직접효과와 간접효과의 합을 ‘총효과’라고 한다(Hair et al., 2006).

매개분석의 첫 번째 절차인 변수 간 상관관계의 유의성은 이미 앞선 동일 방법 편의 검정시 상관관계 분석을 진행 하였으며 상관관계 분석결과 모든 잠재 변수 간 상관관계 변수가 0.8이하로 통계적으로 유의하게 나타났다.

다음으로 AMOS 22.0 통계패키지 프로그램의 Bootstrap 방법을 적용하여 매개효과를 분석하였다. 분석 결과는 아래의 [표 4-16]과 같다.

가설 H14의 공장 자동화와 지속적 사용의도 간 경로의 매개효과 분석결과, 간접효과는 경로계수 0.1, $p < .01$ 로 매개효과는 통계적으로 유의한 것으로

나타났다. 자동화요인과 지속적 사용의에 미치는 영향관계에서 후기수용 모델 이론(PAM)의 주 변인(기대충족, 유용성, 사용자만족도)이 매개효과를 보여주고 있으며, 자동화요인과 지속적 사용의도에 직접 미치는 영향이 유의하지 않게 나타나 완전매개 효과가 있는 것으로 나타났다.

가설 H15의 제조데이터의 활용과 지속적 사용의도 간 경로의 매개효과 분석결과, 간접효과는 경로계수 0.077, $p < .05$ 로 매개효과는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 제조데이터의 활용과 지속적 사용의에 미치는 영향관계에서 후기수용 모델 이론(PAM)의 주 변인(기대충족, 유용성, 사용자만족도)이 매개효과를 보여주고 있으며, 제조데이터의 활용과 지속적 사용의도에 직접 미치는 영향도 유의하게 나타나 부분매개 효과가 있는 것으로 나타났다.

가설 H15의 가치사슬통합과 지속적 사용의도 간 경로의 매개효과 분석결과, 간접효과는 경로계수 0.106, $p < .01$ 로 매개효과는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 가치사슬통합과 지속적 사용의에 미치는 영향관계에서 후기수용 모델 이론(PAM)의 주 변인(기대충족, 유용성, 사용자만족도)이 매개효과를 보여주고 있으며, 가치사슬통합과 지속적 사용의도에 직접 미치는 영향이 유의하지 않게 나타나 완전매개 효과가 있는 것으로 나타났다.

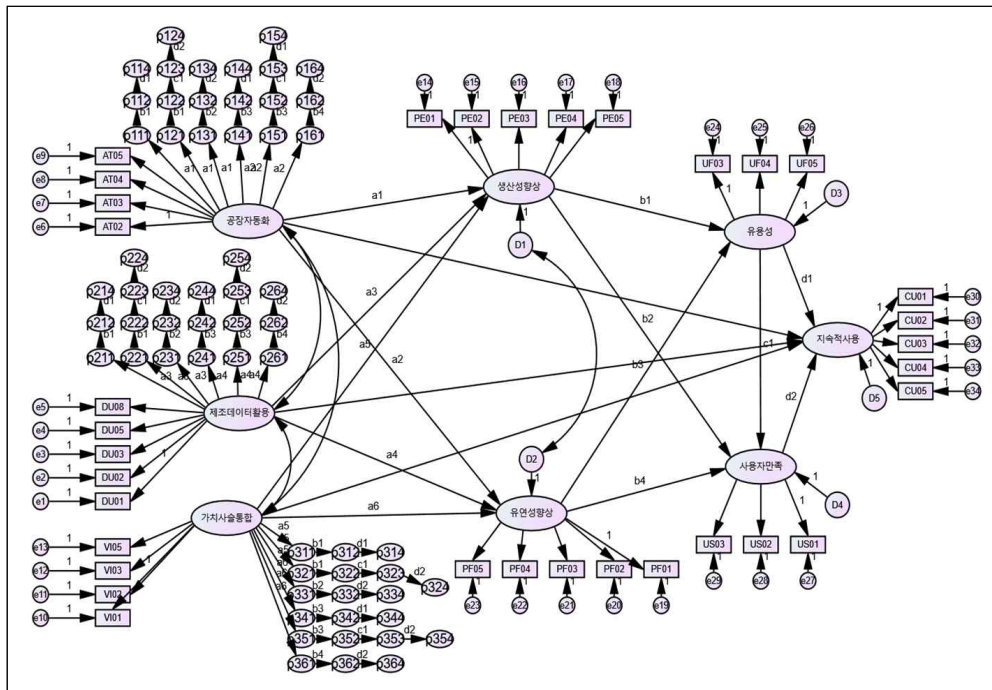
[표 4-16] 매개효과분석 결과

가설	경로	직접효과		간접효과		총효과		결과
		회귀 계수	p값	회귀 계수	p값	회귀 계수	p값	
H14	공장자동화 → 지속적사용	0.004	0.982	0.100	0.002	0.104	0.241	완전 매개
H15	제조데이터활용 → 지속적사용	0.276	0.005	0.077	0.012	0.353	0.006	부분 매개
H16	가치사슬통합 → 지속적사용	0.195	0.054	0.106	0.003	0.301	0.003	완전 매개

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 수준에서 유의함.

AMOS 의 Bootstrap 방법은 복수의 매개경로의 유의도를 한번에 확인할

수 있다는 점에서 장점이 있지만, 이는 동시에 다중매개 경로를 가지는 변인의 전체 간접효과의 유의도만을 보고하고 개별 매개 경로의 유의도를 제시하지 않는다는 한계이기도 하다(배병렬, 2014). 따라서 간접효과에 대한 명확한 해석을 위한 개별 간접효과 경로들의 통계적 유의도를 확인해야 할 필요가 있다. 다중매개를 통해 간접효과가 발생할 경우, 개별 간접효과 경로에 대한 팬텀 변수를 형성하고, 각 경로 별로 단일한 계수로 산출된 간접효과를 부트스트래핑 방식으로 통계적 유의도를 검증하는 팬텀분석을 통해 개별 간접효과 경로들을 검증할 수 있다(배병렬, 2014). 따라서 본 연구에서는 팬텀변수를 활용하기 위해 연구 모델을 변환하여 설정한 후 부트스트래핑 방법으로 추가 분석을 하여 외생잠재변수인 자동화 및 제조데이터의 활용, 가치사슬통합 요인이 지속적 사용의도로 가는 경로에서 후기수용 모델 이론(PAM)의 주변인(생산성 향상, 유연성 향상, 유용성, 사용자만족도)에 특정 간접효과를 검증하였다. 변환 설정 모형은 [그림 4-6]과 같다.



[그림 4-6] 팬텀변수를 활용한 변환 설정 모형

Amos에서 팬텀변수(phantom variables)를 이용한 간접효과 검증의 경우 비표준화계수는 계산이 되지만 표준화 계수는 계산이 되지 않는다는 문제점이 있기 때문에(배병렬, 2017), 비표준 화계수(B)를 제시하였으며 그 결과는 [표 4-17]과 같다.

가설 H14a의 특정간접효과 경로인 '자동화→생산성향상→유용성→지속적 사용'의 경로는 $B=0.063$, $C.I.=0.028\sim0.135$, $p<.01$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H14b의 특정간접효과 경로인 '자동화→생산성향상→유용성→사용자 만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.006$, $C.I.=-0.003\sim0.027$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성, 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H14c의 특정간접효과 경로인 '자동화→생산성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.007$, $C.I.=-0.004\sim0.029$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H14d의 특정간접효과 경로인 '자동화→유연성향상→유용성→지속적 사용'의 경로는 $B=0.014$, $C.I.=0.003\sim0.045$, $p<.05$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H14e의 특정간접효과 경로인 '자동화→유연성향상→유용성→사용자 만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.006$ $C.I.=0.001\sim0.018$, $p<.05$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성, 사용자만족의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H14f의 특정간접효과 경로인 '자동화→유연성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.004$, $C.I.=-0.002\sim0.023$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았

다. 따라서 자동화 요인과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H15a의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→생산성향상→유용성→지속적사용'의 경로는 $B=0.047$, $C.I.=0.003\sim0.101$, $p<.05$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H15b의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.004$, $C.I.=-0.002\sim0.025$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성, 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H15c의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→생산성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.005$, $C.I.=-0.003\sim0.036$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H15d의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→유연성향상→유용성→지속적사용'의 경로는 $B=0.014$, $C.I.=0.002\sim0.046$, $p<.05$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H15e의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.001$, $C.I.=0\sim0.012$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성, 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H15f의 특정간접효과 경로인 '제조데이터활용→유연성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.003$, $C.I.=-0.001\sim0.02$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 제조 데이터 활용과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과

사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H16a의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→생산성향상→유용성→지속적사용'의 경로는 $B=0.082$, $C.I.=0.032\sim0.173$, $p<.01$ 로서 편차교정 하한과 상한 사이 '0'이 존재하지 않아 유의수준 안에서 유의하였다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성의 순차적 매개효과가 유의한 것으로 나타났다.

가설 H16b의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.008$, $C.I.=-0.005\sim0.037$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 유용성, 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H16c의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→생산성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.009$, $C.I.=-0.006\sim0.042$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 생산성 향상과 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H16d의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→유연성향상→유용성→지속적사용'의 경로는 $B=0.005$, $C.I.=-0.008\sim0.036$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H16e의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0$, $C.I.=0\sim0.008$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 유용성, 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

가설 H16f의 특정간접효과 경로인 '가치사슬통합→유연성향상→사용자만족→지속적사용'의 경로는 $B=0.001$, $C.I.=-0.002\sim0.014$, $p>.05$ 로서 유의하지 않았다. 따라서 가치사슬 통합과 지속적 사용의도 사이에 유연성 향상과 사용자 만족의 순차적 매개효과는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

[표 4-17] 팬텀변수를 사용한 변환모형에서의 특정간접효과 분석 결과

가설	경로	B	S.E.	95% 신뢰구간		결과
				Lower	Upper	
H14a	자동화→생산성향상→유용성→지속적 사용	0.063**	.026	.028	.135	채택
H14b	자동화→생산성향상→유용성→사용자 만족→지속적사용	0.006	.007	-.003	.027	기각
H14c	자동화→생산성향상→사용자만족→지속적사용	0.007	.008	-.004	.029	기각
H14d	자동화→유연성향상→유용성→지속적 사용	0.014*	.009	.003	.045	채택
H14e	자동화→유연성향상→유용성→사용자 만족→지속적사용	0.006*	.004	.001	.018	채택
H14f	자동화→유연성향상→사용자만족→지속적사용	0.004	.005	-.002	.023	기각
H15a	제조데이터활용→생산성향상→유용성→지속적사용	0.047*	.026	.003	.101	채택
H15b	제조데이터활용→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용	0.004	.006	-.002	.025	기각
H15c	제조데이터활용→생산성향상→사용자만족→지속적사용	0.005	.007	-.003	.036	기각
H15d	제조데이터활용→유연성향상→유용성→지속적사용	0.014*	.010	.002	.046	채택
H15e	제조데이터활용→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용	0.001	.002	.000	.012	기각
H15f	제조데이터활용→유연성향상→사용자만족→지속적사용	0.003	.005	-.001	.020	기각
H16a	가치사슬통합→생산성향상→유용성→지속적사용	0.082**	.032	.032	.173	채택
H16b	가치사슬통합→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용	0.008	.009	-.005	.037	기각
H16c	가치사슬통합→생산성향상→사용자만족→지속적사용	0.009	.011	-.006	.042	기각
H16d	가치사슬통합→유연성향상→유용성→지속적사용	0.005	.010	-.008	.036	기각
H16e	가치사슬통합→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용	0	.001	.000	.008	기각
H16f	가치사슬통합→유연성향상→사용자만족→지속적사용	0.001	.003	-.002	.014	기각

4.4.4. 조절효과분석

본 연구에서는 조절모형을 통한 가설 검정을 위해 연구의 표본 집단을 정부지원사업에 참여하여 지원금을 받고 스마트 공장을 구축한 집단과 자체 기업자본 만을 소요하여 스마트 공장을 구축한 집단으로 나누어 구조방정식모델에서의 다중집단분석(Multiple Group Analysis)을 통한 조절 효과를 검증하였다. 추가하여 정부 스마트 공장 보급확산 사업계획서에 명시된 통상적인 무상 유지보수 계약 기간인 12개월을 근거로 하여 스마트 공장 활용 누적 기간이 1년 미만인 기업과 1년이상 기업으로 집단을 구분하여 위와 같은 동일한 방법으로 조절 효과 검증을 실시하였다.

조절효과(moderation effect)는 제3의 변수가 두 변수 간 관계에 변화를 줄때 발생하는 효과로서, 변화를 주는 제3의 변수를 조절변수(moderator 또는 moderating variable)라고 하며, 다중집단분석은 둘 이상의 집단을 분석하여 모델간 경로계수가 통계적으로 유의한 차이가 있는지 없는지를 판단할 때 사용되는 분석기법이며, 다중집단분석에서 조사자의 관심은 모델 내 경로의 통계적 유의성뿐만 아니라 집단간 경로의 통계적으로 유의한 차이성도 포함된다(우종필, 2015). AMOS를 활용한 구조방정식 모델에서 조절 효과 분석은 ① 연속형 데이터의 경우 범주형 데이터로 변환하여 그룹별 다중집단분석을 하거나, 표준화를 통한 상호작용 항을 생성하여 상호작용 항의 통계적 유의성을 검정할 수 있고, ② 범주형 데이터의 경우 그룹별 다중집단분석을 통해 통계적 유의성을 검정한다(최창호, 2018). 연속형 데이터의 범주화는 ① 군집분석을 활용한 표본의 범주화, ② 평균을 중심으로 고그룹, 저그룹 분류, ③ 중위값(median)을 활용하여 중간 미만 그룹과 이상 그룹으로 분류하는 방법이 있다(최창호, 2018).

본 연구에서 조절효과로 사용되는 정부지원 유/무 및 스마트 공장 활용누적 기간은 범주형 데이터로 그룹별 다중집단분석을 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

다중집단 구조방정식 모델을 활용하기전 조절효과에 대한 검정을 위해 다중집단 확인적 요인분석을 선행하여 실시해야 한다. 다중집단 확인적 요인분

석(Multiple Group Confirmatory Factor Analysis)은 집단간 확인적 요인분석을 하는 것으로서, 주로 교차타당성(Cross Validation)을 검증할 때 사용되며, 교차 타당성은 모집단으로부터 추출한 표본에서 얻은 결과가 같은 모집단으로부터 추출한 다른 표본에서 얻은 결과와 동일한지를 검증할 때 이용된다(우종필, 2015). 교차타당성 검정을 위해 일반적으로 측정동일성(Measurement Equivalence)에 대한 분석이 활용된다(Myers et al., 2000; Mullen, 1995).

측정동일성 분석이란, 비교 그룹 간 측정모델이 같은 결과를 보이는지 여부를 판단하는 것으로, 비교 그룹 간 측정도구에 대하여 동일하게 인식하는지를 알아보는 것이다(우종필, 2015). 다중집단 확인적 요인분석을 통해 집단 간 요인부하량이 모두 같다고 제약하는 제약모델과 두집단에 아무런 제약을 하지 않은 비제약모델 간 분포의 차이가 없어야 측정 동일성이 확보되었다고 본다(최창호, 2018).

위와 같은 내용에 따라, 본 연구 모형의 다중집단 구조방정식모델 분석을 실행하기전 구분된 두 그룹의 모든 요인 부하량이 같다고 가정하는 제약모델과 비제약모델 간의 측정동일성 분석을 실시하였다.

첫째, 정부지원사업에 참여하여 지원금을 받고 스마트 공장을 구축한 집단과 자체 기업자본 만을 소요하여 스마트 공장을 구축한 집단에 대한 MCFA(Multi-Sample Confirmatory Factor Analysis, 다중집단 확인요인분석)을 통한 분석 결과, 측정변수와 잠재변수 사이에 요인부하량이 같다고 가정한 제약모델과 비제약모델의 차이가 통계적으로 유의미한지를 검정하기 위한 자유도의 변화량과 χ^2 변화량을 살펴보면, 자유도 df의 변화량은 26, χ^2 변화량($\Delta \chi^2$)은 21.367 만큼 증가하는 것으로 나타났다. χ^2 분포표의 자유도 df의 변화량이 26일 경우, 5%의 유의수준($\chi_{0.050}$)에서 집단 간 차이가 발생하려면 χ^2 값은 38.88852(df=26인 경우) 이상으로 측정되어 하나, 검점 결과 증가한 값은 21.367로 df=26인 경우 유의 기준값 38.88852값보다 적게 나타나고 있어 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않다고 확인 되었다. 반대로 측정동일성이 확보되었다고 할 수 있다. 따라서 측정동일성 확보로 정부지원 활용에 대한 조절변수를 통하여 다중집단 구조방정식모델을 분석하여

조절효과를 검정할 수 있다. 검정결과는 표[4-18]과 같다.

[표 4-18] 측정동일성 검정결과(정부지원 활용 유/무)

구분	χ^2 (CMIN)	df	p	χ^2/df	RMR	GFI	CFI	TLI	RMSEA
비제약 모델	1778.469	998.000	.000	1.782	.041	.760	.916	.905	.051
제약 모델	1799.836	1024.000	.000	1.758	.043	.757	.916	.908	.050
변화량(Δ)	21.367	26.000	.723	-.024	.002	-.003	.000	-.003	-.001

두째, 스마트 공장 구축 활용 누적기간 1년 미만 집단과 1년 이상 집단에 대한 MCFA(Multi-Sample Confirmatoy Factor Analysis, 다중집단 확인 요인분석)을 통한 분석 결과, 측정변수와 잠재변수 사이에 요인부하량이 같다고 가정한 제약모델과 비제약모델의 차이가 통계적으로 유의미한지를 검정하기 위한 자유도의 변화량과 χ^2 변화량을 살펴보면, 자유도 df의 변화량은 26, χ^2 변화량($\Delta \chi^2$)은 24.709 만큼 증가하는 것으로 나타났다. χ^2 분포표의 자유도 df의 변화량이 26일 경우, 5%의 유의수준($\alpha_{0.050}$)에서 집단 간 차이가 발생하려면 χ^2 값은 38.88852(df=26인 경우) 이상으로 측정되어 하나, 검점결과 증가한 값은 24.709로 df=26인 경우 유의 기준값 38.88852값보다 적게 나타나고 있어 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않다고 확인 되었다. 반대로 측정동일성이 확보되었다고 할 수 있다. 따라서 측정동일성 확보로 스마트 공장 구축 활용 누적기간에 대한 조절변수를 통하여 다중집단 구조방정식모델을 분석하여 조절효과를 검정할 수 있다. 검정결과는 [표 4-19]와 같다.

[표 4-19] 측정동일성 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간)

구분	χ^2 (CMIN)	df	p	χ^2/df	RMR	GFI	CFI	TLI	RMSEA
비제약 모델	1673.852	998.000	.000	1.677	.039	.767	.927	.918	.048
제약 모델	1698.561	1024.000	.000	1.659	.044	.763	.927	.920	.047
변화량(Δ)	24.709	26.000	.536	-.018	.005	-.004	.000	-.002	-.001

두 조절변수 집단에 대한 MCFA를 통해 측정동일성이 확보되었으므로, MSEM분석(Multi Group Structural Equation Model Analysis, 다중집단구조모델분석)을 통한 조절효과 검정을 실시하였다(신건권, 2013).

첫째, 정부지원사업에 참여하여 지원금을 받고 스마트 공장을 구축한 집단과 자체 기업자본 만을 소요하여 스마트 공장을 구축한 집단에 대한 MSEM 분석(Multi Group Structural Equation Model Analysis, 다중집단구조모델분석) 결과 비제약모델과 제약모델 간 자유도 df 차이는 42(1056-1014), χ^2 차이는 40.004 (χ^2 분포도값 58.12)이고, p 값 = 0.559 ($>.05$) 으로 나타났다. 따라서 정부지원 활용에 대한 전체적인 조절효과가 없는 것으로 확인되어 가설 H17은 기각되었다. 조절변수에 대한 MSEM 분석결과는 [표 4-20]과 같다.

[표 4-20] 조절효과 검정결과(정부지원 활용 유/무)

구분	비제약모델 (unconstrainmodel)	제약모델_구조가중치모델 (structuralweightsmodel)
χ^2	1832.682	1872.687
χ^2 차이	40.004	
χ^2 차이의 P값	.559	

전체적인 조절효과는 나타나지 않았지만 잠재변수 경로별 부분 조절효과 확인을 위하여, 스마트 공장 구축에 대한 정부지원 활용 변수에 대한 Pairwise parameter comparison 검정을 통해 경로 간 차이 분석을 실시하였다.

분석결과, 제조데이터활용→생산성향상 경로(b3)에서 부분조절 효과가 있으며 자체자본 활용 집단(.395)이 정부지원 활용 집단(.088)에 비해 더 강한 조절효과가 있는 것으로 나타났다. 한편 가치사슬통합→생산성향상 경로(b5)에서도 부분조절 효과가 나타났는데, 정부지원 활용 집단(.533)이 자체자본 활용 집단(.057)에 비해 더 강한 조절효과가 있는 것으로 나타났으며 가치사슬통합→유연성향상 경로(b6)에서도 부분조절 효과가 나타났으며, 정부지원 활용 집단(.247)이 자체자본 활용 집단(-.388)에 비해 더 강한 조절효과가 있는 것으로 나타났다. Pairwise parameter comparison 검정결과는 [표 4-21]과 같다.

[표 4-21] 쌍대 매개 변수 비교 검정결과(정부지원 활용 유/무)

경로 구분		b1_1	b2_1	b3_1	b4_1	b5_1	b6_1	b7_1	b8_1	b9_1	b10_1	b11_1	b12_1	b13_1
공장자동화→생산성향상	b1_2	-0.914	0.463	0.722	0.142	-1.963	-0.261	-3.116	-0.784	-0.629	-1.379	-0.162	-0.083	0.818
공장자동화→유연성향상	b2_2	0.953	1.96	2.205	1.723	0.06	1.331	-0.455	1.161	1.291	0.723	1.651	1.724	2.318
제조데이터활용→생산성향상	b3_2	0.321	1.703	2.068	1.384	-0.852	0.861	-1.835	0.586	0.775	-0.05	1.311	1.427	2.27
제조데이터활용→유연성향상	b4_2	-0.029	1.142	1.395	0.867	-0.999	0.467	-1.764	0.153	0.295	-0.354	0.703	0.781	1.502
가치사슬통합→생산성향상	b5_2	-1.567	-0.348	-0.17	-0.634	-2.462	-0.944	-3.45	-1.491	-1.368	-1.992	-0.989	-0.934	-0.136

가치사슬통합→유연 성향상	b6_2	-2.923	-2.001	-1.913	-2.221	-3.574	-2.41	-4.281	-2.896	-2.814	-3.252	-2.556	-2.525	-1.929
생산성향상→유용성	b7_2	1.6	2.577	2.841	2.347	0.696	1.932	0.259	1.835	1.969	1.403	2.331	2.409	2.972
유용성→지속적사용	b8_2	-0.136	1.387	1.773	1.037	-1.369	0.5	-2.661	0.105	0.307	-0.604	0.9	1.026	1.99
생산성향상→사용자 만족	b9_2	0.014	1.303	1.602	1.003	-1.053	0.551	-1.954	0.223	0.386	-0.349	0.853	0.946	1.744
유용성→사용자만족	b10_2	0.168	1.765	2.227	1.401	-1.162	0.793	-2.548	0.477	0.708	-0.299	1.383	1.542	2.526
유연성향상→유용성	b11_2	-1.236	0.109	0.335	-0.205	-2.236	-0.572	-3.378	-1.136	-0.994	-1.707	-0.554	-0.485	0.402
유연성향상→사용자 만족	b12_2	-1.432	0.231	0.529	-0.151	-2.601	-0.587	-4.419	-1.369	-1.193	-2.111	-0.619	-0.532	0.644
사용자만족→지속적 사용	b13_2	-1.759	-0.338	-0.133	-0.67	-2.758	-1.012	-4.095	-1.709	-1.57	-2.305	-1.123	-1.062	-0.092

추가 하여 두 집단간 경로분석 결는 아래 [표 4-22]와 같다.

[표 4-22] 집단 간 경로 분석결과(정부지원 활용 유/무)

경로 구분	정부지원 활용 집단			자체자본 활용 집단		
	표준화 계수	p값	결과	표준화 계수	p값	결과
공장자동화→생산성향상	.346	***	채택	.200	.102	기각
공장자동화→유연성향상	.123	.271	기각	.547	.003	채택
제조데이터활용→생산성향상	.088	.359	기각	.395	***	채택
제조데이터활용→유연성향상	.177	.106	기각	.340	.026	채택
가치사슬통합→생산성향상	.533	***	채택	.057	.709	기각
가치사슬통합→유연성향상	.247	.056	기각	-.388	.091	기각
생산성향상→유용성	.636	***	채택	.688	***	채택
유용성→지속적사용	.314	***	채택	.327	***	채택
생산성향상→사용자만족	.290	***	채택	.348	.008	채택
유용성→사용자만족	.402	***	채택	.368	***	채택
유연성향상→유용성	.223	***	채택	.142	.274	기각
유연성향상→사용자만족	.212	***	채택	.156	.068	기각
사용자만족→지속적사용	.081	.310	기각	.067	.579	기각

두 그룹 간 경로계수를 살펴보면, 정부지원 활용 집단에서 정(+)영향을 받은 공장자동화→생산성향상, 가치사슬통합→생산성향상, 유연성향상→유용성, 유연성향상→사용자만족 경로에서 자체자본 활용 집단은 기각 되었다.

한편 정부지원 활용 집단에서 정(+)영향을 확인 할 수 없던 공장자동화→유연성향상, 제조데이터활용→생산성향상, 제조데이터활용→유연성향상 경로

에서 자체자본 활용 집단은 정(+)에 영향을 받는 것으로 나타났다.

두째, 스마트 공장 구축 활용 누적기간 1년 미만 집단과 1년 이상 집단에 대한 MSEM분석(Multi Group Structural Equation Model Analysis, 다중집단구조모델분석) 결과 비제약모델과 제약모델 간 자유도 df 차이는 42(1056-1014), χ^2 차이는 45.844 (χ^2 분포도값 58.12)이고, p 값 = 0.316 ($>.05$) 으로 나타났다. 따라서 스마트 공장 활용 누적 기간에 대한 전체적인 조절효과 가 없는 것으로 확인되어 가설 H18은 기각되었다. 조절변수에 대한 MSEM 분석결과는 [표 4-23]과 같다.

[표 4-23] 조절효과 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간)

구분	비제약모델 (unconstrainmodel)	제약모델_구조가중치모델 (structuralweightsmodel)
χ^2	1722.244	1768.089
χ^2 차이	45.844	
χ^2 차이의 P값	.316	

전체적인 조절효과는 나타나지 않았지만 잠재변수 경로별 부분 조절효과 확인을 위하여, 스마트 공장 구축에 대한 스마트 공장 활용 누적 기간 변수에 대한 Pairwise parameter comparison 검정을 통행 경로 간 차이 분석을 실시하였다.

분석결과, 생산성향상→사용자만족 경로(b9)에서 부분조절 효과가 있으며 1년 이상 활용 누적 집단(.458)이 1년 미만 활용 누적 집단(.125)에 비해 더 강한 조절 효과가 있는 것으로 나타났다. 한편 유용성→사용자만족(b10)에서도 부분조절 효과가 나타났는데, 1년 이상 활용 누적 집단(.227)이 1년 미만 활용 누적 집단(.677)에 비해 더 강한 조절효과가 있는 것으로 나타났다. Pairwise parameter comparison 검정결과는 [표 4-24]와 같다.

[표 4-24] 쌍대 매개 변수 비교 검정결과(스마트 공장 활용 누적 기간)

경로 구분		b1_1	b2_1	b3_1	b4_1	b5_1	b6_1	b7_1	b8_1	b9_1	b10_1	b11_1	b12_1	b13_1
공장자동화→생산성 향상	b1_2	-0.369	0.385	0.124	-0.276	-0.382	1.167	-1.823	0.333	0.976	-2.627	0.007	0.615	0.694
공장자동화→유연성 향상	b2_2	-0.336	0.345	0.105	-0.256	-0.356	1.086	-1.593	0.296	0.845	-2.353	0	0.524	0.614
제조데이터활용→생 산성향상	b3_2	-0.813	-0.007	-0.316	-0.681	-0.759	0.852	-2.374	-0.07	0.51	-3.125	-0.503	0.118	0.269
제조데이터활용→유 연성향상	b4_2	-0.728	-0.005	-0.281	-0.619	-0.699	0.8	-2.067	-0.061	0.448	-2.798	-0.434	0.104	0.243
가치사슬통합→생산 성향상	b5_2	0.578	1.242	1.071	0.594	0.432	1.873	-0.712	1.21	1.994	-1.619	1.086	1.683	1.621
가치사슬통합→유연 성향상	b6_2	-1.122	-0.4	-0.697	-0.993	-1.051	0.442	-2.436	-0.462	-0.035	-3.115	-0.885	-0.377	-0.192
생산성향상→유용성	b7_2	2.946	3.442	3.518	2.75	2.42	3.692	1.89	3.466	4.841	0.595	3.946	4.642	4.093
유용성→지속적사용	b8_2	0.27	1.092	0.89	0.313	0.141	1.8	-1.521	1.056	2.151	-2.491	0.929	1.769	1.581
생산성향상→사용자 만족	b9_2	0.978	1.682	1.562	0.948	0.736	2.257	-0.5	1.663	2.777	-1.568	1.711	2.461	2.195
유용성→사용자만족	b10_2	-0.725	0.216	-0.124	-0.566	-0.658	1.115	-2.757	0.15	0.964	-3.512	-0.337	0.487	0.582

유연성향상→유용성	b11_2	-1.309	-0.392	-0.778	-1.113	-1.159	0.582	-3.15	-0.47	0.074	-3.827	-1.081	-0.39	-0.137
유연성향상→사용자 만족	b12_2	-1.227	-0.217	-0.63	-1.006	-1.057	0.783	-3.419	-0.298	0.382	-4.056	-0.981	-0.151	0.091
사용자만족→지속적 사용	b13_2	-1.857	-0.879	-1.332	-1.604	-1.61	0.195	-3.82	-0.971	-0.55	-4.401	-1.747	-1.057	-0.681

추가 하여 두 집단간 경로분석 결는 아래 [표 4-25]와 같다.

[표 4-25] 집단 간 경로 분석결과(스마트 공장 활용 누적 기간)

경로 구분	1년 미만 집단			1년 이상 집단		
	표준화 계수	p값	결과	표준화 계수	p값	결과
공장자동화→생산성향상	.321	.004	채택	.262	.019	채택
공장자동화→유연성향상	.196	.136	기각	.261	.056	기각
제조데이터활용→생산성향상	.243	.026	채택	.195	.068	기각
제조데이터활용→유연성향상	.310	.019	채택	.195	.138	기각
가치사슬통합→생산성향상	.333	.024	채택	.415	***	채택
가치사슬통합→유연성향상	.020	.910	기각	.119	.396	기각
생산성향상→유용성	.517	***	채택	.766	***	채택
유용성→지속적사용	.206	.102	기각	.356	***	채택
생산성향상→사용자만족	.125	.146	기각	.458	***	채택
유용성→사용자만족	.677	***	채택	.227	***	채택
유연성향상→유용성	.261	***	채택	.134	.127	기각
유연성향상→사용자만족	.179	.019	채택	.165	.006	채택
사용자만족→지속적사용	.153	.166	기각	.058	.499	기각

두 그룹 간 경로계수를 살펴보면, 활용 누적 기간 1년 미만 집단에서 정(+)영향을 받은 제조데이터활용→생산성향상, 제조데이터활용→유연성향상, 유연성향상→유용성 경로에서 활용 누적 기간 1년 이상 집단은 기각 되었다.

한편 활용 누적 기간 1년 미만 집단에서 정(+)영향을 확인 할 수 없던 유용성→지속적사용, 생산성향상→사용자만족, 경로에서 활용 누적 기간 1년 이상 집단은 정(+)에 영향을 받는 것으로 나타났다.

V. 결론

5.1. 연구 결과와 시사점

5.1.1. 연구 결과 요약

뉴노멀 시대 및 포스트 코로나, 언택트 시대등 소비자 트렌드와 제조 패러다임의 변화와 밀접한 관련이 있는 이 말들은 모두 4차 산업혁명과 관련이 깊다. 4차 산업혁명은 디지털 기술과 정보통신기술(ICT)의 혁신적인 발달을 근간으로 근접할 미래를 대응하기 위한 비전과 방향을 제시하고 있다.

4차 산업혁명의 핵심 동력으로 스마트 공장이 거론 되고 있으며 이러한 스마트 공장을 구현하기 위해 사물인터넷(IoT)과 가상물리시스템(CPS) 기술을 활용하고 최적화된 생산시스템에 맞는 자동화 공정의 통합 플랫폼 인터넷 서비스(IoS)가 요구되고 있다. 지난 5년간 정부는 스마트 공장 보급/확산에 애를 쓰고 있으며 여러 중소제조기업들이 스마트 공장을 도입하여 효과를 보이고 있다. 그러나 재무적, 기술적, 환경적 제약에 취약한 중소제조기업들은 스마트 공장 시스템 구현 및 지속적 사용에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 특히, 낮은 IT인프라역량과 재무역량은 스마트 공장 수용-중단이라는 실패를 가져오기도 한다.

이러한 측면에서 본 연구는 그동안 스마트 공장의 구축내용으로 가장 많이 언급된 공정자동화와 제조 데이터의 활용, 가치사슬통합이 실제로 구축목적(생산성 향상, 유연성 향상)에 영향을 미치고 있는지 확인해보고 지속적 사용에 어떠한 영향을 미치는지 실무적 시사점을 도출하고자 하였다.

성공적인 스마트 공장 구축을 위한 도입요인에 대한 연구는 꾸준히 보고되고있으나 스마트 공장 운영의 지속성과 관련한 연구는 아직 많이 이루어지지 못해 연구 방법 및 성공모델이 다양하지 못한 실정이다. 따라서 본연구는 스마트 공장이 공장 자동화 기술과 정보통신기술(ICT)의 융합이라는 기술적 특징을 고려하여 IT 및 정보시스템(IS)기술에 지속적 사용의도 분석에 많이 활용되는 연구모델 중 본 연구 목적과 가장 적합하다고 판단되는 연구모

델인 Bhattacharjee(2001)가 제안한 후기수용모델(PAM)을 중심으로 연구모형을 구성하였다.

본 연구의 분석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 공장 자동화는 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 자동화가 생산공정의 낭비를 줄이고 설비가동률 증대 및 업무수행의 정확도와 신속성을 향상시켜 생산성이 향상된다는 선행 연구들(Hopp et al., 2005; 신장철 외, 2017; 임정우, 외, 2017; Waibel et al, 2017)과 같은 맥락으로 해석 될수 있다.

둘째, 공장 자동화는 유연성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 스마트 공장의 자동화는 CPS 등을 통해 제품을 다양한 방법으로 설계하는 ‘설계의 유연성’, 3D 프린터, 로봇 등을 통하여 다양한 고객 맞춤형 제품을 생산할 수 있는 ‘생산 제품의 유연성’, IoT를 통해 하나의 제품을 다양한 제조공정에서 생산하거나 하나의 제조 라인에서 다품종 소량 생산을 가능케 하는 ‘제조 공정의 유연성’을 증진시킨다고 주장한 다수의 연구들(명상일, 2018; 임정우Waibel et al., 2017; Waibel et al, 2017)과 같은 결과로 추정된다.

셋째, 제조데이터 활용은 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 스마트 공장 도입기업은 제조과정에서 생성되는 Big Data 를 단순하게 수집하고 활용하는 것이 아니라 운영 프로세스를 혁신하기 위한 수단으로 활용된다(Hopkins et al, 2011)고 볼수 있다. 예를 들면 제조 설비 상태 진단 알고리즘기반의 공장 모니터링 시스템을 통하여 설비의 상태와 설비간의 오류 관계를 분석을 효율적으로 분석가능한 시뮬레이션 시스템을 통하여 높은 생산성을 확보할 수 있다(송은주 외, 2020). 또한 실시간으로 모니터링 된 제조 데이터를 통해 생산 프로세스를 점진적으로 개선하려는 노력은 수율 증가, 품질비용 감소, 자재비용 절감 등의 생산성 향상에 기여한다(신장철 외, 2017; Hopkins et al, 2011)고 주장한 다수 의 선행 연구들과 같은 맥락으로 해석 될수 있다.

넷째, 제조데이터 활용은 유연성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이전 다품종 소량생산 체계의 확립에 따라서

생산되는 모든 제품이나 부품에 RFID나 바코드를 부착하여 실시간 제조공정의 상황을 모니터링 함으로서 바로 이어서 생산될 제품에 사용될 자재 및 지그 등을 미리 준비할 수 있도록 하는 등의 유연성 향상을 위한 제조공정의 시뮬레이션이 가능하다(임정우 외, 2017)고 주장 한 선행 연구 및 제조 빅 데이터 분석에 기초한 시뮬레이션이 개인 맞춤형 제품생산을 효율적으로 수행하게 해 준다(신장철 외, 2017; Park, 2016)는 다수의 연구들과 같은 결과로 볼 수 있다.

다섯째, 가치사슬통합은 생산성 향상에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 내부의 공급망 통합이 각 부서 간에 유기적인 협력을 통하여 공장내 제조과정의 체계화된 정보연계를 통해 생산성 및 품질의 향상을 이룰 수 있다(김창봉, 2013). 또 한 생산 공정의 프로세스 개편으로 제품의 개발에서부터 원재료의 조달, 생산, 출하에 이르기까지 효율적인 공급사슬 구축으로 자원의 낭비를 줄이고, 효율적인 생산시스템을 구축할 수 있다(조용주, 2017; Park, 2016)고 주장한 이전 연구와 같은 맥락으로 해석이 가능하다.

여섯째, 가치사슬통합은 유연성 향상에 유의미한 영향관계가 없는 것으로 나타났다. 이 결과의 해석은 기존의 가치사슬 통합이 신제품 설계에서부터 판매에 이르기까지 내·외부 조직의 전문가들을 참여시켜 고객의 경향을 파악하고 추진하여, 리스크를 줄이면서 사용자인 고객 위주의 제품설계 및 맞춤형 생산을 가능케 한다(김성일, 2017; 조용주, 2017; Park, 2016)는 선행 연구 또는 정보시스템인 제품수명주기관리(PLM), 전사적 자원관리(ERP), 공급망관리(SCM), 제조실행시스템(MES) 기술들을 통해 소량의 개인 맞춤형 제품을 효율적으로 생산할수 있다(조용주, 2017)고 주장하는 연구의 맥락과 일치 하지 않는다. 반면 오주환(2019)의 연구를 살펴 보면 유연성 향상을 하기 위해서는 과감한 자동화 투자를 실시하고, 가치사슬 통합을 위한 노력에 기울일 필요가 있다(오주환, 2019)고 언급하고 있다 그러나 Schröder(2016)의 중소기업을 위한 Industry 4.0의 과제 및 지경철(2020), 정선양 외(2016), 박종만(2015)의 연구를 살펴 보면 중소 기업은 대기업에 비해 재무상태 및 업무관리 역량, 인프라 역량이 낮아 자체 적인 스마트 공장 구현에 어려움이 있다고

언급하고 있다. 이러한 현상으로 봤을 때 중소기업 스마트 공장 구축시 위에 언급한 제약 사항들로 인하여 시스템 공급 기업에 솔루션을 무조건적인 수용이 일어났을 가능성이 크다. 이러한 현상은 아직 국내 스마트 공장 구현 네트워크 표준이 정립되지 않은 시기와 맞물려 수용기업의 고객 SCM시스템과 호환이 되지 못하여 상호 정보 교환에 어려움이 발생하였을 가능성이 있다. 결과적으로 수용기업은 고객의 공유된 생산계획 또는 발주예측 정보를 사전에 파악하지 못하고 이는 예측 생산 및 생산라인 사전 변경, 조정등 생산 유연성 향상에 영향을 주지 못하였다고 추측 된다.

일곱째, 생산성 향상은 유용성에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 생산성 향상을 기대한 사용자들이 시스템 사용 전 기대와 사용후기대에 대한 충족 정도를 평가하게 되며 이러한 평가가 유용성에 대한 인식을 향상시키는 반면 불충족은 그 인식을 감소시킬 것(Chiu et al., 2005; Thong et al., 2006). 이라는 연구 결과와 같은 맥락으로 볼수 있다.

여덟째, 유연성 향상은 유용성에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 위 가설에서 언급한 해석과 같이 유연성 향상을 기대한 사용자들이 시스템 사용 전 기대와 사용후기대에 대한 충족 정도를 평가하게 되며 이러한 평가가 유용성에 대한 인식을 향상시키는 반면 불충족은 그 인식을 감소시킬 것(Chiu et al., 2005; Thong et al., 2006). 이라는 연구 결과와 같은 맥락으로 볼수 있다.

아홉째, 생산성 향상은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 시스템 사용자들이 생산성 향상에 대해 사전 기대했던 감정과 실사용후 기대한 정도에 일치여부가 사용자들의 만족한 감정에 영향을 주는 요인으로 해석될수 있으며 사용자들이 원하는 만큼의 생산성 향상 성과가 나타나지 못한다면 사용자들은 시스템사용에 불만족 할 것이란 반증이기도 하다.

열째, 유연성 향상은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 아홉 번째 가설 해석과 마찬가지로 스마트 공장 사용자들은 시스템이 운영이 유연성 즉 외부 환경이 원하는 다양한 종류의 제품을 제공할

수 있는 능력 또는 외부에서 수량의 변화를 요구하는 경우 대응할 수 있는 능력이 향상될 것이라 기대하고 있으며 이러한 기대가 충족 되었을 때 사용자 만족은 향상될 것이라 판단된다.

열한째, 유용성은 사용자 만족에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. Bhattacharjee(2001)의 연구 모델에서 지각된 유용성은 시스템 사용자의 만족에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났으며 이후 지각된 유용성이 사용자 만족도에 영향이 있을 것으로 주장한 다수의 연구들(정영훈 외, 2015; 강형모 외, 2017; 이주희, 2017)과 같은 맥락으로 해석 될수 있다. 즉 시스템 사용으로 인한 업무효율의 향상 정도 및 시스템 이용의 편이성은 사용자들에게 만족한 감정을 형성할 가능성이 크다고 판단된다.

열두째, 유용성은 지속적 사용 의도에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기술수용모델 관점에서 봤을때 기술의 유용성이 높으면, 해당 기술의 지속적 사용의도가 증가된다(이종만, 2012; Davis, 1989)는 연구 결과 및 스마트 공장을 도입한 기업은 스마트 공장 구축내용이 현장에서 사용 유용성이 있을 때 지속적 사용의도를 가지게 된다는 오주환 (2019)의 연구결과와 같은 맥락으로 해석 될수 있다.

열셋째, 사용자 만족은 지속적 사용 의도에 유의미한 영향관계가 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 최초 후기수용모델을 제안한 Bhattacharjee(2001)의 연구에서 사용자 만족이 지속적 사용의도의 영향을 준다는 분석 결과 및 유사한 연구 결과를 주장한 다른 선행 연구들(Bitner, 1990; Dorsch et al, 2000)과 다르게 나타났다. 이러한 원인은 연구대상에 차이에서 나타났다고 예측 된다. Bhattacharjee(2001)의 연구나 기타 선행 연구는 인터넷뱅킹 서비스 및 웹포털 사용자등 개인 소비자를 대상으로 연구를 진행 하였으며 본연구는 기업에 종사하는 스마트 공장 서비스 사용자 들을 대상으로 연구를 진행한 차이가 있다. 즉 개인 소비자들은 제품이나 서비스가 만족스럽지 않다면 개인 스스로 대체할 수단을 찾아 변경할 수 있는 결정이 수월하나 기업 입장에서 전략적으로 수용한 시스템에 경우 개인 스스로 불만족하다고 하여도 조직의 합의가 없이 시스템 사용중단을 결정하기가 어렵다고 판단된다. 한편 기술수용모델을 제안한 Davis et al.(1989)는 사람들은 행동에 대해 긍정적이거

나 부정적인 감정을 불러 일으킬 수있는 것 이상으로 자신의 직무 수행을 향상시킬 것이라고 생각하는 행동에 대한 의도를 형성할 것이라 주장 하였다. 즉 시스템에 대한 만족이 크지 않더라도 업무의 효율성 및 편이성이 크다면 지속적 사용을 할 것이라 예측된다.

열넷째, 매개변인인 생산성 향상과, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 공장 자동화가 지속적 사용의도에 미치는 영향관계에서 통계적으로 유의미한 완전매개 역할을 하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 모델은 다중매개 모델로 여러 가지 경로가 존재 하며, AMOS 의 Bootstrap 방법은 복수의 매개경로의 유의도를 한번에 확인할 수 있다는 점에서 장점이 있지만, 이는 동시에 다중매개 경로를 가지는 변인의 전체 간접효과의 유의도 만을 보고하고 개별 매개 경로의 유의도를 제시하지 않는다는 한계(배병렬, 2014)가 있다. 따라서 이러한 한계를 보완하고 현재 가설을 좀더 세부적으로 분석 하기 위해 팬텀변수(Phantom Variable)를 이용하여 매개효과를 분석 하였다. 분석 결과 공장 자동화로부터 지속적 사용의도에 영향을 미치는 매개 경로는 a경로(자동화→생산성향상→유용성→지속적사용), b경로(자동화→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), c경로(자동화→생산성향상→사용자만족→지속적사용), d경로(자동화→유연성향상→유용성→지속적사용), e경로(자동화→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), f경로(자동화→생산성향상→유용성→지속적사용) 총 6가지 경로가 존재한다. 이중 a경로 와 d경로, e경로가 통계적으로 유의미한 매개효과가 있다고 분석 되었다. 그 중 생산성 향상과 유용성의 매개변인이 공장 자동화와 지속적 사용의도 영향을 미치는 a경로에서 매개효과 .063으로 나타나 가장 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 스마트 공장 자동화가 단순히 지속적 사용 의도를 가져 오는 것이 아니라 반드시 조직이 목표한 생산성 향상에 효과가 수반 되어야 하며 이러한 결과가 사용자들에게 업무 효율 증진 및 사용의 편이성을 정서적으로 느끼게 할 때 지속적 사용이 가능하다고 판단된다.

열다섯째, 매개변인인 생산성 향상과, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 제조데이터 활용과 지속적 사용의도에 미치는 영향관계에서 통계적으로 유의미한 부분적 매개역할을 하는 것으로 나타났다. 해당 가설도 위 열네번째

가설과 마찬가지로 다중매개 경로가 존재한다. 따라서 동일하게 팬텀변수의 세부경로를 만들어 매개효과분석을 진행 하였다. 분석 결과 제조데이터 활용으로부터 지속적 사용의도에 영향을 미치는 매개 경로는 a경로(제조데이터활용→생산성향상→유용성→지속적사용), b경로(제조데이터활용→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), c경로(제조데이터활용→생산성향상→사용자만족→지속적사용), d경로(제조데이터활용→유연성향상→유용성→지속적사용), e경로(제조데이터활용→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), f경로(제조데이터활용→생산성향상→유용성→지속적사용) 총 6가지 경로가 존재한다. 이중 a와 d경로만 통계적으로 유의미한 매개효과가 있다고 분석 되었다. 그 중 생산성 향상과 유용성의 매개변인이 공장 자동화와 지속적 사용의도 영향을 미치는 a경로에서 매개효과가 .047로 나타나 가장 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 스마트 공장 운영시 생성되는 다양한 정보들이 궁극적으로 제품 생산 전반에 걸친 효율화를 기반으로 제품생산에 대한 원가 부분을 절감시키고, 제품 생산성 증대 목표를 달성할 수 있어 (Goryachev et al., 2013)야 하며, 단순하게 수집하고 활용하는 것이 아니라 운영 프로세스를 혁신하기 위한 수단으로 유용하게 활용(Hopkins et al, 2011)될 때 시스템의 지속적 사용가능성이 커진다고 판단된다.

열여섯째, 매개변인인 생산성 향상과, 유연성 향상, 유용성, 사용자 만족도는 가치사슬 통합이 지속적 사용의도에 미치는 영향관계에서 통계적으로 유의미한 완전매개 역할을 하는 것으로 나타났다. 해당 가설도 위 열네번째 및 열닷서번째 가설과 마찬가지로 다중매개 경로가 존재한다. 따라서 동일하게 팬텀변수의 세부경로를 만들어 매개효과분석을 진행 하였다. 분석 결과 가치사슬 통합으로부터 지속적 사용의도에 영향을 미치는 매개 경로는 a경로(가치사슬통합→생산성향상→유용성→지속적사용), b경로(가치사슬통합→생산성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), c경로(가치사슬통합→생산성향상→사용자만족→지속적사용), d경로(가치사슬통합→유연성향상→유용성→지속적사용), e경로(가치사슬통합→유연성향상→유용성→사용자만족→지속적사용), f경로(가치사슬통합→생산성향상→유용성→지속적사용) 총 6가지 경로가 존재하며 이들경로중 a경로 만이 통계적으로 유의미한 매개효과가 있다고 분석 되었다.

이러한 결과는 제품의 개발에서부터 원재료의 조달, 생산, 출하에 이르기까지 효율적인 공급사슬 구축으로 자원의 낭비를 줄이고, 효율적인 생산시스템을 구축(조용주, 2017; Park, 2016)이 진행 될 때 사용자들은 해당시스템에 유용성을 인식하게 되고 이는 곧 지속적 사용행동으로 이어질수 있다고 판단이 된다.

열일곱째, 정부지원 활용을 조절변수로 하여 전체적인 조절 효과를 검정한 결과 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자 만족, 지속적 사용 의도에 유의미한 통계적 조절효과가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 정부 지원 사업 수혜기업들은 자체적인 연구·개발 투자 감소 및 집약도와 매출액, 민간 연구개발 투자 증가등의 요인을 통해 기업에게 긍정적인 효과가 있다고 나타난다고 이전 선행연구들(김호와 김병근, 2012; 윤윤규와 고영우, 2011)의 맥락과 결과적으로 일치하지 않는다. 반면 정부지원 정책이 기업성과 측면에서 직접적인 효과가 나타나지 않는다는 다른 연구들(이의영 외, 2009; 노용환, 2015)도 있으며 양동우(2011)의 연구에서는 정부의 지원 비중이 높을 수록 기술적 성과가 오히려 부정적인 관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상을 감안하여 전반적인 조절효과는 없지만 잠재변수 경로별 부분 조절효과 확인을 하였다. 분석결과 제조데이터 활용과 생산성 향상 관계에서 부분 조절효과가 있는 것으로 파악되었으며 자체자본 활용 기업이 정부지원활용 기업보다 더강한 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이는 정부지원 기업의 경우 사업기간이 정해져있고 해당 기간내에 시스템 공급기업들이 설계부터 현장 설치, 구현, 사용자 교육을 실행하여야하는 시간적인 부담감이 있으며 정부가 제시한 사업과제 내에서 시스템을 구축해야하는 한계성이 있는 반면 자체적으로 스마트 공장을 추진한 기업들은 구축 목적이 명확하고 해당 기업에 맞는 시스템을 설계할 시간적 여유 및 조절이 가능하다는 차이가 원인일 것이라고 추측된다. 또한 가치사슬통합과 생산성 향상에서도 부분조절 효과가 나타났으며 정부지원 활용 기업이 자체 활용기업 보다 더강한 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 정부가 스마트 공장 보급확산 사업에 참여한 수혜기업들의 사업 점검 및 관리, 사업평가 및 관련자문 기술 역할을 하는 전문 코디네이터 활용에 차이가 있다고 추측 된다. 가치사슬의 통합이 기업 생산성에 효

과성을 나타내기 위해서는 제품개발 부터 자재의 조달 및 수급, 제조, 보관, 출하에 이르기까지 전반적인 가치사슬이 연결되어 구축되어야 한다. 산업통상자원부는 이러한 스마트 공장 기술을 구현하기 위한 로드맵을 제안하였으며 이로드맵은 전반적인 가치사슬의 연결내용을 포함하고 있다, 이로드맵을 기초로 전문코디네이터들은 수혜기업의 구축상태를 점검하고 자문 및 평가를 진행한다. 결과적으로 정부지원사업 수혜기업은 일반적이고 전체적인 범위에 가치사슬 연결구조를 일정수준 실현하고 있으나 자체 자본활용 기업의 경우 소규모 자동화 라인 또는 국소적인 가치사슬연결로 전체적인 제조생산 정보가 연결되지 못하였을 가능성이 있다고 추측된다. 또한 가치사슬통합과 유연성향상 관계에서도 부분적 조절 효과가 나타났으나 여섯번째 기본 가설이 기각된 상태로 더 이상의 해석이 무의미 하다 판단된다.

추가적으로 두집단간 경로분석 차이를 살펴보면 정부지원 활용 집단에서 정(+)영향을 받은 공장자동화와 생산성향상, 가치사슬통합과 생산성향상, 유연성향상과 유용성, 유연성향상과 사용자만족 경로에서 자체자본 활용 집단은 기각 되었다. 반면 정부지원 활용 집단에서 정(+)영향을 확인 할 수 없던 공장자동화와 유연성향상, 제조데이터활용과 생산성향상, 제조데이터활용과 유연성향상 경로에서 자체자본 활용 집단은 정(+)에 영향을 받는 것으로 나타났다. 전반적으로 생산성 향상과 관련된 효과는 정부지원활용 기업이 강한 효과를 나타내는 반면 유연성 향상과 관련된 효과는 자체 활용 집단이 강하게 영향을 받는 것으로 나타났다.

열여덟째, 스마트 공장 구축 활용 누적기간을 조절변수로 하여 전체적인 조절 효과를 검정한 결과 스마트 공장 구축내용과 기대충족, 유용성, 사용자만족, 지속적 사용 의도에 유의미한 통계적 조절효과가 나타나지 않았다. 그럼에도 불구하고 전반적인 조절효과는 없지만 잠재변수 경로별 부분 조절효과가 있는지 세부적으로 확인을 하였다. 분석결과, 생산성향상이 사용자만족에 미치는 영향에서 부분조절 효과가 있으며 1년 이상 활용 누적 집단(.458)이 1년 미만 활용 누적 집단(.125)에 비해 더 강한 조절 효과가 있는 것으로 나타났다. 한편 유용성과 사용자만족에서도 부분조절 효과가 나타났는데, 1년 이상 활용 누적 집단(.227)이 1년 미만 활용 누적 집단(.677)에 비해 더 강한

조절효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지속적 운영시 나오는 문제점에 대한 수정 및 보완을 통해 점진적으로 시스템 유용성 및 만족도가 높아지고 목적 했던 기대성과를 이룰 수 있었을 것이라 추측된다.

추가적으로 두집단간 경로분석 차이를 살펴보면 활용 누적 기간 1년 미만 집단에서 정(+)영향을 받은 제조데이터활용이 생산성향상에 미치는 영향과 제조데이터활용이 유연성향상에 미치는 영향, 유연성향상이 유용성에 미치는 영향이 활용 누적 기간 1년 이상 집단에서는 각각 되었다. 한편 활용 누적 기간 1년 미만 집단에서 정(+)영향을 확인 할 수 없던 유용성이 지속적사용에 미치는 영향과 생산성향상이 사용자만족에 미치는 영향에서 활용 누적 기간 1년 이상 집단은 정(+)에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시스템 도입초기 제조데이터 활용의 인지수준이 낮아 기대수준도 낮게 형성되었을 가능성이 있으며 지속적 사용후 해당 시스템의 유용성을 인지한 사용자들이 이전 기대수준이 높게 조정되어 기대충족 정도가 불만족 스럽게 나타났을 가능성이 있다. 또한 앞서 언급한 것과 같이 초기 수용후 시스템사용시 나타나는 문제점을 지속적으로 보완하면서 실질적으로 생산성 향상 및 기타 업무의 도움이 되어 지속적 사용 행동에 긍정적 영향을 미치고 있다고 판단된다.

위에 연구결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다. 스마트공장 운영의 지속적 사용의도에 직접적인 영향을 주는 요인은 유용성으로 파악되었다 즉 업무효율의 향상과 시스템의 편이성이 지속적 사용행동과 사용자 만족에 영향을 미치는 것으로 분석 되었다.

이러한 유용성은 생산성 향상과 유연성 향상 두요인이 영향을 미치고 있으나 생산성 향상이 더 강한 영향을 미치고 있다 분석 되었다. 생산성 향상의 외부 잠재 요인으로 공장자동화 및 제조데이터의 활용, 가치사슬 통합중 가치사슬 통합이 가장크게 작용하는 것으로 나타났다. 즉 생산 및 작업정보가 내/외부 공유되어 생산의 낭비를 줄이고 설비의 효율을 증가시키는 것은 향후 업무의 효율을 향상 시켜 사용자들에게 유용하다는 인식을 가져다 줄 것이라 분석 되었다.

그러나 가치사슬의 통합이 단일한 요인으로 해석되기보다는 정보의 취합

방법에 편의성 및 신뢰성을 가져다주는 공장 자동화와 취합된 자료를 활용 가능한 정보로 정밀하게 분석되어 최적화된 결과를 찾아내 주는 제조데이터 활용기술이 기반 되어야 효과를 나타낼 수 있다고 판단된다.

또한, 기각된 가설을 살펴보면 스마트 공장의 유연성 향상에 공정 자동화 및 제조데이터의 활용은 효과가 있으나 가치사슬의 통합은 효과가 없는 것으로 파악되었다. 환경적으로 열악한 중소기업의 경우 가치사슬의 통합이 외부와 연결되는 구조를 갖기 어려웠을 것으로 예측되고 이는 공유된 정보 활용에 제약을 주어 효율적인 라인변경 및 생산계획 수립에 영향을 주지 못했을 가능성이 있다.

정부 지원의 활용 정도와 스마트 공장의 활용 누적 기간에 대해 전체적인 조절 효과는 파악하지 못하였으나 부분적 조절 효과가 있는 것으로 파악되었다. 특히 제조데이터 활용이 생산성 향상에 미치는 경로에서 자체자 본 활용 집단이, 가치사슬 통합이 구축 목적에 미치는 경로에서는 정부 지원활용 집단이 강한 조절 효과가 있는 것으로 파악되었다. 또 한 생산성 향상과 유용성이 사용자 만족에 미치는 조절효과 검정결과 1년 이상 활용 누적 집단이 더 강한 효과가 있는 것으로 파악되었다. 즉 제조데이터 활용이 생산성 향상에 기여하기 위해서는 광범위한 영향을 파악하기 위한 충분한 사전 검토 기간이 필요하다 판단 되어지며 구축 후 일정기간 최적화 기간이 반드시 필요하며 이기간내 효과적인 스마트공장 구현을 위해 외부 전문가 활용 및 스마트 공장 교육을 통한 인프라 역량을 강화할 필요가 있다 판단된다.

5.1.2. 시사점.

본 연구를 시작하게 된 동기는 정부지원사업을 통해 스마트 공장을 도입한 기업들마다 시간이 지나면서 차이가 나타나고 있다는 점에서 출발했다. 스마트 공장 수용후 기업의 성과가 두드러지게 나타나고 있는 기업이 있는 반면 시스템의 일부 부분만 제한적으로 사용하거나 사용중지를 한 기업들도 다수 존재하고 있다. 분명한 것은 이론적으로 스마트 공장이 추구하는 방향은 제조패러다임 변화에 대한 대응, 노동 및 안전, 글로벌 기업의 경쟁력 강화등

현재 직면한 문제에 대하여 가까운 미래에 대안으로 제시되고 있다는 점이다. 따라서 스마트 공장의 구현은 제조기업에 있어서 중요한 문제임에 이견이 없을 것이다. 2015년부터 정부는 스마트 공장 보급확산 사업을 진행중이며 많은 중소제조기업들이 이사업을 통하여 스마트 공장 도입을 하였다. 본 연구는 후기수용모델(PAM)에 이론적 기반을 두고 지난 5년간 정부주도하에 급격하게 보급/확산되고 있는 스마트 공장의 구축 내용과 사후 기대 일치 정도가 유용성 및 사용자 만족도, 지속적 사용의도에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여 보고자 하였다.

본 연구가설의 다양한 실증분석을 통해 도출된 결론에 대한 시사점을 다음과 같이 살펴 보고자 한다.

첫째, 본 연구는 스마트 공장 구현 시스템의 수용과 지속적 행동 사이의 차이를 고려한 스마트 공장 시스템 연속성의 이론적 모델을 적용하여 실증연구를 수행했다는 점이다. 앞선 선행 연구를 살펴보면 정보시스템과 자동화기술에 융합이라고 볼 수 있는 스마트 공장 분야에서 기수용모델(TAM) 및 정보시스템(IS)성공모형 등의 도입성과에 대한 연구는 다수 진행되어 왔으나 사용자들의 기대 충족과 지속이용의도 간의 영향관계를 살펴본 연구는 거의 시도되지 않았다. 따라서 본 연구는 향후 스마트 공장의 지속사용 행동에 영향을 주는 변인에 대한 추가적인 연구의 필요성을 제시하였다는 점에서 이론적 시사점이 있다.

둘째 본 연구에서 사용된 후기수용모델(PAM)의 주요 매개변인들(기대 충족, 유용성, 사용자 만족)에 대해 다중 매개 분석을 활용하여 실증분석하였다는 점이다. 후기 수용모델을 이론적 배경으로한 연구 모형의 경우 대부분 매개 효과에 대한 분석이 시도되지 않았으며, 부분 적으로 매개 효과 검정을 실시하였다. 본 연구에서는 후기수용모델(PAM)의 기대충족(생산성 향상, 유연성 향상)과 유용성, 사용자 만족도가 스마트 공장의 구축내용(공장 자동화, 제조 데이터 활용, 가치사슬 통합)과 지속적 사용 의도 사이에 매개 영향 관계에 대한 모든 경로를 세부적으로 분석하여 어떤 잠재 변수가 실제로 어떤 경로를 통하여 지속적 사용에 영향을 미치는지 분석하였다. 이는 향후 후기 수용모델을 활용한 연구시 모델 분석의 확장성을 제공하였다는 점에서 이

론적 시사점이 있다고 판단된다.

셋째, 스마트 공장의 일반적인 구축 내용이 실제적으로 생산성 향상과 유연성 향상에 어떤 영향을 미치는지 실증분석을 통하여 규명하였다는 점이다. 이전 연구에서는 스마트 공장의 구축 내용의 부분적인 요인을 사용하여 생산성 향상 또는 유연성 향상을 단편적으로 분석하는 연구가 대부분이었으나 본 연구에서는 스마트 공장의 구축내용을 선행 연구고찰을 통해 공통적인 부분을 찾아 연구모형에 적용 시켰으며 종합적으로 생산성과 유연성 향상에 미치는 영향 관계를 파악하였다. 이는 향후 스마트 공장 구축내용과 구축 목적의 확장된 변인을 통한 추가적인 연구의 필요성을 제시하였다는 점에서 이론적 시사점이 있다고 생각된다.

넷째, 생산성 향상에 대한 스마트 공장 구축내용의 영향 관계를 살펴보면 가치사슬의 통합이 표준화 계수 .361로 가장 강한 영향 변수로 나타났다. 따라서 스마트 공장의 ICT기술 적용이 기업의 가치사슬 전반에 최적화 전환을 가능하게 하기 때문에 지속적인 스마트 공장 구현을 위해서는 기존 공장의 물리적인 생산시스템과 정보시스템을 자동화, 정보화, 디지털화하는 것이 필요하다는 실무적 시사점을 주고 있다.

다섯째, 유연성 향상에 대하여 공장 자동화 및 제조데이터 활용은 비슷한 영향정도를 보이고 있으나 가치사슬의 통합은 영향 정도를 파악할수 없었다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 중소 기업은 대기업에 비해 스마트 공장 구현에 여러 제약 사항 들로 인하여 시스템 공급 기업에 솔루션을 무조건적인 수용이 일어났을 가능성이 크고 이러한 현상은 수용기업의 고객 SCM 시스템과 호환이 되지 못하여 상호 정보 교환에 어려움이 발생하였을 가능성이 있다. 따라서 스마트 공장의 지속성을 위해 시스템을 보완을하거나 새롭게 도입하려는 기업들은 고객이 요구하는 사항들이 무엇인지 우리가 필요로하는 고객 정보가 실제적으로 어떤 것들이 있는지 충분한 사전 검토기간이 필요하며 이러한 요구사항이 실제로 구현가능한지 시스템 공급기업과 사전 협의하여 이루어야 할 것이다.

여섯째 생산성 향상과 유연성향상 모두 사용자 만족과 유용성에 영향을 미치고 있으나 생산성 향상이 유연성 향상보다 조금 더강한 영향을 미치고

있다. 물론 스마트 공장의 자동화 및 데이터 활용 기술을 통하여 공정의 낭비를 줄이고 생산을 최적화 시키는 것도 중요하다. 그러나 스마트 공장은 궁극적으로 1:1 고객 맞춤형 생산으로 보다 싸고, 빠르게 생산하는 유연한 공장을 목표로 하고 있다. 따라서 중소제조기업이 다품종 소량 생산에 적합한 유연생산체계를 구축하기 위하여 정부는 자재, 제품 또는 기계에 부착된 센서로부터 수집된 데이터를 활용한 빅데이터 분석기술 지원 과 외부 고객 시스템과 상호 연결이 되도록 하는 ICT 표준화 정책 강화 및 보완이 필요하다 판단된다.

일곱째 지속적 사용에 직접적으로 영향을 주는 요인중 유용성이 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 즉 개인 사용자의 만족보다는 현재 업무에 얼마만큼의 효율을 제공하는 지가 더 중요하다는 결론이 나타났다. 따라서 스마트 공장의 지속적인 사용을 위해서는 일부 공급기업에 통합패키지 솔루션 프로그램을 그대로 적용하기 보다는 규모나 범위가 다소 작다고 하더라도 현재 업무에 효율을 제공해 줄수 있도록 최적화 시켜 운영하는 것이 효과적일 것이라 예상된다.

여덟째, 전체적인 매개효과 검정결과를 살펴보면 대부분의 경로에서 생산성 향상과 유연성이 매개역할을 하는 것으로 확인 되었다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 단순한 자동화나, 데이터 수집, 또는 부분적인 가치사슬 통합이 지속적사용 행동에 영향을 주는 것이 아니라 공장 자동화 장비에 부착된 센서 또는 자재 및 제품에 부착되는 RFID 또는 바코드 정보를 통해 수집된 데이터가 분석되어 활용 가능한 정보로 변환되어야 하며 이정보들은 내/외부 네트워크망을 통하여 서로 공유된 정보가 상호 교환될 때 이러한 정보를 바탕으로 공정에 낭비를 줄이고 생산을 최적화 시킬수 있으며 사용자들은 시스템이 주는 이러한 업무효율을 인지하고 정서적으로 유용한 감정을 느끼게 되며 이는 지속적 사용 행동으로 나타날 수 있음을 시사 한다.

아홉째, 정부는 산업통상부가 독일의 RMAI 4.0을 참조하여 만든 스마트 공장 표준모델 아키텍처와 스마트 공장 참조 참조모델에 대하여 실무자 중심으로 교육을 강화할 필요성이 있으며 스마트 공장구축 진행중인 업체 대한 평가, 기술자문, 관리 등의 역할을 하는 코디네이터들을 보다 세분화 하고 전

문화 시켜 양성할 필요가 있다. 또한 스마트 공장 구축 사후관리 측면에서도 전문인력을 확대하여 지원하여야 할 필요성이 있다고 판단된다.

마지막으로 스마트 공장 시스템의 초기 수용후 문제점을 보완하여 지속적 사용을 하기 위해서는 시스템 사용자들의 지속적인 교육이 수반되어야 한다. 스마트 공장의 이해도를 높이고 활용영역을 구체화 할수 있는 역량이 강화된다면 현재보다 효율적이고 현업에 최적화된 스마트 공장으로 개선될 가능성이 커질수 있다고 판단된다.

5.2. 연구의 한계 및 향후 연구 방향

4차 산업혁명의 핵심 동력으로 주목을 받는 스마트 공장의 지속적 사용의도에 미치는 변인을 파악하려 했던 본 연구는 앞서 나타난 것과 같이 이론적, 실무적 시사점을 제공하고 있으나 해당 연구는 다음과 같은 몇가지 한계점이 있다.

첫째, 본 연구에 바탕이론이 되는 후기수용모델은(PAM)은 정보시스템(IS) 기술에 지속적 사용의도를 파악하기 위한 최적화된 모델이라 생각되나 스마트 공장은 정보시스템기술 이외에도 다양하고 광범위한 고도 기술이 적용되어 있기 때문에 해당 연구에서 사용된 후기수용모델 이론으로 전체를 설명하기에는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 후기수용모델의 확장된 모형이나 다른 기술이론 또는 행동이론의 통합을 통해 스마트 공장의 연속성에 대한 설명력을 향상시킬 필요성이 있다.

둘째, 본 연구에서는 스마트 공장 지속사용의도를 파악하기 위한 외부 요인 변수에 대하여 공정자동화 및 제조데이터의 활용, 가치사슬 통합 변인을 사용했다. 이는 기술적 측면에 치우친 연구로서 스마트 공장 운영을 위한 다양한 환경변수를 고려하지 못하였다. 향후 연구에서는 업종의 특성 또는 고객의 형태, 조직의 역량, 조직 내/외부 상황등 다양한 조직적 환경적 영향을 고려한 변수를 추가하여 보다 다양한 관점에서 연구가 진행되어야 필요가 있다 생각된다.

셋째, 본 연구는 지역적 특수성을 고려하지 못했다. 설문응답 대다수가 서

을 경기 등 수도권에 집중되어 있어. 국내 스마트 공장을 전제적으로 대표한다고 볼 수는 없다. 지역별 산업의 특성상 스마트 공장 지속사용을 위한 주요 변수들 영향력에 차이가 발생 할 수 있다 추측 된다. 향후에는 표본 모집을 지역별로 구분하여 조절 또는 원인 변인으로 추가하여 연구할 필요성이 있다고 판단된다.

넷째, 본 연구는 스마트 활용 누적기간에 따라 지속적 사용의도가 다를 것이라 예측하였으나 기각되었다. 이는 활용 누적기간을 1년 미만과 1년 이상의 그룹으로 제한적으로 축소하여 구분하였기 때문에 나타난 결과라 추측된다. 따라서 향후에는 시스템 초기 도입기간 이외, 초기 사용기간, 정착기간, 확장기간 등으로 세분화하여 단계별 분석이 진행된다면 정부 지원정책 방안 및 기업 스마트 공장 활성화 전략 수립에 기여할수 있으리라 예상된다.

다섯째, 후기수용모델(PAM)이론은 개인사용자 관점 측면에서 기초한 연구 이론으로 조직의 지속적 사용행동에 대한 영향관계를 설명하기에는 다소 부족한 점이 있으며 본 연구에서 조직관점에서 후기수용모델(PAM)을 사용한 직접적인 선행연구를 조사하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 후기수용모델(PAM)이론을 조직관점에서 활용한 연구를 조사하여 요인별 인과관계를 재정리할 필요가 있다.

여섯째, 선행 연구를 살펴 보면 기업규모에 따라 스마트 팩토리의 주요 기술인 제조 빅데이터의 기술적용 방식이 기업능력이 높은 대기업과 낮은 중소기업 간에 차이가 있다(김지대 외, 2018)는 연구 결과 및 선행연구를 대상으로 대기업과 중소기업의 스마트 팩토리의 구축사례를 비교한 결과 기업규모에 따라 스마트 팩토리의 도입목적과 성과에 차이가 있다(소병업, 신성식, 2017)는 결과가 나타났다. 즉 기업 규모에 따라 중소제조기업과 일반 기업에 차이가 있을 수 있다고 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서는 이러한 기업에 규모를 고려하지 못하였다. 따라서 향후에는 기업규모를 중소제조기업과 일반 기업으로 분리하여 지속사용 의도를 분석한다면 환경적으로 열악한 중소제조 기업 스마트공장 운영에 현실적 대안 제시에 도움이 될 것으로 예측 된다.

일곱째, 국내 스마트 공장 구축수준에 대하여 본연구는 기초1수준(정보수집 단계)이상의 기업을 대상으로 설문을 하여 표본을 모집하였다. 구축 수준

은 미적용 수준부터 정보의 디지털화 및 수집 단계, IoT를 통한 설비연동, 정보 분석 및 예측, 최적화, 자가 구성 수준으로 본연구에서 사용된 변수들과 밀접한 관계를 갖고 있다. 따라서 구축 수준에 따라 지속적 행동사이에 영향을 미치는 강도가 다를 것이라 예측은 되나 기초1 수준 부터 고도화 까지 표본수 비율에 편차가 높아 통계적으로 유의미한 결과를 파악할 수 없었다. 따라서 향후 모집단의 샘플 확보시 가장 많은 기초 1 과 중간 1수준 이외 중간 2와 고도화기업들을 비율에 맞춰 조사후 집단간 차이점 검증을 한다면 기업 수준 맞춤형 스마트 공장 보완이 용이 할 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 강성욱, 이재훈, 한경석. (2013). 이러닝 2.0 학습 환경에서 학습자의 학습 의도에 영향을 미치는 요인 분석. 『디지털저작권연구』, 4(1), 1-37.
- 강만모, 김상락, 박상무. (2012). 빅 데이터의 분석과 활용. 『정보과학회지』, 30(6), 25-32.
- 강성. (1997). 한국제조기업의 공장자동화 도입특징. 『한국생산관리학회지』, 8(2), 171-201.
- 강정석. (2019). “자동화 및 스마트 공장 구축에 대한 정부지원사업의 효과 분석”. 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 강주희, 문태수. (2017). SNS 이용동기와 만족이 지속사용의도에 미치는 영향과 습관의 매개효과. 『인터넷전자상거래연구』, 17(4), 19-34.
- 강지연. (2015). 중국제조 2025 전략: 2049년 제조업 세계 최강을 겨냥한 그랜드플랜. 『KIET 산업경제』, 63-72.
- 강현모, 최일영, 강소영, 박민우, 김재경. (2017). 기업의 사물인터넷 오피스 환경의 사용 및 확산에 관한 연구. 『한국경영정보학회 학술대회논문집』, 2017(6), 315-320.
- 고광환. (1992). 공장자동화 도입과 개선방안. 『대신대학논문집』, 사회과학편 (12), 191-124.
- 구본걸, 박지혜. (2016). 제품 경험에 대한 평가가 제품 속성 평가 가중치에 미치는 영향. 『글로벌경영연구』, 28, 67-90.
- 구본진, 이종선, 이미화, 손석호. (2018). 국내 스마트 제조 정책과 지원 현황 및 개선 방안. 『한국과학기술기획평가원 Issue Weekly』, 통권(219), 1-29.

- 권세인. (2019). “스마트 팩토리 도입의 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증연구”. 단국대학교 대학원 박사학위논문.
- 권준하, 이성봉. (2016). 독일 인더스트리 4.0의 중소기업에 대한 도입 사례 분석과 시사점. 『경상논총』, 34(3), 37-55.
- 길형철. (2019). “스마트 공장 수용 요인과 성과 분석을 위한 실증적 연구”. 한성대학교 대학원 박사학위논문.
- 김기병. (2019). “후기수용모델(PAM)의 확장모형을 통한 온라인 여행사(OTA)의 지속이용의도에 관한 연구”. 경희대학교 대학원 박사학위논문.
- 김기웅. (2017). “중소기업의 사물인터넷 수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 통합기술수용이론(UTAUT)을 적용하여”. 한세대학교 대학원 박사학위논문.
- 김경래. (2018). 독일의 인더스트리 4.0 추진체계에 관한 연구: 연방정부의 역할을 중심으로. 『유럽연구』, 36(2), 129-153.
- 김나은, 김민화. (2010). 온라인 관광 구전정보 품질과 신뢰성, 커뮤니티 상호작용성이 구전정보의 유용성과 구전효과에 미치는 영향. 『서비스경영학회지』, 11(3), 17-44.
- 김민식. (2020). “스마트 팩토리의 경쟁우위 창출 메커니즘”. 고려대학교 대학원 박사학위논문.
- 김상문. (2020). “빅 데이터기반 중소제조기업의 스마트 팩토리 수용의도와 경영성과에 관한 실증연구”. 한성대학교 대학원 박사학위논문.
- 김선임. “스마트 팩토리 추진 전략과 경제적 기대효과에 관한 연구,” 전북대학교 석사학위논문, 2018.
- 김성일. (2017). “스마트 팩토리 기반의 동적 공급사슬 설계와 운영에 대한 연구”. 성균관대학교 일반대학원 석사학위논문.
- 김수지. (2019). “모바일 간편결제 서비스의 지속적 이용의도에 영향을 미치

- 는 요인에 관한 연구”. 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 김억, 김승택. (2015). 유연 생산 체계를 구현하는 Smart Factory: 생산 전략의 효과적 운용 방안. 『Deloitte Anjin Review』, 4, 62-68.
- 김영택, 오종철, 홍상진. (2006). 개인형 커뮤니티 사이트 사용자의 후기수용 모형에 관한 연구. 『대한경영학회지』, 19(6), 2215-2235.
- 김운상. (1992). 『생산운영관리』. 서울: 박영사.
- 김은경, 문영민. (2016). 제 4차 산업혁명에 대한 경기도의 대응방향. 『정책연구』, pp1-88.
- 김은. (2017). 『4차 산업혁명과 제조업의 귀환』. 서울: 클라우드나인.
- 김은영, 박문수. (2018). 『4차 산업혁명시대 지역 중소기업의 제조혁신 한계와 스마트 공장 정책방향성 연구-포항지역 중소기업의 스마트 공장 조사를 중심으로. 과학기술연구』, 18(2), 269-306.
- 김인숙, 남유선. (2016). 『4차 산업혁명, 새로운 미래의 물결』. 수원: 호이테북스.
- 김재성. (2017). “스마트 팩토리 구축을 위한 중소제조공정 빅 데이터 분석 적용방안”. 충북대학교 대학원 박사학위논문.
- 김정숙. (2012). 빅 데이터 활용과 관련 기술 고찰. 『한국콘텐츠학회지』, 10(1), 34-40.
- 김종욱, 신승균, 김병곤. (2004). 정보시스템 사용자의 기대, 시스템의 지각된 성능, 기대불일치가 사용자 만족에 미치는 영향에 관한 실증적 연구. 『Asia Pacific Journal of Information Systems』, 14(1), 01-123.
- 김종현. (2006). 『영국 산업혁명의 재조명』. 서울: 서울대학교출판부.
- 김주희. (2018). 4차 산업혁명과 독일의 담론, 전략 그리고 제도. 『세계정치』, 28, 53-89.
- 김지대, 송영욱, 조완섭. (2016). 중소 제조기업들의 제조 빅 데이터 기술 활용 욕구와 도입 의도. 『기업경영연구』, 23(5), 47-68.

- 김지대, 지수영, 유관희. (2018). 중소기업에서 외부 제조 빅 데이터 기술 이전 성과에 영향을 끼치는 요인에 관한 연구: 한국전자통신연구원의 기술 이전 사례. 『정보기술아키텍처연구』, 15(3), 307-327.
- 김창봉. (2013). SCM의 프로세스 혁신과 공급체인 통합이 수출입 기업의 사업성과에 미치는 영향. 『무역학회지』, 38(4), 255-275.
- 김해연, 성동규. (2018). 자율주행자동차 구매의도에 미치는 영향요인 연구 - 확장된 기술수용모델을 중심으로. 『한국콘텐츠학회논문지』, 18(3), 81-100.
- 김현규. (2019). “스마트 팩토리의 지속사용의도와 전환의도에 관한 실증연구”. 부산대학교 대학원 박사학위논문.
- 김현득. (2020). "중소 제조기업 대상 스마트 공장 평가모형 개발 및 수준평가." 동국대학교 대학원 박사학위논문.
- 김형기, 문종범, 최창열. (2008). 공급사슬 통합요인이 기업성과에 미치는 영향에 대한 실증분석. 『e-비즈니스연구』, 9(1), 3-25.
- 김호, 김병근. (2012). 정부보조금의 민간연구개발투자에 대한 효과분석. 『기술혁신 학회지』, 15(3), 649-647.
- 김효석. (2018). “모바일 IPTV 서비스의 지속적인 이용의도에 대한 실증적 연구”. 광운대학교 대학원 박사학위논문.
- 김훈. (2013). 혁신역량과 공급사슬 외부통합이 기업성과에 미치는 영향. 『디지털융복합연구』, 11(8), 175-182.
- 나은빈. (2016). "정보기술수용요인과 외향성이 스마트폰 게임 지속사용의도에 미치는 영향". 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
- 남길우. (2009). "정보시스템 사용자 성격유형이 지속사용의도에 미치는 영향요인에 관한 실증적 연구". 광운대학교 대학원 박사학위논문.
- 노경섭. (2019). 『제대로 알고 쓰는 논문 통계분석』. 서울: 한빛아카데미.
- 노용환. (2015). 중소기업 R&D 지원의 성장효과 분석. 『산업혁신연구』,

31(2), 103-132.

명상일. (2018). “IoT 기반의 스마트 공장 자동화 관리 시스템 구축에 관한 연구”. 동명대학교 대학원 박사학위논문.

문용주, 이해영. (2017). 외국적 항공사의 웹 서비스와 모바일 서비스 비교를 통한 e-서비스 이용의도에 관한 연구. 『호텔경영학연구』, 26(4), 10-125.

민성희. (2018). 스마트 공장 구축 사례 및 시사점. 『산업은행경제연구소』, (747), 41-64.

박광순, 주현. (1989). 공장자동화의 진전과 합리적 발전방향, 『산업연구원』, pp23-200.

박귀희. (2017). “행정서비스에서 빅 데이터활용의결정요인에관한연구: 데이터 품질관리 를 중심으로”. 계명대학교 대학원 박사학위논문.

박상철, 채성욱. (2014). 스마트워크 환경에서 스마트기기 활용에 따른 사용자 저항과 개인 생산성에 관한 연구. 『정보시스템연구』, 23(3), 143-164.

박상휘, 노규성. (2014). 제조실행시스템에의 빅 데이터 적용방안에 대한 탐색적 연구. 『디지털융복합연구』, 12(1), 305-311.

박성제, 고경훈, 김완주, 최지훈, 박찬, 윤다연, 양준석. (2019). 확장된 기술수용모델(ETAM)을 활용한 이용자 혁신성이 스마트머신 수용의도에 미치는 영향. 『한국사회체육학회지』, 0(75), 267-278.

박재성, 강재원. (2020). 제조혁신 촉진을 위한 스마트 공장 정책방안. 『中小企業研究』, 42(2), 117-137.

박종만. (2015). 중소제조업 스마트 공장 기술 동향과 이슈. 『한국통신학회논문지』, 40(12), 2491-2502.

박종식, 강경식. (2017). 스마트 팩토리 구축전략과 중소·중견 제조기업의 적용방안. 『대한안전경영과학회지』, 19(1), 227-236.

- 배경한. (2019.). 『스마트 공장 경영과 기술』. 서울: Dreamdesign(드림디자인).
- 배병렬. (2014). 『Amos 21 구조방정식모델링: 원리와 실제』. 서울: 청람.
- 배재권. (2106). 소셜커머스 소비자의 후기 수용 신념이 이용 후 만족과 지속 이용 의도에 미치는 영향에 관한 연구. 『로고스경영연구』, 14(2), 115-134.
- 범진환. (2009). 자동차 제조 산업에서의 효율적 Digital Manufacturing/로봇 OLP 시스템 적용사례, 『정보과학회지』, 27(6), 67~74.
- 변대호. (2016). 스마트 공장 동향과 모델공장 사례. 『e-비즈니스연구』, 17(4), 211-228.
- 봉강호, 지예은, 박재민. (2019). 숨페터 가설 관점에서 중소기업 생산성 혁신을 위한 지식재산정책 실효성에 관한 소고. 『生産性論集』 33(4), 59-81.
- 산업통상자원부. (2015). “제조업 혁신 3.0 전략 실행대책 - 창조경제 구현을 위한 제조업의 스마트 혁신 추진방안”. 「제7차 무역투자진흥회의」, 관계부처 합동 보고자료. pp1-42.
- 산업통상자원부. (2017). “4차 산업 혁명시대 스마트 공장 확산을 위한 핵심 분야별 정책방안 연구”. pp1-88.
- 서영복, 박찬권. (2013). 완성품 제조업체의 발주 리드타임의 단축이 부품 공급업체의 기업성과에 미치는 영향. 『로지스틱스연구』, 21(3), 15-36.
- 서창성, 정신진, 김석찬. (2018). 기업의 생산성 향상을 위한 스마트 팩토리 구축, 『한국통신학회지』, 35(6), 43-49.
- 소병업, 신성식. (2017). 센서와 가상 공정설계를 활용한 스마트 팩토리 구축. 『한국전자통신학회』, 12(6), 1071-1080.
- 송민정. (2013). 빅 데이터를 활용한 비즈니스 모델 혁신. 『과학기술정책』, 192, 86-97.

- 송성수. (2017). 산업혁명의 역사적 전개와 4차 산업혁명론의 위상. 『과학기술학연구』, 17(2), 6-40.
- 송지준. (2016). 『논문작성에필요한SPSS/AMOS 통계분석방법』. 경기도: 21세기
기사.
- 송은주, 송교진, 고동범, 박정민. (2020). 제조설비상태진단알고리즘기반의공장
모니 터링 시스템에 대한 연구. 『한국인터넷방송통신학회』 20(2),
261-269.
- 신동희, 장우성. (2013). 인터랙티브 마케팅커뮤니케이션 매체로써 QR코드
이용에 관한 연구. 『한국콘텐츠학회논문지』, 13(3), 76-86.
- 신동희, 김성중. (2012). 기대충족모델을 이용한 스마트폰의 지속사용에 대한
연구. 『한국언론학보』, 56(2), 331-356.
- 신건권. (2013). 『Amos 20 통계분석따라하기』. 서울: 도서출판청람.
- 신장철, 임옥경, 박영환, 송상화. (2017). 스마트 공급망 구현에 필요한 기본
요소들의 우선순위 결정에 관한 연구. 『한국SCM학회지』, 17(1),
1-12.
- 신준철. (2012). “전자부품 산업 신규설비 개발을 위한 설비투자 및 운영 프
로세스 재구성: A 기업 적용 사례연구”. 성균관대학교 대학원 석사
학위논문.
- 안창현, 하윤금. (2018). 일본의 제4차 산업혁명 정책과 콘텐츠산업 전략.
KOCCA FOCUS. 『한국콘텐츠진흥원』, 17(8), 5-38.
- 안상호. (2020). “인터넷 전문은행 이용자의 지속이용의도에 관한 연구”. 경성
대학교 대학원 박사학위논문.
- 오상현, 김상현. (2006). 인터넷뱅킹 이용요인간 구조적 관계. 『마케팅연구』,
21(1), 1-27.
- 오종철, 윤성준, 우원. (2010). 모바일 인터넷 서비스 이용의도에 관한 연구.
『서비 스경영학회지』, 11(5), 127-148.

- 오중근. (2014). “병원정보시스템의 편리성, 유용성, 만족도 간의 관계에 있어 업무 복잡성의 조절 효과 분석”. 순천향대학교 대학원 박사학위논문.
- 오중산. (2010). 제조유연성과 성과 간의 인과관계: 자동차 부품산업과 전자 부품산업을 대상으로 한 실증연구. 『경영학연구』, 39(2), 309-340.
- 오주환. (2019). “스마트 팩토리의 전략적 활용 연구”. 충북대학교 대학원, 박사학위논문.
- 우도성. (2014). “스마트폰의 사용자 편익이 만족도에 미치는 영향과 브랜드 결합의 변화에 따른 재구매 의도 차이에 관한 연구”. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
- 우종필. (2015). 『구조방정식모델 개념과 이해』. 서울: 한나래출판사.
- 우종필. (2015a). 구조방정식모델에서 통제변수를 사용한 연구모델의 분석. 『유통연구』, 20(3), 43-62.
- 유재현, 박철. (2010). 기술수용모델(Technology Acceptance Model) 연구에 대한 종합적 고찰. 『Entrue Journal of Information Technology』, 9(2), 31-50.
- 유지혜, 정의준. (2015). SNS를 활용한 사회공헌 콘텐츠의 지속적 이용의도와 참여에 미치는 영향요인 연구: 수정된 계획행동이론과 콘텐츠 만족도를 중심으로. 『사이버커뮤니케이션학보』, 32(2), 51-92.
- 유원범, 최덕규, 현섭. (2006). 공장 자동화수준과 관리회계시스템의 적합성이 기업 과에 미치는 영향. 『회계연구논문』, 11(3), 277-302.
- 윤윤규, 고영우. (2011). 정부 R&D 지원이 기업의 성과에 미치는 효과 분석: 동남권 지역산업진흥사업을 중심으로. 『기술혁신연구』, 19(1), 30-53.
- 윤준서, 안현태, 최예림. (2018). 스마트제조를 위한 머신러닝 기반의 설비 오류 발생 패턴 도출 프레임워크. 『한국전자거래학회지』, 23(2), 97-110.

- 은지훈, 김상현. (2018). 모바일 간편결제 서비스 특성이 지속적 사용의도에 미치는 영향: 현상유지 편향 (관성) 의 조절효과. 『인터넷전자상거래 연구』, 18(3), 19-39.
- 이군희. (2014). 『연구방법론의 이해』. 서울: 북넷.
- 이광원, 배정섭, 남상백, 권재윤. (2017). 기대일치모형을 적용한 프로야구 모바일 어플리케이션의 서비스품질과 행동지속성 분석. 『한국사회체육학회지』, 0(69), 63-80.
- 이대형, 조승연, 김희웅. (2014). 스마트워크를 통한 직원 만족도와 업무 생산성 증대에 관한연구: 홈오피스 환경에서. 『정보화정책』, 21(2), 24-48.
- 이민혜, 이준기. (2011). 스마트워크 연구에 대한 고찰과 향후 연구주제. 『정보화정책』, 18(2), 72-84.
- 이방실. (2017). 스마트 공장 전략: 스마트 공장은 자동화 공장이 아니다 연결-통찰-최적화와 결합된 ‘지능화 공장’. 『Donga Business Review』, 227(2), 58-72.
- 이상근. (2019). 독일 제조업의 디지털 전환과 인더스트리 4.0(Industrie 4.0) 전략. 『경상논총』, 37(4), 21-40.
- 이상동. (2015). “스마트 공장의 글로벌 추진동향과 한국의 표준화 대응전략”. 「한국표준협회」 2015-3호. KSA Policy Study 012. pp3-24.
- 이상진, 임복규, 박경록, 박종찬. (2018). 『스마트 팩토리 운영과 전략』. 서울: 한울출판사.
- 이선로, 정연오. (2008). 가중화된 기대충족모형을 이용한 인터넷 쇼핑 사이트의 지속적 사용에 관한 연구. 『경영과학』, 25(3), 135-156.
- 이선우. (2016). “조직에서의 빅 데이터 시스템 도입을 위한 결정요인에 대한 연구”. 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 이장균. (2012). 미국 제조업의 부활: On-Shoring 추진현황. 『현대경제연구

- 원』, 121(2012), 1-12.
- 이주석, 김승연. (2018). “독일의 연구개발 동향”. 「KISTEP」 2018-02호. 기술동향브리프. pp1-18.
- 이재준. (2018). “중소 건설장비 부품기업의 스마트 팩토리 구축에 관한 연구,” 울산대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 이정아, 김영훈. (2014). “인더스트리4.0과 제조업 창조 경제전략”. 「한국정보화진흥원」2호. IT& Future Strategy. pp1-30.
- 이종만. (2012). 이러닝에서 사회성, 사용용이성, 유용성, 즐거움이 수용의향에 미치는 영향 연구. 『한국콘텐츠학회』, 12(4), 417-425.
- 이주희, 고경아, 하대권. (2018). 1인 미디어 이용자들의 라이브 스트리밍 방송 시청 동기 및 사용자 반응에 관한 연구 : 후기 수용 모델(PAM)을 중심으로. 『한국광고홍보학보』, 20(2), 178-215.
- 이정철. (2015). “스마트 공장 진단, 인증 모델개요 및 항목평가”. 「한국생산성본부」. 스마트 공장팀. pp3-24.
- 이유재. (1997). 고객만족형성과정의 제품과 서비스간 차이에 대한 연구. 『소비자학연구』, 8(1), 101-118.
- 이윤하. (2020). “중소제조기업의 생산성에 미치는 기술혁신, 연구개발, 정부지원제도의 영향에 관한 연구”. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
- 이의영, 김경환, 신범철. (2009). 기술개발 지원정책이 기업성과에 미치는 효과. 『e-비즈니스연구』, 10(4), 367-389.
- 이정원. (1996). 중소기업 생산자동화의 성공요인 및 정책적 지원 방안. 『과학기술정책』, -(91), 78-88.
- 이현호, 임춘성. (2018). 중소기업의 스마트 공장 수용을 위한 SWOT 분석. 『한국융합학회논문지』, 9(3), 1-14.
- 이한나. (2019). “면세점 어플리케이션 서비스의 지속사용의도에 영향을 미치는 요인에 관한연구”. 숭실대학교 대학원 박사학위논문.

- 인더스트리뉴스. (2018). 『스마트팩토리, 장기적 관점에서 비전 제시해야』.
<http://www.fajournal.com/news/articleView.html?idxno=6863>
- 임명성. (2016). 제조업과 정보통신기술의 융합: 스마트 팩토리 4.0 에 기반
한 한국 제조업 3.0 성공 전략. 『디지털융복합연구』, 14(3),
219-226.
- 임재현. (2015). “다시 시작하는 인더스트리 4.0”. 「포스코경영연구원」.
POSRI 보고서. pp4-6.
- 임정우, 조동혁, 이승엽, 박희준, 박종우. (2017). 스마트 팩토리 기반 제조공
정 혁신에 관한 연구. 『대한경영학회지』, 30(9), 1609-1630.
- 전은경. (2017). “스마트 공장 관련 정책의 현황 및 개선과제”. 「국회입법조
사처 NARS」 통권 제8호. 입법 및 정책 과제. pp1-12.
- 조대우, 황경연. (2001). 인터넷 बैं킹 이용에 영향을 미치는 요인: 계획된 행
동이론 을 중심으로. 『경영학연구』, 30(4), 1225-1249.
- 조용원. (2019). “제품 설계 시 디지털 트윈 기술 사용의도에 영향을 미치는
요인에 대한 연구”. 숭실대학교 대학원 박사학위논문.
- 조용주. (2017). 4차 산업혁명 시대에 국내 스마트 팩토리 추진전략. 『정보과
학회지』, 35(6), 40-48.
- 중소기업중앙회. (2018). “정부지원 스마트 공장 구축 실태조사”. 「중소기업
중앙회」 보도315. 보고서. pp1-3.
- 중소벤처기업부. (2017). 『중소 · 중견기업 기술로드맵 2017-2019: 스마트
팩토리』. 대전: 중소기업부.
- 중소벤처기업부 (2018) 『중소기업 기술로드맵 2018-2020: 스마트 공장』.
대전: 중소기업부.
- 정경수, 노미진, 니에루이. (2015). 모바일 커뮤니케이션 서비스 이용자의 지
속적 사용의도에 관한 한 · 중 비교연구. 『경영학연구』, 44(1), 215 -
246.

- 장원중, 조성인, 김수상, 김광용. (2018), 스마트 팩토리에서 빅 데이터 인프라 구축 방안에 관한 연구. 『예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지』, 8(10), 11-23.
- 장형유, 노미진. (2010). IS모형, TAM모형, 관계품질 및 관계성과의 구조적 관련성 에 관한 통합연구 : IPTV 서비스를 중심으로. 『산업경제연구』, 23(4), 1933-1957.
- 정의성. (2019). "중소기업의 기술혁신이 경영성과에 미치는 영향". 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 정선양, 전중양, 황정재. (2016). 중소기업의 글로벌 경쟁력 제고를 위한 스마트 공장 표준화 전략. 『기술혁신학회지』, 19(3), 545-571.
- 정윤수. (2018). 중소기업의 스마트 팩토리 환경을 위한 IoT장치간 연계 알고리즘. 『융합정보논문지』, 8(2), 233-238.
- 정영훈, 김건, 이중정. (2015). 모바일 신용카드 사용자 만족 및 지속사용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 : 혁신확산이론 및 후기수용모형을 중심으로. 『한국전자거래학회지』, 20(3), 11-28.
- 정은유. (2019). 항공사 애플리케이션 재사용의도에 대한 연구: 확장된 통합기술수용모델 2(UTAUT 2)을 적용하여. 『관광경영연구』, 88, 719-735.
- 정재은. (2019). “한국 중소기업의 스마트기술 수용과 글로벌 공급사슬혁신 및 성과에 관한 연구”. 충남대학교 대학원, 박사학위논문.
- 정철호, 정영수. (2010). 사용자제작콘텐츠 (UCC) 이용자의 수용 후 행동 모델 분석. 『한국 데이터베이스 학회지』, 17(2), 175-185.
- 지경철. (2020). 『품질의 맥』. 서울: 북랩,
- 진희승. (2018). “스마트 공장 성공을 위한 소프트웨어의 역할과 과제”. 「소프트웨어정책연구소」 2017-007호. 이슈리포트. pp1-30.
- 천종성. (2020). “인지된 네트워크 외부성이 유튜브 채널 구독의도에 미치는

- 구조적 영향에 관한 연구”. 한양대학교 대학원 박사학위논문.
- 천연옥. (2000). “공장자동화가 제조원가에 미치는 영향에 관한 연구”. 연세대학교 대학원 석사학위논문.
- 최계봉. (2012). 모바일 뱅킹서비스의 후기 수용의도에 관한 실증연구. 『인터넷전자상거래연구』, 12(3), 1-27.
- 최동학. (2018). 스마트 공장 표준화 필요성 및 국내 외 표준화 동향. 『전자공학회지』, 45(6), 18-23.
- 최민수. (2011). 스마트폰 수용요인에 관한 경험적 연구: 개인의 혁신성, 사회적 영향력, 사용자 인터페이스를 중심으로. 『한국디자인포럼』, 33, 189-200.
- 최영환, 최상현. (2017). 스마트 공장 시스템 구축이 중소기업 경쟁력에 미치는 요인에 관한연구. 『한국경영정보학회』, 19(2), 95-113.
- 최창호. (2018). 『논문 작성을 위한 SPSS·AMOS 한번에 끝내기』. 서울: (주) 피오디컴퍼니.
- 최창혁. (2018). “중소기업의 MES(생산관리시스템)도입요인이 경영성과에 미치는 영향”. 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 최해옥, 최병삼, 김석관. (2017). 일본의 제4차 산업혁명 대응 정책과 시사점. 『동향과 이슈』, 30, 1-25.
- 한국산업기술진흥원. (2016a). “미국 제조업 재활성화 전략: 오바마 행정부의 성과를 중심으로”. 「KIAT」 2016-13호. 산업기술정책 브리프. pp1-26.
- 한국산업기진흥원. (2016b). “미국 제조혁신네트워크(NNMI)의 전략계획과 성과분석”. 「KIAT」 2016-05호. 산업기술정책 브리프. pp1-29.
- 한국표준협회. (2016a). “스마트 공장-제1부: 기본 개념과 구조”. 「국가기술 표준원」 KS X 9001-1. 산업표준심의회. pp1-24.
- 한국표준협회. (2016b). “스마트 공장-제3부: 운영관리시스템(진단 평가 모

- 텔)”. 「국가기술표준원」 KS X 9001-3. 산업표준심의회. pp1-13.
- 한국표준협회. (2016c). “스마트 공장-제2부: 용어”. 국가기술표준원」 KS X 9001-2. 산업표준심의회. pp1-8.
- 한상연, 최세경, 곽규태. (2017). 다중채널네트워크 개인방송 서비스의 이용 만족과 지속이용의도에 미치는 영향: 서비스 특성과 SNS 이용 중심으로. 『사이버커뮤니케이션학보』, 34(4), 243-290.
- 한충근. (2018). “지각된 위험특성과 사용자 특성이 비대면 금융거래시스템 사용의도에 미치는 영향”. 한성대학교 대학원 박사학위논문.
- 현대경제연구원. (2017). 주요국 정책으로 살펴본 우리나라 제4차산업혁명 정책 수립 방향: 차세대 산업·사회구조 구축의 체인저(Changer)로 활용. 『VIP리포트』, 17(26), 1-13.
- 홍세희. (2000). 구조 방정식 모형의 적합도 지수 선정기준과 그 근거. 『한국심리학회』, 19(1), 161-177.
- 홍영구. (2020). “VR테마파크 재방문 향상을 위한 주요 영향 변수 연구”. 한성대학교 대학원 박사학위논문.
- 황지영. (2001). “공급사슬 경쟁성과와 제조유연성에 관한 연구”. 한국과학기술원 석사학위논문.

2. 국외문헌

- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., ... & Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP annals*, 66(2), 803–826.
- Adler, P. S. (1988). Managing Flexible Automation. *California Management Review*, 30(3), 34–56.
- Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., & Koziolk, H. (2015). *Reference architecture model industrie 4.0 (rami4. 0)*. ZVEI and VDI, Status report.
- Aggarwal, S. (1997). Flexibility management : The ultimate strategy. *Industrial Management*, 39(1), 26–30.
- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.
- Anderson, E. W., Fornell, C., & Lehmann, D. R. (1994). Customer satisfaction, market share, and profitability: Findings from Sweden. *The Journal of Marketing*, 58(3), 53–66.
- Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two step approach. *Psychological Bulletin*, 103(1), 411–423.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing

- solutions. *Procedia engineering*, 69, 1184–1190.
- Audrain–Pontevia, A. F., & Balague, C. (2008). *The relationships between dissatisfaction, complaints and subsequent behavior in electronic marketplace*. ACR North American Advances.
- Ashby, A. (2016). From Global to Local: Reshoring for Sustainability. *Operations Management Research*, 9(3–4), 75–88.
- Badr, E. (2011). *Reliability solutions for a smart digital factory using:(1) RFID based CEP;(2) Image processing based error detection;(3) RFID based HCI*. Master's thesis, University of Stuttgart, Germany.
- Bagozzi, R. P., Yi, Y., & Phillips, L. W. (1991). Assessing construct validity in organizational research. *Administrative science quarterly*, 36(3), 421–458.
- Balasingham, K. (2016). *Industry 4.0: Securing the Future for German Manufacturing Companies*. Master's thesis, University of Twente.
- Batista, N. C., Melicio, R., & Mendes, V. M. F. (2017). Services Enabler Architecture for Smart Grid and Smart Living Services Providers under Industry 4.0. *Energy & Buildings*, 141, 16–27.
- Baur, C., & Wee, D. (2015). *Manufacturing's next act*. McKinsey & Company, 6.
- Bell, D. (1976). *The Coming of Post Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. New York: Basic Books.
- Bell, D. (1989). The Third Technological Revolution and Its Possible Socio–Economic Consequences. *Dissent*, 36(2), 163–176.
- Berman, B. (2012). 3–D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55(2), 155–162.
- Bessant, J. (1991). *Managing Advanced Manufacturing Technology: The*

- Challenge of the Fifth Wave*. Manchester: NCC Blackwell.
- Bhattacharjee, A. (2001). Understanding Information Systems Continuance: An Expectation–Confirmation Model. *MIS Quarterly*, 25(3), 351–370.
- Bitner, M. J. (1990). Evaluating Service Encounters; The Effects of Physical Surroundings and Employee Responses. *Journal of Marketing*, 54(1), 69–82.
- BMBF. (2014). *The New High-Tech Strategy Innovations for Germany*. Federal Ministry of Education and Research, Berlin: Germany.
- Bowersox, D. j., & Closs, D. J. (1996). *Logistics Management : The Integrated Supply Chain Process*. McGraw–Hill Companies.
- Brennan, L., Ferdows, K., Godsell, J., Golini, R., Keegan, R., Kinkel, S., & Taylor, M. (2015). Manufacturing in the World: Where Next?. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(9), 1253–1274.
- Butner, K. (2010). The smarter supply chain of the future. *Strategy & Leadership*, 38(1), 22–31.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). *Could 3D printing change the world*. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC, 3.
- Cardozo, R. N. (1965). An Experimental Study of Consumer Effort, Expectation and Satisfaction. *Journal of Marketing Research*, 2(3), 244–249.
- Carrincazeaux, C., & Coris, M. (2015). Why Do Firms Relocate? Lessons from a Regional Analysis. *European Planning Studies*, 23(9),

1695–1721.

- Chandler, A. D. (1990). *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chen, S. C., Liu, M. L., & Lin, C. P. (2013). Integrating technology readiness into the expectation–confirmation model: An empirical study of mobile services. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 16(8), 604–612.
- Chui, M., Loffler, M., & Roberts, R. (2010). The internet of things. *McKinsey Quarterly*, 2, 1~9.
- Chiu, C. M., Hsu, M. H., Sun, S. Y., Lin, T. C., & Sun, P. C. (2005). Usability, quality, value and e-learning continuance decisions. *Computers & Education*, 45(4), 399–416.
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing Risk to Avoid Supply-Chain Breakdown. *MIT Sloan Management Review*, 46(1), 53–61.
- Cimini, C., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2017). The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda. *IFAC– Papers On Line*, 50(1), 14952–14957.
- Crosby, L. A., Evans, K. R., & Cowles, D. (1990). Relationship quality in services selling: An interpersonal influence perspective. *The Journal of Marketing*, 54(3), 68–81.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance

- of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982–1003.
- Davis, J., & Edgar, T. (2011). *Smart manufacturing as a real-time networked information enterprise*. Austin Texas in US: SMLC, Smart Manufacturing Leadership Coalition.
- Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J., & Sarli, M. (2012). Smart Manufacturing, Intelligence and Demand-dynamic Performance. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 145–156.
- Davis, J., Edgar, T., Dimitratos, Y., Gipson, J., Grossmann, I., Hewitt, P., & Strupp, B. (2009). *Smart Process Manufacturing: An Operations and Technology Roadmap*. Smart Process Manufacturing Engineering Virtual Organization Steering Committee, Los Angeles, CA, Tech. Rep.
- De Felice, F., Petrillo, A., & Zomparelli, F. (2018). A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1643–1648.
- Deloitte. (2010). *The Smart Factory: Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing*. Deloitte University Press.
- Deloitte. (2016). *Global Manufacturing Competitiveness Index*. US.
- Deloitte. (2017). *The Smart Factory: Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing*. Deloitte University Press.
- Delone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. *Journal of management information systems*, 19(4), 9–30.
- der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, P. K. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*.

Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie, 4.

- Dorsch, M. J., Grove, S. J., & Darden, W. R. (2000). Consumer Intentions to Use a Service Category. *Journal of Services Marketing*, 14(2), 92 –117.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype?. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university – industry – government relations. *Research policy*, 29(2), 109–123.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison–Wesley.
- Fogliatto, F. S., Da Silveira, G. J., & Borenstein, D. (2012). The mass customization decade: An updated review of the literature. *International Journal of production economics*, 138(1), 14–25.
- Fornell, C., Johnson, M. D., Anderson, E. W. Cha, J., & Bryant, B. E. (1996). The american customer satisfaction index: Nature, purpose, and findings. *The Journal of marketing*, 60(4), 7–18.
- Foster, L., Haltiwanger, J. C., & Krizan, C. J. (2001). *Aggregate productivity growth: lessons from microeconomic evidence*. In New developments in productivity analysis (pp. 303–372). University of Chicago Press.
- Gabriel, M., & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *Annals of the Faculty*

- of Engineering Hunedoara*, 14(2), 131–136.
- Gartner. (2012). *Gantners 2012 hype cycle special report evaluates maturity of 1,900 technologies*. Gartner Company Report.
- Geddes, P. (1910). *Cities in Evolution*, London: Williams & Norgate.
- Gefen, D., Karahanna, E. & Straub, D. W. (2003). Trust and TAM in online shopping: An Integrated model. *MIS Quarterly*, 27(1), 51–90.
- Gefen, D., Straub, D., & Boudreau, M. C. (2000). Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. *Communications of the association for information systems*, 4(1), 7.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer.
- Groover Jr, M. P. (1980). *Automation, Production Systems and Computer-Aided Manufacturing*. Prentice Hall PTR.
- Gupta, Y. P., & Goyal, S. (1989). Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements. *European journal of operational research*, 43(2), 119–135.
- Gupta, Y. P., & Somers, T. M. (1996). Business strategy, manufacturing flexibility, and organizational performance relationships: a path analysis approach. *Production and Operations Management*, 5(3), 204–233.
- Hankel, M., & Rexroth, B. (2015). The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). *ZVEI*, April, 410.
- Hempel, D. J. (1977). *Consumer Satisfaction with the Home Buying Process: Conceptualization and Measurement in The*

Conceptualization of Consumer Satisfaction and Dissatisfaction.
Mass: Marketing Science Institute.

- Hermann, C., Schmidt, C., Kurler, D., Blume, S., & Thiede, S. (2014). Sustainability in Manufacturing and Factories of the Future. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(4), 283–292.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. In 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS) (pp. 3928–3937). IEEE.
- He, Q. P., & Wang, J. (2018). Statistical process monitoring as a big data analytics tool for smart manufacturing. *Journal of Process Control*, 67, 35–43.
- Holweg, M. (2007). The Genealogy of Lean Production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437.
- Hopp, W. J., Iravani, S. M., & Shou, B. (2005). Serial agile production systems with automation. *Operations research*, 53(5), 852–866.
- Hsu, C. L., & Lu, H. P. (2004). Why do people play on-line games? An extended TAM with social influences and flow experience. *Information & management*, 41(7), 853–868.
- Hull, J. (1999), The Second Industrial Revolution: The History of a Concept. *Storia Della Storiografia*, Issue 36, 81–90.
- Hunt A. B. (1877). On some large Aplysiae taken in Torbay in 1875. *Trans. Devonsh. Assoc*, 9, 400–403.
- Hu, S. J. (2013). Evolving paradigms of manufacturing: from mass production to mass customization and personalization. *Procedia Cirp*, 7, 3–8.

- Husejnagić, D., & Sluga, A. (2015). A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the engineer-to-order environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9–12), 1971–1988.
- IFR. (2016). *Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots*. International Federation of Robotics (IFR).
- ITU. (2013). *Measuring the information society*. Executive summary.
- Jang, Y. (2012). A Utilization of the Big data Techniques in Manufacturing Industries. *Information & Communications Magazine*, 29(11), 30–35.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., ... & Do Noh, S. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 3(1), 111–128.
- Khaitan, S. K., & McCalley, J. D. (2014). Design techniques and applications of cyberphysical systems: A survey. *IEEE Systems Journal*, 9(2), 350–365.
- Koren, Y. (2010). *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. John Wiley & Sons, NY: U.S.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan*

- Management Review*, 30(1), 41.
- Kumar, A. (2018). Methods and materials for smart manufacturing: additive manufacturing, internet of things, flexible sensors and soft robotics. *Manufacturing Letters*, 15, 122–125.
- Laney, D. (2016). *Deja VVVu: others claiming Gartner's construct for big data*. 2015.
- Landes, D. S. (1969). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239–242.
- Lee, J. (2015). Smart factory systems. *Informatik–Spektrum*, 38(3), 230–235.
- 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., Bagheri, B., & Jin, C. (2016). Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, 8, 11–15.
- Lee, M. K., Cheung, C. M., & Chen, Z. (2005). Acceptance of Internet–based learning medium: the role of extrinsic and intrinsic motivation. *Information & management*, 42(8), 1095–1104.
- Lee, M. K., & Turban, E. (2001). A trust model for consumer internet shopping. *International Journal of electronic commerce*, 6(1), 75–91.
- Levy, D. L. (2005). Offshoring in the new global political economy.

- Journal of Management Studies*, 42(3), 685–693.
- Limayem, M., Hirt, S. G., & Cheung, C. M. (2007). How habit limits the predictive power of intention: The case of information systems continuance. *MIS quarterly*, 31(4), 705–737.
- Lin, C. S., Wu, S., & Tsai, R. J. (2005). Integrating perceived playfulness into expectation–confirmation model for web portal context. *Information & management*, 42(5), 683–693.
- Lin, J. C. C., & Lu, H. (2000). Towards an understanding of the behavioural intention to use a web site. *International journal of information management*, 20(3), 197–208.
- Lin, T. C., Wu, S., Hsu, J. S. C., & Chou, Y. C. (2012). The integration of value–based adoption and expectation–confirmation models: An example of IPTV continuance intention. *Decision Support Systems*, 54(1), 63–75.
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human–centered approach to enhance operators’ capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & industrial engineering*, 113, 144–159.
- Lopez, F., Shao, Y., Mao, Z. M., Moyne, J., Barton, K., & Tilbury, D. (2018). A software–defined framework for the integrated management of smart manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 15, 18–21.
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart factory—a step towards the next generation of manufacturing. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*. Springer, 115–118.

- Lu, H. P., & Weng, C. I. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 85–94.
- Lu, Y., Lu, Y., & Wang, B. (2012). Effects of dissatisfaction on customer repurchase decisions in e-commerce—an emotion-based perspective. *Journal of Electronic Commerce Research*, 13(3), 224.
- Lu, Y., Morris, K. C., & Frechette, S. (2016). Current standards landscape for smart manufacturing systems. *National Institute of Standards and Technology*, NISTIR, 8107, 39.
- Lydon, B. (2016). Industry 4.0: Intelligent and flexible production. *International Society of Automation*, 12–17.
- Lyytinen, K., & Hirschheim, R. (1988). *Information systems failures: a survey and classification of the empirical literature*. In *Oxford Surveys in Information Technology*, pp.257–309. Oxford University Press, Inc.
- Mantoux, P. (1906). *La révolution industrielle au XVIIIe siècle: essai sur les commencements de la grande industrie moderne en Angleterre*. Société nouvelle de librairie et d'édition (G. Bellais).
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Mathias, P., & Davis, J., eds. (1989). *The First Industrial Revolutions*. Oxford: Oxford University Press.
- Maslarić, M., Nikoličić, S., & Mirčetić, D. (2016). Logistics Response to

- the Industry 4.0: The Physical Internet. *Open Engineering*, 6(1), 511–517.
- McCollough, M. A., Berry, L. L., & Yadav, M. S. (2000). An empirical investigation of customer satisfaction after service failure and recovery. *Journal of service research*, 3(2), 121–137.
- 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.
- Moutray, C. (2016). *A Strong Manufacturing Sector Fuels Economic Growth*. Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/realspin/2016/11/21/a-strong-manufacturing-sector-fuels-economic-growth/#53eab2c87f3e>
- Mullen, M. R. (1995). Diagnosing measurement equivalence in cross-national research. *Journal of International Business Studies*, 26(3), 573–596.
- Myers, M. B., Calantone, R. J., Page Jr, T. J., & Taylor, C. R. (2000). An application of multiple-group causal models in assessing cross-cultural measurement equivalence. *Journal of International Marketing*, 8(4), 108–121.
- Narasimhan, R., & Kim, S. W. (2002). Effect of supply chain integration on the relationship between diversification and performance: evidence from Japanese and Korean firms. *Journal of operations management*, 20(3), 303–323.
- Navid Shariatzadeh, Thomas Lundholm, Lars Lindberg & Gunilla Sivard. (2016). Integration of Digital Factory with Smart Factory Based on

- Internet of Things. *Procedia CIRP*, 50, 512–517.
- NIST. (2016). *Network charter Manufacturing USA Program*.
- Nieuwenhuize, G. (2016). *Smart Manufacturing for Dutch SMEs: Why and How*. Rotterdam school of Management – Erasmus University.
- Norman, P., & Smith, L. (1995). The theory of planned behaviour and exercise: An investigation into the role of prior behaviour, behavioural intentions and attitude variability. *European Journal of Social Psychology*, 25(4), 403–415.
- North, D., & Smallbone, D. (2000). Innovative activity in SMEs and rural economic development: Some evidence from England. *European Planning Studies*, 8(1), 87–106.
- Oghuma, A. P., Libaque-Saenz, C. F., Wong, S. F., & Chang, Y. (2016). An expectation–confirmation model of continuance intention to use mobile instant messaging. *Telematics and Informatics*, 33(1), 34–47.
- Oliver, R. L. (1980). A cognitive model of the antecedents and consequences of satisfaction decisions. *Journal of marketing research*, 17(4), 460–469.
- Oliver, R. L., & DeSarbo, W. S. (1988). Response determinants in satisfaction judgments. *Journal of consumer research*, 14(4), 495–507.
- Oshri, I., Kotlarsky, J., & Willcocks, L. P. (2015). *The Handbook of Global Outsourcing and Offshoring 3rd Edition*. Springer.
- Pagell, M., & Krause, D. R. (2004). Re–exploring the relationship between flexibility and the external environment. *Journal of Operations management*, 21(6), 629–649.

- Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, 744–750.
- Parker, G. (Ed). (2002). *Compact History of the World*. Barnes & Noble, NY: U.S.
- Pavitt, K., Robson, M., & Townsend, J. (1987). The size distribution of innovating firms in the UK: 1945–1983. *The Journal of Industrial Economic*, 35(3), 297–316.
- Pavlou, P. A., Liang, H., & Xue, Y. (2007). Understanding and mitigating uncertainty in online exchange relationships: A principal–agent perspective. *MIS quarterly*, 31(1), 105–136.
- Piller, F. T., Moeslein, K., & Stotko, C. M. (2004). Does mass customization pay? An economic approach to evaluate customer integration. *Production planning & control*, 15(4), 435–444.
- Pîrvu, B. C., & Zamfirescu, C. B. (2017). Smart factory in the context of 4th industrial revolution: challenges and opportunities for Romania. *MS&E*, 227(1), 012094.
- Pine, B. J. (1993). Making mass customization happen: strategies for the new competitive realities. *Planning Review*, 21(5), 23.
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of applied psychology*, 88(5), 879–903.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance (No. 658.835 P847c)*. : The Free Press.
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de

- Amicis, R., ... & Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE computer graphics and applications*, 35(2), 26–40.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CiRp*, 54, 113–118.
- Quayle, M. (Ed.). (2005). *Purchasing and Supply Chain Management: Strategies and Realities: Strategies and Realities*. IGI Global.
- Quinn, J. B., & M. N. baily. (1994). Information Technology: Increasing productivity in services. *Academy of Management Executive*, 8(3), 28–48.
- Qureshi, M. I., Rasli, A. M., Jusoh, A., & Kowang, T. O. (2015). Sustainability: A new manufacturing paradigm. *Jurnal Teknologi*, 77(22), 47–53.
- Rad, C. R., Hancu, O., Takacs, I. A., & Olteanu, G. (2015). Smart monitoring of potato crop: a cyber–physical system architecture model in the field of precision agriculture. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 73–79.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia engineering*, 69, 1184–1190.
- Ramakrishna, S., Khong, T. C., & Leong, T. K. (2017). Smart manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 12, 128–131.
- Ren, A., Wu, D., Zhang, W., Terpenney, J., & Liu, P. (2017). *Cyber security in smart manufacturing: survey and challenges.*, pp. 716–721. In IIE Annual Conference. Institute of Industrial and

Systems Engineers (IISE).

- Richta, R. (1969). *Civilization at the Crossroads: Social and Human Implications of the Scientific and Technological Revolution*. Prague: International Arts and Sciences Press.
- Roca, J. C., Chiu, C. M., & Martínez, F. J. (2006). Understanding e-learning continuance intention: An extension of the Technology Acceptance Model. *International Journal of human-computer studies*, 64(8), 683–696.
- Rogers, E. M. (1995.). *Diffusion of Innovations (4th ed.)*. Free Press, New York.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM)*, 11(5), 77–90.
- Rostamzadeh, R., Sabaghi, M., & Esmaili, A. (2013). Evaluation of Cost-Effectiveness Criteria in Supply Chain Management: Case Study. *Advances in Decision Sciences*, 2013, 1–13.
- Sagi, J., Carayannis, E., Dasgupta, S., & Thomas, G. (2004). ICT and business in the new economy: globalization and attitudes towards eCommerce. *Journal of Global Information Management (JGIM)*, 12(3), 44–64.
- Samuelson, W., & Zeckhauser, R. (1988). Status quo bias in decision making. *Journal of risk and uncertainty*, 1(1), 7–59.
- Scherer, F. M. (1965). Firm size, market structure, opportunity, and the output of patented inventions. *The American economic review*, 55(5), 1097–1125.
- Scheuermann, C., Verclas, S., & Bruegge, B. (2015). *Agile Factory-An*

- Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process.*, pp.43–47. In Proceedings of the 2015 IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications.
- Schroder, C. (2016). *The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-Sized Enterprises*. Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn: Germany.
- Schwab, K. (2016). *Introduction in The Fourth Industrial Revolution*. Retrieved from: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Schoenherr, T., Tummala, V. R., & Harrison, T. P. (2008). Assessing supply chain risks with the analytic hierarchy process: Providing decision support for the offshoring decision by a US manufacturing company. *Journal of purchasing and supply management*, 14(2), 100–111.
- Seddon, P. B. (1997). A respecification and extension of the DeLone and McLean model of IS success. *Information systems research*, 8(3), 240–253.
- Segarra, A., & Teruel, M. (2011). Productivity and R&D sources: evidence for Catalan firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 20(8), 727–748.
- Sethi, A. K., & Sethi, S. P. (1990). Flexibility in manufacturing: a survey. *International journal of flexible manufacturing systems*, 2(4), 289–328.
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of

- cyber physical system for Industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146–1155.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129–149.
- Shariatzadeh, N., Lundholm, T., Lindberg, L., & Sivard, G. (2016). Integration of Digital Factory with Smart Factory Based on Internet of Things. *Procedia CIRP*, 100(50), 512–517.
- Shih, W. C. (2014). What it takes to reshore manufacturing successfully. *MIT Sloan Management Review*, 56(1), 55.
- Siegel, D. S., Waldman, D., & Link, A. (2003). Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: an exploratory study. *Research policy*, 32(1), 27–48.
- Simons, S., Abé, P., & Naser, S. (2017). Learning in the AutFab – the fully automated Industrie 4.0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing*, 9, 81–88.
- Sirkin, H. L., Zinser, M., & Hohner, D. (2011). *Made in America, again: Why manufacturing will return to the US.*, pp.3–5. Boston: Boston Consulting Group.
- Sirkin, H. L., Rose, J., & Choraria, R. (2014). *Honing US manufacturing's competitive edge*. Boston: Boston Consulting Group.
- Smart Factory Task Group. (2017). *Smart Factory Applications in Discrete Manufacturing: An4 Industrial Internet Consortium White Paper*. Industrial Internet Consortium.

- SMLC. (2011). *Implementing 21st Century Smart Manufacturing. Workshop Summary Report*. The Smart Manufacturing Leadership Coalition.
- Sniderman, B., Mahto, M., & Cotteleer, M. J. (2016). *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises*. Deloitte Consulting.
- Sorebo, O., & Eikebrokk, T. R. (2008). Explaining IS continuance in environments where usage is mandatory. *Computers in Human Behavior*, 24(5), 2357–2371.
- Spreng, R. A., MacKenzie, S. B., & Olshavsky, R. W. (1996). A reexamination of the determinants of consumer satisfaction. *The Journal of Marketing*, 60(3), 15–32.
- Statista. (2018). *Investments in Industry 4.0 in Germany from 2013 to 2020 (In Billion Euros)*. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/668780/industry-40-investments-in-germany/>.
- Suarez, F. F., Cusumano, M. A., & Fine, C. H. (1996). An empirical study of manufacturing flexibility in printed circuit board assembly. *Operations research*, 44(1), 223–240.
- Swanson, D. L. (1987). Gratification seeking, media exposure, and audience interpretations: Some directions for research. *Journal of Broad casting and Electronic Media*, 31(3), 237–254.
- Szejka, A. L., & Junior, O. C. (2017). The application of reference ontologies for semantic interoperability in an integrated product development process in smart factories. *Procedia Manufacturing*, 11, 1375–1384.

- Taherdoost, H. (2018). A review of technology acceptance and adoption models and theories. *Procedia manufacturing*, 22, 960–967.
- Tang, C. S., Zimmerman, J. D., & Nelson, J. I. (2009). Managing New Product Development and Supply Chain Risks: The Boeing 787 Case. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 10(2), 74–86.
- Teece, D. J. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285–305.
- Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing—a review of research issues and application examples. *International journal of automation technology*, 11(1), 4–16.
- Thong, J. Y., Hong, S. J., & Tam, K. Y. (2006). The effects of post-adoption beliefs on the expectation–confirmation model for information technology continuance. *International Journal of Human–Computer Studies*, 64(9), 799–810.
- Toynbee, A. (1884). *The Industrial Revolution*. Boston: The Beacon Press.
- Tse, D. K., & Wilton, P. C. (1988). Models of consumer satisfaction formation: An extension. *Journal of marketing research*, 25(2), 204–212.
- Upton, D. M. (1994). The management of manufacturing flexibility. *California management review*, 36(2), 72–89.
- Vanchan, V., Mulhall, R., & Bryson, J. (2018). Repatriation or Reshoring of Manufacturing to the U.S. and UK: Dynamics and Global Production Networks or from Here to There and Back Again.

Growth and Chang, 49(1), 97–121.

- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 27(3), 425–478.
- Venkatesh, V., & Morris, M. (2000). Why Don't Men Ever Stop to Ask for Directions? Gender, Social Influence, and Their Role in Technology Acceptance and Usage Behavior. *MIS Quarterly*, 24(1), 115–139.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y., Chan, F. K., Hu, P. J. H., & Brown, S. A. (2011). Extending the two-stage information systems continuance model: Incorporating UTAUT predictors and the role of context. *Information Systems Journal*, 21(6), 527–555.
- Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N. (2015). Managing innovative production network of smart factories. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 555–560.
- Vickery, S. N., Calantone, R., & Dröge, C. (1999). Supply chain flexibility: an empirical study. *Journal of supply chain management*, 35(2), 16–24.
- Vroom, V. H. (1964). *Work and motivation*. New york: Wiley.
- Wahlster, W. (2014). *Cyber-physical AI systems for resource-efficient living*. The way ahead new directions at FBK ICT IRST encounter outstanding visions from across the eld trento.
- Waibel, M. W., Steenkamp, L. P., Moloko, N., & Oosthuizen, G. A. (2017). Investigating the effects of smart production systems on sustainability elements. *Procedia Manufacturing*, 8, 731–737.
- Wallace, E., & Riddick, F. (2013). *Panel on enabling smart*

- manufacturing*. State College, USA.
- Wallace, D. (2017). *Environmental Policy and Industrial Innovation: Strategies in Europe, the USA and Japan*. Routledge, NY: U.S.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016a). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International journal of distributed sensor networks*, 12(1), 3159805.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016b). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168.
- Wards, A. G. (2006). *Wards Automotive Yearbook. Prism Business Media. Inc.* Detroit, MI: U.S.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. Scientific american Nature Publishing Group. 265(3), 66–75.
- Wieland, M., Leymann, F., Schäfer, M., Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2010). *Using context-aware workflows for failure management in a smart factory.*, pp.379–384. In Proc. of the Fourth Intl. Conf. on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies.
- 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.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking. Simon and Schuster*. NY: U.S.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *Machine that Changed*

- the World*. Simon & Schuster, NY: U.S.
- Wu, D., Greer, M. J., Rosen, D. W., & Schaefer, D. (2013). Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4), 564–579.
- Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. C. (2016). Smart supply chain management: a review and implications for future research. *The International Journal of Logistics Management*, 27(2), 395–417.
- Yao, X., & Lin, Y. (2016). Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5–8), 1665–1676.
- Yasunaga, Y., Watanabe, M., & Korenaga, M. (2009). Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 61–79.
- Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 8–12.
- Zhang, H., Lu, Y., Gupta, S., & Gao, P. (2015). Understanding group-buying websites continuance: An extension of expectation confirmation model. *Internet Research*, 25(5), 767–793.
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626–641.
- Zhou, T. (2013). An empirical examination of continuance intention of mobile payment services. *Decision support systems*, 54(2),

1085–1091.

Zipkin, P. (2001). The limits of mass customization. *MIT Sloan management review*, 42(3), 81.

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

부 록

중소 제조기업 스마트 공장 지속적 사용의도에 관한 연구 설문 조사
- 후기 수용 모델(PAM) 이론을 중심으로-

안녕하십니까?

귀하의 설문 참여에 진심으로 감사드립니다.

본 설문은 스마트 팩토리(Smart Factory)를 도입하여 사용 중인 기업을 대상으로 합니다.

스마트 팩토리란 설계·개발, 제조 및 유통·물류 등 생산과정에 디지털 자동화 솔루션이 결합된 정보통신기술(ICT)을 적용하여 생산성, 품질, 고객만족도를 향상 시키는 지능형 생산 공장을 말합니다. 즉, 스마트 팩토리란 인더스트리 4.0(Industry 4.0)이 가져오는 생산 공장의 혁신적인 변화로, 설계·개발, 제조 및 유통·물류 등 생산과정에 디지털 자동화 솔루션이 결합된 정보통신기술(ICT)을 적용하여 생산성, 품질, 고객만족도를 향상 시키는 지능형 생산 공장을 의미합니다. 공장 내 설비와 기계에 사물인터넷(IoT)을 설치하여 공정 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 분석해 목적된바에 따라 스스로 제어할 수 있는 공장을 뜻합니다. 최근 가볍고 유연한 생산체계가 요구됨에 따라, 제조업 혁신 방안으로서 대두되고 있습니다.

귀하의 의견은 스마트 팩토리의 보급 및 향후 전략 수준 개선에 큰 도움이 될 것입니다. 따라서 귀하의 아낌없는 협조를 부탁드립니다.

설문서에 기재된 내용은 서비스 향상을 위한 목적으로만 사용되며, 무기명으로 실시되기 때문에 작성자 개인의 신상과 관련된 기밀 사항은 어떤 경우에도 공개되지 않습니다.

본 설문 결과에 관심이 있으신 분은 이메일 주소를 남겨주시면 연구결과를 보내드리도록 하겠습니다.

2020 년 06 월

한성대학교 일반대학원 스마트융합컨설팅학과

지도교수: 이 석 기

연구 자: 김 용 성

(vov979@nate.com)

I. 다음은 귀 업체의 일반적인 현황에 대한 질문입니다

1. 귀하가 소속되어있는 기업의 유형(규모)은?

- ① 벤처기업·소기업(년 매출 120억원 이하)
- ② 중소기업(년 매출 1,500억원 이하)
- ③ 중견기업(자산총액 5천억원 이상 / 설문조사 중단)
- ④ 대기업 (설문조사 중단)

2. 귀하의 회사에서 기술 수용 시 정부지원금이 활용되었습니까?

- ① 일부 또는 전체 정부지원활용 ② 자체자본만 소요

3. 귀사의 산업 분야는 어느 것입니까?

- ① 기계, 금속 ② 전기·전자 ③ 정보통신 ④ 화학·재료·소재 ⑤ 기타

4. 귀사의 년 평균 근로자의 수는 다음중 어디에 해당 합니까?

- ① 20명 이하 ② 50명 이하 ③ 100명 이하 ④ 100명 이상

5. 귀사의 스마트 팩토리 구축후 활용 누적기간은?

- ① 1년 미만 ② 2년 미만 ③ 3년 미만 ④ 3년 이상

6. 현재 귀사의 스마트 공장 수준은 어디에 해당한다고 생각하십니까?

- ①기초1: 전통제조 방식과 다른 IT 기술을 활용한 기초 자료수집,
자료분석 등 수행
- ②기초2: 스마트 생산실적 집계, 바코드 시스템을 통한 공정물류관리(POP)
및 데이터 분석
- ③중간1: 설비 실시간 데이터 수집, 다양한 ICT 활용한 설비정보 자동
획득
- ④중간2: 설비제어 자동화/협력사와 공급사슬/엔지니어링 정보공유, 제어자
동화 기반 공정운영 최적화, 실시간 의사결정

⑤고도화: 제어 자동화, 디지털식별 결합된 IoT형 자동화/사물/서비스/비즈니스/모듈 간실시간 대화체제 구축, 사이버공간 비즈니스 실현

Ⅱ. 다음은 귀 업체의 스마트 공장 구축내용에 대한 질문입니다.

해당 하는 곳에 체크하여 주세요

구 분	설문내용		평가점수				
			매우부정	부정	보통	긍정	매우긍정
공 장 자 동 화	01	스마트 공장을 적용하여 설비 자동화를 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	02	스마트 공장을 적용하여 설비가 지능적으로 제품생산을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	03	스마트 공장을 적용하여 설비가 자율적으로 제품생산을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장을 적용하여 설비효율 제고로 생산성향상을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	05	스마트 공장을 적용하여 설비고장의 사전예측과예방을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	06	스마트 공장을 적용하여 작업방법 관련 업무의 자동화(예, 공정 파라미터의 자동식별, 작업방법의 자동변경 등)를 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	07	스마트 공장을 적용하여 품질관리 업무의 자동화 (예, 품질원인 식별, 고객 클레임 원인 자동 규명, 품질자동 검사, 제품이력 데이터 자동 수집 등)를 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	08	스마트 공장을 적용하여 현장 생산일정 관리 업무의 자동화(예, 생산일정 계획의 자동조정, 최적의 생산경로 자동식별 등)를 실현하였다.	①	②	③	④	⑤

구 분	설문내용		평가점수				
			매 우 부 정	부 정	보 통	긍 정	매 우 긍 정
제 조 데 이 터 의 활 용	01	최적의 생산 프로세스 구축을 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 활용하였다.	①	②	③	④	⑤
	02	최적의 작업방법이 적용된 생산 공정의 구축을 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 활용하였다.	①	②	③	④	⑤
	03	공장의 생산성과 품질성과를 최적화하기 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 활용하였다	①	②	③	④	⑤
	04	최적의 신제품개발 프로세스의 구축을 위하여 스마트 공장의 제조 데이터 분석 기술을 활용하였다	①	②	③	④	⑤
	05	최적의 제품생산 리드타임 단축을 위하여 스마트 공장의 제조 데이터 분석기술을 활용하였다.	①	②	③	④	⑤
	06	현행 생산 프로세스의 상태를 실시간으로 파악하고이것을 점진적으로 개선하기 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 분석활용 할 수 있다.	①	②	③	④	⑤
	07	현행 작업방법의 효과성을 실시간으로 파악하고 이 것을 점진적으로 개선하기 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 분석활용 할 수 있다.	①	②	③	④	⑤
	08	현행 제품생산 리드타임을 점진적으로 개선하기 위하여 스마트 공장의 제조 데이터를 분석활용 할 수 있다.	①	②	③	④	⑤

구 분	설문내용		평가점수				
			매우부정	부정	보통	긍정	매우긍정
가 치 사 슬 통 합	01	스마트 공장을 적용하여 회사 내 각 부서들 간의 공동 목표 수립 및 상호 협력을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	02	스마트 공장을 적용하여 회사 내 각 부서들 간의 정보공유 및 커뮤니케이션 수준 향상을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	03	스마트 공장을 적용하여 회사 내 각 부서들 간의 공동 전략 수립과 실행 협력을 실현하였다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장을 적용하여 회사 내 타 부서들의 목표에 대한 이해 수준을 높였다.	①	②	③	④	⑤
	05	스마트 공장을 적용하여 회사 내 각 부서들 간의 적극적 참여로 공동문제를 해결하였다.	①	②	③	④	⑤
	06	스마트 공장을 적용하여 신제품 개발과정에서 제조사와 공급사 간에 관련분야의 지식을 함께 공유하였다.	①	②	③	④	⑤
	07	스마트 공장을 적용하여 제조사와 공급사 간에공동으로 목표원가를 설정하고 이에 관한 정보를 공유하였다.	①	②	③	④	⑤
	08	스마트 공장을 적용하여 공급사에게 채고정보 및 판매정보를 함께 공유하였다.	①	②	③	④	⑤
	09	스마트 공장을 적용하여 공급사에게 신상품 기획에 대해 적극적으로 협력하였다.	①	②	③	④	⑤
	10	스마트 공장을 적용하여 제조사와 공급사 간에 생산계획과 수요예측 정보를 함께 공유하여 커뮤니케이션수준을 높였다.	①	②	③	④	⑤

Ⅲ. 다음은 귀 업체의 스마트 공장 구축목적에 대한 질문입니다.
해당 하는 곳에 체크하여 주세요.

구 분	설문내용		평가점수				
			매우부정	부정	보통	긍정	매우긍정
생 산 성 향 상	01	스마트 공장 도입을 통하여 수작업으로 하던 기존 업무를 자동화 시켜 노무비를 절감 하였다.	①	②	③	④	⑤
	02	스마트 공장 도입을 통하여 원자재 낭비를 감소시키고 재료비를 절감 하였다.	①	②	③	④	⑤
	03	스마트 공장 도입을 통하여 설비정비 및 유희시간을 단축하여 설비유지보수 비용을 절감 하였다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장 도입을 통하여 품질비용을 절감 하였다.	①	②	③	④	⑤
	05	스마트 공장 도입을 통하여 생산공정의 낭비를 제거하여 제품가공 비용을 절감 하였다.	①	②	③	④	⑤
유 연 성 향 상	01	스마트 공장 도입을 통하여 갑작스러운 주문 폭주를 충족할 수 있는 생산일정 계획의 수립을 용이하게 하였다.	①	②	③	④	⑤
	02	스마트 공장 도입을 통하여 고객의 주문을 충족하기 위해 제조 프로세스(공정)의 신속한 변경을 가능케 하였다.	①	②	③	④	⑤
	03	스마트 공장 도입을 통하여 고객 맞춤형 제품의대량 생산을 가능케 하였다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장 도입을 통하여 신속하게 신제품을도입하였다.	①	②	③	④	⑤
	05	스마트 공장 도입을 통하여 생산제품 변경을 신속히 할 수 있게 하였다.	①	②	③	④	⑤

IV. 다음은 귀 업체의 스마트 공장 운영의 유용성 및 만족도에 대한
질문입니다. 해당 하는 곳에 체크하여 주세요.

구 분	설문내용		평가점수				
			매 우 부 정	부 정	보 통	긍 정	매 우 긍 정
유 용 성	01	자사에 구축된 스마트 공장 시스템의 사 용 방법을 배우는 일은 쉽다.	①	②	③	④	⑤
	02	자사에 구축된 스마트 공장 응용 프로그 램은 누구나 사용할 수 있다고 생각한다.	①	②	③	④	⑤
	03	자사에 구축된 스마트 공장 시스템은 언 제 어디서나 편하게 사용할수 있다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장의 이용이 업무를 보다 효율 적으로수행할 수 있게 한다.	①	②	③	④	⑤
	05	스마트 공장은 내 업무에 전반적으로 유 용하다.	①	②	③	④	⑤
사 용 자 만 족 도	01	스마트 공장의 의사결정을 위한 정보 제 공에 만족하는 편이다.	①	②	③	④	⑤
	02	스마트 공장 운영 프로세스에 대하여 만 족하는 편이다.	①	②	③	④	⑤
	03	스마트 공장이 제공하는 서비스에 대해 서 만족하는 편이다.	①	②	③	④	⑤
	04	스마트 공장에 대해 전반적으로 만족하 는 편이다.	①	②	③	④	⑤

V. 다음은 귀 업체의 스마트 공장 지속적 사용의도에 대한
질문입니다. 해당 하는 곳에 체크하여 주세요.

구 분	설문내용		평가점수				
			매 우 부 정	부 정	보 통	긍 정	매 우 긍 정
지 속 적 사 용 의 도	01	현재 적용중인 스마트 공장에 대해 만족하여 이 것을 계속 사용할 것이다.	①	②	③	④	⑤
	02	현재 적용중인 스마트 공장의 사용범위가 확대되어야 한다고 생각 한다.	①	②	③	④	⑤
	03	현재 적용중인 스마트 공장을 적극 사용하기 위해 예산을 증액이 필요하다고 생각한다.	①	②	③	④	⑤
	04	현재 적용중인 스마트 공장이 우리가 지향하는 목표를 잘 충족시키고 있어 계속 사용할 것이다.	①	②	③	④	⑤
	05	현재 적용중인 스마트 공장이 우리의 경쟁력을 제고시키는데 기여하고 있어 계속 사용할 것이다.	①	②	③	④	⑤

[설문에 참여해 주셔서 진심으로 감사합니다.]

ABSTRACT

A study on the factors affecting the continuous
use intention for smart factories of small and
medium-sized manufacturing companies
-Focus on the Post Acceptance Model (PAM)-

Kim, yong-Seong

Major in Smart Convergence Consulting

Dept. of Smart Convergence Consulting

The Graduate School

Hansung University

Now we are living in the era of the 3rd industrial revolution past the 1st and 2nd industrial revolutions. And now, we are preparing to face the upcoming era of the 4th industrial revolution with the convergence of advanced technologies such as IoT and big data analysis technologies and rapidly developed information and communication technologies. Germany's Industry 4.0, the beginning of the 4th Industrial Revolution, emerged as a way to respond to new changes in the manufacturing paradigm such as personalized production and mass personalization, and to strengthen global competitiveness. This fourth industrial revolution recognizes manufacturing as a core area, and smart factories are at the center of it. An intelligent production plant based on a virtual physical system (CPS) that promptly reacts to changes in the external environment such as customer orders or equipment failures and

autonomously proposes optimal solutions can be defined as 'smart factories'. Such smart factories are emerging as alternatives to current problems such as a decrease in the working population, aging population and depletion of resources, and manufacturing powers are providing policy support for the expansion of smart factories.

However, looking at the status of companies that have built smart factories through government support, there is a problem that the level of smart factories being introduced and operated in general remains at the basic stage, and thus the utilization is low. In addition, there are many problems such as lack of awareness of smart factories and lack of expertise of suppliers. Due to such problems, the phenomenon of limited use or interruption of use of the system being introduced and operated frequently occurs.

Accordingly, this study sought to find out how the content of the construction and the expected satisfaction level of smart factories, which have been rapidly distributed under the initiative of the government over the past five years, affect usability, user satisfaction, and continuous use intentions based on the Post Acceptance Model (PAM).

The summary of the research results is as follows.

First, it was found that factory automation had a significant positive (+) effect on productivity improvement.

Second, it was found that factory automation had a significant positive (+) effect on improving flexibility.

Third, it was found that the use of manufacturing data had a significant positive (+) effect on productivity improvement.

Fourth, it was found that the use of manufacturing data had a significant positive (+) effect on improving flexibility.

Fifth, value chain integration was found to have a significant positive (+) effect on productivity improvement.

Sixth, it was found that the value chain integration had no significant influence on the improvement of flexibility.

Seventh, productivity improvement was found to have a significant positive (+) effect on usefulness.

Eighth, it was found that the improvement of flexibility had a significant positive (+) effect on usefulness.

Ninth, productivity improvement was found to have a significant positive (+) effect on user satisfaction.

Tenth, it was found that the improvement of flexibility had a significant positive (+) effect on user satisfaction.

Eleventh, it was found that usefulness had a significant positive (+) effect on user satisfaction.

Twelve, it was found that usefulness had a significant positive (+) effect on the intention to continue using it.

Thirteenth, it was found that user satisfaction had no significant influence on the intention of continuous use.

Fourteenth, the parameters of productivity improvement, flexibility improvement, usability and user satisfaction showed that the path to productivity improvement and usability had the greatest effect in the relationship between factory automation and the intent of continuous use.

Fifteen, the parameters, productivity improvement, flexibility, usability, and user satisfaction, also showed that the path to productivity improvement and usability, even in the relationship of influence on the utilization of manufacturing data and the intent of continuous use, was most significantly affected.

Sixteenth, the parameters of productivity improvement, flexibility, usability, and user satisfaction also showed that the path to productivity improvement and usability has the greatest impact, even on value chain integration and the impact on sustained use intent.

Seventeenth, as a result of testing the overall control effect using the use of government support as a control variable, it was found that there is a partial control effect in the relationship between the use of manufacturing data and productivity improvement.

Eighth, as a result of testing the overall control effect using the accumulated period of use of smart factory construction as a control variable, it was found that there is a partial control effect in the effect of productivity improvement on user satisfaction.

The main implications of the above study are as follows.

First, it is necessary to automate, informatize, and digitize the physical production system and information system of the existing factory. In addition, companies that intend to supplement the system or introduce new systems need a sufficient preliminary review period to determine what customers require and what actual information about customers we need. In addition, whether these requirements are actually feasible, it will have to be implemented through prior consultation with the system supplier.

Second, it is necessary to reinforce and supplement the ICT standardization policy that supports big data analysis technology using data collected from sensors and interconnects with external customer systems. In this context, the collected data must be analyzed and converted into usable information. When information shared with each other is exchanged through internal/external networks, waste on the process can be reduced and production can be optimized based on this information.

Third, the government needs to strengthen education centered on working-level officials on smart factory standard model architecture and smart factory reference model made by the Ministry of Trade, Industry and Energy referring to Germany's RMAI 4.0. It is believed that this will

serve as the basis for enhancing the usability of the system by optimizing the process by enhancing the understanding of smart factories and enhancing the ability to specify the utilization area.

In future research on the intention to use the smart factory, it is necessary to improve the explanatory power of the research hypothesis through an extended model of the post-acceptance model or integration of other technical or behavioral theories. In addition, if the research is conducted from various perspectives by adding variables that take into account various organizational/environmental impacts such as the characteristics of the industry, the shape of customers, the organization's capabilities, and the internal and external situation of the company, more detailed research results will be obtained. It is necessary to divide the sample recruitment by region and add it as an adjustment or cause variable, and to perform a step-by-step analysis by subdividing the system use period into initial use period, settlement period, and extension period. In this case, it is expected that research results that can contribute to the establishment of government support policy plans and strategies for activating corporate smart factories will be drawn.

【Keywords】 Smart factory, Post Acceptance Model, Small and Medium Manufacturing Company, Industry 4.0, RMAI 4.0.