

박사학위논문

중소기업 스마트 제조를 위한  
협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는  
요인에 관한 연구

2026년

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합건설팅학과

스마트팩토리건설팅전공

양 승 훈



박사학위논문  
지도교수 이상복

중소기업 스마트 제조를 위한  
협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는  
요인에 관한 연구

A Study on the Factors Affecting the Acceptance of  
Collaborative Robots for Smart Manufacturing of Small and  
Medium-sized Enterprises

2025년 12월 일

한성대학교 대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

양 승 훈

박사학위논문  
지도교수 이상복

중소기업 스마트 제조를 위한  
협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는  
요인에 관한 연구

A Study on the Factors Affecting the Acceptance of  
Collaborative Robots for Smart Manufacturing of Small and  
Medium-sized Enterprises

위 논문을 공학 박사학위 논문으로 제출함

2025년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

양 승 훈

양승훈의 공학 박사학위 논문을 인준함

2025년 12월 일

심사위원장 박현성 (인)

심사위원 박인채 (인)

심사위원 임희종 (인)

심사위원 은준엽 (인)

심사위원 이상복 (인)

# 국 문 초 록

## 중소기업 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구

한 성 대 학 교 대 학 원  
스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과  
스 마 트 팩 토 리 컨 설 팅 전 공  
양 승 훈

전 세계 제조 산업은 급속한 인공지능(AI) 기술 발전과 함께, 생산 가능인구 감소로 인한 노동력 부족이라는 구조적 변화에 직면하였다. 이러한 환경 속에서 협동로봇(Collaborative Robot, Cobot)은 인간과 함께 협업하며 생산 효율성과 안전성을 높일 수 있는 4차 산업혁명 핵심 기술로 주목받았다. 이와 같은 맥락에서 기술 인프라와 인력 자원의 한계에 직면한 중소 제조기업(SMEs)에게 협동로봇은 노동력 부족 문제를 완화하는 동시에 생산성과 작업 효율을 제고할 수 있는 현실적 대안으로 평가되었다.

본 연구는 협동로봇 도입이 단순한 기술적 효율성의 문제가 아니라, 조직 환경 요인과 개인 인식이 상호작용하는 복합적 의사결정 과정임을 규명하고자 하였다. 이를 위해 조직 차원의 TOE(Technology-Organization-Environment) Framework와 개인 인식 차원의 TAM(Technology Acceptance Model)을 융합하고, 협동로봇의 특수성을 반영하여 인지된

위험(Perceived Risk, PR)을 추가한 통합 연구 모형을 구축하고, TOE 요인으로는 기술적 요인(상대적 이점, 안전성), 조직적 요인(최고 경영진 지원), 환경적 요인(정부 지원, 노동력 부족)을 설정하였으며, TAM의 매개 변수로 인지된 유용성(Perceived Usefulness, PU), 인지된 용이성(Perceived Ease of Use, PEOU), 그리고 인지된 위험(PR)을 포함하였다. 연구는 중소 제조기업 종사자를 대상으로 설문 자료를 수집하였고, SmartPLS를 활용한 구조방정식모형 분석(PLS-SEM)을 수행하였다.

구조방정식모형 분석 결과, 다음과 같은 주요 결과가 도출되었다.

첫째, TOE 요인은 인지된 유용성(PU)에 대한 예측력이 높았으며, 주목할 점은 정부 지원(GS)과 노동력 부족(LS)이 인지된 유용성에 가장 강한 정(+)의 영향을 미치는 외부 동인임을 확인하였다. 이는 협동로봇 도입이 생산성 향상뿐 아니라 노동력 부족이라는 환경적 압력에 의해 촉진됨을 보여주는 실증적 결과이다.

둘째, 기술적 요인 중 안전성(Safety)은 인지된 용이성(PEOU)과 인지된 위험(PR)에 모두 유의한 영향을 미치는 유일한 요인이었다. 안전성 인식이 높을수록 기술 사용이 용이하다고 인식하였으며, 인지된 위험(PR)에는 유의한 부(-)의 영향을 미쳐, 이는 기술의 안전성 확보가 사용자의 심리적 장벽 완화에 중요한 역할을 수행함을 시사한다.

셋째, 인지된 유용성(PU)은 모든 변수 중 최종 종속변수인 도입 의도(AI)에 가장 강한 정(+)의 영향을 미치는 핵심 결정요인으로 나타났다(경로계수  $\beta=0.464, p<0.001$ ). 반면, 인지된 용이성과 인지된 위험은 도입 의도에 직접적인 유의미한 영향을 미치지 못하여 가설이 기각되었다. 이는 중소기업의 기술 도입 의사결정이 사용의 편리함(PEOU) 중심이 아닌, 실질적인 효용(PU) 중심의 인식 구조를 따른다는 점을 시사한다.

넷째, 인지된 유용성은 외생변수와 도입 의도 간의 관계에서 핵심적인 매개 역할을 수행하였다. 상대적 이점과 정부 지원은 인지된 유용성을 통해 도입 의도에 완전 매개되는 것으로 나타났으며, 노동력 부족과 안전성 역시 인지된 유용성을 통해 도입 의도에 부분 매개되는 보완적 매개 형태를 보였다. 이는 기술적·환경적 요인이 도입 의도에 영향을 미치기 위해서는 반드시 협동로봇의 실질적 가치에 대한 인식을 강화해야 함을 의미하였다.

이러한 결과는 협동로봇 도입이 조직의 전략적 의사결정과 사용자 인식의 상호작용을 기반으로 한 사회기술적 수용 과정임을 실증적으로 보여준다. 본 연구는 TOE-TAM-PR 통합모형을 통해 중소 제조기업의 협동로봇 도입 의도를 설명하는 인과적 구조를 체계적으로 검증함으로써 학문적·정책적 기여를 제공하였다. 학문적으로는 안전성과 노동력 부족을 통합한 모형을 특정 산업(중소 제조기업)에 적용하여 기술 수용 이론의 확장성을 제시하였다. 실무적으로는, 중소 제조기업이 협동로봇 도입 시 ① 기술의 유용성과 안전성을 내재화한 설계 및 검증 체계 구축, ② 최고 경영층의 전략적 리더십 및 내부 수용성 확보, ③ 정부의 재정·교육 지원 활용, ④ 위험 인식 완화를 위한 신뢰성 기반의 안전관리 체계 강화가 필수적임을 제시하였다. 이러한 시사점은 향후 스마트 제조 전환 및 인력 보완형 자동화 정책 수립의 실증적 근거로 활용될 수 있을 것이다.

**【주요어】** 스마트 제조, 협동로봇, 중소 제조기업, 기술-조직-환경 (TOE), 기술수용모델(TAM), 인지된 위험, 안전성, 노동력 부족

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구 배경 및 필요성 .....	1
1. 연구 배경 .....	1
2. 연구 필요성 .....	2
제 2 절 연구 목적 및 문제 .....	5
제 3 절 연구 방법 .....	6
1. 자료 수집 및 표본 선정 .....	6
2. 자료 분석 방법 .....	6
제 4 절 연구 구성 .....	7
제 2 장 이론적 배경 .....	9
제 1 절 스마트 제조 .....	9
1. 스마트 제조의 정의 .....	9
2. 스마트 제조 기술 .....	9
3. 스마트 제조의 중요성 .....	13
제 2 절 협동로봇 .....	15
1. 협동로봇 정의 및 시장 규모 .....	15
2. 협동로봇 특징 및 구성 .....	18
3. 협동로봇 연구 동향 .....	28
4. 로봇 지원사업 분석 .....	32
5. 협동로봇 설치 운영 사례 .....	44
제 3 절 기술 수용 관련 이론 .....	48
1. 기술-조직-환경(TOE Framework) .....	48
2. 기술수용모델(Technical Acceptance Model) .....	61
3. 인지된 위험(Percived Risk) .....	68
4. TOE와 TAM의 통합 .....	73
제 3 장 연구 설계 .....	76

<b>제 1 절</b>	<b>연구모형 설계</b>	76
1.	연구모형의 이론적 근거	76
2.	초기 연구모형의 설정과 파일럿 테스트의 필요성	77
3.	연구모형 정제	77
4.	최종 연구모형	80
<b>제 2 절</b>	<b>연구 가설</b>	81
1.	상대적 이점과 인지된 용이성/유용성 간의 관계	81
2.	안전성과 인지된 용이성/유용성/위험성 간의 관계	82
3.	최고 경영진 지원과 인지된 용이성/유용성 간의 관계	83
4.	정부 지원과 인지된 용이성/유용성 간의 관계	84
5.	노동력 부족과 인지된 용이성/유용성 간의 관계	85
6.	인지된 용이성과 인지된 유용성 간의 관계	86
7.	인지된 용이성, 인지된 유용성과 도입 의도 간의 관계	87
8.	인지된 위험과 도입 의도와 의 관계	88
9.	인지된 용이성/유용성/위험성의 매개효과	89
<b>제 3 절</b>	<b>변수의 조작적 정의</b>	91
1.	변수의 조작적 정의	91
2.	변수의 조작적 정의 요약	99
3.	변수의 측정척도	100
<b>제 4 장</b>	<b>실증 분석 결과</b>	105
<b>제 1 절</b>	<b>자료의 수집 및 분석 방법</b>	105
1.	표본의 선정 및 자료 수집	105
2.	분석 방법	107
<b>제 2 절</b>	<b>표본의 일반적 특성</b>	109
1.	표본의 개인적 특성과 기업 특성	109
2.	스마트팩토리 수준 및 적용 대상 업무	111
3.	측정척도의 분포	112
<b>제 3 절</b>	<b>측정 모형의 평가</b>	114

1. 신뢰도와 집중 타당도 .....	114
2. 판별 타당도 .....	117
<b>제 4 절 구조 모형의 평가 .....</b>	<b>124</b>
1. 다중공선성 검토 .....	125
2. 결정계수 평가 .....	126
<b>제 5 절 가설 검정 .....</b>	<b>129</b>
1. 독립변수와 매개변수 간 가설 검정 결과 .....	130
2. 안전성과 인지된 위험 간 가설 검정 결과 .....	133
3. 매개변수와 종속변수 간 가설 검정 결과 .....	134
4. 매개효과 검정 결과 .....	135
<b>제 5 장 결 론 .....</b>	<b>141</b>
<b>제 1 절 연구 결과의 요약 .....</b>	<b>141</b>
<b>제 2 절 논의 및 시사점 .....</b>	<b>143</b>
1. 논의 .....	143
2. 시사점 .....	145
<b>제 3 절 연구의 한계점 및 향후 연구 방향 .....</b>	<b>148</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>151</b>
<b>부 록 .....</b>	<b>179</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>188</b>

## 표 목 차

[표 2-1] 스마트 제조의 주요 공정 기술과 개념 .....	10
[표 2-2] 협동로봇 정의 .....	17
[표 2-3] 협동로봇과 기존 산업용 로봇의 특징 비교 .....	19
[표 2-4] 협동로봇 관련 연구 동향 분석 (1996년~2023년) .....	29
[표 2-5] 국내 협동로봇 관련 연구 동향 분석 .....	31
[표 2-6] 로봇활용제조혁신지원사업 로봇 도입 업종 분류 .....	34
[표 2-7] 년도별 로봇 적용 공정 분석 .....	36
[표 2-8] 년도별 적용 로봇 .....	38
[표 2-9] 정량적 효과 .....	40
[표 2-10] 협동로봇 도입 전·후 .....	47
[표 2-11] TOE Frameworks 배경 이론 .....	52
[표 2-12] 기술수용모델(TAM)의 배경 이론 .....	64
[표 2-13] 인지된 용이성 측정 문항 .....	66
[표 2-14] 인지된 유용성 측정 문항 .....	67
[표 2-15] 인지된 위험의 유형 .....	71
[표 2-16] 조직과 개인 차원 적용 이론 .....	74
[표 3-1] 독립변수 삭제 근거 요약 .....	78
[표 3-2] 조작적 정의 요약 .....	99
[표 3-3] 변수별 설문 문항 수 및 척도 .....	103
[표 4-1] 설문 대상 및 방법 .....	106
[표 4-2] CB구조방정식 모델과 PLS구조방정식 모델 비교 .....	108
[표 4-3] 설문 응답자의 개인적 특성과 기업 특성분류 .....	109
[표 4-4] 스마트팩토리 수준과 적용 대상 업무 .....	111
[표 4-5] 기술 통계 .....	113
[표 4-6] 신뢰도와 집중 타당도 .....	114
[표 4-7] 집중 타당도 평가 결과 .....	116
[표 4-8] 교차 적재 .....	119
[표 4-9] 측정척도 삭제 후 외부 적재값 .....	121

[표 4-10] Fornell & Larcker .....	122
[표 4-11] HTMT 기준 .....	123
[표 4-12] Collinearity statistics(VIF) .....	125
[표 4-13] 결정계수( $R^2$ ) 평가 결과 .....	127
[표 4-14] 독립변수와 매개변수 가설 검정 결과 .....	133
[표 4-15] 안전성과 인지된 위험 간의 가설 결과 .....	134
[표 4-16] 매개변수와 종속 변수 간 가설 검정 결과 .....	134
[표 4-17] 매개효과 검정 결과(간접 효과) .....	136
[표 4-18] 경로 분석에 따른 검정 결과(총효과) .....	138
[표 4-19] 간접 효과와 직접 효과의 유의성을 통한 매개 분석 .....	139

## 그림 목 차

[그림 2-1] 협동로봇 시장 규모 .....	18
[그림 2-2] 협동로봇 동작 방식에 따른 분류 .....	21
[그림 2-3] 협업 시스템 .....	24
[그림 2-4] 협동로봇의 구성 .....	26
[그림 2-5] 협동로봇의 기능 .....	27
[그림 2-6] 도입 효과 키워드 분석 빈도 수 .....	42
[그림 2-7] TOE Framework .....	49
[그림 2-8] 기술수용모델(TAM) .....	62
[그림 3-1] 연구모형 .....	81
[그림 4-1] PLS-SEM의 부트스트래핑 실행 결과 .....	125
[그림 4-2] 구조 모형의 분석 결과 .....	129

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 배경 및 필요성

### 1. 연구의 배경

급변하는 현대 사회는 인공지능(AI), 빅데이터(Big Data), 사물인터넷(IoT) 등의 지능 정보 기술이 융합되는 4차 산업혁명 시대로 진입하였다(이종근, 2023). 이는 산업 현장의 경쟁 패러다임을 빠르게 변화시키며 제조업 전반에 걸쳐 혁신적이고 지능화된 변화를 요구하고 있다(김기홍, 2022). 이에 따라 제조 공정을 구성하는 모든 기계, 설비, 부품, 재료가 초연결되고 지능화된 정보 기반으로 제품을 생산하는 스마트 제조(Smart Manufacturing)의 구축은 대한민국 제조업이 위기를 극복하고 미래 성장 동력을 확보하기 위한 핵심 국가 전략으로 인식되고 있다.(김정래, 2020).

이러한 흐름 속에서 2021년 유럽위원회(European Commission)는 기존의 자동화 중심 산업 패러다임을 넘어, 인간의 존엄성과 안전, 복지를 중심에 두는 산업 혁신 패러다임 Industry 5.0(IR 5.0)을 제시하며, '인간중심 기술(human-centered technology)'을 스마트 제조의 핵심 가치로 강조하고 있다(European Commission, 2021). 이는 기술이 인간을 대체하는 존재가 아니라 협력 파트너로 기능해야 한다는 점에서, 인간과 기술의 공존을 전제로 한 새로운 제조 패러다임으로 해석된다.

이러한 관점에서 스마트 제조 혁신의 핵심 기술 중 하나로 부상한 협동로봇(Collaborative Robots, Cobots)은 인간과 동일 작업 공간에서 상호 작용하며 협력 작업이 가능하도록 설계된 인간중심 기술의 대표적 구현체라 할 수 있다(Rossi et al., 2020). 협동로봇은 기존 산업용 로봇과 달리 안전 펜스 등 부대 장치 없이 인간과 물리적으로 협력할 수 있도록 설계되었으며(Human-Robot Collaboration; HRC), 인간의 유연한 판단 능력

과 로봇의 정밀한 반복 작업 능력을 결합함으로써 다품종·소량 생산 환경에 적합한 유연생산체계를 가능케 한다(Cherubini et al., 2016; Knudsen & Kaivo-Oja, 2020).

이와 같은 맥락에서 이러한 협동로봇은 중소기업(SMEs)의 스마트 제조 전환에 더욱 절실하게 요구되고 있다. 중소기업은 대기업에 비해 재무적 여건이 열악하고 전문 인력과 기술 인프라가 부족하여 신기술 도입에 구조적 한계를 안고 있으나(김태우 외, 2020), 생산가능인구 감소와 고령화로 인한 노동력 부족 문제는 협동로봇 도입을 더 이상 미룰 수 없는 상황으로 몰아가고 있다(Park et al., 2025). 협동로봇은 비교적 적은 공간과 비용으로 유연하게 설치할 수 있는 상대적 이점을 가지며(Bendel, 2018), 이러한 인구구조 변화와 노동 환경의 압박 속에서 중소 제조기업의 지속 가능한 경쟁력 확보를 위한 현실적 대안으로 주목받고 있다(곽호성, 2024).

그러나 국내 협동로봇의 보급 속도는 시장 전망에 비해 여전히 제한적인 수준에 머물고 있다. 이는 협동로봇 도입이 단순한 기술적 선택을 넘어 조직 환경과 개인의 심리적 인식이 복합적으로 작용하는 의사결정 과정이기 때문이며(Park et al., 2025), 무엇보다도 인간중심 제조 패러다임에서 협동로봇의 수용은 기술적 효용뿐 아니라 사용자의 인식과 태도에 의해 크게 좌우된다.

## 2. 연구 필요성

국내의 협동로봇 보급은 시장 전망과 달리 여전히 미미한 속도로 이루어지고 있다. 이는 협동로봇 기술의 도입이 단순한 기술적 선택이 아니라, 조직의 구조적 특성과 이를 사용하는 인간의 심리적 요인이 복합적으로 작용하는 복잡한 의사결정 과정이기 때문이다(Park et al., 2025). 무엇보다도 기업 규모에 따라 로봇 도입 단계와 의사결정 구조가 상이하게 나타난다는 점에서, 기술 수용에 대한 차별적 접근이 요구된다. 대기업의 경우 로봇 자동화에 대한 경험과 내부 역량이 이미 상당 수준 축적되어 있어

기술 도입이 ‘도입-운용 단계(Post-adoption)’에 진입해 있는 반면, 중소기업은 자본, 전문 인력, 기술 이해도 등의 제약으로 인해 여전히 ‘인식-도입 초기 단계(Pre-adoption)’에 머물러 있는 경우가 많다. 이러한 기업 규모별 격차는 중소기업의 디지털 성숙도 연구에서 확인된 바 있으며 (Quenum et al., 2025), 기업 규모에 따른 AI / 디지털화 채택의 격차 역시 실증적으로 제시되었다(Proietti & Magnani, 2025).

혁신 단계의 차이로 인해 대기업은 기술의 실제 성과와 운영 효율성 등 운영·확산 단계 요인이 더 크게 작용하는 반면, 중소기업은 기술을 처음 접하고 도입 여부를 판단하는 과정에서 용이성, 유용성, 안전성과 같은 인지 기반 요인과 조직·환경적 제약이 주요 결정 요인으로 작용한다. 따라서 로봇 도입 초기 단계에 있는 중소 제조기업의 기술 수용 의도를 규명하기 위해 기술수용모델(Technology Acceptance Model, TAM)과 TOE(Technology-Organization-Environment) Framework 기반의 인식·도입 요인을 중심으로 분석하고자 한다.

또한 본 연구는 이러한 현상의 구조적 원인을 규명하기 위해 다음 세 가지 핵심적인 연구 격차(Research Gap)를 해결하고자 한다.

첫째, 중소기업의 구조적 열위와 수동적 특성을 반영한 체계적인 연구가 부족하였다. 중소기업의 신기술 도입 의도는 합리적 효율성만으로 결정되기보다, 외부 환경 압력에 의해 크게 좌우되는 수동적 특성을 보인다. 기존 선행 연구는 특정 요인에 치중하거나 개별 변수 중심의 분석에 머물러 있어, 중소기업의 기술 도입을 조직 맥락에서 종합적으로 설명하는 데 한계가 있었다. 이에 본 연구는 조직 차원의 기술 도입 분석에 적합한 TOE Framework를 적용하여, 기술·조직·환경 요인이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향을 통합적으로 분석하고자 하였다. 구체적으로 기술 요인으로는 상대적 이점과 안전성, 조직 요인으로는 최고경영진 지원, 환경 요인으로는 정부 지원과 노동력 부족을 연구 변수로 설정하였다. 이와 같은 맥락에서 노동력 부족은 인구구조 변화에 기인한 중소 제조기업의 불가피한 외부 환경 압력으로, 협동로봇 도입을 촉발하는 핵심 배경 요인으로 간주된다.

둘째, 작업자가 협동로봇과의 상호작용 과정에서 느끼는 특유의 인적·심리적 요인인 '인지된 위험(Perceived Risk)'을 통합적으로 고려한 연구가 충분하지 않았다. 협동로봇은 인간과 근거리 작업 환경에서 사용된다는 특성상(Colgate et al., 1996), 기존 산업용 로봇과 달리 작업자의 안전 인식이 보다 직접적으로 개입된다(최정호 외, 2023). 그러나 국내 제조 현장은 협동로봇 도입에 필요한 안전 인프라와 명확한 가이드라인이 충분히 정착되지 않은 상황으로, 이러한 불확실성은 작업자의 지각된 위험을 증대시키는 요인으로 작용한다(Pavlou, 2003). 선행 연구에서도 인지된 위험은 기술 도입 의도에 부정적 영향을 미치며, 심리적 위축과 거부 행동으로 이어질 수 있음을 보고하고 있다(Akturan & Tezcan, 2012). 주목할 점은 작업자가 협동로봇을 잠재적 위협(threat)으로 인식하는 현상은 경제적·기술적 논리만으로는 설명하기 어려운 영역이다(Chemweno et al., 2020). 이에 본 연구는 인지된 위험을 핵심 매개변수로 포함하여 협동로봇 수용 과정의 심리적 특수성을 반영하고자 하였다.

셋째, 조직 수준의 구조적 요인과 개인 수준의 심리적 요인을 동시에 설명할 수 있는 통합 모델의 필요성이 제기된다. 기존 연구들은 TOE 또는 TAM을 개별적으로 적용하는 데 그쳤으며, 이로 인해 중소기업의 협동로봇 도입이라는 복합적 의사결정 과정을 충분히 설명하는 데 한계가 있었다. 따라서 조직 수준의 TOE Framework와 개인의 기술 수용 신념을 설명하는 기술수용모델(TAM)을 통합하고, 인지된 용이성(Perceived Ease of Use, PEOU), 인지된 유용성(Perceived Usefulness, PU), 인지된 위험(Perceived Risk, PR)을 핵심 매개변수로 설정함으로써 작업자 및 관리자의 기술 수용 의사결정 경로를 보다 심층적으로 규명하고자 하였다. 이러한 통합적 접근은 중소기업 협동로봇 도입에 대한 이론적 설명력을 제고함과 동시에, 정책적·실무적 시사점을 도출하는 데 중요한 기반이 된다.

요컨대, 본 연구는 대기업과 구별되는 중소기업의 혁신 단계 특수성과 협동로봇 도입 과정의 심리적·조직적 복합성을 반영하여, 협동로봇 도입 초기 단계에서의 기술 수용 의도를 체계적으로 규명하고자 하는 점에서 학문적·실천적 의의를 가진다.

## 제 2 절 연구 목적 및 문제

본 연구는 위에서 제기된 배경과 연구 필요성을 바탕으로, 중소기업 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 주요 요인들을 TOE-TAM 통합 연구 모형을 기반으로 실증적 규명을 목적으로 한다. 이와 같은 맥락에서 중소기업의 특수한 환경과 협동로봇의 본질적인 특성을 반영한 연구 모형을 통해 기존 기술 수용 연구의 한계를 극복하고 학문적·실무적 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구를 통해 달성하고자 하는 구체적인 목적은 다음과 같다:

- 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인을 TOE 관점에서 분석하고자 하였다. 기술 요인(상대적 이점, 안전성), 조직 요인(최고경영진 지원), 환경 요인(정부 지원, 노동력 부족)이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향을 실증적으로 규명함으로써, 중소 제조기업의 도입 의사결정에 작용하는 핵심 동인(Key Drivers)을 파악하고자 한다.

- 협동로봇의 수용 과정은 단순한 기술적 판단이 아니라, 조직적 의사결정과 사용자 인식이 결합된 복합적 과정으로 이해되어야 한다. 이에 TOE 요인과 기술수용모델(TAM)의 신념 변수인 인지된 유용성(PU)과 인지된 용이성(PEOU), 그리고 협동로봇의 특수성을 반영한 인지된 위험(PR)을 통합하여 매개 경로를 분석하고자 하였다. 이를 통해 중소기업에서 협동로봇 도입 의도가 형성되는 다층적 인과 구조를 실증적으로 검증하고, 기존 단일이론 기반 모델의 한계를 보완하고자 한다.

- 또한 TOE와 TAM의 통합을 통해 협동로봇 도입 의도를 설명하는 이론적 확장성과 설명력을 제고하고자 하였다. 아울러 실무적으로는 실증 분석 결과를 토대로 중소 제조기업이 확보해야 할 핵심 성공 요인(Critical Success Factors)과 정부가 제공해야 할 정책적 지원 방안을 제시함으로써, 협동로봇 보급 활성화 및 스마트 제조 전환 촉진에 기여하고자 한다.

이에 본 연구는 다루고자 하는 연구 문제는 다음과 같다.

“중소 제조기업에서 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 기술·조직·환경 요인은 무엇이며, 이러한 요인들이 사용자 인식(인지된 유용성, 인지된 용이성, 인지된 위험)을 통해 도입 의도에 어떠한 경로로 영향을 미치는가?”

### 제 3 절 연구 방법

본 연구는 중소 제조기업 종사자들이 스마트 제조 기술을 도입하는 의도에 영향을 미치는 요인들을 실증적으로 파악하기 위한 양적 연구(Quantitative Study) 방법론을 채택하였다. 연구의 목적을 달성하기 위해 설문조사를 통해 자료를 수집하고, SmartPLS를 활용한 PLS-SEM(Partial Least Squares Structural Equation Modeling: 부분 최소 제곱 구조방정식 모형) 분석을 수행하였다.

#### 1. 자료 수집 및 표본 선정

연구를 위해 국내 중소 제조기업에 종사하는 근무자 총 300명을 표본 대상으로 설정하였다. 제조업은 스마트 팩토리와의 밀접한 관계가 있는 산업이므로, 중소 제조기업 근무자를 중심으로 표본을 한정하였다.

자료 수집은 온라인 설문조사 방식으로 진행하였으며, 설문 문항은 기존 선행 연구에서 신뢰성과 타당성이 입증된 측정 지표들을 본 연구의 목적과 상황에 맞게 수정 및 보완하고 Likert 척도를 활용하여 측정되었다.

#### 2. 자료 분석 방법

설문조사를 통해 수집된 자료의 통계적 검정 및 가설 검정을 위해 SmartPLS 통계 프로그램을 활용하여 PLS-구조방정식모형 분석을 실시하였으며, PLS-SEM은 경로 분석을 위한 2세대 구조방정식 모형의 하나이며, 다음의 특징을 가진다: 첫째, PLS-SEM은 주성분 분석법을 사용하기 때문에 수집된 자료의 정규 분포에 대한 엄격한 가정으로부터 자유롭

다(Hair et al., 2014; Ma & Zhang, 2023). 둘째, PLS-SEM은 비교적 적은 수의 표본에서도 재표집 과정인 부트스트래핑(bootstrapping) 방법을 통해 가설에 대한 통계적 유의성을 검정할 수 있어 경로 분석의 유의미한 결과를 얻을 수 있다(Mendez et al., 2022).

PLS-SEM 분석은 일반적으로 다음 두 단계로 나누어 진행된다(Henseler et al., 2016):

- 측정 모델(Measurement Model) 평가: 잠재 요인과 측정 변수 간의 관계를 분석하여 연구 모형의 신뢰성 및 타당성을 검정한다.
- 구조 모델(Structural Model) 평가: 잠재 요인 간의 관계를 분석하여 연구 가설을 검정한다. 이러한 분석을 통해 본 연구에서 설정한 변수들 간의 인과관계 구조와 매개 변인의 역할을 신뢰성 있게 분석할 수 있다.

## 제 4 절 연구 구성

본 연구는 중소 제조기업 종사자의 스마트 제조 기술 수용 의도에 영향을 미치는 요인들을 실증적으로 규명하기 위한 것으로, 선행 연구들을 종합하여 다음과 같이 연구 구성을 설정하였다.

제1장 서론: 본 연구는 4차 산업혁명 시대에 중소 제조기업이 직면한 위기를 극복하고 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 스마트 제조 기술 도입이 필수적이라는 배경에서 출발한다. 이러한 문제 인식을 바탕으로, 중소 제조기업 종사자의 협동로봇 기술 수용 의도에 영향을 미치는 요인들을 실증적으로 규명하여 성공적인 전략 수립을 위한 실무적 시사점을 제공하는 것을 목적으로 한다. 연구의 배경과 목적을 명확히 하고, 연구의 범위와 방법, 그리고 전반적인 논문의 구성에 대해 기술하였다.

제2장 이론적 배경: 본 장은 스마트 제조와 협동로봇의 개념 및 특징 등 핵심 내용을 정의하고, 연구 모형의 이론적 토대가 되는 신기술 수용 이론들을 고찰한다. TOE Framework와 TAM을 심도 있게 논의하며, 선행 연구 검토를 통해 스마트 제조 기술 수용의 주요 성공 요인들을 도출하여 연구 모형 설계의 이론적 근거를 마련하였다.

제3장 연구 설계 및 가설 설정: 본 장에서는 이론적 고찰을 바탕으로 TOE의 요인과 TAM의 신념 변인을 통합한 통합 연구 모형을 설계하고 설정된 변수들의 조작적 정의와 측정 항목을 선행 연구를 참조하여 구체화하며, Likert 척도로 수정 및 보완하여 설문지를 구성하였다. 독립변수, 매개변수, 종속변수 간의 예상되는 영향 관계에 대한 연구 가설을 총체적으로 설정하였다.

제4장 실증 분석: 확보한 설문 데이터를 활용하며, SmartPLS 프로그램을 이용하여 PLS-SEM 분석을 수행하였다. 실증 분석은 측정 모델 평가와 구조 모델 평가 순서로 진행되며, 이 과정에서 수립된 연구 가설의 채택 여부를 실증적으로 검증하였다.

제5장 결론: 최종 장에서는 실증 분석 결과를 바탕으로 설정된 가설의 채택 및 기각 여부를 요약한다. 연구 결과는 이론적 시사점을 제공하며, 무엇보다도 중소기업 환경에서 최고 경영층의 적극적인 지원 및 흡수 역량의 중요성을 강조하는 실무적 시사점을 제시한다. 또한, 본 연구가 가지는 한계점 등을 명확히 논의하고, 향후 보다 심도 있는 후속 연구의 방향을 제언하며 논문을 마무리한다.

## 제 2 장 이론적 배경

### 제 1 절 스마트 제조

#### 1. 스마트 제조의 정의

스마트 제조란 기술을 사용하여 공장 내 및 제조 공급망 전반에서 물리적 및 디지털 프로세스를 조정하는 개념을 말한다(정은미 외, 2019). 이러한 프로세스에는 자재 소싱, 물류, 생산 및 처분이 포함되며, 스마트 제조의 주요 목표는 운영 성과를 개선하고 공급 및 수요 변동에 신속하게 대응하는 것이며, ICT(Information and Communication Technologies)를 활용하여 기존 제조업의 전 과정을 디지털화하고, 미래 첨단 산업으로 전환(Digital Transformation)함으로써 국가 산업구조를 혁신하기 위한 제반 활동으로 제품(Product)과 생산시스템(Production System), 그와 관련된 비즈니스 등 제품의 생산 및 이와 연계된 제조 활동을 포함한다(주영섭, 2019).

또한 제품의 기획, 설계, 생산, 유통·판매 등 전 과정이 IoT(Internet of Things), CPS(Cyber Physical System), IoS(Internet of Services) 등의 ICT와 융합하여 자동화 및 정보화되어 가치사슬 전체가 실시간 연동 통합됨으로써 생산성 향상, 에너지절감, 인간중심의 작업 환경을 구현하고, 최적비용 및 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산 과정을 말한다(임정우 외 2017).

#### 2. 스마트 제조 기술

스마트 제조는 제조 현장의 스마트화 및 지능화에 의해 적용되기 때문에 관련 기술로 구분될 수 있으며, 크게 공정 모델 기술, 데이터 기술, 상호운용성 기술, 제조 보안기술 등으로 분류되며(국가기술표준원, 2015), 다시 공정 모델 기술은 기술의 성격과 분야에 따라 [표 2-1]과 같이 어플리케이션, 플랫폼, 장비 및 디바이스로 구분된다(ETRI, 2018).

첫째 어플리케이션은 MES, ERP, PLM, SCM, 등 IT 플랫폼을 기반으로 제조

실행에 관여하거나 현장 디바이스로부터 수집한 데이터의 분석·판단을 수행하며(Mittal et al., 2019), 플랫폼은 센서 및 디바이스와 정밀제어 기기, 어플리케이션을 연결하는 중간 시스템으로 안전하고 효율적인 데이터 채널을 제공하는 역할을 하게 되고, 장비 및 디바이스는 스마트팩토리 감지(센싱) 및 제어를 통해 재고, 환경 및 에너지 등 생산 제반 환경 변화를 감지하여 플랫폼과 어플리케이션으로 전달하는 기능을 하게 된다.(정은미 외, 2019)

[표 2-1] 스마트 제조의 주요 공정 기술과 개념

대분류		소분류	설명
어플리케이션	비즈니스	APS (Advanced Planning and Scheduling)	원자재 및 생산능력을 최적 배분하는 생산계획 시스템
		SCM	제품의 생산·유통 프로세스를 통합망으로 관리하는 시스템으로, 관련 기업들이 실시간으로 정보를 공유하여 시장 수요에 기민하게 대응할 수 있도록 함
		ERP	제조·생산, 재무·회계, 인적자원 등 기업의 자원 관리 통합 시스템
		PLM	제품 전주기적 설계·해석·관리를 위한 솔루션으로 전주기적 제품 정보를 관리하고 고객 및 협력사에 협업 프로세스를 지원
	공장 운영	MES	생산계획 기반으로 제조현장을 모니터링하고 필요한 조치를 취하는 시스템
플랫폼	플랫폼	클라우드	컴퓨터 작업 내용을 컴퓨터 내부 또는 저장장치가 아닌 인터넷을 통해 외부에 저장할 수 있는 공간
		AR/VR/MR	AR(Augmented Reality, 증강현실) : 현실에 가상의 (동)화상을 투영하는 기술 VR(Virtual Reality, 가상현실) : 가상의 현실 체험 제공 기술 MR(Mixed Reality, 혼합현실) : 증강현실과 가상현실의 혼합
		IoT	사물에 센서를 부착해 네트워크를 경우하여 실

			시간으로 데이터를 주고 받는 기술	
		CPS(Cyber Physical System)	사이버 시스템(디지털 트윈) 과 현실세계의 물리적 시스템을 네트워크로 연동, 현실세계의 물리적 시스템을 제어 또는 예측하는 시스템	
		빅데이터	데이터 수집 분산처리, 원인분석, 예지분석, 처방분석, 인지분석 등의 데이터 처리 및 분석	
		보안	스마트팩토리 운영 관련 내·외부 위협을 방지하는 시스템	
장비·디바이스	제어 시스템	HMI(Human Machine Interface)	공정 데이터가 인간이 인지할 수 있는 형태로 나타나 제어가 가능한 인터페이스	
		SCADA(Supervisory Control and Data Aquisition)	중앙 제어 시스템이 원격지 시설장비를 중앙 집중식으로 감시·제어하는 시스템	
		DCS(Distributed Control System)	지리적으로 분산된 제어 루프를 사용하는 디지털 자동화 산업제어 시스템	
		CAx	컴퓨터 기술을 활용한 설계, 분석 및 제조 시스템(CAD, CAE, CAM 등)	
	통신	산업용 통신	다양한 장치를 연결하기 위한 데이터 교환, 데이터 제어 및 유연성의 방법을 제공하면서 모든 자동화 시스템 아키텍처의 백본 기술	
	장비	표식과 인지	AR/VR/MR 단말	AR, VR, MR용 단말로, 복잡한 기계조립, 유지보수 등에 활용
		제어 디바이스	Motion Controller	생산장비 및 시스템의 정밀 구동기기 제어 기술
			CNC (Computer Numerical Control)	컴퓨터를 활용한 수치제어 공작기계의 통칭

	측정 디바이스	스마트센서	각종 센서 및 소자를 활용하여 주로 영상신호를 생성하며 제조공정에 활용되는 센서의 통칭
생산현 장과 IoT		로봇	자동제어가 되며 재(re-)프로그램이 가능하고 다목적인 3축 이상의 자동조정장치로 산업 자동화 분야에 이용되는 로봇.
		머신비전	기계에 인간이 가지고 있는 시각과 판단 기능을 부여한 것으로 사람이 인지하고 판단하는 기능을 하드웨어와 소프트웨어의 시스템이 대신 처리하는 기술
		3D 프린팅	소재를 연속적 또는 단속적으로 적층하여 3차원 객체를 생성해 내는 제조 설비의 통칭
출처 : 스마트 제조혁신 기술개발사업 2020년도 예비타당성조사 보고서KISTEP('21)			

둘째 데이터 기술은 소프트웨어 기술과 하드웨어 기술로 구분 된다. 최근 급증하는 제조 공정 데이터를 실시간으로 처리하고 제어할 수 있는 기술의 수요가 증가하고 있으며(송근혜 & 한역수, 2023), 주로 산업 분야별 공정 및 공정 관리의 데이터 체계가 상이하여 데이터 기술 표준화의 중요성이 대두되고 있으며(Thoben et al., 2017), 소프트웨어 기술은 사물인터넷(IoT)을 이용한 데이터 획득, 클라우드 컴퓨팅을 통한 데이터 전송, 인공지능(기계학습) 데이터 해석 등을 포함하며, 하드웨어 기술은 사물인터넷(IoT)용 센서와 인공지능(기계학습)을 지원하는 반도체 및 가속기(accelerator)가 핵심 기술이 된다(Ramakrishnaa et al., 2017).

셋째 스마트 제조의 상호운용성은 일반적으로 센서·장비·제어장치 등 생산라인부터 자원관리시스템(ERP) 등 공장 내 정보시스템까지가 하나로 연결되어 실시간으로 관측·분석·의사결정·제어가 가능한 상태의 수직적 통합과 공장 내외부 가치사슬 전체에 걸친 정보가 공유되고 활용되는 상태의 수평적 통합으로 구분된다(임정우 외, 2017). 스마트 제조의 통합 및 상호운용성 문제를 해결하기 위해 세계 각국과 기업은 기존의 표준을 활

용한 아키텍처와 레퍼런스 모델을 개발 및 도입 중에 있는 상황에 있다 (Choi et al., 2016).

넷째 제조 보안 기술 : 최근 스마트 팩토리에 도입되는 설비·기기들은 유·무선 통신을 경유하여 네트워크에 접속하는 추세로 이에 부합하는 제조 보안 기술의 중요성이 대두되고 있으며(정은미 외, 2019), 단방향 보안 게이트웨이, 산업용 네트워크 포트 다중화 장비 등 다각적인 접근이 모색되고 있다(심재윤 & 이준경, 2016).

### 3. 스마트 제조의 중요성

스마트 제조(Smart Manufacturing)는 사이버 시스템과 물리적 시스템의 통합을 수반하며, 센서, 빅데이터, 인공지능(AI) 등의 ICT 기술을 활용하여 정보를 생성, 소통, 사용하고 이를 데이터 기반 의사결정 및 성능 최적화에 적용하는 것을 목표로 하며, 이는 궁극적으로 생산 활동 전반을 자동화, 지능화, 자율화하는 혁신 활동이다(임정우 외, 2017). 스마트 제조의 중요성은 국가 경제, 기업 경쟁력 확보, 운영 효율성 향상, 그리고 미래 제조업 패러다임 전환이라는 다층적인 측면에서 부각되고 있다(이상무 & 이재선, 2016).

#### 가. 국가 경제 및 제조업 경쟁력 강화의 핵심

국가 경제의 기반 유지를 위한 제조업의 역할과 경쟁력 확보는 국가 경제 전반의 생산성, 기술 혁신, 수출, 고용을 유지하는 데 매우 중요하다(Ramakrishnaa et al., 2017). 이와 같은 맥락에서 제조업 분야는 전체 무역의 약 70%를 차지하며, 제조업 경쟁력은 무역수지 흑자를 달성하는 데 필수적이다(이상무 & 이재선, 2016). 또한 글로벌 금융 위기 이후 주요 선진국들은 지속 가능한 경제 발전을 위해 제조업의 중요성에 주목하고 경쟁력 강화 전략을 추진하고 있다(McKinsey Global Institute, 2012). 제조업의 혁신은 지속 가능한 성장 전략으로 국가의 경제 성장과 고용 창출의 수단으로 활용된다(Wan et al., 2022). 더불어 스마트 제조는 글로벌 경쟁 우위 확보를 위한 제조업을 활성화하는 원동력으로 인식되고 있

으며, 로봇 기술을 바탕으로 융합 신산업을 창출하여 우리나라 제조업만의 경쟁 우위를 확보해야 한다(김태우 & 서창교, 2022).

#### 나. 운영 효율성 극대화 및 당면 과제 해결

스마트 제조는 기존 제조업이 직면했던 고질적인 문제들을 해결하고 혁신적인 운영 성과를 창출한다(Bokhorst et al., 2022). 스마트 제조 시스템 도입 기업은 가동률, 1일 생산량, 1인당 생산량이 획기적으로 개선되었으며, 이는 생산성 향상과 인력 효율화라는 근본적인 목표를 달성하는 데 기여한다(Kim et al., 2023). 그리고 제조 원가(재료비, 인건비 등)의 과도한 상승 문제를 해결하기 위한 방안으로, 제조원가, 재고량, 불량률 감소에 유의미한 효과를 나타내고 있다(정은미 외, 2019). 주목할 점은 제조원가 하락 효과가 크게 나타났는데, 이는 도입 기업에서 제조원가 인하에 효과가 집중되고 있음을 시사한다(Büchi et al., 2020). 또한 제품 수명주기가 짧아지고 고객 기호가 다변화되는 환경에서, 스마트 제조는 유연한 생산시스템 구축과 물류 최적화를 통해 제품을 보다 빠르게 시장에 내놓을 수 있도록 하며, 비용 상승 없는 다품종·소량 생산 체계를 구축하는 것을 목표로 한다(Chung et al., 2024). 그리고 프로세스 산업에서 스마트 제조는 예지 보전 기술 능력을 통해 설비의 고장에 따른 대량 손실 및 복구 비용을 절감하는 데 매우 중요하며, 체계적이고 지속적인 공장 가동 시스템(FEMS)을 구축하여 에너지 관리의 효율화를 달성할 수 있도록 한다(Mittal et al., 2019).

#### 다. 제조업 패러다임 전환과 혁신 촉진

스마트 제조는 단순한 공장 내 자동화를 넘어 산업 구조와 비즈니스 모델 자체를 혁신하는 전환의 과정(Majstorovic et al., 2024)으로 주요 목표는 다음과 같다.

첫째 스마트 제조는 제조업 활동 전반에 걸쳐 정보를 수집, 분석하여 활

융합으로써, 기획/설계, 생산, 유통/판매뿐만 아니라 물류, 사후 서비스 등 부가 가치 사슬 전반의 연계성과 통합성을 높여 새로운 제조업으로 이행하는 과정으로 가치사슬 전반의 혁신을 달성하고자 한다(Wan et al., 2022; Ma & Zhang, 2023).

둘째 IoT 센서, 기계 신호 등을 통한 '변화된 사건 감지' → '설비 제어/의사결정' → '물리적 구동/정보 달성'의 단계들이 생산 전략하에 끊임없이 반복되는 순환 구조를 형성하여, 보다 정확한 제어와 데이터를 기반으로 더 나은 의사결정을 가능하게 한다(Yang et al., 2018).

셋째 스마트 제조는 예지 보전, 렌탈, 구독 경제, 금융 연계 등 경계를 뛰어넘는 융복합을 통해 제품 혁신 및 비즈니스 혁신을 뒷받침하는 새로운 제조 시스템으로의 전환을 통해 기업 및 산업의 글로벌 경쟁력을 확보하도록 관점과 목표를 재정립하고 새로운 비즈니스 모델을 창출한다(Weking et al., 2020).

넷째 스마트 제조는 단순히 사람을 인공지능과 자동화로 대체하는 것이 아닌, 작업자의 역량을 향상시키고 '인간의 창의성(human ingenuity)'을 통합하는 데 중점을 둔다(Bhattacharya et al., 2023). 또한 일터 혁신을 통해 작업자의 숙련 축적과 자발적인 참여를 고취시켜 스마트 제조 시스템의 성과를 담보하여 중소기업 인력 활용 개선과 일터 혁신을 위한 중요한 요소로 작용한다(Nijland et al., 2025).

따라서 스마트 제조는 비용 절감이나 생산 효율성 제고라는 소극적 목표보다는 제품의 스마트화, 지능형 생산 방식 이행, 조직과 시장 혁신이라는 적극적인 목표하에 추진되어야 하는 시대적 전략이 될 것이다(Chung et al., 2024; Ejaz, 2024).

## 제 2 절 협동로봇

### 1. 협동로봇의 정의 및 시장 규모

#### 가. 협동로봇의 정의

협동로봇(Collaborative Robots, Cobots)은 인간 작업자와의 협업을 위해 설계된 로봇으로(Colgate et al., 1996) 첨단 제조 기술(Advanced Manufacturing Technology)의 한 종류이며, 인더스트리 4.0을 구현하는 핵심 기술 중 하나이다(Bortolini et al., 2017). 협동로봇(Cobots)의 정의는 시간이 지남에 따라 그 기능과 국제 표준의 발전 양상을 반영하며 확장 되어왔다(Guertler et al., 2023). Colgate 등(1996)은 협동로봇을 "인간 작업자와의 협업을 위한 로봇"이자, 인체공학, 생산성, 안전을 향상시킬 수 있는 "고성능 지능형 보조 장치(IAD)"로 처음 제안했으며, 이는 "하이브리드 인간 제어/컴퓨터 제어 로봇 장치"의 한 종류였다. Wannasuphoprasit(1998)은 협동로봇을 "새로운 재료 처리 기술"로 설명했고, Peshkin과 Colgate(1999)는 협동로봇을 "기존의 안전망 없이 인간 작업자와 직접 상호작용하고 공유된 페이로드(shared payload)를 처리할 수 있도록 설계된 로봇"으로 보았다. 2016년 국제 표준인 ISO 10218 (파트 1 및 2)은 협동 작업을 "특별히 설계된 로봇이 정의된 협업 공간 내에서 인간과 직접적으로 협력하여 작업하는 모든 작업"으로 공식 정의하며, 협동로봇의 안전 요구사항(ISO/TS 15066)이 필수적으로 고려하게 되었다. Gil-Vilda et al.(2017)은 협동로봇을 "제한된 움직임 내에서 인간을 가이드하거나 보조하도록 설계된 로봇"으로 정의했고, El Zaatari et al.(2019)은 제조업체들의 관대한 정의에 따라 "펜스 없이 인간과 나란히 작동하는 모든 로봇"을 협동로봇으로 특징지었다. 이러한 맥락에서 Sherwani et al.(2020) 연구진은 협동로봇을 "인간 작업자와 함께 작업하고 동료 작업자(co-workers)로서 동일한 작업 공간을 공유하도록 설계된 로봇"으로 규정했으며, Prassida와 Asfari(2022)는 협동로봇이 "인간 작업자와 같은 공간에서 동시에 작업하지만 서로 다른 작업을 수행하는 로봇"이라고 강조했다. 선행 연구 및 표준 문헌에서 제시된 협동로봇의 정의를 연도별로 정리한 결과는 [표 2-2]와 같다.

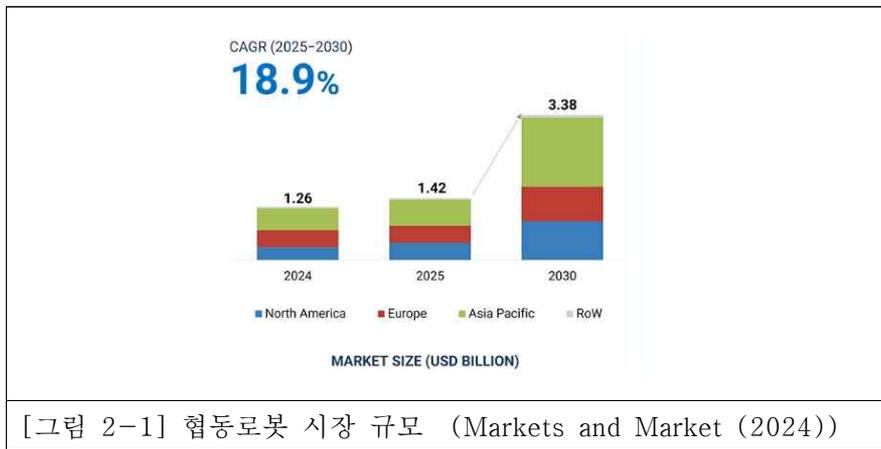
[표 2-2] 협동 로봇 정의

순번	저자(년도)	논문명	협동로봇 정의
1	Colgate et al., (1996)	Cobots: Robots for collaboration with human operators	인간 작업자와의 협업을 위한 로봇 (Robots for collaboration with human operators)
2	Wannasupho et al., (1998)	Cobots: A novel material handling technology	새로운 재료 처리 기술(A novel material handling technology)
3	Peshkin & Colgate (1999)	Cobots	인간 작업자와의 직접적인 상호작용을 위해, 공유된 페이로드(shared payload)를 처리하도록 의도된 로봇
4	Schraft et al. (2005)	PowerMate-A safe and intuitive robot assistant for handling and assembly tasks	안전하고 직관적인 핸들링 및 조립 작업용 로봇 보조 장치로 정의하며, 안전성과 직관성을 핵심 특징으로 강조.
5	ISO 10218 (Parts 1 and 2) (2016)	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots (표준)	특별히 설계된 로봇이 협업 공간 내에서 인간과 직접적으로 협력하여 작업하는 모든 작업.
6	El Zaatari et al. (2019)	Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview	제조업체 정의에 해당하는 관대한 정의로서) 펜스 없이 인간과 나란히 작동하는 모든 로봇
7	Sherwani, Asad, & Ibrahim (2020)	Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0)	인간 협력자들과 함께 작업하고 동료 작업자로서 동일한 작업 공간을 공유하도록 설계된 로봇으로 정의
8	Panchetti et al., (2023)	Assessing the Relationship between Cognitive Workload, Workstation Design, User Acceptance and Trust in Collaborative Robots	"공유되고 펜스가 없는 작업 공간에서 작업자가 자발적으로든 아니든 로봇과 안전하게 상호작용할 수 있는 기회"를 제공한다. 또한 현상학적으로는 "기계라기보다는 상호작용하는 동료"로 정의

#### 나. 협동로봇 시장 규모

세계 협동로봇 시장 규모는 [그림 2-1]에서 확인할 수 있듯이 지속적으로 가파른 성장세를 나타내고 있다. 글로벌 시장조사 기관 Market and Market의 “Collaborative Robot Market Size, Share & Trends, 2025 To 2030” 보고서에 따르면 글로벌 협업 로봇 시장은 2024년 약 12.6억 달러로 평가되었으며, 2030년 33.8억 달러로 성장할 것으로 전망되며, 예측 기간 동안 연평균 18.9%의 높은 성장률을 기록할 것으로 전망하고 있다.

이 시장은 전자상거래 및 물류 분야의 자동화 수요 증가, 임베디드 비전 통합, 산업용 IoT 및 AI 기술의 발전에 힘입어 주도되고 있으며, 기업들은 인력 부족과 임금 비용 상승 속에서 운영 효율성을 높이기 위해 노력하고 있으며(Zafar et al., 2024), 협동로봇은 인간의 노동력을 보완하는 유연하고 비용 효율적인 솔루션을 제공하여 다품종·소량 생산 제조 환경에서 생산성을 향상시키고 있다고(Pieskä et al., 2018) 협동로봇 시장의 성장 이유를 설명하고 있다.



또한 이러한 급격한 시장 성장의 주요 요인으로는 코로나19 팬데믹으로 인한 서비스 업종의 비대면 업무 확산과 더불어, 생산가능인구 감소에 따른 자동화 필요성 증대를 들 수 있다(Park et al., 2025). 이와 같은 맥락에서 자동차, 전자, 조선, 철강 등 다양한 제조 산업 분야에서 협동로봇의 적용 범위가 확대되면서 시장 성장이 가속화되고 있는 것으로 분석된다(Javaid et al., 2022).

## 2. 협동로봇의 특징 및 기능

### 가. 협동로봇의 특징

협동로봇(Cobots)은 [표 2-3] 내용과 같이 기존의 산업용 로봇

(Industrial Robots)과는 근본적인 설계 목적과 작동 방식에서 차이가 있다(Javaid et al., 2022). 협동로봇을 이용한 인간-로봇 협동 작업의 성공적인 구현을 위해서는 안전성(safety), 공존성(coexistence), 협동성(collaboration)이라는 핵심 특징이 충족되어야 한다(Arents et al., 2021). 기존 산업용 로봇과 달리 물리적 안전 펜스(Safety Fence)가 필요 없는 공유 작업 공간에서 작동하며, 힘 및 동력 제한(Power & Force Limiting, PFL), 속도 및 이격거리 감시(Speed & Separation Monitoring, SSM), 안전 정격 감시 정지 (Safety-rated Monitored Stop, SMS), 직접 교시(Hand Guiding, HG)와 같은 통합된 안전 기능을 통해 작업자의 안전을 최우선으로 확보해야 한다(최정호 외, 2023).

또한 일반적으로 경량이며, 간단한 터치 기반 인터페이스나 직접 교시(Hand Guiding)를 통해 비전문가도 쉽게 프로그래밍하고 재배치할 수 있어(Huber et al 2017), 유연성과 경제성을 바탕으로 다품종·소량 생산공정 및 육체적으로 힘들고 위험하거나 단순 반복적인 작업을 분담함으로써, 인간의 능력을 보완하는 도구의 역할을 수행하는 데 중점을 두고 있으며(Kopp et al., 2021), 기존 산업용 로봇의 안전 문제와 유연성 부족 등 다음과 같은 문제 및 한계를 극복하기 위해 등장했다.

[표 2-3] 협동로봇과 산업용 로봇의 특징 비교

분류	협동로봇 (Collaborative Robot)	산업용 로봇 (Industrial Robot)
안전 및 협업	인간 작업자와의 직접적인 상호작용을 위해 설계됨.	안전상의 이유로 작업자와 격리되어야 함.
안전 장치	별도의 물리적 안전 펜스(Safety Fence)가 필요 없음. 내장된 안전 기능(예: 충돌 감지 센서, 힘/동력 제한, 둥근 모서리)을 통해 안전을 확보함.	충돌 위험 방지를 위해 안전망(펜스)내에서 작동해야 함. 안전 기능이 부족하여 충돌 시 중대한 사고가 발생할 수 있음.
작동 원리 (기계적)	초기 개념상 본질적으로 수동적 (intrinsically passive)인 장치이며, 힘을 생성하는 강력한 액추에이터 대신 조향 가능한 비정역학적 조인트를 사용하여 제약을 구현함.	완전 구동식(fully actuated)이며, 작업자의 힘에 저항하기 위해 강력한 모터가 필요함.
크기 및 무게	일반적으로 경량이며 중소형위주로 유연한 구조를 가짐.	대형, 중형, 소형으로 분류되며 견고한 구조를 가짐.
설치 및	유연하게 재배치할 수 있는 능력을	일반적으로 고정된 설치 방식으로

재배치	가짐.	작동함.
프로그래밍	빠르고 쉬운 프로그래밍이 가능하며, 직접교시(Hand Guiding)기능과 간단한 터치 기반 태블릿 인터페이스를 사용함.	로봇 전문가를 위한 복잡한 교육이 필요하며, 다양한 버튼이 있는 복잡한 펜던트 제어장치(intricate pendant controls)를 사용함.
적용 작업 유형	다품종·소량 생산공정에 적합하며, 자주 변경되는 작업에 유연하게 대응.	주로 반복적인 작업을 수행하며 대량 생산 공정에 중점을 둠.
최고 성능 지표	안전 성능에 중점을 둠.	반복 정밀도 및 속도에 중점을 둠.
작동 속도	안전 기능을 위해 속도가 제한되어 산업용 로봇보다 동작 속도가 느림.	높은 속도를 내기 위해 설계되어 매우 빠름.
비용 및 투자	더 작은 투자규모와 더 빠른 투자회수(ROI)를 가짐. 안전 펜스 등 추가 설치 비용이 절감되어 총 비용 측면에서 경쟁력 있음.	더 큰 투자규모와 더 느린 ROI를 가짐.
역할 및 목표	인간의 인지적 능력, 유연성, 판단력과 로봇의 정밀성, 지구력, 반복성을 결합하여 생산성을 향상. 단순하고 지루하거나 위험한 작업을 분담하여 인간의 육체적/정신적 부담을 경감 시킴.	주로 정해진 작업을 독립적으로 수행하여 인간을 대체하는 데 초점을 둠.

출처 : Javaid et al., (2022), 최정호 외 (2023), 저자 편집

## 1) 안전성

안전성은 협동로봇의 가장 기본적이면서도 핵심적인 요구사항으로, 로봇이 작업 환경 내에서 발생할 수 있는 충돌(collision)이나 예기치 못한 접촉(contact)을 회피하거나, 불가피한 접촉이 발생했을 때 이를 신속히 감지하고 위험을 최소화할 수 있는 능력을 의미한다(Patil et al., 2023). 협동로봇의 안전성은 단순한 하드웨어적 기능이 아니라, 로봇 제어 시스템의 신뢰성, 동작 예측 가능성, 그리고 인체와의 물리적 상호작용 시 안전한 한계 내 제어 능력을 포함하는 포괄적 개념이다(Correia Simões et al., 2020).

협동로봇이 인간 작업자와의 협업을 수행하기 위해서는 무엇보다 작업자의 신체적 안전이 보장되어야 하며, 이를 위해 로봇 자체의 안전 성능 확보(safety performance assurance)가 선행되어야 한다(Hu, 2023). 이러

한 맥락에서 협동로봇의 안전성은 기계적 구조, 제어 알고리즘, 센서 시스템, 소프트웨어 기능이 통합적으로 작동함으로써 달성된다. 로봇의 힘(force)·토크(torque)·속도(speed)·가속도(acceleration)는 모두 인간의 생리적 한계를 고려하여 설계되어야 하며, 이러한 기준은 국제표준 ISO 10218 및 ISO/TS 15066에서 구체적으로 제시되고 있다(ISO, 2016). 협동로봇의 안전성 확보와 관련된 대표적인 국제표준은 ISO 10218: Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots이다.

- ISO 10218-1은 로봇 자체에 대한 안전 요구사항을 규정하고 있으며, 위험성 평가(risk assessment), 제어 시스템의 신뢰성(reliability of control systems), 필수 안전 기능(safety-rated functions) 및 위험 방지 조치(prevention measures)를 포함한다.
- ISO 10218-2는 협동 작업(collaborative operation) 환경에서의 안전 규정을 다루며, 협동 작업 동작모드(collaborative operation modes)를 네 가지로 구분하여 제시한다(ISO, 2016).

ISO 10218-2와 ISO/TS 15066에서 정의한 협동 작업 모드는 [그림 2-2]와 다음과 같다.



[그림 2-2] 협동로봇 동작 방식에 따른 분류(ISO 10218-2)

- Safety-rated Monitored Stop (SMS): 작업자가 로봇의 안전 작업영

역 내에 존재하지 않을 때만 일반 산업용 로봇처럼 작동하며, 작업자가 접근하면 즉시 정지하는 기능.

- Hand Guiding (HG): 작업자가 직접 로봇을 손으로 조작하거나 이동시키는 인터페이스로, 프로그래밍 및 위치 교시를 안전하게 수행할 수 있도록 설계됨.
- Speed and Separation Monitoring (SSM): 로봇과 작업자 간의 거리를 지속적으로 감시하여, 일정 거리 이하로 접근 시 로봇의 속도를 줄이거나 정지함으로써 충돌을 예방하는 기능.
- Power and Force Limiting (PFL): 접촉 시 로봇의 출력 또는 힘이 인체에 위해를 가하지 않는 수준으로 자동 제한되어, 물리적 충돌로 인한 상해를 최소화함.

이러한 협동 작업 모드는 각기 다른 협업 시나리오에서 요구되는 안전 기준을 명확히 제시함으로써, 다양한 산업 환경에서 협동로봇의 안전한 운용(safe operation)을 보장한다(양승훈, 이상복, 2024). 즉, 협동로봇의 안전성은 단순한 정지 기능에 국한되지 않고, 인간의 움직임과 의도에 반응하며 실시간으로 위험을 예측·회피하는 지능형 안전관리 체계(intelligent safety management system)로 발전하고 있다. 이러한 기술적 진보는 인간과 로봇의 신뢰 기반 협업(trust-based collaboration)을 가능하게 하는 근간이 된다(Suryoputro et al., 2025).

결론적으로, 안전성은 협동로봇 기술의 가장 근본적인 출발점이자, 공존성과 협동성을 실현하기 위한 선행 요건(precondition)이다(Bi & Wang 2021). 안전성이 확보되어야만 협동로봇은 인간과의 물리적 접촉을 허용하고, 나아가 협력적 작업 수행으로 발전할 수 있다. 따라서 안전성은 협동로봇의 기술적 신뢰성을 보장할 뿐 아니라, 산업 현장에서 인간 중심의 스마트 제조를 구현하기 위한 핵심 토대(core foundation)의 역할을 한다. 향후 협동로봇의 안전성은 센서·AI·제어 기술의 융합을 통해 능동적 자율 안전(Self-Adaptive Safety)의 형태로 진화하며, 이는 협동로봇의 산업 적용 범위를 확장하는 결정적 요인이 될 것이다(Haddadin & Croft, 2016; Hu, 2023).

## 2) 공존성

공존성은 협동로봇이 충분한 안전성을 확보한 상태에서 인간 작업자와 로봇이 동일한 작업 공간을 물리적으로 공유하면서도 상호 간섭이나 충돌 없이 안전하게 협업할 수 있는 능력을 의미한다(Haddadin & Croft, 2016). 즉, 공존성은 협동로봇이 인간과 함께 작동하기 위해 반드시 전제되어야 하는 핵심적인 기술적·개념적 특성으로, 협동로봇의 존재 목적을 규정하는 근본적 속성이라 할 수 있다. 이는 기존 산업용 로봇이 안전 펜스나 격리된 구역에서 인간과 물리적으로 분리된 상태로 작동했던 것과는 달리, 협동로봇이 인간과 같은 공간에서 함께 일할 수 있도록 설계된 새로운 형태의 제조 패러다임으로의 전환을 의미한다(ISO/TS 15066, 2016; Villani et al., 2018).

학술적 관점에서 공존성은 인간-로봇 상호작용(Human-Robot Interaction, HRI) 연구의 핵심 주제로, 인간의 행동 예측, 의도 인식, 신뢰 형성 등 인지공학적 요인과 밀접한 관련이 있다(Villani et al., 2018). 공존성이 높을수록 인간은 로봇과의 협업 상황에서 심리적 안정감과 신뢰를 느끼며, 이는 작업 효율성 향상으로 이어진다. 따라서 공존성은 단순한 물리적 안전 개념을 넘어 인지적 안전성(cognitive safety)의 차원으로 확장되어야 하며, 이를 통해 협동로봇이 인간의 작업 파트너로서 실질적 협업 관계를 구축할 수 있다(Ajoudani et al., 2018).

산업적 측면에서 공존성은 생산 현장의 공간 효율성을 극대화하고, 기존의 고정형 생산 라인을 유연한 재구성형 제조 시스템으로 전환하는 데 중요한 역할을 한다(Villani et al., 2018). 중소 제조기업의 경우, 공존성이 확보된 협동로봇을 도입함으로써 안전 펜스 설치와 같은 물리적 인프라 비용을 절감할 수 있으며, 작업자와 로봇이 동시에 협업할 수 있는 공간 활용이 가능해진다. 또한 작업자의 숙련과 경험을 로봇 시스템에 반영함으로써 인간 중심의 스마트 제조 환경을 조성하는 데 기여한다(Yang et al., 2023).

결론적으로 공존성은 협동로봇이 단순한 자동화 기계에서 벗어나 인간과

함께 일하는 지능형 협업 파트너로 진화하기 위한 핵심 요소이다. 공존성이 확보될 때 비로소 협동로봇은 인간의 창의성과 로봇의 정밀성이 결합된 새로운 생산 패러다임을 구현할 수 있으며, 이는 궁극적으로 인간 중심의 스마트 제조(Human-Centered Smart Manufacturing)로의 전환을 가능하게 하는 기반이 된다(Haddadin & Croft, 2016; Villani et al., 2018).

### 3) 협동성

협동로봇(Collaborative Robot, Cobot)의 가장 본질적인 특성으로서, 안전성과 공존성을 기반으로 인간과 로봇이 동일한 목표를 공유하며 상호작용을 통해 효율적으로 협업하는 능력을 의미한다(Villani et al., 2018). 협동성은 단순히 로봇이 인간의 작업을 보조하거나 반복 동작을 자동화하는 수준을 넘어, 로봇이 인간의 의도와 행동을 인식하고 이에 맞추어 능동적으로 대응하는 지능적 상호작용 능력을 포함한다(Ajoudani et al., 2018). 즉, 협동로봇은 인간 작업자의 판단력·창의성과 로봇의 정밀성·지속성을 상호 보완적으로 결합하여, [그림 2-3]처럼 인간-로봇 협업(Human-Robot Collaboration, HRC)을 실질적으로 구현하는 역할을 수행한다.



[그림 2-3] 협업시스템 출처: 한국 로봇 산업 협회

협동성은 기존 산업용 로봇의 단방향적 제어 구조에서 벗어나, 양방향(interactive)·적응형(adaptive) 상호작용을 가능하게 한다는 점에서 중요한 의미를 지닌다. 이러한 협동은 음성 인식, 제스처 감지, 시각 인식, 촉

각 피드백 등 다양한 상호작용 모달리티(modality)를 통해 실현되며, 이는 협동로봇이 인간의 의도(intent)를 추론하고 환경적 맥락(context)을 이해할 수 있도록 하는 핵심 기술적 기반이다(Ajoudani et al., 2018). 따라서 협동성은 단순한 기술적 기능의 조합이 아니라, 인지적 상호이해(cognitive mutual understanding)와 물리적 상호작용(physical interaction)의 통합을 전제로 하는 인간 중심의 협업 메커니즘이라 할 수 있다.

국제표준 ISO/TS 15066(2016)에서는 협동성(collaboration)을 “인간과 로봇이 동일한 공간에서 상호작용하며 공동의 작업을 수행하는 과정”으로 정의하며, 협동 작업 모드를 “human and robot share work tasks concurrently”라고 명시하고 있다. 이 정의는 협동로봇이 인간과 함께 물리적 공간뿐 아니라 작업의 인지적 영역(cognitive workspace)까지 공유함을 의미한다. 즉, 협동성은 공존성의 공간적 개념을 확장하여, 인간과 로봇이 작업의 의도, 목표, 순서, 책임 분담을 공유함으로써 진정한 협력적 파트너십을 형성하는 단계로 발전시킨다(Haddadin & Croft, 2016).

산업적 관점에서 협동성은 인간과 로봇이 각각의 강점을 활용하여 공동 목표를 달성하는 생산 전략으로 이해된다. 인간은 판단과 창의적 문제 해결을 담당하고, 로봇은 정밀 작업과 반복 업무를 수행함으로써 상호 보완적 역할 분담이 이루어진다(Villani et al., 2018). 이는 다품종·소량 생산 환경에서 작업 효율성을 극대화하는 핵심 요인으로 작용하며, 실제로 협동로봇 도입 기업들은 생산 유연성과 품질 안정성 측면에서 높은 개선 효과를 보고하고 있다(Weiss et al., 2021).

따라서 협동성은 기술적 진보를 넘어 인간 중심의 생산 철학(Human-Centered Manufacturing Paradigm)으로 확장되고 있으며, 이는 인더스트리 5.0의 핵심 가치인 인간 중심성(Human-centricity)과 직접적으로 연결된다(Bhattacharya et al., 2023). 결국 협동성은 단순히 인간과 로봇의 물리적 협업을 의미하지 않는다. 이는 인간의 인지적·사회적 역량과 로봇의 기계적·지능적 역량을 상호 보완적으로 융합하여, 인간의 창의성과 로봇의 계산능력이 시너지를 이루는 새로운 형태의 인간-로봇 관계

를 구축하는 과정이다(Ajoudani et al., 2018; Villani et al., 2018). 따라서 협동성은 협동로봇 연구의 최종적 진화 단계이자, 향후 지능형 제조 시스템이 추구해야 할 핵심 패러다임으로 볼 수 있다.

#### 나. 협동로봇 구성

협동로봇의 구성은 [그림 2-4]와 같이 매니퓰레이터(Manipulator), 티칭 펜던트(Teach pendant), 제어 시스템(Control system), 엔드 이펙터(End effector) 등의 주요 요소로 구성되어 있으며(Wang et al., 2025), 각 부분에는 다양한 센서(Sensor)가 통합되어 있다. 매니퓰레이터는 로봇의 팔 역할을 하며, 정밀한 움직임을 통해 물체를 이동시키고 조작하는 물리적 동작을 수행한다. 티칭 펜던트는 작업자가 로봇의 동작을 직접 제어하거나 프로그래밍할 수 있는 사용자 인터페이스 장치로, 직관적인 조작 환경을 제공한다. 제어 시스템은 협동로봇의 두뇌 역할을 담당하며, 동작을 계획하고 센서 데이터를 실시간으로 처리하여 안전하고 정확한 작업 수행을 보장한다. 엔드 이펙터는 인간의 손에 해당하는 부분으로, 작업 대상물을 직접 접촉하여 잡기, 조립, 도구 사용 등의 다양한 작업을 수행한다(Hameed et al., 2023).



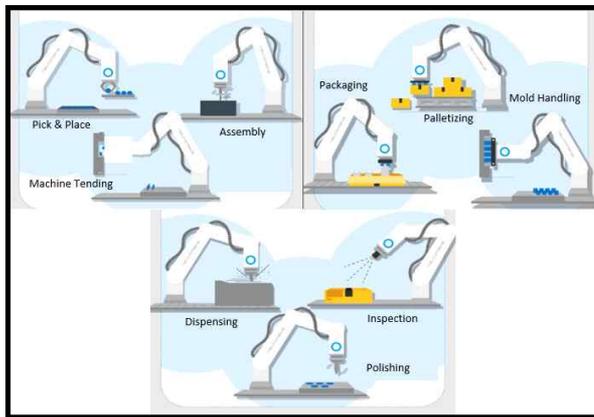
[그림 2-4] 협동로봇의 구성 (Doosan Robotics)

이러한 구성 요소들은 협동로봇이 인간과 동일한 작업 공간에서 안전하고 효율적으로 작업할 수 있도록 유기적으로 통합되어 있다(Polonara et al 2024). 특히 사용자 친화적인 인터페이스와 직관적인 프로그래밍 방식은 생산 현장의 비전문가도 로봇을 쉽게 조작하고 활용할 수 있게 함으로써, 중소 제조기업의 유연한 생산 체계 구축에 기여한다(Borboni et al 2023, Wanget al., 2025).

#### 다. 협동로봇의 기능

협동로봇은 현재, 주로 단순하고 반복적인 작업 영역에 활용되고 있으며 (Keshvarparast et al., 2020), 이는 협동로봇이 지루하고, 반복적이며, 단조로운 작업을 대신하고, 작업자의 육체적 부담 및 관성 관리 문제로 인한 인체공학적 스트레스를 줄이도록 도우며 돕기 때문이다.

협동로봇이 수행하는 주요 적용 기능은 [그림 2-5]와 같다(Hollerer et al., 2020).



[그림 2-5] 협동로봇의 기능 출처 : 한국로봇산업 진흥원

- 물체의 이송 (Pick & Place): 협동로봇의 중요한 특징 중 하나이며, 부품을 집어 다른 위치에 놓거나, 물품을 피킹(picking)하고 운반하는 작업에서 활용된다.
- 머신 텐딩(Machine Tending): 자동화된 기계에 부품을 공급하거나 완성된 부품을 꺼내는 작업으로, 공정 작업 중 주요 기능으로 간주된다.

- 조립(Assembly): 협동로봇이 중요한 역할 중 하나를 수행하는 분야이며, 자동차 및 전자 부품 등 다양한 산업에서 활용된다.
- 포장(Packaging): 물품 포장 작업에 사용되며, 생산품의 품질 향상에 기여할 수 있다.
- 적재(Palletizing): 물품을 팔레트(pallet)에 쌓는 작업으로, 고중량 물품 처리에도 활용된다.

이 외에도 협동로봇은 다음과 같은 작업에서 널리 활용되고 있다:

- 검사(Inspection): 제품 품질 검사 및 테스트 등 인간이 장기간 일관되게 수행하기 어려운 지루한 작업을 높은 정확도로 자동화한다.
- 도장/도포 및 투여(Dispensing/Coating): 도장(Painting) 및 접착제 도포 등과 같은 응용 분야에 포함될 수 있으며, 신발 제조 공정의 유해 화학물이 사용되는 접착 공정에서도 활용된다.
- 표면 연마(Polishing): 표면 마감 작업(surface finishing operations)에 사용되는 가능한 영역이며, 주로 금형 연마 작업과 같이 노동집약적인 작업을 대체하여 인간의 작업 부하를 실질적으로 줄일 것으로 예상된다.
- 금형 보조작업(Mold Handling): 자동차 부품 표면처리 공정에서 지그 장착부터 도장, 검사 및 금형 연마 작업에 이르기까지 다양한 공정을 지원한다.

또한 다양한 엔드 이펙터의 개발과 협동로봇 관련 기술의 지속적인 발전에 따라 그 활용 영역은 계속해서 확대되고 있다(Kakade et al., 2023). 협동로봇은 유연한 적용을 위해 단순한 프로그래밍이 가능하며, 공장 내에서 쉽게 배치 및 재배치될 수 있다(Rossi et al., 2020). 인공지능, 빅데이터, 디지털 트윈 등 신기술의 융합과 다기능 Gripper 설계를 통해 협동로봇은 다양한 작업에 대한 유연성 및 정확성을 높여가며 새로운 산업 분야 및 비전통적인 분야로 그 활용 영역을 넓혀가고 있다(최정호 외, 2023).

### 3. 협동로봇 연구 동향

저자는 협동로봇(Cobots) 관련 연구 동향을 [표 2-4]와 같이 정리하였다. Colgate (1996) 등에 의해 처음 개념이 제안된 초기 정의 및 기반 기

술(I. Foundation & Architecture) 단계에서 시작하여, 인간 작업자와의 협업 및 물체 조작을 목표로 하는 지능형 보조 장치(IAD) 기술을 구축하고, 가상 표면 제어와 같은 기술적 아키텍처를 연구하는 데 집중되었다. 이후, 협동로봇이 안전성, 인체공학 및 수용성 (II. Safety, Ergonomics & Acceptance) 문제를 해결하는 것이 필수적인 연구 영역으로 자리 잡으면서, ISO/TS 15066 및 EN ISO 10218과 같은 국제 안전 표준을 충족하기 위한 4가지 협업 모드(SMS, HG, SSM, PFL) 구현, 로봇-작업자 간 충돌 모델링 및 안전 제어 알고리즘 개발, 그리고 작업자의 스트레스, 인지 부하, 신뢰 및 수용도와 같은 인간 중심 요소가 주요 연구 주제로 부각되었다. 최근 동향(III. Cognition, Control & AI)으로 넘어오면서, 연구는 로봇의 지능화 및 고도화에 초점을 맞추어, 머신러닝(ML) 및 딥 강화 학습(DRL)을 활용한 작업자 행태/감정 인식 및 협업 경로 학습 연구가 활발하며, 직관적인 직접 교시(Hand Guiding) 프로그래밍의 단순화 뿐만 아니라, 디지털 트윈, 가상화 시뮬레이션, 작업 할당 및 스케줄링 최적화 등 Industry 4.0 및 Industry 5.0 시대의 유연하고 인간 중심적인 제조 시스템 통합을 위한 기술 개발에 중점을 두고 있다.

[표 2-4] 협동로봇 관련 연구 동향 분석 (1996년~2023년)

단계	저자(연도)	논문명	연구 내용
I. 초기 정의 및 기술 (Foundation & Architecture)	Colgate et al. (1996)	Cobots: Robots for collaboration with human operators	인간 작업자와의 협업을 위한 로봇(코봇) 개념 및 아키텍처 정의.
	Akella et al. (1999)	Cobots for the automobile assembly line	자동차 조립 라인에 협동로봇을 적용하고 지능형 보조 장치(IAD)기술을 검토.
	Gillespie et al. (2001)	A general framework for cobot control	코봇 제어를 위한 일반적인 프레임워크 제시.
II. 안전성, 인체공학 및 수용성 (Safety, Ergonomics & Acceptance)	Hinds et al. (2004)	Whose job is it anyway? A study of human-robot interaction in a collaborative task	협업 작업에서 인간과 로봇 간의 작업 분담에 대한 인간-로봇 상호작용(HRI) 연구.
	Arai et al. (2010)	Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly	협업 조립 작업에서 로봇 협업으로 인해 유발되는 작업자의 스트레스 평가.
	Matthias et al. (2011)	Safety of collaborative industrial robots:	협업 조립 로봇 개념에 대한 안전 인증 가능성 및 안전

		Certification possibilities...	성 논의.
	Elprama et al. (2016)	Acceptance of collaborative robots by factory workers: a pilot study...	공장 작업자의 코봇 수용도에 대한 파일럿 연구. 사회적 신호 (social cues)의 중요성 및 긍정적 영향 확인 .
	Simões et al. (2022)	Designing human-robot collaboration (HRC) workspaces in industrial settings...	산업 환경에서의 HRC 작업 공간 설계에 대한 체계적인 문헌 검토.
III. 인지, 제어 및 지능화 (Cognition, Control & AI) - 최근 동향	El Zaatari et al. (2019)	Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview	협업 산업 작업을 위한 코봇 프로그래밍 개요(ML, 시연을 통한 학습 등).
	Zhou et al. (2022)	Multi-robot multi-station cooperative spot welding task allocation...	다중 로봇/다중 스테이션 협동 점용접 작업 할당(단계별 최적화 기반) 사례 연구.
	Jahanmahin et al. (2022)	Human-robot interactions in manufacturing: A survey of human behavior modeling	제조 분야의 HRI에서 인간 행동 모델링에 대한 설문 조사.
	Diachenko et al. (2022)	Industrial collaborative robot Digital Twin integration and control using Robot Operating System	산업용 협동로봇 디지털 트윈 통합 및 제어(ROS 사용).
	Jeon et al. (2024)	Deep Reinforcement Learning for Cooperative Robots Based on Adaptive Sentiment Feedback	적응형 감정 피드백기반의 딥강화 학습을 통한 협동로봇 연구.
	Yu et al. (2023)	COACH: Cooperative Robot Teaching	기계 학습(Machine Learning)을 사용한 협력 로봇 교시 (teaching) 연구.
	Zhao et al. (2023)	A Dual-Arm Robot Cooperation Framework Based on a Nonlinear Model Predictive Cooperative Control	비선형 모델 예측 협력 제어기반의 양팔 로봇 협력 프레임워크.
	Rinaldi et al. (2023)	Sustainability of Human-Robot cooperative configurations: findings from a case study	HRC 구성의 지속 가능성연구 (경제적/환경적/사회적 측면).

출처 : 저자 편집

한편 국내의 협동로봇 관련 연구는 협동로봇 자체 기술적인 하드웨어 (HW) 구조, 구동, 제어 및 기구학적 특성을 다루는 설계 및 기반 기술 연구와 작업자 안전 확보(ISO/TS 15066 준수), 위험성 평가, 그리고 직관

적인 프로그래밍 및 인지 시스템 구축에 관한 안전 및 협업 시스템 구현 연구, 그리고 실제 제조 현장 적용, 생산 효율성 증대, 첨단 소프트웨어 기술 융합, 그리고 작업자 수용성 및 경험 개선에 초점을 맞춘 현장 적용 및 운영 효율화에 관한 연구로 나누어 [표 2-5]와 같이 선행 연구를 정리하였다.

[표 2-5] 국내 협동로봇 관련 연구 동향 분석

단계	저자 (연도)	논문명	연구 내용 (Research Content)
I. 설계 및 기반 기술 연구 (Design and Foundational Technology)	김정영 외 (2019)	고출력 및 경량 협동로봇 위한 케이블-유압 구동 3 자유도 매니플레이터 설계 및 구현	고출력(High Output)과 저관성 (Low Inertia)을 동시에 확보한 협동로봇을 위해 케이블-유압 구동 방식(Cable-Hydraulic Driven Actuation)의 3자유도 매니플레이터를 설계하고 구현
	김도원 외 (2020)	로봇 암의 다양한 관절 구 성을 위한 모듈형 링크 체 결 메커니즘	다양한 로봇 암 관절 구성을 위 한 모듈형 링크 고정 메커니즘 개발에 관한 연구
	김기성 외 (2021)	Offset Wrist를 갖는 6자유 도 협동로봇의 역기구학 해 석	오프셋 손목을 가진 6-자유도 (DOF) 협동로봇의 역기구학 분 석을 수행
	이주찬 외 (2020)	협동로봇의 관절구동 제어 를 위한 영구자석 동기전동 기의 제어변수 추정	코봇 제어를 위한 일반적인 프 래임워크 제시.
II. 안전 및 협업 시스템 구현 (Safety and Collaboration System Implementati on)	전진우 외 (2019)	협동로봇 설치작업장 위험 성평가 방법 개발 및 규제 대응	협동로봇 작업장(cobot orkplace)의 안전성 확보 및 규 제 대응을 위한 위험성 평가 방 법론 개발에 중점을 둔 연구
	김지형 외 (2019)	센서 및 카메라 비전을 활 용한 OPC UA 기반 협동 로봇 가드 시스템의 설계 및 구현	센서 및 카메라 비전을 활용하 여 OPC UA 기반의 협동 로봇 가드 시스템을 설계하고 구현
	염승호 외 (2020)	모바일 플랫폼 기반 협동로 봇의 사용자 추종을 위한 초음파 센서 활용 기법	초음파 센서를 활용하여 이동 플랫폼 기반 협동로봇의 작업자 추적 기술에 대해 연구
	김윤희, 김진오 (2020)	협동로봇 활용을 위한 작업 안전 시나리오 설계 방법론 연구	협동로봇 적용을 위한 작업 안 전 시나리오 설계 방법론을 제 시.
	한민국 외 (2020)	산업용 협동로봇의 직접 교 시를 위한 DMP 제어의 교 시 정밀도 개선 알고리즘	산업용 협동로봇의 시연 기반 학습(learning from demon- stration)을 용이하게 하기 위한 DMP(Dynamic Movement Primitive) 정밀도 향상에 관한 연구.

III. 현장 적용 및 운영 효율화 (Field Application and Operational Efficiency)	김재은 외 (2021)	협동로봇의 건전성 관리를 위한 머신러닝 알고리즘의 비교 분석	협동로봇의 건전성 관리(Integrity management)를 위한 기계 학습 알고리즘을 비교 분석
	이수철 외 (2022)	중소기업 제조 공정 혁신 기술 도입 활성화를 위한 디지털 트윈 기술 적용 - 협동로봇 적용 사례	디지털 트윈 기술을 중소기업의 혁신 제조 공정에 도입하는 협동로봇 사례의 적용 가능성을 연구
	허인석 외 (2023)	산업용 협동로봇의 경험품질 정의를 위한 사용자 요구조건 구조화	협동로봇의 경험 품질(QoE)을 정의하고, 사용자 요구조건(유연성, 쉬운 설정, 안전 등)을 구조화하는 연구를 수행
	황석빈 외 (2023)	혼합현실기반 비접촉식 협동로봇 조작 시스템= 혼합현실 기반 비접촉 협업 로봇 조작 시스템	혼합 현실(Mixed Reality) 기술을 활용하여 협동로봇을 비접촉 방식으로 조작할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구.
	김진세 외 (2022)	협업로봇의 센싱 데이터에서 특징 클러스터 기반 학습 모델의 협동 로봇 센싱 데이터의 특징 클러스터 기반 학습 모델 성능 평가 기법- 성능 평가 기법	협동로봇에서 수집된 센싱 데이터를 기반으로 특징 클러스터(feature cluster)를 활용하여, 로봇의 인지 및 제어에 사용되는 학습 모델(learning model)의 성능을 평가하는 기법을 제시.

출처 : 저자 편집

#### 4. 로봇 지원사업 및 도입 사례 분석

##### 가. 로봇 활용 제조혁신 지원사업 분석

본 연구는 “중소 제조기업의 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인을 분석”함에 있어, 실제 산업 현장에서의 로봇 도입 현황과 그 성과를 실증적으로 검토할 필요성이 있다고 판단하였다. 특히, 협동로봇은 스마트 제조의 핵심 요소 중 하나로, 중소기업의 생산성 향상과 근로환경 개선, 인력난 해소 등 다양한 측면에서 혁신적 대안으로 주목받고 있으나, 기술·조직·환경 요인에 따른 도입 격차가 여전히 존재한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 이론적 분석을 보완하기 위해, 정부 주도형 정책 사업인 “로봇 활용 제조혁신 지원사업”의 사례를 실증적 분석 자료로 활용하였다.

「로봇 활용 제조혁신 지원사업」은 한국로봇산업진흥원(KIRIA)에서 주

관하여 추진하는 대표적인 산업 혁신 프로그램으로, 중소·중견 제조기업의 자동화 수준 향상과 생산 경쟁력 강화를 목적으로 한다. 본 사업은 로봇을 제조 현장에 직접 도입함으로써 생산성 향상, 품질 안정성 제고, 불량률 감소, 근로자 작업 환경개선 등 실질적인 혁신 효과를 도모하고 있다. 또한, 단순 설비 지원에 그치지 않고 로봇 도입 전·후 컨설팅, 시스템 통합(SI), 교육 및 유지보수까지 포괄하는 통합 지원 체계를 갖추고 있어, 중소기업의 기술적 진입장벽을 완화하는 역할을 수행한다.

이번 분석에서는 2022년부터 2024년까지 해당 지원사업을 신청하여 선정된 241개 기업을 분석 대상으로 선정하였다. 이는 협동로봇 및 산업용 로봇을 실제로 도입한 기업의 데이터를 기반으로, 중소 제조기업의 로봇 도입 동향과 효과를 객관적으로 파악하기 위함이다. 분석 자료는 한국로봇산업진흥원이 발간한 「로봇활용제조혁신지원사업」 사례집을 활용하였으며, 이를 통해 다음 세 가지 측면에서 분석을 수행하였다.

첫째, 도입 현황 분석을 통해 로봇이 주로 활용된 업종, 공정 유형, 로봇 형태(산업용·협동 로봇)의 분포를 확인하였다.

둘째, 도입 효과 분석에서는 생산성 개선율, 불량률 감소율, 작업환경 개선 등 정량적 지표를 중심으로 실제 성과를 측정하였다.

셋째, 정성적 효과 분석을 통해 인력 재배치, 근로 만족도 향상, 산업재해 요인 감소 등 비경제적 효과를 파악하였다.

이를 종합하면, 본 연구의 협동로봇 도입 의도 분석은 단순히 인식적 요인(perception factors)에 머무르지 않고, 실증적 도입 성과를 통해 중소기업의 도입 결정 요인을 다차원적으로 이해하기 위한 시도로 볼 수 있다. 즉, 협동로봇이 중소 제조기업의 스마트 제조 전환 과정에서 어떤 실질적 가치를 창출하는지를 검증함으로써, 향후 로봇 도입 촉진을 위한 정책적·산업적 시사점을 제시하고자 한다.

#### 1) 연도별 지원기업 업종 분석

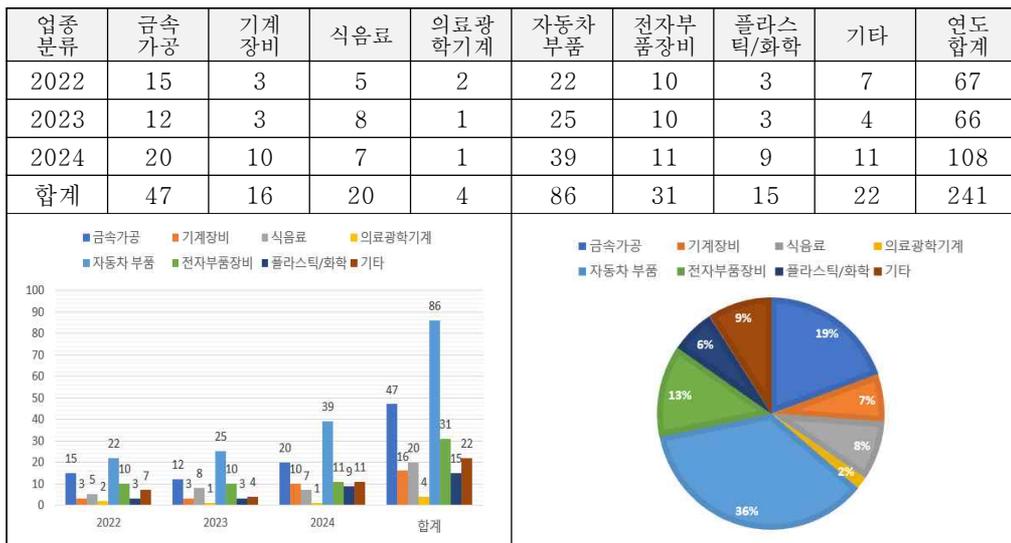
[표 2-6]에서 제시된 바와 같이, 참여기업의 업종별 분포를 살펴보면 자

동차 부품 산업이 86개사 (35.7%)로 가장 높은 비중을 차지하였다. 그 뒤를 이어 금속가공업 47개사(19.5%), 전자부품·장비업 31개사(12.9%), 식음료업 20개사(8.3%), 기계장비제조업 16개사(6.6%), 플라스틱·화학산업 15개사(6.2%), 기타 산업 22개사(9.1%), 의료·광학기기 4개사(1.7%) 순으로 나타났다.

이러한 업종별 분포는 국내 중소 제조업의 산업 구조적 특성과 함께 공정의 자동화 적합도(Automation Fit Index)를 반영한 결과로 해석된다. 무엇보다도 자동차 부품 산업(35.7%)은 용접, 조립, 검사 등 반복적이고 고정밀을 요구하는 공정이 많아, 로봇 자동화의 투자수익률(ROI)과 운용 신뢰성(operational reliability)이 빠르게 검증된 산업군이다.

이 결과는 Villani et al., (2018)의 선행 연구에서도 확인된 바 있으며, 자동차 부품 산업이 로봇 및 협동로봇 도입 효과가 가장 높은 분야로 지속적으로 보고되고 있다. 즉, 본 연구의 분석 결과는 자동차 부품 산업이 로봇 자동화의 실증적 성과가 가장 빠르게 축적된 대표 산업이라는 점에서 선행 연구와 동일한 경향을 보인다.

[표 2-6] 로봇활용제조혁신지원사업 로봇 도입 업종 분류



출처 : Casebook of Robotics Manufacturing Innovation Support Project  
2022~2024(한국로봇산업진흥원)

반면, 금속가공업(19.5%)은 다품종·소량 생산 체계가 일반적이기 때문에, 공정 전환의 유연성(Flexibility)이 중요하며 이에 따라 협동로봇(Cobot)의 도입이 활발하게 이루어지고 있다. 이는 Bi & Wang(2021)의 연구 결과와 일치하며, 중소 금속가공업체에서 협동로봇이 숙련 인력 부족 문제를 보완하고 생산 유연성을 강화하는 효과가 있다고 보고된 바 있다.

또한, 전자부품 및 장비산업(12.9%)은 정밀조립 및 검사 공정 중심의 산업 구조로 인해, 비전 시스템(Vision System)을 결합한 고정밀 다관절로봇의 활용이 증가하고 있다. 이러한 경향 역시 Ajoudani et al.(2018)과 Hameed et al.,(2023)의 연구에서 제시된 결과와 부합하며, 정밀 제조업에서 인적오류 감소와 품질 일관성 향상에 기여함을 보여준다.

식음료, 플라스틱·화학 산업군의 경우, 위생성·안정성 확보가 핵심 요구조건으로, 비 접촉형 공정 자동화와 로봇 기반 포장·검사 공정의 도입이 확대되고 있다. 이는 Bhattacharya et al.(2023)이 제시한 “스마트 제조의 위생·안전성 통합 트렌드”와 같은 맥락으로, 협동로봇 기술이 제조 현장의 인간 중심 안전·위생 자동화(Human-Centered Safe Automation)를 강화하는 방향으로 발전하고 있음을 시사한다.

이와 같은 결과는 협동로봇을 포함한 로봇 자동화 기술이 전통적인 중공업 중심 제조업뿐 아니라, 다품종·소량 생산 위생·정밀 공정 등 인간 친화적 생산 환경으로 확산되고 있음을 보여준다. 따라서 본 연구의 분석 결과는 선행 연구들과의 비교를 통해, 협동로봇이 산업별 공정 특성에 따라 도입 목적·효과·적용 방식이 차별화되고 있음을 실증적으로 확인하였다.

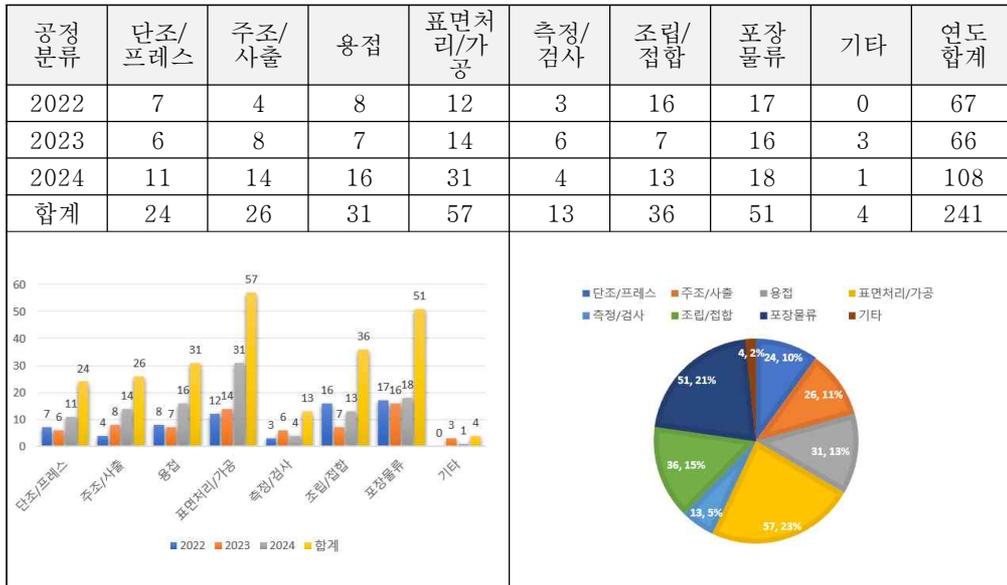
결과적으로, 본 연구는 협동로봇 도입의 산업별 확산 양상이 스마트 제조로의 전환 성숙도(Manufacturing Transition Maturity)와 밀접히 연관되어 있음을 제시함으로써(이정철 외, 2019), 향후 중소 제조기업의 기술 수용성 분석에 실증적 근거를 제공한다.

## 2) 연도별 적용 공정 분석

[표 2-7]에서 제시된 3년간 누적 241개 로봇을 적용한 공정 분류를 살

펴보면, 표면처리·가공 공정이 57건(23.7%)으로 가장 높았으며, 포장·물류 51건(21.2%), 조립·접합 36건(15.0%), 용접 31건(12.9%), 주조·사출 26건(10.8%), 단조·프레스 24건(10.0%), 측정·검사 13건(5.4%), 기타 4건(1.7%) 순으로 나타났다.

[표 2-7] 연도별 로봇 적용 공정



출처 : Casebook of Robotics Manufacturing Innovation Support Project  
2022~2024(한국로봇산업진흥원)

이 결과는 중소 제조기업의 생산 구조가 다품종·소량 생산(High-mix, Low-volume) 및 셀(Cell) 단위 유연생산체계(Flexible Manufacturing Cell)로 점차 진화하고 있음을 뚜렷이 보여준다. 즉, 기존의 라인(line) 기반 대량생산 체계에서는 동일 제품을 반복 생산하는 자동화가 주로 적용되었다면, 중소기업의 경우 제품 수요 변동이 크고 주문형(Customized) 생산 비중이 높아, 공정별 모듈화·유연화(Modular & Flexible Production Unit) 를 지향하는 로봇 자동화 전략이 필요하다.

적용 공정의 분포 중 ‘표면처리·가공’, ‘조립/접합’과 ‘포장·물류’ 공정이 59% 이상을 차지한다는 점은, 로봇 도입이 단순 생산라인 내부에 국한되

지 않고 생산 전·후단(Pre·Post Process)으로 확산되고 있음을 의미한다. 이는 인력 부족이 가장 심각한 조립·검사·물류 단계에 로봇을 집중 투입함으로써, 작업 유연성·납기 대응력·생산성 변동성 완충력을 확보하려는 중소기업의 전략적 선택이라 해석된다.

또한 용접(12.9%)·주조·사출(10.8%) 등 고온·중량 공정의 비중이 높은 것은, 근골격계 질환 예방과 안전 확보를 위한 위험공정 대체형 로봇 도입(Dangerous Task Substitution)이 확산되고 있음을 보여준다. 이러한 경향은 인력 고령화와 숙련공 감소에 따른 구조적 대응으로, 인적 자원 한계를 기술로 보완하는 ‘리스크 기반 자동화(Risk-Driven Automation)’의 일환으로 볼 수 있다.

이와 같은 분석 결과는 Villani et al. (2018), Bi & Wang (2021), Bhattacharya et al.(2023) 등 선행 연구의 결과와도 일치한다. Villani et al.(2018)은 제조 현장에서의 인간-로봇 협업이 공정 단위의 유연성을 강화하고, 생산성과 안전성을 동시에 향상시키는 방향으로 발전하고 있음을 제시하였다. Bi & Wang (2021)은 협동로봇의 확산이 고위험 공정 대체 및 인적 자원 리스크 완화에 기여한다고 보고하였으며, Bhattacharya et al.(2023)은 스마트 제조(Industry 5.0) 환경에서 인간-로봇 협업이 생산성뿐 아니라 지속가능성(Sustainability)과 인적 효율성(Human Efficiency)을 강화한다고 강조하였다

### 3) 연도별 적용 로봇 분석

3년간(2022~2024년) 「로봇활용제조혁신지원사업」을 통해 [표 2-8]와 같이 총 1,036대의 로봇이 국내 중소 제조기업에 보급되었으며, 그 중 다관절로봇이 556대(53.7%)로 가장 높은 비중을 차지하였다. 다관절로봇은 산업용 로봇의 전형적인 형태로, 중소 제조기업의 생산현장에서 다수 존재하는 중량물 취급·고정밀 용접·조립·가공 공정에 주로 투입되었다. 이러한 결과는 중소기업이 여전히 인력의 근육노동 중심 구조를 유지하고 있으며, 자동화의 주요 목적이 인간의 반복적·고강도 작업을 대체하는

대 있음을 시사한다. 특히 2024년 한 해 동안만 238대가 도입되어 전년 대비 약 58.7% 증가하였다.

[표 2-8] 연도별 적용 로봇



출처 : Casebook of Robotics Manufacturing Innovation Support Project  
2022~2024(한국로봇산업진흥원)

반면 직교로봇은 302대(29.2%)로 두 번째로 높은 비율을 차지하였으며, 주로 포장·이송·적재 등 생산라인 말단의 반복 이송 공정에 적용되었다. ROI 회수기간이 평균 1.7년으로 짧고, 유지보수가 용이하다는 점에서 중소 제조기업에게는 “첫 번째 자동화 진입 솔루션(Entry-level Automation Solution)”으로 활용되고 있다. 반면 협동로봇은 114대(11.0%)가 보급되어 인간-로봇 협업 생산체계를 확산시키는 역할을 하였으며, 특히 자동차 부품 조립·전자검사 라인에서 근접작업 안전성 향상과 작업자의 피로도 감소에 기여하였다. 병렬로봇(32대, 3.1%)과 물류로봇(32대, 3.1%)의 비중은 상대적으로 낮지만, AI 비전시스템과 자율주행 경로 최적화 기술이 결합 되면서 향후 복합형 로봇(Integrated Logistics Robot) 시장의 성장 잠재력을 보여주는 초기 징후로 평가된다.

결국, 3년간의 보급 결과는 국내 중소 제조업의 로봇 도입이 여전히 중

량물 취급 중심의 산업용 다관절로봇에 집중되어 있음을 실증적으로 보여준다. 이는 현장의 작업 특성이 여전히 물리적 강도와 반복작업에 의존하는 구조적 한계를 반영하는 동시에, 향후 산업 전반이 기계적 자동화(Mechanical Automation) 단계에서 지능형 자동화(Intelligent Automation) 단계로 진화하기 위한 정책적 전환이 필요함을 시사한다. 따라서 향후 로봇 정책은 중소기업의 현실적 제약(공간·예산·숙련인력 부족)을 고려하면서도, 다양한 로봇 기술을 활용해 생산 유연성, 공정 재구성력(Reconfigurability), 작업 효율성을 극대화하는 중소기업 맞춤형 지능형 로봇화 전략이 요구된다.

종합적으로 볼 때, 3년간의 로봇 보급 현황은 국내 중소기업의 로봇 도입이 여전히 산업용 다관절 로봇 중심의 물리적 자동화(Mechanical Automation) 단계에 집중되어 있음을 실증적으로 보여준다. 이는 현장의 작업 특성이 여전히 반복 작업과 물리적 노동 의존 구조를 유지하고 있음을 의미한다. 그러나 동시에, 협동로봇·직교 로봇 등 다양한 형태의 로봇 기술이 점진적으로 확산되고 있다는 점은 향후 산업 전반이 기계적 자동화에서 지능형 자동화(Intelligent Automation) 단계로 진화할 잠재력을 보여주는 중요한 징후라 할 수 있다.

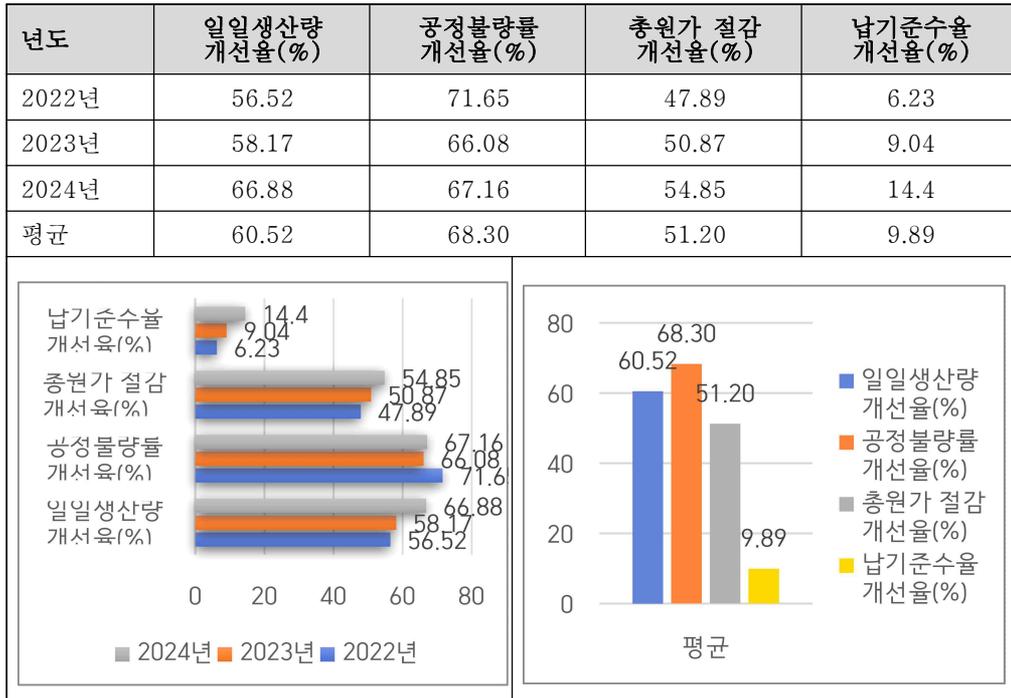
따라서 향후 로봇 정책은 중소기업의 현실적 제약(공간, 예산, 숙련인력 부족)을 고려하면서도, ① 생산 유연성(Flexibility), ② 공정 재구성력(Reconfigurability), ③ 작업 효율성(Productivity Efficiency)을 극대화할 수 있는 “중소기업 맞춤형 지능형 로봇화 전략(SME-Oriented Intelligent Robotization Strategy)”으로 전환되어야 할 것이다. 이는 Bhattacharya et al.(2023)과 Hameed et al.(2023)이 제시한 “지능형 협업 기반의 지속 가능한 스마트 제조(Sustainable Smart Manufacturing through Human-Robot Collaboration)” 방향성과의 일치한다.

#### 나. 기대 효과 분석

연도별 정량적 성과 분석 결과를 정리한 [표 2-9]에 따르면, 2022년부

터 2024년까지 3년간 「로봇활용제조혁신지원사업」을 통해 참여기업들의 생산성과 품질, 원가, 납기 준수율 모두에서 꾸준한 개선세가 확인되었다.

[표 2-9] 정량적 효과



출처 : Casebook of Robotics Manufacturing Innovation Support Project  
2022~2024(한국로봇산업진흥원)

2022년에는 일일 생산량이 평균 56.52% 증가하고, 공정 불량률은 71.65% 개선되었으며, 총원가 절감율은 47.89%, 납기 준수율은 6.23% 향상되었다. 이는 사업 초기임에도 불구하고, 로봇 자동화가 생산 효율성 및 품질 안정성에 즉각적인 영향을 미쳤음을 보여준다.

2023년에는 개선 폭이 더욱 안정화되며 일일 생산량 58.17%, 불량률 66.08%, 원가절감 50.87%, 납기 준수율 9.04%로 집계되었다. 주목할 점은 불량률 개선 효과가 다소 완만해진 대신, 납기 준수율이 약 3% 상승한 점은 자동화 공정의 안정화 및 일정 관리 효율성이 높아졌음을 의미한다.

2024년에는 본격적인 고도화 단계로 진입하며, 일일 생산량 66.88%, 공

정 불량률 67.16%, 총원가 절감 54.85%, 납기 준수율 14.4%의 개선을 기록하였다. 이는 전년 대비 각각 8~5% 수준의 추가 향상으로, 로봇 자동화의 숙련 운용과 공정 최적화가 병행된 결과로 해석된다.

종합적으로 3개년 평균은 일일 생산량 60.52%, 공정 불량률 68.30%, 원가 절감 51.20%, 납기 준수율 9.89%로 나타났다. 이러한 정량적 성과는 로봇 자동화가 단순히 생산량 증대뿐 아니라, 품질·원가·납기 등 전사적 제조 성과(Manufacturing Performance)의 균형적 개선을 견인하고 있음을 시사한다. 최근 2024년 수치에서 보듯, 생산성 중심의 성과에서 점차 프로세스 신뢰도(Process Reliability) 중심으로 진화하고 있으며, 이는 중소 제조기업이 로봇 활용을 통해 생산 안정성과 납기 경쟁력을 동시에 확보하는 단계에 진입했음을 보여준다.

결국, 3년간의 정량적 분석 결과는 「로봇활용제조혁신지원사업」이 중소기업의 스마트 제조 역량 고도화(Smart Manufacturing Capability Enhancement)에 실질적 기여를 하고 있으며, 향후 사업은 개별 생산성 향상에서 데이터 기반 성과관리(Data-driven KPI Management)로 확장될 필요가 있음을 시사한다.

한편 정성적 분석에서는 키워드 추출과 빈도 분석을 통해 기업들이 체감한 도입 효과를 도출하였으며, 실제 참여 기업 241개사의 성과 데이터를 활용하여 생산성, 불량률, 원가, 납기 등의 지표 개선 수준을 통계적으로 분석하였다. [그림 2-6 키워드 빈도수 분석 결과, 작업환경 개선이 총 81회로 가장 높은 빈도를 기록하였으며, 이어 인력 재배치(74회), 생산성 향상(42회), 품질 향상(22회), 불량률 감소(22회), 원가 절감(22회) 등의 키워드가 상위권에 분포하였다. 이는 로봇 도입이 단순한 자동화 효과를 넘어, 작업자의 물리적 부담 완화와 같은 작업환경 개선 효과를 중심으로 강하게 인식되고 있음을 시사한다. 또한, 인력 재배치와 고용 창출의 빈도는 로봇 기술이 기존 인력 구조의 유연성을 제고하고, 고용의 양적·질적 확장을 견인하는 데 기여하고 있음을 반영한다. 동시에 생산성 향상과 불량률 감소, 품질개선 등의 키워드도 다수 등장함에 따라, 로봇 도입이 공정 효율화와 품질 안정화 측면에서도 중요한 역할을 수행하고 있다는 점을 확인할 수 있다.

[그림 2-6] 도입효과 키워드 분석 빈도 수



출처 : Casebook of Robotics Manufacturing Innovation Support Project  
2022~2024(한국로봇산업진흥원)

다. 「로봇활용제조혁신지원사업」 분석 종합

3년간의 지원사업 성과를 본 논문 주제인 「중소기업 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구」와 연결해 보면, 본 사업의 실증적 결과는 TAM과 TOE의 이론적 구성요소가 현장에서 어떻게 작동하고 있는지를 잘 보여준다.

### 1) 기술(Technology) 요인 관점

사업 참여기업 대부분이 다관절 로봇(53.7%)을 중심으로 자동화를 추진한 것은 ‘기술적 유용성(Perceived Usefulness)’과 ‘상대적 이점(Relative Advantage)’이 로봇 도입의 핵심 요인임을 뒷받침한다. 로봇 도입 후 평균 일일생산량 60.5% 증가, 불량률 68.3% 개선, 원가 절감 51.2% 등 실질적 성과가 나타나면서, 기업들은 로봇기술이 생산성·품질·비용 측면에서 명확한 효익을 제공한다는 것을 체감하였다. 이는 TAM 모형의 중심 변수인 ‘유용성 인식’이 중소기업의 도입 의도를 강화하는 실증

적 근거로 작용한다.

## 2) 조직(Organization) 요인 관점

보고서 내 인터뷰 사례에서는 최고 경영진의 리더십과 구성원 참여가 성공적 자동화의 필수 조건으로 반복 언급되었다. 일부 기업은 도입 초기 “로봇이 일자리를 대체한다”는 내부 저항을 경험했으나, 경영진의 명확한 비전 제시와 교육·훈련 지원을 통해 극복하였다. 이는 TOE 요인에서 ‘최고 경영진의 지원(Top Management Support)’이 기술 도입에 결정적인 영향을 미친다는 본 연구 연구모형의 가정을 뒷받침한다.

## 3) 환경(Environment) 요인 관점

지원사업의 정부 보조금(평균 2.3억 원 규모)은 중소기업의 투자 리스크를 완화하여 ‘정부 지원(Government Support)’이 외부 환경 요인으로서 도입 의도를 강화함을 보여준다. 또한 3D 업종의 인력난 해소 및 숙련 인력 재배치 효과가 다수 보고되면서, ‘노동력 부족(Labor Shortage)’이 로봇 도입을 촉진하는 외부 압력으로 작용하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 본 논문에서 환경 요인으로 설정된 두 변수가 실증적으로 작동하고 있음을 명확히 보여준다.

## 4) 인지된 위험 및 안전성 요인 관점

일부 기업은 초기 단계에서 기술적 불확실성과 작업자 안전성에 대한 우려를 표했으나, 협동로봇 및 비전시스템 적용을 통해 안전성과 신뢰성이 개선되었다는 결과가 나타났다. 이는 연구에서 ‘인지된 위험(Perceived Risk)’이 도입 의도를 저해하지만, ‘안전성(Safety)’을 통해 완화될 수 있다는 매개효과 가설을 뒷받침하는 실증 사례로 해석된다.

결과적으로 「로봇활용제조혁신지원사업」은 중소 제조기업의 기술적 효용성·조직적 수용성·환경적 지원이 상호작용하여 로봇 도입 의도를 실현하

는 과정을 보여주는 실증적 현장 데이터로 평가된다. 이는 본 연구에서의 연구모형(TOE+TAM)의 구조적 타당성을 뒷받침하며, 향후 중소기업의 협동로봇 도입 정책 수립 시 ‘유용성 기반의 도입 의도 강화’, ‘조직 리더십 및 교육 기반의 내재화’, ‘정부 지원과 인력 구조개선의 병행’이라는 세 가지 축이 핵심 전략 요인으로 작용해야 함을 시사한다.

## 5. 협동로봇 설치 및 운영 사례

신발 제조 산업은 제품 종류와 사이즈가 다양하고, 수작업 공정 비중이 높아 자동화 도입이 어려운 대표적인 노동집약적 업종이다. 그러나 인력난 심화, 작업자의 근골격계 질환 증가, 품질의 일관성 확보 문제로 인해 최근 협동로봇의 도입이 활발히 검토되고 있다. 본 사례는 등산화 제조하는 000 기업을 대상으로 수행된 「로봇활용제조혁신지원사업」의 실증 결과를 바탕으로, 신발 제조 공정 내 협동로봇의 공정별 적용 사례와 도입 효과를 분석한 것이다.

### 가. 협동로봇 적용 공정

#### 1) 작업 가이드 표시 공정

작업 가이드 표시 공정은 신발 갑피를 아웃솔과 접착하기 전, 세척제 또는 접착제 도포를 위한 작업선을 표시하는 공정이다. 기존에는 작업자의 숙련도에 따라 품질 편차가 크고, 반복 작업으로 인한 피로 누적이 심한 공정이었다.

- 핵심 구성: 6축 협동로봇, 비전 카메라 기반 신발 정보 인식 시스템, 자동 정렬 컨베이어, 2-in-1 그리퍼 및 펜 표시장치
- 핵심 기능: 신발 종류·사이즈 자동 인식 → 위치 정렬 → 지정 가이드선 표시
- Takt Time: 17.6초/족 기준으로 수작업 생산성과 동등 수준 유지
- 효과: 작업자의 근골격계 질환 예방, 품질 안정화, 불량률 감소, 생산성

10~15% 향상

해당 공정의 협동로봇 적용은 정밀한 반복 작업의 자동화와 품질 균일화를 동시에 달성하였으며, 신발 제조 공정에서 비전 기반 인식 기술과 로봇 제어의 통합 사례로서 기술적 모범을 보였다.

## 2) 생산 제품 Loading / Unloading 공정

본 공정은 갑피와 아웃솔 접합 후, 접착 강도를 높이기 위한 압착기(전용기)에 제품을 투입·배출하는 공정으로 기존에는 작업자들의 중량물 취급 및 고온 장비 작업으로 인해 작업자의 피로와 안전사고 위험이 높은 공정이다.

- 핵심 구성: Loading / Unloading 협동로봇 1대, 자동 정렬 가이드 장치, RFID/ QR 등의 정보 인식 장치, 전용 압착기 연동 제어시스템.
- 기능: 신발 종류별 자동 세팅, 정위치 픽업 및 압착 후 배출
- 효과: 작업자의 신체 피로 경감, 끼임 사고 방지 및 예방, 생산성 15% 향상, 품질 불량률 20% 감소

해당 공정은 협동로봇과 전용 압착기(전용기) 간 통합제어 인터페이스 구축 사례로, 단순 반복적 고위험 공정을 안전하게 자동화함으로써 인간-로봇 협업 기반의 생산성 향상을 실증하였다.

## 3) 보강재 투입 공정

해당 공정은 신발의 형태 유지 및 습기 제거를 위해 화지(코심지)를 3~5장 뭉쳐 신발 내부에 삽입하는 공정으로 작업은 반복성과 속도가 높아 인력 투입이 많고 인건비 부담이 큰 공정이었다.

- 핵심 구성: 협동로봇 1대, 화지 형태 변형장치, 2-in-1 보강재 픽업·투입 그리퍼, 정렬/고정 장치.
- 핵심 기능: 신발 사이즈 인식 → 보강재 압축 및 변형 → 삽입·밀어넣기 자동 수행

- 효과: 인건비 절감, 인력 수급 문제 완화, 생산성 향상(약 20%), 근골격계 질환 예방

본 공정은 협동로봇이 유연한 작업 경로 제어와 미세한 압입 동작 수행이 필요한 섬세 공정에 적합함을 입증한 사례로, 중소 제조업 내 로봇의 고도화된 정밀 핸들링 기술 적용 가능성을 보여주었다.

#### 4) 생산 제품 정렬·포장 공정

이 공정은 완성된 신발을 출하 전 박스에 정렬·포장하는 후가공 공정으로, 제품 오염이나 파손을 방지하기 위한 품질 최종 단계이다.

- 핵심 구성: 6축 협동로봇, 비전 인식 시스템, 컨베이어 및 얼라인 장치, 포장박스 인식 및 고정 시스템, 2-in-1 그리퍼
- 핵심 기능: 좌/우 신발 인식 → 정렬·매칭 → 포장박스 내 자동 삽입 → 덮개 닫기
- 효과: 포장 품질 일관성 확보, 오염 불량률 감소, 생산성 15% 향상  
해당 사례는 협동로봇이 소프트 패키징, 포장 자동화 등 섬유·신발 산업의 후공정에도 효과적으로 적용될 수 있음을 보여주며, 비전 시스템과의 통합을 통해 다품종·소량 생산 환경에서의 유연 생산성 확보라는 스마트 제조의 핵심 목표를 실현하였다.

#### 나. 협동로봇 적용 공정 도입 전·후 변화

[표 2-10]은 신발 제조기업 생산라인 4개 주요 공정(작업 가이드 표시, 제품 로딩/언로딩, 보강재 투입, 정렬·포장)에 협동로봇을 도입하기 전과 후의 작업 절차(Workflow) 변화를 비교하여, 로봇 도입이 작업 표준화·품질 일관성·작업자 안전성에 미친 개선 효과를 시각적으로 보여주는 데 목적이 있다.

본 사례는 신발 제조기업이 협동로봇을 활용하여 기초단계 스마트팩토리 수준(단일 공정 자동화)에서 통합형 스마트 제조 시스템(End-to-End 연

계형 공정 자동화)으로 발전할 수 있음을 보여준다. 이는 TOE 프레임워크 관점에서 볼 때, 기술적 요인(상대적 이점·안전성)이 생산 현장에서 실질적으로 작동하여 조직적 효율성과 환경적 적합성(노동력 부족 대응, 안전 규제 강화)을 동시에 충족한 사례로 해석될 수 있다.

[표 2-10] 각 공정의 협동로봇 도입 전·후

도입 전·후 사진과 작업 순서의 변화	
	
<p>컨베이어 ▶ 압피 핸들링 ▶ 가이드 표시 ▶ 압피 핸들링 ▶ 컨베이어</p>	<p>컨베이어 ▶ 제품 정보 인식 ▶ 작업대 ▶ 가이드 표시 ▶ 컨베이어</p>
	
<p>컨베이어 ▶ 픽업 및 로딩 ▶ 사방압착 ▶ 언로딩 및 이송 ▶ 컨베이어</p>	<p>컨베이어 ▶ 공급 스톱퍼 ▶ 위치 정렬장치 ▶ 픽업 및 로딩 ▶ 사방압착 ▶ 언로딩 및 이송 ▶ 컨베이어</p>
	

컨베이어 ▶ 작업대 ▶ 화지 뭉침 ▶ 신발 내 투입 ▶ 컨베이어	컨베이어 ▶ 위치 정렬/고정장치 ▶ 화지 공급장치 ▶ 신발 내 투입 ▶ 이송장치 ▶ 컨베이어
	
컨베이어 ▶ 박스 및 신발 픽업 ▶ 제품 정보 확인 ▶ 신발 정렬 ▶ 박스 내 삽입 ▶ 박스 덮개 닫기	박스 공급장치 ▶ 컨베이어(신발) ▶ 제품 정보 인식 ▶ 얼라인장치 ▶ 박스 내 삽입 ▶ 박스 덮개 닫기

따라서 도입 사례 분석 대상 신발 제조기업의 협동로봇 도입은 노동집약적 특성이 강한 산업구조 속에서 만성적인 노동력 부족 문제를 해결하고, 단일 작업의 자동화 수준을 넘어 데이터 기반의 지능형 공정 흐름을 구현한 스마트 제조 혁신의 실증적 사례로 평가할 수 있을 것이다.

### 제 3 절 기술 수용 관련 이론

#### 1. 기술-조직-환경 (TOE Framework) 이론

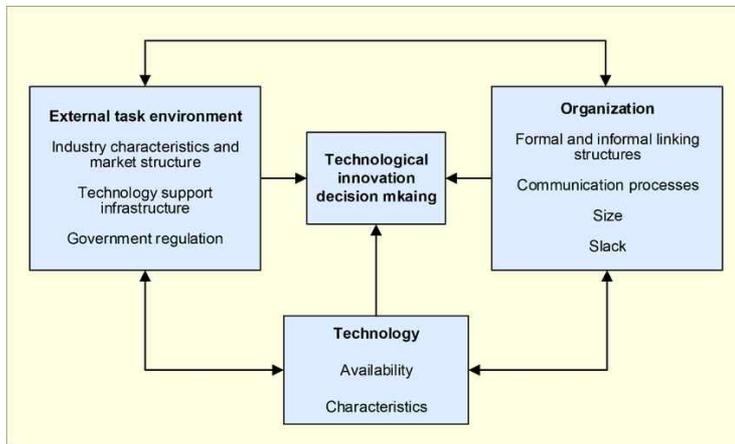
##### 가. 이론의 개념 및 정의

TOE Framework는 조직이 기술혁신을 채택하고 구현하는 과정에 영향을 미치는 요인들을 연구하기 위한 모델로서 Tornatzky and Fleischer (1990)의 연구에서 조직이 정보기술(IT)을 도입하는 과정에 영향을 미치는 요인을 설명하기 위해 제안되었으며, 조직 수준의 채택 연구에 널리 사용되어 그 실효성을 보여주었다.

TOE Framework는 혁신 도입에 영향을 미치는 세 가지 요소인 기술 요인(Technological Context), 조직 요인(Organizational Context), 환경 요

인(Environmental Context)을 구분하며(Tornatzky and Fleischer 1990), 이 세 가지 상황적 요인들은 기술혁신에 대한 제약과 기회를 모두 제시하며, 상호작용하면서 조직의 기술혁신 의사결정에 영향을 미친다. 제안 초기 TOE Framework의 주요 구성 요소인 기술-조직-환경의 각 요인별 변수들에 대해 [그림 2-7] 다음과 같이 제시하였다.

[그림 2-7] 출처 : Tornatzky & Fleischer(1990)



기술 요인은 조직과 관련된 내부 기술 및 외부 기술을 모두 포괄하는 요소이며(Tornatzky and Fleischer, 1990; Baker 2012; Jeyaraj et al., 2006), 이는 조직이 혁신적인 정보시스템 채택에 영향을 미치는 기술 관련 요인들을 가리키는데, 현재 조직 내에 이미 존재하는 기술뿐만 아니라, 아직 사용하고 있지 않지만 시장 내에서 이용 가능한 모든 기술을 포함한다(Oliveira & Martins, 2011). 초기 모델에서 기술적 상황은 주로 가용성(Availability)과 특성(Characteristics)으로 구성되었으며(Tornatzky and Fleischer, 1990), 자주 사용되는 구체적인 특성으로는 상대적 이점, 복잡성, 호환성 등이 있다(Ramdani et al., 2009). 조직이 보유한 기존 기술은 기술 변화의 범위와 속도에 광범위한 한계를 설정하며, 혁신 기술 채택 결정은 새로운 기술이 기존 기술 환경과 얼마나 적합한지에 의해 결정된다(Tornatzky and Fleischer, 1990; Rogers, 1995).

조직 요인은 기술혁신의 도입을 촉진하거나 제약하는 조직의 특성 및 자원과 관련되며, 이는 기업의 프로파일 특성, 자원, 내부 소셜 네트워크와 관련이 있으며, 구체적으로는 조직의 규모(Size), 경영 구조, 인적자원의 질, 내부 의사소통, 그리고 여유 자원(Slack) 등 조직이 혁신을 채택하는 데 활용 가능한 자원들을 포함한다(Tornatzky and Fleisher 1990; Sabherwal et al., 2006). 초기 모델의 구성 요소에는 규모(Size), 여유 자원(Slack) 외에도 공식 및 비공식 연결 구조(Formal and Informal Linking Structure)와 의사소통 과정(Communication Processes)이 포함되어 있으며, 조직적 요인은 관리 구조의 복잡성, 집중화 정도, 공식화 수준, 수직적 분화와 같은 경영 구조적 측면과도 관련이 있다(Oliveria & Martins, 2011).

환경 요인은 조직이 비즈니스 활동을 수행하는 외부 영역(arena)을 의미하며, 조직이 일반적인 관리 통제를 넘어선 외부 요인들로 구성된다(Tornatzky and Fleisher 1990; Zhu et al., 2005). 이 외부 환경은 조직의 운영에 영향을 미치는 촉진 요인 및 저해 요인을 포함하며, 조직이 속한 산업 구조, 시장, 경쟁 기업, 공급업체, 고객, 정부 규제(Government Regulation) 및 정책, 그리고 기술 지원 기반 구조(Technology Support Infrastructure)의 존재 여부 등을 포함한다. (Tornatzky and Fleisher, 1990; Zhu et al., 2005; Baker, 2012) 제시한 초기 모델의 구성 요소에는 외부 업무 환경(External Task Environment), 산업 특성 및 시장 구조(Industry Characteristics and Market Structure), 기술 지원 기반 구조 및 정부 규제가 포함되었다(Pudjianto et al., 2011).

#### 나. TOE Framework의 이론적 기반

TOE(Technology-Organization-Environment) Framework는 조직 수준에서 기술혁신의 도입과 확산을 설명하기 위한 통합적 이론틀로, Tornatzky and Fleischer(1990)의 저서 The Processes of Technological Innovation에서 처음 체계화되었다. 이들은 기술(Technology), 조직(Organization),

환경(Environment)의 세 가지 맥락이 상호작용하며 기술혁신의 채택과 구현을 결정한다고 보았다. 특히 같은 저서의 장(章)에서 DePietro, Wiarda, & Fleischer(1990)는 기술혁신의 성공이 기술적 특성뿐만 아니라 조직의 내부 역량과 외부 환경적 요인에 의해 크게 영향을 받는다고 명시함으로써 TOE의 구조적 틀을 제시하였다(이종근, 2023). 이후 Baker(2012)는 정보시스템(IS) 분야에서 TOE를 재해석하여, 다양한 산업과 기술 분야에서 보편적으로 적용 가능한 조직 수준의 기술도입 이론으로 확립하였다(이성중 외, 2025).

TOE의 기술 요인은 Rogers(1983, 1995)의 확산이론(Diffusion of Innovations: DOI)에 이론적 근거를 두고 있다(김기홍, 2022). Rogers(2003)는 혁신 채택 과정을 지식(knowledge)-설득(persuasion)-결정(decision)-이행(implementation)-확인(confirmation)의 5단계로 구분하고, 상대적 이점(relative advantage), 복잡성(complexity), 적합성(compatibility), 시범가능성(trialability), 관찰가능성(observability) 등 혁신의 속성이 채택 결정에 미치는 영향을 규명하였다(이소라, 2021). 이러한 혁신 특성 변수는 이후 Tornatzky and Klein (1982)의 메타분석을 통해 채택률과의 유의한 상관관계가 검증되었으며, 이 연구는 TOE에서 기술 요인을 구성하는 핵심적인 실증적 기반으로 작용하였다(유일 외, 2004).

조직 요인은 1970~1980년대의 조직혁신 연구와 정보기술 도입 연구를 토대로 형성되었다(Morawiec et al., 2023). Zaltman, Duncan, & Holbek (1973)은 저서 'Innovations and Organizations'에서 조직의 구조, 관리 방식, 커뮤니케이션 체계가 혁신 기술 도입에 미치는 영향을 체계적으로 분석하며, 조직 내 제도적 요인이 기술혁신의 성패를 결정한다는 점을 강조하였다(Zhu et al., 2005). 이어 Kwon and Zmud (1987)는 정보기술 도입을 인식-채택-구현-확산-통합의 다단계 과정으로 구분하고, 각 단계마다 조직의 구조적 특성과 경영진의 지원이 중요한 역할을 한다고 보았다(Awa et al., 2016). 이러한 연구들은 TOE의 조직 맥락을 구성하는 핵심적인 이론적 기반이 되었으며, 조직 규모, 여유 자원(slack resources), 관

리지원, 내부 의사소통 구조 등이 기술도입의 성공에 영향을 미친다는 점을 제시하였다(권영식 & 안현철, 2021). 이후 Damanpour (1991)는 다양한 조직혁신 연구를 메타분석하여, 조직의 규모, 복잡성, 공식화, 중앙집권화, 관리지원 수준 등이 혁신의 수용과 성과에 유의한 영향을 미친다는 사실을 실증적으로 입증함으로써 TOE의 조직 맥락 개념을 경험적으로 뒷받침하였다(김태우, 2014).

환경 요인은 조직이 속한 외부 환경—산업구조, 경쟁 강도, 정부 규제, 기술 인프라 등이 기술혁신의 채택과 구현에 미치는 영향을 설명한다(Tornatzky & Fleischer, 1990; Oliveira & Martins, 2011). 이러한 외부 환경 요인이 조직의 전략적 선택과 생존에 구조적 제약을 가한다는 관점은 Pfeffer and Salancik (1978)의 자원의존이론(Resource Dependence Theory, RDT)에 기반한다. RDT는 조직이 생존과 성장을 위해 외부 자원과 이해관계자에게 의존하며, 환경적 제약 속에서 상호작용을 통해 자원을 확보한다고 설명한다(전영준, 2024). 따라서 TOE의 환경 맥락은 조직이 외부 환경요인에 의해 영향을 받고 그와 동시에 이를 관리하려는 행위를 포괄하는 분석 틀로 해석될 수 있다(곽영기 & 이원부, 2024).

결국 TOE는 정리된 [표 2-11] 와 같이 Rogers의 확산이론과 조직혁신이론, 그리고 자원의존이론 등을 통합함으로써 기술·조직·환경이라는 세 가지 맥락이 상호작용하여 기술혁신의 채택과 확산을 설명하는 종합적 틀로 발전하였다.

[표 2-11] TOE Frameworks 배경 이론

구분(TOE 요인)	이론적 기반	연구자 (연도)	핵심 개념	TOE 적용 내용
기술 요인	혁신의 확산이론 (Diffusion of Innovations Theory)	Rogers (1962, 1983)	혁신 채택은 지식-설득-결정-이행-확인의 5단계 과정을 거치며, 상대적 이점·복잡성·적합성·시범가능성·관찰가능성 등 혁신 특성이 채택 결정에 영향을 미침	기술 요인은 혁신의 기술적 속성에 따라 채택 의사결정이 달라짐을 설명함
	혁신 특성 메타분석	Tornatzky & Klein (1982)	혁신 특성과 채택률 간의 상관관계를 통해 메타분석을 통해 검증함	혁신의 기술적 특성이 채택의 주요 결정요인임을 실증적으로 제시
조직 요인	조직혁신이	Zaltman,	조직의 구조,	조직 내부의

	론(Organizational Innovation Theory)	Duncan & Holbek (1973)	관리 방식, 커뮤니케이션 체계가 혁신 수용에 영향을 미침	구조적·관리적 요인이 혁신 채택의 촉진 또는 저해 요인으로 작용
	정보시스템 도입모형(IS Implementation Model)	Kwon & Zmud (1987)	기술 도입은 인식-채택-구현-확산-통합의 단계로 진행되며 각 단계마다 조직 내 지원과 자원이 중요함	조직의 규모, 자원, 최고경영진 지원 등 내부 역량이 도입 성과를 결정
환경 요인	자원의존이론(Resource Dependence Theory)	Pfeffer & Salancik (1978)	조직은 외부의 자원·시장·경쟁·규제 등 환경요인에 의존하며 이에 대응해 행동함	정부지원, 경쟁강도, 산업구조 등 외부 환경이 혁신 채택의 제약 또는 촉진요인으로 작용
	기술혁신과 환경요인 통합모델	DePietro, Wiarda & Fleischer (1990)	조직이 기술과 환경적 압력 속에서 혁신을 추진하는 맥락을 제시	TOE의 환경 맥락을 공식적으로 포함하여 프레임워크를 완성

#### 다. 기술-조직-환경 연구 변수

본 연구는 중소 제조기업의 스마트 제조 전환 과정에서 협동로봇 도입 의도를 설명하기 위해 TOE를 기반으로 주요 변수를 선정하였다. TOE는 조직의 기술혁신 채택을 기술, 조직, 환경 차원에서 설명하는 대표적 조직 수준 이론으로, 다양한 기술 도입 연구에서 그 설명력이 검증 되어왔다(이종근, 2023; 광영기 & 이원부, 2024).

연구에서 채택한 연구 변수에는 기술 요인으로 ‘상대적 이점’과 ‘안전성’, 조직 요인으로 ‘최고 경영진 지원’, 환경 요인으로 ‘정부 지원’과 ‘노동력 부족’을 채택하였다. 이러한 변수 구성은 이론적 정합성과 현장 적용성을 동시에 고려한 결과로, 협동로봇의 효익과 위험을 함께 평가할 수 있는 기술적 특성, 도입 실행을 가능하게 하는 조직 내부의 지원체계, 그리고 외부 환경의 압력 및 유인 요인을 종합적으로 반영한다. 이와 같은 맥락에서 협동로봇은 사람과의 물리적 협업을 전제로 하는 스마트 제조 기술로서, 기존 자동화 기술과 달리 안전성이 필수적으로 고려되어야 하며(최정호 외, 2023), 동시에 정부 지원과 노동력 부족은 한국 제조업 현장에서 로봇 도입을 촉진하는 현실적 외생 요인으로 작용한다(Park et al., 2025).

따라서 본 연구의 변수 선정은 TOE의 이론적 구조와 협동로봇 도입이 이루어지는 산업적 맥락을 모두 반영한 결과라 할 수 있다.

### 1) 상대적 이점(Relative Advantage)

혁신 기술 도입 연구에서 상대적 이점(Relative Advantage, RA)은 조직이 새로운 기술을 수용하고자 하는 동기를 설명하는 핵심 변수로 간주된다. 이는 기업의 정보기술 채택과 확산을 설명하는 조직 차원의 분석 틀인 TOE 프레임워크의 기술 요인을 구성하는 주요 요소일 뿐 아니라, Rogers(2003)가 제시한 혁신확산이론(Diffusion of Innovation Theory, DOI)에서도 혁신 속성을 설명하는 핵심 개념으로 제시된다. DOI 이론에 따르면 혁신은 개인 또는 조직이 새롭게 인식하는 아이디어나 실행을 의미하며, 상대적 이점은 해당 혁신이 기존의 방식이나 기술에 비해 얼마나 더 우수하다고 인식되는지를 나타내는 개념이다(Robinson, 2009). 즉, 새로운 기술이 기존의 기술이나 작업 방식보다 더 높은 효용을 제공한다고 인식될수록 혁신 수용 가능성은 높아진다는 전제에 기반한다.

본 연구에서의 상대적 이점은 특정 협동로봇 제조기업 간 기술을 비교하여 어느 기업의 제품이 더 우수한지를 평가하는 개념이 아니라, 협동로봇이라는 기술 자체가 기존 작업 방식(수작업 또는 기존 자동화 설비)에 비해 얼마나 더 효율적이고 유용한 대안으로 인식되는지를 측정하는 개념으로 정의된다. 다시 말해, ‘기업 간 기술 경쟁력 비교’가 아닌 ‘도입 전·후 작업 방식 간 상대적 우월성에 대한 인식’을 반영하는 변수이다.

상대적 이점은 단순한 기술적 우위를 넘어 전략적 가치 인식을 포함하는 개념으로 확장되어 이해된다. 조직의 혁신 기술 도입 의도는 해당 기술을 통해 기대되는 개선 효과의 정도에 크게 좌우되며, 이는 생산성과 경쟁력 향상이라는 측면에서 기업의 지속가능한성장 기반으로 작용한다(윤경, 2015). 이에 따라 선행 연구에서는 상대적 이점을 다음과 같은 전략적·운용적 기대 효과를 포함하는 다차원적 개념으로 측정해 왔다.

첫째, 경영 성과 및 운영 효율성 측면에서 상대적 이점은 생산성 향상,

비용 절감, 업무 처리의 신속성, 품질 개선 등의 운영 성과에 대한 기대를 반영한다. 김창현 (2023)은 스마트팩토리 전환 연구에서 상대적 이점을 매출 증대, 업무 효율 향상, 작업 정확도 개선 등 구체적 성과 기대 인식으로 정의하였다.

둘째, 전략적 의사결정 및 신규 가치 창출 측면에서 상대적 이점은 조직의 경쟁력 확보와 새로운 시장 기회 창출 가능성과도 밀접하게 연결된다. 배동민 외(2013)는 빅데이터 도입 연구에서 상대적 이점을 의사결정 지원, 신규 고객 확보, 서비스 혁신 가능성에 대한 인식으로 설명하였다.

셋째, 경쟁우위 확보 및 종속성 완화 측면에서 상대적 이점은 기존 시스템 의존도를 낮추고 차별화된 경쟁 위치를 확보할 수 있는 가능성으로 해석된다. 정현석 (2019)은 멀티 클라우드 도입 연구에서 상대적 이점을 벤더 종속성 감소와 디지털 경쟁력 강화로 정의하였다.

이와 같이 상대적 이점은 혁신 기술 수용의 핵심 동인으로 작용하며, 주로 자원이 제한된 중소기업에게 있어 기술 도입에 따른 위험 부담을 상쇄하고 자발적 수용을 촉진하는 중요한 요인으로 기능한다(Thong, 1999). 따라서 본 연구에서는 협동로봇이 기존 생산 방식 대비 제공하는 기술적 효율성, 작업 편의성 및 성과 개선 가능성에 대한 인식을 중심으로 상대적 이점을 측정하고자 하였다.

## 2) 안전성(Safety)

안전성은 일상생활에서 필수적인 속성으로 간주된다(Akalin, 2022). 매슬로우의 욕구 5단계설(Maslow's hierarchy of needs)에서 안전 욕구(safety needs)는 생리적 욕구 다음으로 두 번째로 높은 순위에 위치한다.

안전성이라는 용어는 "상해나 부상으로부터 보호받거나 지켜지는 상태, 즉 위험으로부터의 자유"를 의미한다(Eller & Freyl 2019). Maurice 등은 안전성을 "개인과 공동체의 건강과 안녕을 보존하기 위해 신체적, 심리적, 물질적 해를 초래하는 위험과 조건을 통제하는 상태"로 정의했다.

(Maurice et al 2001).

안전성 개념에는 객관적 차원과 주관적 차원이 모두 포함된다. 객관적 차원은 행동 및 환경적 매개변수를 통해 평가되며, 주관적 차원 인지된 안전성(Perceived Safety:PS)은 위험으로 부터 벗어 났다는 느낌을 기반으로 평가되며, 신체적, 사회적, 심리적 측면을 포함한다. Möller et al (2006) 등은 안전성을 위험의 반대 개념으로만 보는 것은 포괄적인 이해를 놓치는 것이라고 주장하며, 안전성을 주관적, 객관적, 절대적, 상대적 차원으로 고려했다. 여기서 주관적 차원이 바로 인지된 안전성에 해당하며, 이는 어떤 조건이나 대상이 얼마나 안전한지에 대한 개인의 믿음으로 설명하였다. 선행 연구에서 정의된 인지된 안전성(PS)은 인간-로봇 상호작용(Human-Robot Interaction, HRI) 분야에서 인지된 안전성은 단순한 물리적 안전을 넘어 인간의 심리적 측면을 다룬다(Bröhl et al., 2019).

먼저 물리적 안전성과 심리적 안전성의 측면에서 로봇 공학의 안전 표준은 주로 시스템의 물리적 측면에 대한 가이드라인을 제공하며 물리적 안전 확보가 중요하다(Villani et al., 2018). 그러나 HRI의 안전을 위해서는 로봇과의 상호작용으로 인해 발생하는 부정적인 심리적 결과 또한 제거되어야 하며 하드웨어 및 소프트웨어 설계상 물리적으로 안전한 로봇이라 할지라도, 인간 사용자에게 인지된 안전성을 항상 보장하는 것은 아니다(Baumgartner et al., 2022).

### 3) 최고 경영진 지원(Top Management Support)

최고 경영진 지원(Top Management Support:TMS)은 조직이 혁신 기술을 채택하고 구현하는 과정에 영향을 미치는 요인을 분석하는 TOE에서 조직 요인의 핵심 구성 요소로 다루어진다(Bradford & Florin, 2003; 가회광 & 김진수, 2014). TOE를 기반으로 한 연구에서 조직적 상황 요인들은 기업의 특성, 최고 경영진 지원, 조직 태도 등을 포함하고 있으며 많은 연구에서 중소 제조기업의 특성상 ‘최고 경영진 지원’이 혁신 기술 도입의 성과를 좌우하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 분석되고 있다(권세

인, 2019; 김기홍, 2022). 최고 경영진 지원이 혁신 기술 도입에 중요하게 작용하는 이유는 다음과 같다:

- 자원 확보 및 배분: 새로운 정보기술을 도입하고 성공적으로 조직 내에 정착시키기 위해서는 막대한 자원 투자는 물론 업무 프로세스의 큰 변화가 요구된다(Quinn, 1985; Young & Jordan, 2008). 최고 경영층의 지원은 이러한 기술 도입과 활용에 필요한 예산 및 인력 지원을 포함하며, 이는 조직이 기술혁신을 추진할 수 있는 기반을 마련하는 데 필수적이다(Hamm & Klesel, 2021).
- 리스크 감수 및 비전 제시: 완전히 새로운 프로세스를 업무에 도입하거나 협동로봇과 같은 지능형 로봇 기술을 도입하는 경우, 경영자 레벨에서 도입에 따른 리스크를 감수할 의지가 중요하게 작용한다(Thong, 1999). 또한, 최고경영자는 조직 구성원에 대해 명확한 비전과 전략, 실행계획을 수립하고 조직원들에게 공유함으로써 변화에 대한 적극적인 지원과 몰입이 뒷받침되도록 해야 한다(Hess et al., 2016; 안지수, 2021).
- 중소기업의 특수성: 인적, 물적 자원이 상대적으로 부족한 중소기업의 경우, 경영 의사결정 권한이 최고 경영자에게 집중되는 구조적인 한계가 있다(이혜진, 2025). 따라서 신기술(스마트팩토리 등) 도입에 있어 최고 경영자의 관심과 적극적인 지원 및 기업가 정신은 전환 의도에 가장 중요한 요소로 작용한다(최영환 & 최상현, 2017).

#### 4) 정부 지원(Government Support)

정부 지원(Government Support: GS)은 TOE에서 환경 요인의 핵심 구성 요소로, 조직 외부의 제도적·정책적 요인이 기술혁신과 채택 과정에 미치는 영향을 설명한다(Tornatzky & Fleischer., 1990; Zhu et al., 2006). 협동로봇과 같은 스마트 제조 기술은 중소기업에게 막대한 초기 투자 비용과 전문 인력 확보를 요구하며(김태우 & 서창교, 2022), 이는 재정적·인적 자원이 열악한 중소기업의 혁신 기술 도입에 도전적 요인으로 작용한다(김남형, 2023). 따라서 정부 지원은 중소기업의 혁신 기술 도입에

있어 외부 환경 요인 중 필수적인 촉진자 역할을 수행하며, 정부 지원이 중소기업의 혁신 기술 도입에 중요한 역할을 하는 이유는 다음과 같다:

- 재정적 지원 및 위험 완화: 정부의 보조금, 세제 혜택, 기술개발 자금 지원 등은 중소기업이 새로운 기술을 도입할 때 발생하는 초기 비용 부담을 완화한다(Premkumar & Roberts, 1999; 이성종 외, 2025). 이러한 지원은 혁신 도입에 따른 재무적 리스크를 줄여 기술 채택 가능성을 높인다(Tornatzky & Fleischer, 1990).
- 기술 인프라 및 역량 강화: 정부는 기술 지도, 전문인력 양성, 테스트베드 구축 등 다양한 인프라 지원을 통해 기업의 기술 역량을 강화한다(Zhu et al., 2006). 특히 협동로봇과 같은 첨단 기술은 도입 후에도 지속적인 기술 교육과 유지보수가 필요하기 때문에 정부의 기술 인프라 및 역량 개발 지원이 필수적이다(우순규 외, 2018; 김산희, 2019).
- 정책적 유인 및 제도적 환경 조성: 정부의 산업정책, 스마트팩토리 보급 정책, 디지털 전환 전략 등은 기업이 기술혁신을 추진할 수 있는 제도적 기반을 마련한다(강정석 & 곽철호, 2018; 김정래 & 이상직, 2020). 이러한 정책적 방향성은 기업이 기술 도입을 전략적으로 고려하도록 유도하며, 중소기업의 맥락에서는 정부의 장기적 지원 정책이 도입 의사결정에 직접적인 영향을 미친다(유재성, 2024).

결과적으로 정부 지원은 중소기업의 기술혁신 추진을 위한 “촉진자(Enabler)”로 작용하여, 자금·인력·제도적 측면에서 혁신의 장벽을 완화하고 기술 도입의 확산을 가속화하는 데 중요한 역할을 한다.

#### 5) 노동력 부족(Labor Shortage)

노동력 부족(Labor Shortage)은 특정 직업에 대한 근로자 수요가 현행 시장 조건 하에서 자격을 갖추고, 이용 가능하며, 기꺼이 일하려는 근로자의 공급보다 클 때 발생하는 시장의 불균형 상태를 의미한다(설동훈, 2004). 이는 특정 직업이 요구하는 기술에 대한 노동 수요가 현행 시장 임금 수준에서 해당 기술을 보유한 근로자의 공급을 초과할 때 발생한다(박희봉 & 김지은, 2023).

국내 산업은 급속한 경제 성장 이후 개발 과정의 결과로 노동력 부족 문제에 직면하고 있으며, 이는 강한 수요 및 공급 측 요인에 의해 발생한다. 중요하게는 공급 측면에서 인구 구조적 변화가 노동력 부족의 핵심적인 원인이 된다(이종근, 2023). 한국의 합계출산율(Total Fertility Rate, TFR)은 이미 대체 수준인 약 2명보다 훨씬 낮은 수준으로 떨어졌으며, 2018년 처음으로 1.0명 이하(0.98명)를 기록한 후, 2023년에는 0.72명을 기록하며 심각한 사회 현상이 되고 있다(통계청, 2024). 이러한 저출산 현상은 생산가능인구(15~64세)의 감소로 직결된다. 국내 생산가능인구는 2016년부터 감소하기 시작할 것으로 예측되었으며, 현재 수준(2000년대 후반 기준 3480만명)에서 2050년에는 2390만 명으로 줄어들 것으로 전망되고 있다(통계청, 2024).

인구 감소로 인한 총체적인 노동력 공급 감소는 특히 중소 제조기업에서 만성적인 구인난(인력 부족)으로 나타나고 있다(이상림, 2012). 제조업의 인력 부족률은 전 산업의 부족률보다 매우 높은 수준을 나타내고 있다. 이는 구직자가 제조업을 기피하는 경향과 기업이 상대적으로 숙련된 기술을 갖춘 구직자를 선호하기 때문에 발생한다(이성종 외 2025). 또한 국내의 노동력 부족은 당장 인구통계학적 압력뿐만 아니라, 국내 근로자들이 주로 소규모 제조사업체와 건설업에 집중된 "힘들고, 위험하며, 더러운" (3-D) 일자리를 맡으려 하지 않는 데서 기인한다(설동훈, 2004). 이는 소득과 생활 수준이 증가함에 따라 저숙련 직종에 대한 국내 노동력의 최소 수용 임금(reservation wages, 유보임금)이 상승했기 때문이다(류재술 & 류기철, 2002).

그리고 인력 부족률은 기업 규모가 커질수록 낮아지는 현상이 나타나며, 이는 중소기업 중에서도 종업원 수가 특히 적은 기업이 노동력 부족 문제로 가장 심각하게 고통받고 있음을 의미한다(설동훈, 2004; 곽영기 & 이원부, 2024). 이로 인해 중소기업들은 조업을 단축하거나 휴업하는 상황이 속출하고 있으며, 노동력을 확보하지 못해 해외로 공장을 이전하는 기업도 적지 않다. 또한 일손 부족을 보충하기 위해 사회·경제적 문제를 안고 있는 외국인 근로자를 채용하는 실정에 있다(이상림, 2012; 박종필, 2017).

라. TOE 프레임워크를 적용한 최근 혁신 기술 연구 사례

산업 간 융복합이 가속화되는 오늘날, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 로봇, 블록체인과 같은 혁신 기술들은 조직의 경영 방식과 산업 생태계 전반을 근본적으로 재편하고 있다(김남형, 2023). 기술이 단순히 개인의 사용 경험을 넘어 조직의 전략, 운영, 환경적 요인과 밀접하게 맞물리면서, 기술 수용 연구의 초점도 ‘개인 중심’에서 ‘조직·환경 중심’으로 확대되고 있다(Tornatzky & Fleischer 1990).

이러한 변화 속에서 TOE는 혁신 기술의 도입과 확산을 설명하는 거시적 분석 틀로서 여전히 널리 활용되고 있다(Gangwar, 2015). TOE 모형은 Tornatzky and Fleischer (1990)등이 제시한 이후, 기술 요인, 조직 요인, 환경 요인이 상호작용하며 새로운 기술의 도입 의사결정에 영향을 미친다는 점을 체계적으로 설명해 왔다(Baker, 2012).

최근에는 TOE가 인공지능, 협동로봇, 스마트팩토리, 클라우드 전환, 스마트팜, 블록체인 기반 서비스 등 조직 차원의 혁신 기술 도입 요인을 분석하는 대표적 모델로 확장 적용되고 있다(이종근, 2023). 이는 기술 수용을 개인의 인식 차원에서 이해하는 TAM과 달리, 조직의 역량, 경영진의 지원, 외부 환경의 압력 및 제도적 요인 등을 함께 고려할 수 있다는 점에서 현대 산업 환경에 적합한 이론적 접근으로 평가받고 있다(Nguyen et al 2022).

따라서 TOE는 4차 산업혁명 시대의 기술혁신이 조직 내부의 기술 역량과 외부의 산업·정책 환경 속에서 어떻게 수용되고 확산되는지를 설명하는 데 있어, 여전히 실증적 타당성과 활용도가 높은 분석 모형으로 자리매김하고 있다(Prakash, 2025).

TOE 프레임워크를 적용한 혁신 기술 연구들로 인공지능(AI) (Chatterjee et al., 2021; 제조 AI 연구), 협동로봇 (최문중 외, 2015), 스마트팩토리 (이종근, 2023), 기업 수준의 정보기술 도입 (Oliveira & Martins, 2011), 블록체인 기반 서비스 (고제욱 외, 2019; 권영식 & 안현철, 2021) 등 4차 산업혁명 시대를 주도하는 첨단 기술의 조직 차원의

혁신 기술 도입 요인을 분석하는 대표적 모델로 확장 적용되고 있다.

이는 기술 수용을 개인 수준 모델(TAM 등)처럼 개인의 인식 차원에서 이해하는 것과 달리, TOE가 조직(기업) 차원의 혁신 기술 채택에 초점을 맞추어, 조직의 내부 역량 및 외부 환경의 압력 및 제도적 요인을 동시에 고려하는 포괄적인 분석 틀을 제공하기 때문이다((Tornatzky and Fleischer 1990). 이러한 접근 방식은 현대의 복잡한 첨단 기술 도입 결정에 최적화된 구조를 제공하며, 조직 전체의 복합적인 상황을 다룰 수 있다는 점에서 현대 산업 환경에 적합한 이론적 접근으로 평가받고 있다 (Baker, 2012; Oliveira & Martins, 2011)

## 2. 기술 수용 모델(Technology Acceptance Model: TAM)

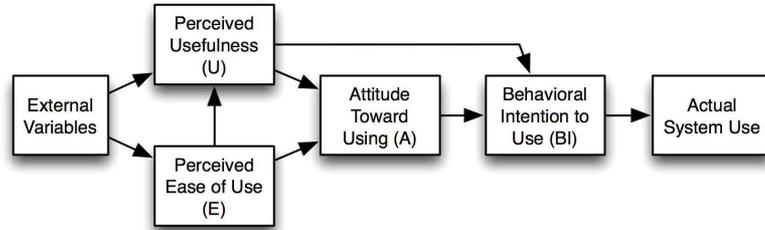
### 가. 이론의 개념 및 정의

Davis(1989)는 신기술에 대한 수용 이론으로 인지된 용이성(Perceived Ease Of Use: PEOU)과 인지된 유용성(Perceived Usefulness: PU)은 태도에 영향을 주고 사용 의도를 매개하여 실제 사용에 영향을 준다는 모형을 [그림 2-8]과 같이 제시하였다. 인지된 유용성은 특정 시스템이 자신의 직무 수행을 향상시킬 것이라고 믿는 정도를 말하며, 인지된 용이성 특정 시스템을 사용하는 것이 노력 없이 쉽다고 믿는 정도를 의미한다.

Davis(1985)가 TAM을 개발한 주요 목적은 시스템 특성이 사용자 수용에 미치는 영향을 설명 및 예측할 수 있는 이론적 모델을 개발하는 것이었다. [그림 2-9] 모델의 구성에 있어 TAM은 사용자가 특정 기술이 유용하고(Perceived Usefulness) 또한 사용하기 쉽다(Perceived Ease of Use)고 인식할 때, 해당 기술을 사용하려는 행동 의도(Behavioral Intention)를 가질 가능성이 높아진다고 가정했다(Davis, 1989).

초기 연구 결과, TAM은 합리적행위이론(Theory of Reasoned Action, TRA)와 비교하여 사용자 수용 의도를 더 잘 설명했으며, 인지된 용이성은 인지된 유용성에 긍정적인 영향을 미치고, 두 변수 모두 사용자의 태도

(Attitude Toward Using)를 통해 사용 의도(BI)에 영향을 미친다는 핵심 인과관계를 보고하였다(Taylor and Todd, 1995).



[그림 2-8] Davis(1989)기술 수용 모델(TAM)

Davis(1989)의 초기 연구는 단일 기술이 아닌 컴퓨터 기반 정보 시스템 (computer-based information systems)의 수용에 관한 일반적인 모델을 개발하기 위함이었으며, 구체적으로는 전자 메일(e-mail) 시스템과 텍스트 편집기(text editor)와 같은 기술들을 사용하여 모델을 검증했으며 그의 발표 논문들은 다음과 같다.

- 1985년 박사 학위 논문 (Davis, 1985): Davis는 1985년 MIT 슬론 경영대학원 박사 학위 논문에서 "새로운 최종 사용자 정보시스템을 경험적으로 테스트하기 위한 기술 수용 모델"을 개발하고 테스트했으며, 이 연구의 목표는 시스템 특성이 컴퓨터 기반 정보시스템의 사용자 수용에 미치는 영향을 이해하는 것이었다.
- 1989년 MIS Quarterly 논문 (Davis, 1989): Davis가 TAM의 개념과 척도를 공식적으로 발표한 MIS Quarterly 논문에서는 특정 정보기술을 대상으로 인지된 용이성과 인지된 유용성 척도를 개발하고 검증하기 위해 전자 메일 (e-mail과 텍스트 편집기(text editor)를 사용했다.
- 1989년 Management Science 논문 (Davis et al., 1989): TRA(합리적 행동 이론)와 TAM을 비교한 연구에서는 워드 프로세서(word processor) 사용에 대한 MBA 학생들의 의도를 측정하는 데 TAM을 적용했다.

이러한 초기 연구들은 TAM이 다른 기술, 종단적 상황, 다양한 연구 환경에서도 일관성과 타당성을 유지함을 입증하는 데 기여하였다(Adams et al., 1992; Lee et al., 2003).

## 나. TAM의 이론적 기반

기술수용모델(TAM)의 이론적 기반은 [표 2-12] 요약 내용과 같이, 여러 중요한 이론적 토대 위에 세워졌다. TAM은 Davis(1985)가 MIT 박사학위 논문에서 처음 제안한 이후, 1989년 「MIS Quarterly」에 게재되며 정보기술(IT) 수용 연구의 대표적 모형으로 자리 잡았다. TAM은 단독으로 창안된 모델이 아니라, 기존의 사회심리학과 행동과학 이론을 기반한 체계적으로 구성된 이론적 산물이다. Davis는 개인이 기술을 수용하는 과정을 설명하기 위해 기존의 합리적 행위이론(Theory of Reasoned Action, TRA), 기대가치이론(Expectancy-Value Theory), 자기효능감이론(Self-Efficacy Theory), 그리고 혁신확산이론(Diffusion of Innovations Theory)으로 부터 핵심 개념을 차용하였다(Yaputri et al., 2024).

먼저, Fishbein & Ajzen, 1975의 합리적 행위이론(TRA)은 TAM의 가장 직접적인 이론적 기반으로, “태도(Attitude toward behavior)”와 “주관적 규범(Subjective Norm)”이 “행동 의도(Behavioral Intention)”를 결정한다는 구조를 제시하였다. Davis는 TRA의 기본 구조를 유지하면서, 기술수용 맥락에 적합하도록 변수를 단순화하였다(Lee et al., 2003). 즉, ‘태도’에 영향을 미치는 요인으로 인지된 유용성과 인지된 용이성을 제시하고, 이들이 행동 의도(Actual Usage Intention)를 통해 실제 사용행동(Actual Use)으로 이어지는 인과적 구조를 설정하였다.

둘째, Vroom(1964)의 기대가치이론(Expectancy-Value Theory)은 개인이 특정 행동을 수행할 동기를 가지는 이유를 ‘성과에 대한 기대(expectancy)’와 ‘성과의 가치(value)’로 설명하는 이론이다. Davis(1989)는 이 이론을 토대로 사용자가 기술을 통해 자신의 업무 성과를 향상시킬 수 있다고 믿는 정도를 “인지된 유용성(PU)”으로 정의하였다. 즉, 기대가치이론에서의 ‘성과 기대(expectancy)’가 곧 기술이 가져올 효율성 향상에 대한 사용자의 인지로 연결되는 것이다(백상용, 2009).

셋째, Bandura (1977, 1986)의 자기 효능감 이론(Self-Efficacy Theory)은 개인이 주어진 과업을 성공적으로 수행할 수 있다는 신념, 즉

자신감이 행동의 수행 여부와 지속성에 중요한 영향을 미친다는 심리학적 이론이다. 이 개념은 TAM의 핵심 변수 중 하나인 “인지된 용이성”의 심리적 근거로 작용하였다(Lee et al., 2007). Davis(1989)는 시스템을 쉽게 사용할 수 있다는 믿음이 사용자의 자기 효능감과 밀접한 관련이 있으며, 높은 자기 효능감은 새로운 기술을 더 쉽게 학습하고 사용하는 태도를 형성한다고 보았다.

[표 2-12] 기술수용모델(TAM)의 배경 이론

구분	이론명	제안자(연도)	TAM에 반영된 핵심 개념
합리적행위이론	Fishbein & Ajzen (1975)	행동의도(Behavioral Intention)는 태도(Attitude)와 주관적 규범(Subjective Norm)에 의해 결정된다.	TAM의 구조적 뼈대: “Perceived Usefulness (인지된 유용성)”과 “Perceived Ease of Use(인지된 사용 용이성)” → 태도 → 사용의도
자기효능감	Bandura (1977, 1986)	개인이 특정 행동을 성공적으로 수행할 수 있다는 믿음 → PEQU(인지된 사용 용이성)의 심리적 기반	‘Perceived Ease of Use’ 개념의 심리적 근거
기대가치이론	Vroom (1964)	성과 기대(expectancy)와 결과 가치(value)가 행동의도를 결정	PU(성과 향상 기대) 개념의 기반
혁신확산이론	Rogers (1983)	혁신 수용은 상대적 이점(relative advantage), 복잡성(complexity), 적합성 등의 지각에 의해 결정	PU ↔ relative advantage / PEQU ↔ complexity 개념과 일치

마지막으로, 혁신확산이론(Diffusion of Innovations Theory; Rogers, 1983)은 새로운 기술이나 아이디어가 사회적 체계 내에서 확산되는 과정을 설명하는 대표적 사회학 이론으로, 혁신의 채택을 결정하는 다섯 가지 속성(상대적 이점, 복잡성, 적합성, 시험 가능성, 관찰 가능성)을 제시하였다. TAM의 “인지된 유용성”은 Rogers가 제시한 “상대적 이점(Relative Advantage)”과 개념적으로 유사하며, “인지된 용이성”은 “복잡성(Complexity)”의 반대 개념과 밀접하게 대응된다(Moore, 1991). Davis는 이러한 개념적 대응을 통해 기술 수용과 혁신 확산 간의 이론적 연속성을 강조하였다(Taylor & Todd, 1995).

결과적으로 TAM은 TRA의 인과 구조를 기반으로 하되, 기대가치이론에서 ‘성과 향상에 대한 믿음(Perceived Usefulness)’을, 자기효능감이론에서 ‘기술 사용의 용이성(Perceived Ease of Use)’을, 혁신확산이론에서 ‘기술의 상대적 이점과 복잡성’ 개념을 각각 차용하여 통합한 모델이라 할 수 있다. 이러한 통합적 접근 덕분에 TAM은 개인의 인지적 요인과 심리적 신념을 중심으로 기술 수용 과정을 설명하는 가장 강력한 예측 모형으로 평가받고 있다(Venkatesh et al. 2003).

#### 다. TAM 연구 변수

##### 1) 인지된 용이성(Perceived Ease of Use, PEOU)

인지된 용이성은 개인이 특정 시스템을 사용하는 것이 물리적·정신적 노력이 들지 않을 것이라고 믿는 정도로 정의된다(Davis, 1989). 즉, ‘사용자가 해당 기술을 노력 없이 쉽게 사용할 수 있을 것 이라고 인식하는 정도,를 의미한다. 이 개념은 개인이 특정 과업을 성공적으로 수행할 수 있다는 믿음인 자기효능감이론(Bandura, 1977, 1986)에 이론적으로 근거하며, 특히 정보기술 환경에서는 컴퓨터 자기 효능감(Computer Self-Efficacy)이 인지된 용이성의 주요 선행 요인으로 제시되어 왔다(Compeau & Higgins, 1995; Venkatesh, 2000).

따라서 인지된 용이성은 사용자가 시스템의 기능을 얼마나 쉽게 이해하고, 사용 방법을 습득하며, 능숙하게 조작할 수 있는지, 그리고 시스템과의 상호작용이 명확하고 통제 가능하다고 느끼는지와 밀접한 관련이 있다. 이는 새로운 기술 사용 시 필요한 인지적·심리적 노력이 줄어든다고 인식할수록 기술 수용 의도가 높아진다는 점을 설명하는 핵심 개념이다(Venkatesh, 2000).

또한, 용이성이 높다고 인지된 시스템은 사용자가 더 잘 사용하고 업무 수행 효과도 더 높다고 인식하게 하여 인지된 유용성(PU)에 긍정적인 영향을 미치는 선행 요인으로 작용하며, 사용자가 제품의 사용법을 습득하는 정도가 빠를수록 새로운 기술의 수용 속도가 빨라진다는 점과도 연결된다(Rogers, 2003).

Davis (1985)는 박사학위 논문에서 기술수용모형(TAM)을 처음 제안하였으며, 이후 인지된 용이성, 이를 측정하기 위한 6개의 문항을 제시하였다. 이러한 개념은 이는 향후 연구자들에 의해 기술 사용의 과정적 부담에 초점을 둔 “과정 중심적 신념(process belief)”으로 이해된다(Gefen & Straub, 2000; Legris et al., 2003). 이러한 개념을 측정하기 위해 Davis가 개발한 항목들로 제시된 문항은 [표 2-13]과 같다.

[표 2-13] 인지된 사용 용이성 측정 문항

항목 번호	원문 문항 (Original Item)	의미	의미 요약
PEOU1	Learning to operate the [system name] would be easy for me.	그 시스템을 사용하는 법을 배우는 것은 나에게 쉬울 것이다.	학습의 용이성
PEOU2	I would find it easy to get the [system] to do what I want it to do.	나는 시스템을 내가 원하는 대로 작동시키는 것이 쉽다고 느낄 것이다.	조작의 용이성
PEOU3	My interaction with the [system] would be clear and understandable.	시스템과의 상호작용은 명확하고 이해하기 쉬울 것이다.	인터페이스의 명확성
PEOU4	I would find the [system] to be flexible to interact with.	시스템은 상호작용하기에 유연하다고 느낄 것이다.	유연한 상호작용
PEOU5	It would be easy for me to become skillful at using the [system].	나는 시스템을 능숙하게 사용하는 것이 쉬울 것이다.	숙련의 용이성
PEOU6	I would find the [system] easy to use.	나는 시스템이 사용하기 쉽다고 느낄 것이다.	전반적 사용 용이성

출처 : Davis 1989

## 2) 인지된 유용성(Perceived Usefulness, PU)

인지된 유용성은 정보기술이나 정보시스템을 사용함으로써 사용자의 직무 수행 성과가 향상될 것이라고 믿는 정도를 의미한다(Davis, 1989). 이는 개인이 특정 기술의 활용이 자신의 업무 효율성, 생산성, 혹은 성과를 높여줄 것이라고 인식하는 신념으로 정의된다. 이 개념은 Fishbein and Ajzen(1975)의 합리적 행동이론(TRA)에 근거하여 개발되었으며, 성과 향상에 대한 ‘결과 기대(outcome expectancy)’라는 인지적 개념과도 밀접히 관련된다(Bandura, 1986). 사용자는 실제 경험을 통해 기술의 가치나

유용성을 인식할수록 그 기술을 지속적으로 활용하고자 하는 의도를 가지게 된다(Davis, 1989; Venkatesh & Davis, 2000). 따라서 사용자가 해당 기술을 사용하여 업무를 효과적으로 이용할 수 있는지, 원하는 서비스 결과를 얻을 수 있는지, 그리고 고객의 요구를 충족하는지와 관련된다. 또한, 이용자들이 경험을 통해 로봇의 실제 가치나 유용성을 지각할 때, 해당 로봇을 이용하고자 하는 의도가 생길 것이라는 점과도 연결된다. 이는 향후 연구자들에 의해 기술 사용의 결과적 효익에 초점을 둔 “결과 중심적 신념(performance outcome belief)”으로 분류된다(Gefen & Straub, 2000; Legris et al., 2003). 이를 정도를 측정하기 위해 Davis가 개발한 항목들로 제시된 문항은 [표 2-14]와 같다.

[표 2-14] 인지된 유용성 측정 문항

항목 번호	원문 문항 (Original Item)	의미	의미 요약
PU1	Using the system in my job would enable me to accomplish tasks more quickly	이 [시스템]을 사용하면 업무를 더 빠르게 수행할 수 있을 것이다.	업무속도 향상
PU2	Using the [system] would improve my job performance.	이 [시스템]을 사용하면 나의 업무 성과가 향상될 것이다.	업무성과 향상
PU3	Using the [system] in my job would increase my productivity.	이 [시스템]을 사용하면 나의 업무 생산성이 높아질 것이다.	생산성 향상
PU4	Using the [system] would enhance my effectiveness on the job.	이 [시스템]을 사용하면 업무 수행의 효율성이 향상될 것이다.	효율성 향상
PU5	Using the [system] would make it easier to do my job.	이 [시스템]을 사용하면 업무를 수행하기가 더 쉬워질 것이다.	업무용이성
PU6	I would find the [system] useful in my job.	나는 이 [시스템]이 나의 업무에 유용하다고 생각할 것이다.	점반적 유용성 인식

출처 : Davis 1989

### 3) TAM 적용 혁신 기술 연구

혁신 기술의 지속적인 등장과 디지털 전환이 가속화되면서 새로운 혁신 기술들이 다양한 산업 영역에 빠르게 확산되고 있으며, 이러한 기술들은 기존의 업무 방식과 산업 구조를 근본적으로 변화시키고 있다(주강진 외,

2017; 정현석, 2019).

이와 같은 변화 속에서 여전히 혁신 기술 연구에 TAM은 핵심적인 이론적 틀로 활용되고 있다. TAM은 단순하면서도 명확한 인과 구조를 통해 사용자의 기술 수용 의도를 설명할 수 있을 뿐 아니라(Venkatesh et al., 2000), 새로운 기술의 도입 초기에 발생하는 불확실성과 심리적 저항을 이해하는 데 유용한 분석 틀을 제공한다(유재현 외, 2010; 이경환, 2017).

특히 최근의 연구들에서도 TAM을 기반으로 URC 개인용 로봇 (김유정 외, 2009)과 호텔 로봇의 인공지능(AI) 서비스 (양다형 2024; 홍민정, 김희정 2024), 소매점포 서비스 로봇 (조희수 & 박진용, 2024), 공항 휴머노이드 로봇 (김근정 외, 2019), 지체장애인을 위한 인공지능 스피커 (박혜현 & 이선민, 2021), 비트코인과 같은 가상 화폐 (신동희, 김용문 2016) 및 핀테크 서비스 (김수현 & 이도윤, 2023)와 같은 금융 기술 분야, 그리고 VMI 시스템 (양종곤 외, 2016)이나 일반 정보시스템 품질 연구(박상현, 이정은 2019) 등의 정보시스템 및 SCM 정보기술 분야의 수용 의도와 활용 행태를 실증적으로 분석하고 있으며, 이러한 분석을 통해 기술혁신이 사회·산업 전반으로 확산되는 과정에서 신기술 수용 요인을 확인하고, 기술 개발 및 서비스 전략 수립의 방향을 제시하고 있다.

### 3. 인지된 위험(Perceived Risk: PR)

#### 가. 인지된 위험의 개념 및 변수 채택의 근거

##### 1) 인지된 위험의 개념

Bauer (1960)는 '인지된 위험(PR)'이라는 개념을 처음으로 제시하였다. Bauer는 소비자의 모든 행위가 발생 가능한 모든 결과를 예측할 수 없기 때문에 위험이 발생한다고 보았으며, 인지된 위험을 두 가지 차원 (two-dimensional structure)의 조합으로 구분하거나 정의했다. 즉 소비

자가 제품 사용의 결과를 확실하게 예측할 수 없고, 그 결과 중 일부가 불쾌할 가능성이 있기 때문에 소비자 행동에는 위험이 수반된다고 주장하며 인지된 위험은 불확실성(probability of loss)과 손실의 심각성(consequence or importance of that loss)을 합한 것으로 개념화되었다.

이는 수용 결정을 내릴 때 결과를 예측할 수 없을 때 이용자가 느끼는 불확실성을 의미하며, 이러한 Bauer의 정의를 바탕으로, 후속 연구자들 또한 인지된 위험을 유사하게 해석하였다.

예를 들어, Peter and Ryan(1976)은 인지된 위험을 ‘구매와 관련된 손실에 대한 기대이며 구매 행동의 억제제로 작용하는 것’으로 개념화했으며, 이를 손실 발생 확률(probability of loss)과 손실의 결과 또는 중요성(consequence or importance of that loss)이라는 두 가지 뚜렷한 구성요소로 개념화 시켰다(이유나 & 이유재, 2008).

## 2) 인지된 위험 확장의 필요성

초기 기술수용모델(TAM)은 기술 사용에 대한 긍정적 측면(유용성, 용이성)에 초점을 맞추었기 때문에 기술 수용에 대한 심리적 위험이나 손실을 간과하는 경향이 있었다(Featherman & Pavlou, 2003). 그러나 새로운 기술의 위험 또는 위험 가능성에 대한 수용자의 인지는 수용에 대한 심리적 부담이나 거부로 이어질 수 있다는 점에서, 인지된 위험을 고려해야 기술수용 과정의 설명력을 높일 수 있다(황재 & 유흥식, 2016).

실제로 많은 선행 연구에서 인지된 위험은 혁신 기술이나 하이테크 제품의 수용을 막는 중요한 변인으로 인식되고 있다. Featherman and Pavlou (2003)는 전자 서비스 수용 연구에서 인지된 위험이 인지된 유용성보다 더 강력한 예측 변수임을 실증하였으며, 일반적으로 인지된 위험이 높을수록 기술이나 서비스의 이용 의도는 낮아진다고 보고하였다.

한편 협동로봇(Collaborative Robot)은 기존 산업용 로봇과 달리 안전 펜스 없이 인간과 동일한 공간을 공유하며 협업한다(ISO 10218-1, 2011). 이러한 인간-로봇 협력(Human-Robot Collaboration, HRC)은 생산성 향

상과 유연성 증대라는 장점을 제공하지만, 동시에 작업자와의 충돌, 오작동으로 인한 안전사고 등 신체적 위험(Physical Risk)을 본질적으로 내포한다(Villani et al., 2018). 또한 로봇의 예측 불가능한 행동으로 인한 불안감, 통제력 상실감, 직무 대체 우려 등 심리적 위험(Psychological Risk)도 유발한다(Onnasch et al., 2016).

이러한 연구 결과는 물리적·심리적 위험을 내포한 기술의 수용 연구에서 인지된 위험을 TAM의 제3의 신념 변수로 추가할 필요성을 뒷받침한다. 따라서 본 연구는 중소기업 구성원의 협동로봇 도입 의도를 정확히 이해하기 위해 인지된 위험을 제3의 매개변수로 추가하였다.

#### 나. 인지된 위험의 유형 및 본 연구의 측정 범위

##### 1) 인지된 위험의 7가지 유형

Zikmund and Scott(1973)는 소비자 행동 연구에서 인지된 위험(PR)개념을 체계화하면서, 소비자가 제품이나 기술을 선택할 때 느끼는 위험을 [표 2-15]와 같이 7가지 유형으로 구분하였는데 이는 이후 TAM, DOI, TOE 등 다양한 기술수용 연구의 이론적 기반으로 활용되고 있다(황재 & 유홍식, 2016). 그러나 7가지 위험이 모두 동일하게 기술 도입 초기 단계에서 인지되는 것은 아니며, 위험 유형별로 인지되는 시점과 강도가 상이하다는 것이 후속 연구들에 의해 보고되고 있다(Featherman & Pavlou, 2003).

특히 기술 수용 단계에 따라 인지되는 위험 유형이 달라지며, 도입 초기 단계에서는 신체적 위험과 심리적 위험이 가장 선행적으로 인지되는 반면, 성능적 위험, 재무적 위험, 시간적 위험 등은 기술이 실제로 운영되는 후기 단계에서 구체화된다(Im et al., 2008).

[표 2-15] 인지된 위험의 유형

위험 유형	설명	협동로봇 연구에서의 예시 적용
1. 성능적 위험 (Performance Risk)	제품이나 기술이 기대한 대로 작동하지 않거나 성능이 부족할 수 있다는 우려.	협동로봇이 생산현장에서 예상만큼 효율적이지 않거나 오작동을 일으킬 가능성에 대한 우려.
2. 재무적 위험 (Financial Risk)	기술을 도입함으로써 발생할 수 있는 금전적 손실 위험.	협동로봇 도입비용이 예상보다 많이 들거나, 투자 대비 수익(ROI)이 낮을 수 있다는 불안.
3. 시간적 위험 (Time Risk)	기술 도입 또는 사용 과정에서 시간 손실이 발생할 수 있다는 위험.	협동로봇 설치, 조정, 교육 등에 예상보다 많은 시간이 소요될 수 있다는 우려.
4. 신체적 위험 (Physical Risk)	제품 사용으로 인해 신체적 상해나 안전사고가 발생할 수 있다는 위험.	협동로봇이 사람과 협업하는 과정에서 안전사고를 유발할 가능성.
5. 심리적 위험 (Psychological Risk)	기술을 사용함으로써 개인의 자아, 자신감, 심리적 안정감에 부정적 영향을 줄 수 있는 위험.	새로운 로봇 기술 사용에 대한 두려움, 기술에 대한 불신감 등.
6. 사회적 위험 (Social Risk)	기술 사용이 사회적 평판이나 주변의 평가에 부정적 영향을 미칠 수 있다는 위험.	동료나 상사가 로봇 사용을 부정적으로 평가하거나 “인력 감축의 원인”으로 여길 수 있다는 우려.
7. 기회비용적 위험 (Opportunity Cost Risk)	해당 기술을 선택함으로써 더 나은 대안을 놓칠 수 있다는 위험.	협동로봇 대신 다른 자동화 솔루션을 선택했을 경우 더 높은 효율을 얻을 수 있었을지도 모른다는 불안.

출처 : Zikmund & Scott(1973). 저자 편집

## 2) 신체적·심리적 위험에 초점을 맞춘 이유

본 연구에서는 협동로봇의 도입 의도를 설명하기 위한 위험 요소로 신체적 위험(physical risk)과 심리적 위험(psychological risk)에 초점을 맞추었다. 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 협동로봇은 인간과 동일한 작업 공간에서 물리적으로 협업하는 특성을 가지기 때문에, 사용자가 가장 직접적으로 인지하는 위험은 로봇과의 충돌·오작동 등 신체적 안전에 대한 우려이다. 이러한 위험은 기술을 실제

사용해보기 이전인 도입 전 단계에서 즉각적으로 인식되며, 개인의 수용 판단에 결정적인 영향을 미치는 요인으로 보고된다(Lee, 2009).

둘째, 협동로봇과의 협업 경험이 없는 사용자는 기계와 함께 일한다는 것 자체에서 심리적 불안감, 통제 상실감, 낯섦으로 인한 거부감을 느낄 수 있다. 이는 특히 새로운 기술을 접할 때 자주 발생하는 초기 심리적 장벽으로, 기술에 대한 전체적인 태도를 형성하는 핵심 변수로 작용한다(Featherman & Pavlou, 2003). 따라서 심리적 위험은 협동로봇 도입 초기 단계에서 가장 선행적으로 발생하는 위험 유형이다.

반면, 성능적 위험, 재무적 위험, 시간적 위험, 사회적 위험, 기회비용 위험 등 나머지 위험 유형들은 기술이 실제로 도입되어 운영되고 성과가 나타나는 운영-확산 단계에서 구체화 되는 경우가 많다(Im et al., 2008). 즉, 성능 문제나 비용 문제, 시간 손실, 사회적 평가 등은 기술을 실사용한 이후에 더욱 명확히 인지되는 위험 요소로, 본 연구처럼 “초기 수용 의도”를 분석하는 단계와는 개념적으로 일치하지 않는다.

예를 들어, 재무적 위험은 조직 차원의 의사결정 위험으로 개인 작업자의 수용 의도와 분석단위가 불일치하며(Thong, 1999), 기능적 위험은 인지된 유용성의 역개념으로 개념적 중복이 발생한다(Featherman & Pavlou, 2003). 사회적 위험은 개인 소비자 제품(B2C)에서는 중요하지만 조직 내 기술 도입(B2B) 맥락에서는 영향력이 미미하며(Jung & Kim, 2015), 시간적 위험은 인지된 용이성의 역 개념으로 측정 중복이 발생한다(Venkatesh & Davis, 2000). 기회 상실 위험은 복수의 대안을 비교할 수 있는 상황에서만 의미가 있으나, 본 연구 대상인 중소기업 구성원은 협동로봇에 대한 인지 단계(Awareness Stage)에 있어 대안 비교가 불가능하다(Rogers, 2003).

따라서 본 연구는 협동로봇의 물리적·작업적 특성과 기술 도입 초기 단계의 심리적 반응을 고려하여, 7가지 위험 중 신체적 위험과 심리적 위험을 중심으로 인지된 위험 변수를 측정하기 위한 척도로 설문을 구성하였다.

#### 4. TOE와 TAM의 통합

##### 가. 이론 선택 정당화 : UTAUT와 비교

최근 기술수용 연구에서는 통합기술수용이론(UTAUT: Unified Theory of Acceptance and Use of Technology)을 적용한 사례가 증가하고 있으나, 본 연구는 협동로봇 도입 의도의 분석 틀로서 UTAUT 대신 TOE 프레임워크와 기술수용모형(TAM)의 통합모형을 선택하였다. 그 이유는 협동로봇 도입이 개인의 인지적 평가와 조직·환경적 요인이 동시에 작용하는 복합적 혁신 기술 특성을 가지기 때문이다(Hameed & Arachchilage, 2016).

UTAUT는 기술 수용을 설명하는 강력한 통합모형이지만, 그 핵심 구성 요소들은 TAM 및 TOE의 변수들과 개념적으로 중복되는 경향이 있으며, 적용 단계 역시 협동로봇의 초기 인식·도입 맥락과 충분히 부합하지 않는 한계를 지닌다(Bagozzi, 2007). 구체적으로 UTAUT의 ‘성과기대(performance expectancy)’는 TAM의 ‘지각된 유용성(perceived usefulness)’과 개념적으로 동일하며, ‘노력 기대(effort expectancy)’는 ‘지각된 용이성(perceived ease of use)’과 직접적으로 대응 된다. 또한 ‘사회적 영향(social influence)’은 제도적 압력 및 외부 이해관계자 영향 등 TOE의 환경요인과 유사한 기능을 한다(정현석, 2019).

반면, UTAUT의 ‘촉진 조건(facilitating conditions)’은 기술이 이미 도입되어 운영·정착되는 확산(post-adoption) 단계에서 그 의미가 강화되는 변수로, 협동로봇과 같이 초기 인식 및 도입 의사결정 단계에 있는 기술을 설명하는 데에는 적용상 한계가 존재한다(Venkatesh et al. 2003). 이러한 이론적 중복성과 적용 단계의 부합성을 종합적으로 고려할 때, 협동로봇의 초기 도입 의도를 설명하기 위해서는 개인의 심리적 지각을 설명하는 TAM과 조직·환경적 맥락을 포괄하는 TOE의 통합모형이 이론적·현실적 측면에서 보다 높은 정합성을 지닌 분석 틀이라 할 수 있다.

## 나. 통합 필요성

협동로봇은 조직과 개인이 동시에 수용해야 하는 융합기술이며, 기존 산업용 로봇과 달리 작업자와 동일 공간에서 협업하는 인간 중심 기술이다 (Patil et al., 2023). 따라서 도입 효과를 극대화하기 위해서는 조직적 지원과 구조적 준비뿐만 아니라, 작업자 개인의 수용성이 동시에 충족되어야 한다고 하였다(Li, 2020). 여기에 TOE와 TAM의 결합이 필요한 이유가 존재한다.

기술-조직-환경(TOE)와 기술수용모델(TAM)은 기술 수용을 서로 다른 분석 수준에서 설명하지만, 두 모형은 상호보완적인 관계를 가진다(Baker, 2012). TOE는 조직의 기술적 역량, 구조적 특성, 외부 환경 요인 등 거시적 맥락 요인 설명한다면 TAM이 개인의 인식과 태도를 중심으로 기술 수용 의도를 함께 고려함으로써 기술 도입 과정을 보다 포괄적으로 이해할 수 있도록 한다(Bryan & Zuva, 2021).

[표 2-16] 조직과 개인 차원 이론 적용

차원	설명	적용이론
조직적 차원 (독립변수)	기술 인프라, 조직문화, 리더십, 정부환경 등은 도입 가능성을 구조적으로 결정	▶ TOE Framework
개인인식 차원 (매개변수, 종속변수)	현장 작업자의 기술 수용은 기술에 대한 심리적 인식에 의해 좌우됨.	▶ TAM(기술 수용모델)
	협동로봇 도입으로 인해 현장 작업자가 느끼는 실직 및 상해 위험.	▶ 인지된 위험 이론

출처 : 저자 편집

따라서 최근의 혁신 기술 수용 연구에서는 두 이론을 통합하여 조직 수준의 구조적·환경적 요인과 개인 수준의 심리적 요인을 동시에 분석하는 통합모형으로 활용하는 사례가 증가하고 있다(Ifinedo, 2011; Oliveira & Martins, 2011). 그러므로 본 연구에서는 [표 2-16]와 같이 기업 차원의 기술-조직-환경(TOE) 요인을 독립변수로 설정하고, 이들 요인이 개인 인식 요인(인지된 유용성, 인지된 용이성, 인지된 위험)에 영향을 미쳐 최종적으로 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 구조적 경로를 분석하고

이를 통해 조직 차원 요인이 개인의 인식을 어떻게 매개하여 의사결정에 영향을 미치는지 다층적 인과 경로를 통합적으로 규명하고자 한다.

#### 다. 통합 혁신 기술 연구

이혜진 (2025)의 연구에서는 TOE 속성(기술-조직-환경)의 영향을 TAM의 인지된 유용성 및 용이성을 매개로 검증하고, 중소기업 유형(제조업/서비스업)의 조절 효과를 분석하는 연구를 수행하였다.

이태진 외 (2024)의 ‘조선산업의 디지털 전환 수용 결정요인에 관한 연구’에서는 TOE와 TAM 결합 모형을 채용하여 조선업 종사자 373명을 대상으로 디지털 전환 수용 결정요인과 수용 의도 간의 관계를 인지된 유용성 및 용이성 매개로 분석하는 실증 연구를 수행하였고, 같은 해 정준모와 정윤세 (2024)는 ‘국내 중소 수출기업의 무역 빅데이터 서비스 활용 의도에 관한 연구’는 TOE와 TAM을 통합한 분석 모형을 통해 기술-조직-환경 요인과 인지된 유용성 및 용이성 간의 인과관계에 대해 실증분석을 실시했다. 김창봉과 허영(2021)은 국내 수출중소기업을 대상으로 TOE-TAM 모형을 활용하여 B2B 역직구 플랫폼 활용 의도에 영향을 미치는 기술적, 조직적, 환경적 요인과 인지된 유용성 및 용이성 간의 관계를 검토하는 탐색적 연구를 수행했으며, 곽창원 (2021)은 ‘중소기업 경영자의 스마트 공장 도입 의도에 미치는 영향’을 파악하기 위해 TAM을 근간으로 TOE 및 혁신확산이론(DOI) 등의 이론을 접목하여 연구모형을 구성하고, 정읍 지역 중소기업 경영자를 대상으로 실증분석을 진행하였다.

## 제 3 장 연구 설계

### 제 1 절 연구모형 설계

#### 1. 연구모형의 이론적 근거

본 연구는 중소 제조기업의 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 규명하기 위해, 기술·조직·환경 요인을 설명하는 TOE와 개인의 인지 기반 수용 과정을 설명하는 TAM을 통합한 연구모형을 설계하였다. 제2장에서 검토한 바와 같이, TOE는 조직 차원의 기술 도입 맥락을 설명하는 이론이며(Tornatzky & Fleischer, 1990), TAM은 개인 차원의 기술 수용 의도를 설명하는 이론이다(Davis, 1989).

협동로봇 도입은 조직 차원의 전략적 판단과 작업자 개인의 심리적 평가가 동시에 작용하는 사회 기술적 수용 과정(Socio-Technical Adoption Process)이므로, 두 이론을 결합하여 "조직적 도입 맥락(TOE)이 개인의 인지적 평가(TAM)에 영향을 미쳐 최종적으로 기술 도입 의도를 형성한다."는 다층적 인과관계를 분석하고자 하였다. 이러한 통합모형은 제조 자동화 기술 도입 연구(Wang et al., 2016)에서 실증적으로 검증된 바 있다.

특히 협동로봇은 기존 산업용 로봇과 달리 안전 펜스 없이 인간과 동일한 작업 공간에서 물리적으로 협업하는 기술(Human-Robot Collaboration)이므로(ISO 10218-1, 2011), 사용자에게 신체적 안전 우려(충돌·산업재해)와 심리적 불안감(통제력 상실·직무 대체 우려)이 동시에 발생할 수 있다. 그러나 전통적 TAM은 긍정적 신념(인지된 용이성, 인지된 유용성)만을 다루어 이러한 부정적 신념을 간과한다는 한계가 있으며(Featherman & Pavlou, 2003), 이는 물리적 위험을 내포한 기술 수용 연구에서 제기된 중요한 이론적 한계로 지적된다.

따라서 본 연구는 제2장에서 검토한 바와 같이, TAM을 확장하여 인지된 위험(PR)을 제3의 매개변수로 추가함으로써, 도입 이전 단계에서 형성되

는 부정적 심리 요인이 기술 수용 경로에 미치는 영향을 구조적으로 설명하고자 하였다. 인지된 위험은 Zikmund & Scott(1973)의 7가지 위험 유형 중 협동로봇 맥락에 적합한 신체적 위험과 심리적 위험만을 측정하며, 나머지 유형을 제외한 이론적 근거는 제2장 2.3.2절에서 상술하였다.

## 2. 초기 연구모형 설정과 파일럿 테스트의 필요성

본 연구의 연구 변수 확정을 위한 초기 연구모형은 TOE 프레임워크의 포괄적 적용을 위해 기술 요인(상대적 이점, 안전성, 호환성), 조직 요인(최고경영진 지원, 조직문화, 혁신성), 환경 요인(정부 지원, 정부 규제, 노동력 부족) 등 총 9개의 독립변수와 매개변수로 TAM의 인지된 용이성과 인지된 유용성을 그리고 인지된 위험을 포함하였다. 그러나 협동로봇 도입은 국내 중소기업에서는 아직 초기 인식 단계에 해당하므로(Rogers, 2003), 실제 사용 경험이 없는 상태에서 모든 변수를 정확히 평가하는 것은 개념적·실증적으로 한계가 있다.

그래서 본 설문조사에 앞서 측정 도구의 타당성과 신뢰성을 사전 검증하고, 연구모형의 구조적 적합성을 탐색적으로 평가하기 위해 파일럿 테스트를 실시하였다(Van Teijlingen & Hundley, 2002; Thabane et al., 2010). 파일럿 테스트의 주요 목적은 ① 9개 독립변수 및 3개 매개변수의 측정 문항이 개념을 정확히 측정하는지 확인, ② 중소기업 현장 구성원의 설문 문항 이해도 평가, ③ 초기 가설 중 유의미한 경로를 식별하고 이론적·실증적으로 문제가 있는 변수를 조기에 발견, ④ 교차 적재, 판별 타당도, 다중공선성 문제를 본 조사 전에 해결하는 것이었다.

파일럿 테스트는 2025년 7월 1일~ 7월 2일까지 2일간 실시되었으며 중소기업 근무자 50명을 대상으로 하였다. 유효 응답 50부가 회수되었으며, 응답자 특성은 생산직 68%, 관리직 32%로 구성되었고, 파일럿 테스트 데이터는 SmartPLS 4.0을 사용하여 분석하였으며, 기술 통계 및 결측치 분석, 신뢰도 분석(Cronbach's  $\alpha$ , CR, AVE), 판별 타당도 분석(Fornell & Larcker criterion, 교차 적재 확인), 다중공선성 분석(VIF), 경로계수 추정(부트스트

래핑 5,000회 기반  $\beta$ , t-value, p-value 산출)을 수행하였다.

### 3. 연구모형 정제

#### 가. 독립변수의 측정학적 문제와 삭제 과정

파일럿 테스트 결과, 초기 연구모형의 9개 독립변수 중 호환성(Compatibility), 조직 문화(Organizational Culture), 혁신성(Innovativeness), 정부 규제(Government Regulation) 4개 변수에서 심각한 측정학적 문제가 발견되어 본 조사 전 삭제를 결정하였다. 각 변수의 삭제 근거는 측정학적 타당성, 이론적 적합성, 실증적 유의성의 세 가지 관점에서 검토하였으며, 파일럿 테스트 결과에 따른 독립변수 삭제 근거는 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 독립변수 삭제 근거 요약

변수	측정학적 문제	이론적 문제	실증적 근거	삭제 결정
호환성	$\alpha = 0.642$ , AVE=0.431 인지된 유용성과 교차적재 0.682	중소기업 인지 단계에서 측정 불가능	응답자 직접 경험 없음	삭제
조직 문화	최고 경영진 지원 과 상관 $r=0.734$ 교차적재 0.712	중소기업은 CEO 중심 의사결정	조직문화→인지된 유용성: $\beta=0.178, p=0.284$ (비유의)	삭제
혁신성	VIF=3.241>3.0 최고 경영진 지원/ 조직문화와 높은 상관	개인 특성 vs. 조직 의도 불일치	혁신성→인지된 유 용성 $\beta=0.142$ , $p=0.387$ (비유의)	삭제
정부 규제	안전성과 상관 $r=0.694$ 교차적재 0.741	거시 환경 요인, 개인 인지에 부적 합	정부규제→모든 경 로 $p>0.05$ (비유의)	삭제

주: N=50, Bootstrap 5,000회, 기준값 -  $\alpha \geq 0.70$ , AVE  $\geq 0.50$ , VIF & 3.0, 교차 적재 & 0.70

이상의 과정을 통해 4개 변수를 삭제하고, 상대적 이점(Relative

Advantage), 안전성(Safety), 최고경영자 지원(Top Management Support), 정부 지원(Government Support), 노동력 부족(Labor Shortage) 5개 변수를 최종 독립변수로 확정하였다. 이는 Hair et al.(2014)의 측정 모형 정제 지침에 따라 신뢰도·타당도 기준 미달 변수를 제거함으로써 측정 모형의 적합성을 향상시키는 표준적인 절차이며, Kline(2015)이 제시한 ‘모형 간명성(Parsimony) 원칙’에도 부합한다.

#### 나. 독립변수와 인지된 위험 경로의 이론적 적합성 검토 및 실증 검증

본 연구가 측정하는 인지된 위험은 신체적 위험(충돌·안전사고 우려)과 심리적 위험(불안감·직무 대체 우려) 측정 문항으로 구성되므로, 각 독립변수가 인지된 위험에 영향을 미치기 위해서는 ‘해당 변수가 작업자의 신체적·심리적 위험 인식을 직접적으로 감소시키거나 증가시킨다.’는 명확한 논리적 연결이 성립해야 한다. 파일럿 테스트에서 9개의 독립변수 중 변수 삭제 후 남은 5개 독립변수를 중심으로 인지된 위험과의 경로에 대한 이론적 검토와 실증 검증을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 상대적 이점은 협동로봇의 성과 향상 능력을 의미하며 인지된 유용성과 연결되지만(Rogers, 2003; Davis, 1989), 성과 우수성이 신체적·심리적 위험 감소로 이어진다는 논리적 연결은 성립하지 않았다. 파일럿 테스트 결과  $\beta = -0.084$ ,  $t = 0.621$ ,  $p = 0.537$ 로 비 유의하여 본 조사에서 제외하였다.
- 최고경영자 지원은 조직 차원의 추진력을 나타내지만(Thong, 1999), 경영진의 지지가 작업자 개인의 충돌 위험이나 불안감을 직접 감소시킨다는 논리는 성립하지 않았다. 위험 인식은 기술 자체의 안전 특성에 의해 결정된다(Bröhl et al., 2019). 파일럿 테스트 결과  $\beta = -0.127$ ,  $t = 0.894$ ,  $p = 0.374$ 로 비 유의하여 제외하였다.
- 정부 지원은 경제적 부담 감소와 관련되지만(Zhu et al., 2006), 정부의 재정 지원이 작업자의 위험 인식을 감소시킨다는 논리적 연결은 약하다. 파일럿 테스트 결과  $\beta = -0.063$ ,  $t = 0.487$ ,  $p = 0.628$ 로 비 유의하

여 제외하였다.

- 노동력 부족은 대체재로서의 필요성을 나타내지만(Acemoglu & Restrepo, 2019), 노동력이 부족하다고 해서 협동로봇의 위험이 감소하는 것은 아니다. 노동력 부족은 도입 필요성은 높이지만 위험 인식은 변화시키지 않는다. 파일럿 테스트 결과  $\beta=0.041$ ,  $t=0.312$ ,  $p=0.756$ 으로 비 유의하여 제외하였다.

반면, 안전성(Safety)은 협동로봇의 안전장치를 통한 작업자 보호 정도를 의미하며, 인지된 위험과 직접적으로 대응하는 개념이다(Bröhl et al., 2019; ISO 10218-2, 2011). 협동로봇 연구에서 안전성은 신체적·심리적 위험 감소의 핵심 결정요인으로 일관되게 보고되고 있다. Bröhl et al.(2019)의 4개국 연구는 안전성이 인지된 위험을 감소시키는 가장 강력한 선행요인임을 실증하였으며( $\beta=-0.51$ ,  $p<0.001$ ), Hancock et al.(2011)의 메타분석은 로봇의 안전성이 신뢰와 수용에 가장 강력한 영향을 미친다고 보고하였다( $r=0.68$ ). 파일럿 테스트 결과 안전성  $\rightarrow$  인지된 위험 경로는  $\beta=-0.542$ ,  $t=4.871$ ,  $p<0.001$ 로 강하게 유의하여 본 조사에 포함하였다.

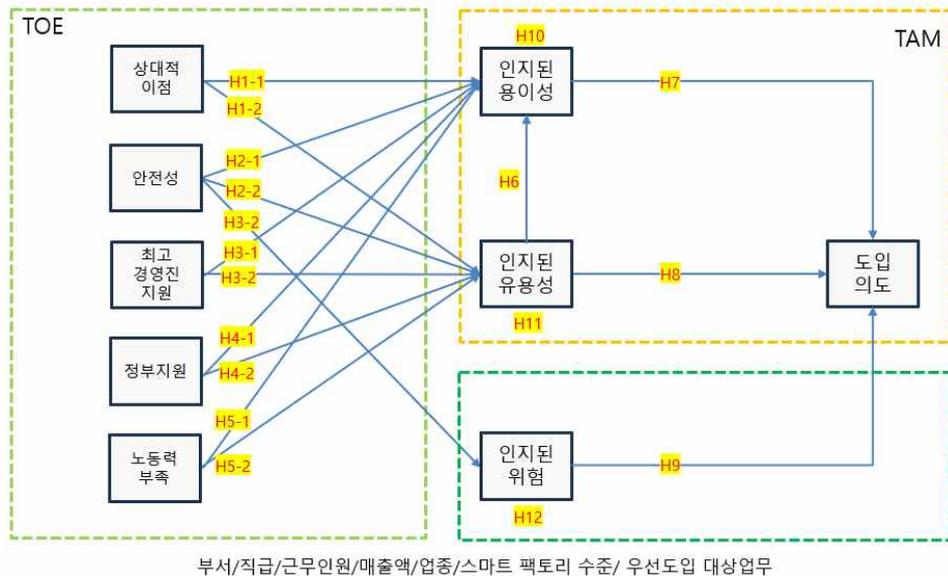
#### 4. 최종 연구모형

파일럿 테스트를 통한 독립변수의 측정학적 검증과 인지된 위험 경로의 이론적·실증적 검증을 거쳐, 본 연구는 중소기업의 협동로봇 도입 의도를 설명하기 위한 최종 연구모형을 확정하였으며, 다음과 같은 변수 구조를 가진다.

- 독립변수(TOE 기반): 상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족
- 매개변수(TAM 및 PR 기반): 인지된 용이성(PEOU), 인지된 유용성(PU), 인지된 위험(PR)
- 종속변수: 협동로봇 도입 의도

최종 연구모형은 중소 제조기업의 협동로봇 도입 의도를 결정하는 인지적·조직적·환경적 영향 경로를 구조적으로 규명하기 위한 분석 틀이며, 각 변수 간 인과적 관계를 [그림 3-1]과 같이 제시한다.

[그림 3-1] 연구모형



## 제 2 절 연구 가설

### 1. 상대적 이점과 인지된 용이성 / 유용성 간의 관계

협동로봇 기술 수용에 있어 중소 제조기업의 상대적 이점이 인지된 용이성, 인지된 유용성에 미치는 영향을 검증한 연구는 많지 않으나, [표 3-1] 김산희 (2019)의 연구에서 TOE의 기술적 요인인 상대적 이점이 매개변수인 인지된 용이성과 인지된 유용성 모두에 정(+ )의 영향을 미치는 것을 확인했으며, Jung & Kim (2015)의 연구에서는 상대적 이점이 인지된 용이성과 인지된 유용성에 모두 정적인 영향을 주었음을 보고했고, 황재 & 유홍식 (2016)의 연구에서도 상대적 이점이 인지된 용이성과 인지된 유용성 모두에

정(+)<sup>2</sup>의 영향 모두 유의한 영향을 미치는 것을 확인했다.

선행 연구를 종합할 때, 중소기업의 상대적 이점은 인지된 용이성, 인지된 유용성에 영향력이 있음을 확인할 수 있으며, 본 연구에서 이를 검증하기 위한 다음의 가설 설정이 가능하다.

- H1-1: 상대적 이점은 협동로봇의 인지된 용이성에 정(+)<sup>2</sup>의 영향을 미칠 것이다.
- H1-2: 상대적 이점은 협동로봇의 인지된 유용성에 정(+)<sup>2</sup>의 영향을 미칠 것이다.

## 2. 안전성과 인지된 용이성 / 유용성 / 위험 간의 관계

안전성과 TAM의 주요 구성 요소인 인지된 용이성 및 인지된 유용성 간의 관계를 탐색한 연구들은 이들이 로봇 또는 자동화 시스템 수용의 핵심 예측 변수로서 상호 연결되어 있음을 보여준다. 특히 안전성은 협동로봇 수용의 핵심 차원 중 하나로 인식된다. 자율주행차(AVs) 연구를 수행한 Montoro et al., (2019)의 논문에서는 안전성이 AVs의 사용 의도를 예측하는 중요한 요인임이 확인되어, 안전성 인식이 시스템의 기능적 가치에 대한 긍정적인 평가와 밀접한 관계가 있음을 뒷받침한다. 또한, 로봇 지원 훈련 시나리오를 다룬 Akalin et al., (2019)의 연구에서는 로봇으로부터 긍정적인 피드백을 받아 심리적 편안함과 안전성 인식이 높아진 작업자 그룹이 인지된 유용성을 유의미하게 높게 평가하는 결과가 도출되었다. 이는 안전성에 대한 인식이 높을수록 로봇의 기능적 효용을 더욱 긍정적으로 인식할 가능성이 높음을 시사하겠다.

한편, 인지된 용이성과의 관계는 다소 복잡하게 나타나는데, 인지된 안전성이 로봇과의 상호작용에서 심리적 불편함이나 스트레스의 부재와 연결되며 이는 인체공학적 목표(효율적이고 오류 없는 작동 보장)와 일치하기 때문에 일반적으로 용이성을 촉진할 것으로 기대되지만, 상기 Akalin et al., (2019)의 연구 결과에서는 오히려 부정적 피드백을 받은 그룹이

인지된 용이성을 유의미하게 높게 평가하는 상반된 결과가 관찰되기도 했다. 이러한 상반된 결과는 로봇이 높은 안전성을 보장하기 위해 취하는 행동(예: 과도하게 조심스럽거나 느린 움직임)이 때로는 사용자에게 사용상의 용이성을 저해하는 요소로 작용할 수 있음을 암시한다.

또한 선행 논문에서 안전성이 유용성 및 용이성에 미치는 영향을 분석하고, 다음으로 안전성의 초점 측면에서는 물리적 안전이 주로 신체적 부상을 고려하는 반면, 심리적 또는 안전성은 로봇과 상호작용할 때 사람들이 느끼는 주관적인 감정에 초점을 맞춘다고 분석하였다. 이러한 선행 논문의 안전성에 대한 정의를 바탕으로 다음과 같은 가설을 수립하였다.

- H2-1: 안전성은 협동로봇의 인지된 용이성에 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미칠 것이다.
- H2-2: 안전성은 협동로봇의 인지된 유용성에 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미칠 것이다.
- H2-3: 안전성은 협동로봇의 인지된 위험에 부(-)<sup>1</sup>의 영향을 미칠 것이다.

### 3. 최고 경영진 지원과 인지된 용이성 / 유용성 간의 관계

중소 제조기업의 협동로봇 기술 도입에 있어 최고 경영진 지원은 인지된 용이성과 인지된 유용성 모두에 핵심적인 영향을 미치는 요인으로 작용한다. 이혜진 (2025)은 조직적 속성 중 최고 경영진 지원이 인지된 유용성과 인지된 용이성 모두에 유의한 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미치는 것으로 확인되었고, 이는 최고 경영진의 적극적인 지원과 준비 체계가 기술 사용의 편리함과 성과 향상 인식을 증대시키는 데 기여함을 시사하며, 이소라 (2021)의 항공서비스 비대면 교육 도입의 지속사용 연구에서는 조직적 상황의 요인들이 인지된 유용성에는 유의한 영향을 미치지 못하고, 경영층 지원 역시 인지된 용이성에 영향 관계가 없는 것으로 나타나는 등 기술 및 환경적 상황에 따라 최고 경영진 지원의 영향력에 차이가 있을 수 있음을 제시했다. 김창현 (2023)의 제조기

업 스마트팩토리 전환 의도 연구 등 스마트 팩토리 도입 연구에서는 경영진의 지원이 인적, 물적 자원이 부족한 중소기업의 전환 의도에 미치는 요인 중 효과 크기가 가장 큰 요인으로 실증된 바, 최고 경영진 지원은 기술 도입의 성공에 매우 중요한 요소임이 확인되었다.

본 연구에서도 선행 연구를 바탕으로 중소 제조기업의 혁신 기술 도입에 있어 최고 경영진 지원이 절대적인 영향 요인이라고 판단 되어 다음과 같은 가설을 수립하였다.

- H3-1: 최고 경영진 지원은 협동로봇의 인지된 용이성에 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미칠 것이다.
- H3-2: 최고 경영진 지원은 협동로봇의 인지된 유용성에 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미칠 것이다.

#### 4. 정부 지원과 인지된 용이성 / 유용성 간의 관계

국내 중소기업 여건상 혁신 기술 도입에 있어 정부 지원은 중요한 역할을 하고 있다. 협동로봇 기술 수용에 있어 중소 제조기업의 정부 지원이 인지된 용이성, 인지된 유용성에 미치는 영향을 검정한 연구는 많지 않으나, 정준모와 정운세 (2024)의 연구에서는 정부 정책이 인지된 용이성에는 긍정적인 영향을 미치지만, 인지된 유용성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고했고, 이윤호 외(2022)의 ‘드론 초기 사용자의 인식과 활용 의도에 관한 연구’에서는 환경 요인인 정부 지원이 인지된 사용 용이성 및 인지된 유용성 모두에 유효한 영향을 미치는 것으로 확인되었고, Legesse et al.(2024)의 연구에서도 정부 지원 및 정책(Government Support and Policy) 요인이 인지된 유용성과 인지된 용이성 모두에 유의한 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

상기 선행 연구를 종합할 때, 중소 제조기업에 대한 정부 지원은 인지된 용이성, 인지된 유용성에 개별적인 영향력 차이가 있음이 시사되며 이를 검정하기 위한 다음의 가설 설정이 가능하다.

- H4-1: 정부 지원은 협동로봇의 인지된 용이성에 정(+ )의 영향을 미칠 것이다.
- H4-2: 정부 지원은 협동로봇의 인지된 유용성에 정(+ )의 영향을 미칠 것이다.

## 5. 노동력 부족과 인지된 용이성 / 유용성 간의 관계

노동력 부족이 인지된 용이성 및 인지된 유용성이라는 TAM의 변수와 직접적인 영향 관계를 분석한 선행 논문은 명확히 발견되지 않으나, 노동력 부족이 자동화 및 기술 도입의 '효과성' (유용성 대리 변수) 및 '실현 가능성' (용이성 대리 변수)에 미치는 영향을 분석하는 경제적/경영학적 논의는 광범위하게 나타났다.

Ducanes and Abella (2008)의 연구에 따르면, 한국을 포함한 동아시아 경제에서 노동력 부족은 급속한 경제 성장과 저출산의 결과로 발생하는 심각한 문제로 인식되며, 이는 기업들이 자동화, 기술 개선, 또는 이주 노동자 고용 등 전략적 대안을 모색하도록 하는 강력한 동인으로 작용한다고 하였다. 이 연구는 정책 결정자들이 노동력 부족 문제를 해결하기 위한 대안들을 평가할 때, 해당 대안들의 비용, 예상되는 효과성 및 적절성을 종합적으로 고려해야 한다고 제시한다. 특히, 노동력 부족은 자동화나 기술 개선과 같은 노동 절약적 혁신을 촉진할 수 있을 것이다.

이러한 맥락에서 이동렬 (2022)의 '정보통신기술(ICT)을 활용한 제화 산업의 공정 자동화 - 구인난 극복 및 경쟁력 제고를 중심으로'는 구인난이 만성화된 3D 업종인 제화 산업 사례를 분석하며, 정보통신기술(ICT)을 활용한 공정 자동화가 만성적인 인력 부족을 완화하고 업무 효율 및 생산성의 비약적인 증가를 예측하게 한다는 점에서 해당 기술의 유용성이 극대화됨을 제시하였다. 즉, 인력 부족 상황이 심각할수록, 생산성 향상과 인력난 해소를 약속하는 기술이나 전략의 유용성(효과성)에 대한 평가는 높아질 수밖에 없다고 분석하였다.

따라서 선행 연구를 참고하여 본 협동로봇 도입 연구에서 노동력 부족은 타 선행 논문과의 차별성을 나타내는 핵심 동인으로 만성적인 구인난을 극복하고, 인건비를 절감하며, 총요소생산성(TFP)을 향상시켜 기업의 경제적 지속가능성과 경쟁력을 제고하는 핵심적인 동인 변수로 설정되었으며, 직무를 수행할 적합한 지원자를 찾지 못하는 상황(노동력 부족)의 심각도가 높을수록, 기업의 경영자는 노동 투입을 최소화하고 생산 효율성을 제고하여 만성적인 인력 부족 상태를 완화하기 위해 협동로봇 도입을 더욱 적극적으로 추진할 것이라는 가설을 다음과 같이 설정하였다.

- H5-1: 노동력 부족은 협동로봇의 인지된 용이성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H5-2: 노동력 부족은 협동로봇의 인지된 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

## 6. 인지된 용이성과 인지된 유용성 간의 관계

기술수용모델(TAM)에 대한 다수의 선행 연구들은 인지된 용이성이 인지된 유용성에 유의한 정(+)의 영향을 미침을 일관되게 분석하였다. Davis (1989)는 기술 수용의 이론적 틀을 제시하며 인지된 용이성이 인지된 유용성에 영향을 미칠 것이라는 가설을 설정하였으며, 이후 실증분석 결과에서도 용이성이 유용성에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이는 시스템 사용이 용이 할수록 업무 성과(즉, 유용성)를 높일 수 있다는 논리에 기반한다.

이러한 인지된 용이성에서 인지된 유용성으로의 경로는 다양한 기술 및 환경에서 광범위하게 검증되었다. 예를 들어, 양종곤 등 (2016)의 "기술수용 이론을 적용한 공급자 재고관리 의도에 관한 연구"에서는 인지된 용이성이 인지된 유용성에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 김근정 외 (2019)의 '인지된 용이성과 인지된 유용성이 휴머노이드(Humanoid) 로봇 사용 의도에 미치는 영향' 연구에서도 인지된 용이성이 인지된 유용성에 유의하게 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서, 인지된 용이성이 인지된 유용성에 미치는 영향에 대한 표준적이고 일관된 지지에도 불구하고, 협동로봇 초기 연구의 실증적 검증 부족 및 용이성이 유용성에 미치는 영향에 대한 제한적 연구 결과는 해당 인과관계의 제한성을 시사한다. 이러한 연구 부족이나 제한적인 연구 결과를 종합적으로 고려할 때, 본 연구가 주목한 인지된 용이성이 인지된 용이성에 미치는 영향 관련 가설을 검정할 필요성이 제기되어 다음과 같이 가설을 수립하였다.

- H6 : 인지된 용이성은 인지된 유용성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

## 7. 인지된 유용성, 인지된 용이성과 도입 의도 간의 관계

기술수용모델(TAM)에 관한 선행 연구들은 인지된 용이성과 인지된 유용성이 사용자의 기술 수용 의도에 영향을 미치는 핵심 신념 변수임을 입증해 왔다. 이 두 변수는 일반적으로 사용자의 태도를 매개하거나 직접적으로 행동 의도에 영향을 미치는데, Davis (1989)의 연구를 포함하여 많은 연구에서 인지된 유용성이 도입 의도의 가장 강력하고 일관된 결정 요인임을 확인하였다.

예를 들어, 김유정 외 (2009)의 연구에서 인지된 유용성( $\beta=0.816$ ,  $p<0.001$ )은 이용 의도의 강력한 선행 요인으로 나타났으며, 박혜현과 이선민 (2021)의 ‘기술수용모델을 활용한 지체 장애인의 인공지능 스피커 사용 의도에 관한 연구’에서도 인지된 유용성( $\beta=0.754$ ,  $p<.001$ )이 사용 의도에 정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 마찬가지로 김근정 외 (2019)의 ‘인지된 용이성과 인지된 유용성이 휴머노이드(Humanoid) 로봇 사용의도에 미치는 영향’ 연구에서는 인지된 유용성( $\beta=0.06$ ,  $p=n.s.$ )이 행동 의도에 직접적인 유의한 영향을 미치지 않았지만, 양다형 (2024)의 ‘호텔 로봇의 인공지능(AI)서비스 특성이 지속 사용 의도에 미치는 영향 연구’에서는 인지된 유용성이 지속적 사용 의도에 유의한 정(+)의 영향을 주었고( $\beta=0.485$ ,  $p<.001$ ), 또한 양종곤 외 (2016)의 ‘기술 수용 이론을 적용한 공급자 재고관리 의도에 관한 연구’에서는 인지된 유용성( $\beta=-0.003$ ,  $p=0.986$ )은 사용 의도에 유의

하지 않았고, 인지된 용이성이 사용 의도에 유의한 영향( $\beta=0.721, p=0.000$ )을 미쳤으며, 신동희 외(2016)의 ‘국내 소비자들의 비트코인 사용 의도에 영향을 미치는 요인 연구’에서는 인지된 유용성( $\beta=0.56, p<.01$ )이 사용 의도에 유의했으나 인지된 용이성( $\beta=-0.09, p<0.10$ )은 사용 의도에 유의하지 않았다. 이처럼 특정 기술의 도입 의도를 설명하는 데 있어 유용성 및 용이성의 상대적 중요도나 유의성이 일관되지 않은바, 협동로봇 도입과 같은 구체적인 환경에서 인지된 용이성과 인지된 유용성이 도입 의도에 미치는 개별적 영향에 대한 검증 필요성이 제기된다고 볼 수 있다.

이러한 선행 연구를 바탕으로 중소 제조기업 협동로봇 도입 의도에 인지된 용이성과 인지된 유용성의 영향을 분석하기 위해 다음과 같은 가설을 수립하였다.

- H7: 인지된 용이성은 협동로봇의 도입 의도에 정(+ )의 영향을 미칠 것이다.
- H8: 인지된 유용성은 협동로봇의 도입 의도에 정(+ )의 영향을 미칠 것이다.

## 8. 인지된 위험과 도입 의도 간의 관계

협동로봇은 기존 산업용 로봇과 달리 인간과 같은 작업 공간에서 안전 울타리 없이 협업하도록 설계된 인간 중심 기술이다(최정호 외, 2023). 이러한 기술적 특성은 생산성 향상과 유연한 작업 환경이라는 장점을 제공하지만, 동시에 물리적·심리적 안전성에 대한 우려를 동반한다(임사랑 & 김태훈, 2024). 즉, 협동로봇 도입은 중소 제조기업 근로자에게 새로운 형태의 인지된 위험(PR)을 유발하며, 이는 도입 의사결정에 중요한 영향을 미치는 요인으로 작용한다.

기존 연구에 따르면, 기술 수용 과정에서 인지된 위험은 도입 의도(Intention to Adopt)를 저해하는 핵심 부정적 요인으로 작용한다(곽창원, 2021). 제조업 현장의 경우, 협동로봇과의 근접 상호작용으로 인한 잠재

적 사고나 부상, 시스템 오류, 책임소재 불명확성 등 다양한 위험 요소가 존재한다. 이러한 위험 인식은 근로자의 정신적 불안(anxiety)과 심리적 부담(mental stress)을 증가시켜, 기술 수용 과정에서 부정적 태도를 강화할 수 있다. 비록 협동로봇에 국한된 것은 아니지만, 곽창원 (2021)의 ‘중소기업 경영자의 스마트공장 도입 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구’에서는 인지된 위험이 도입 의도에 부정적인 영향( $\beta = -0.089$ ,  $p < 0.05$ )을 미치는 유의미한 결과를 나타냈다.

따라서, 협동로봇의 인지된 위험은 단순한 물리적 위험을 넘어 기술적·심리적·사회적·윤리적 차원의 복합적 속성을 지니며, 이러한 위험 인식은 중소 제조기업의 협동로봇 도입 의도에 부정적 영향을 미칠 것으로 예측된다. 이러한 선행 연구를 바탕으로 중소 제조기업 협동 로봇 도입 의도에 인지된 위험이 미치는 영향을 분석하기 위해 다음과 같은 가설을 수립하였다.

- H9: 인지된 위험은 협동로봇의 도입 의도에 부(-)의 영향을 미칠 것이다.

#### 9. 인지된 용이성과 인지된 유용성, 인지된 위험의 매개효과

Sulaiman et al.(2023)는 학습 관리 시스템 사용에 있어 TOE 요인과 TAM 변인인 인지된 용이성, 유용성의 영향력을 검증한 결과, TOE 요인들이 해당 시스템 사용에 미치는 영향에서 인지된 용이성, 유용성 모두 매개효과가 있음을 확인했다. 또한, Chatterjee et al.(2021)는 TOE 요인을 내부 조직적 환경과 외적 환경으로 구성, 영화 제작과 생산에 있어 AI를 수용할 의도와 인지된 유용성, 용이성 매개효과를 분석한 결과, TOE 요인이 수용 의도에 미치는 영향에서 이 두 변인들은 매개 역할을 함을 보고했다.

상기 선행 연구에 따라, 다음 가설 설정이 가능하고, 특정 산업군의 특정 기술 수용 의도 연구에 있어 TOE 속성을 전체 혹은 부분적, 혹은 수정된 형태로 검증하는바, TOE와 TAM을 통합한 연구 모형은 개별 모델의 한

계점을 보완하고 기술 수용의 예측력과 설명력을 높이는 데 적합하다는 주장이 널리 제시된다(김창봉 & 허영, 2021).

본 연구에서 상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족을 TOE 기반의 외부 변수(독립 변수)로 설정하고, 인지된 용이성과 인지된 유용성, 인지된 위험을 매개변수로 하고 도입 의도에 미치는 영향을 분석하기 위해 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- H10-1: 상대적 이점이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 용이성은 매개 역할을 할 것이다.
- H10-2: 안전성이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 용이성은 매개 역할을 할 것이다.
- H10-3: 최고 경영진 지원이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 용이성은 매개 역할을 할 것이다.
- H10-4: 정부 지원이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 용이성은 매개 역할을 할 것이다.
- H10-5: 노동력 부족이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 용이성은 매개 역할을 할 것이다.
- H11-1: 상대적 이점이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다.
- H11-2: 안전성이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다.
- H11-3: 최고 경영진 지원이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다.
- H11-4: 정부 지원이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다.
- H11-5: 노동력 부족이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다.
- H12: 안전성이 협동로봇 도입 의도에 미치는 영향에서 인지된 위험은 매개 역할을 할 것이다.

### 제 3 절 변수의 조작적 정의

본 절에서는 연구모형을 구성하는 주요 변수들에 대하여 이론적 정의를 토대로 조작적 정의를 설정하고, 각 변수의 측정 지표를 구체화하였다. 이는 변수 간의 인과관계를 실증적으로 분석하기 위해, 추상적인 개념(concept)을 측정 가능한 형태로 전환하는 과정이다. 각 변수의 조작적 정의는 선행 연구에서 제시된 이론적 근거를 중심으로 도출하였으며, 협동로봇 도입과 관련된 기술적·조직적·환경적·개인적 요인들을 포괄하도록 구성하였다. 또한 각 변수별 측정 항목은 선행 연구에서 신뢰성과 타당성이 검증된 문항들을 참고하여, 본 연구의 목적과 중소 제조기업의 협동로봇 도입 환경에 맞게 일부 수정·보완하였다.

#### 1. 변수의 조작적 정의

##### 가. 상대적 이점의 조작적 정의

상대적 이점은 혁신이 대체하고자 하는 기존의 기술이나 방식보다 더 우수하다고 수용자가 인식하는 정도를 의미한다(Rogers, 1971, 1983, 2003). 이는 혁신이 객관적으로 이익을 제공하는 것보다, 수용자가 주관적으로 그 혁신을 이로운 것으로 인식하는 것이 더 중요함을 시사하며, 혁신의 채택률을 결정하는 핵심 요인으로 간주된다(Rogers, 2003).

빅데이터 활용 연구에서 상대적 이점은 기업이 빅데이터 기술을 도입하여 얻을 수 있는 전략적 가치 및 효율성 측면에서 빅데이터 기술을 활용함으로써 효율 면에서 기존보다 더 나아진다고 인식하는 정도로 정의하였다(안문형 & 허철무, 2020). 정현석(2019)의 멀티 클라우드 컴퓨팅 연구에서는 상대적 이점은 전통적인 IT 환경이나 기존 클라우드 솔루션 대비 제공하는 구체적인 기술적 및 운영적 혜택에 중점을 두고 IT 관점에서 조직이나 사용자가 멀티 클라우드 컴퓨팅을 도입함으로써 싱글 클라우드 컴퓨팅을 도입하는 것보다 더 낫다고 인지하는 정도로 정의 되었다. 스마

트 팩토리 전환 연구에서 상대적 이점은 공장 운영 효율성과 품질, 그리고 전반적인 기업 이익 향상이라는 기술적 우위 측면에서 스마트팩토리를 고도화하는 것이 기존의 스마트팩토리과 비교하여 보다 더 큰 이익을 제공하는 것으로 인식되는 정도로 정의 되었다(김창현, 2023). 따라서 본 연구에서는 상대적 이점을 “협동로봇 기술 도입으로 인해 이전보다 새로운 것이 낫다고 인식하는 정도”로 정의한다.

#### 나. 안전성의 조작적 정의

선행 연구에서는 안전성을 협동로봇이 인간과 동일한 작업 공간에서 협업할 때, 작업자가 신체적 위험이나 심리적 불안을 느끼지 않고 안전하다고 인식하는 정도로 정의하였다(Akalin et al., 2022; Villani et al., 2018; Ajoudani et al., 2018). 이는 단순히 기술적 안전기준을 충족하는 수준을 넘어, 작업자가 로봇의 동작을 신뢰하고 예측 가능하다고 느끼는 심리적 안정감까지 포함하는 개념이다. 따라서 안전성은 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 핵심 변수로 간주된다. Elprama et al. (2016)의 연구 논문에서는 기존 산업용 로봇과 구별하는 내재적인 기술 및 설계 특징이라고 정의하였고, Bröhl et al. (2019)의 연구에서는 주로 작업자의 인식 및 조직 환경과 관련된 심리적 조정 변수(Adjustment Variable)로 정의하였다. 따라서 본 연구에서는 안전성을 “협동로봇 사용시 안전할 것이라는 인식 정도”로 정의한다.

#### 다. 최고 경영진 지원의 조작적 정의

많은 선행 연구에서는 최고 경영진 지원을 조직의 최고 의사결정자가 새로운 기술이나 혁신을 이해하고 이를 적극적으로 수용하며, 도입·활성화를 위해 필요한 자원과 권한을 제공하는 정도로 정의하였다(Bradford & Florin, 2003; Premkumar & Roberts, 1999). 이는 조직의 기술혁신과 정보시스템 구축 과정에서 최고 경영진이 전략적 방향성을 제시하고, 혁신

추진을 위한 물적·인적 자원을 배분하며, 구성원의 참여를 유도하는 리더십적 행위를 포함한다(가회광 & 김진수, 2014).

최근 연구에서도 최고 경영진 지원은 기술혁신 수용과 조직 변화 촉진의 핵심 요인으로 재확인되고 있다. 안문형 (2021)은 최고 경영진 지원을 조직의 경영진이 빅데이터 기술 및 트렌드를 이해하고 받아들이고자 하는 정도로 정의하였으며, 김기홍 (2022)은 이를 최고경영자의 심적 및 물리적 지원 정도로 측정하였다. 이소라 (2021)는 항공서비스 교육기관을 대상으로 비대면 교육환경 도입에 필요한 자원과 권한을 제공하는 정도로 보았으며, 김남형 (2023)은 디지털 트랜스포메이션을 위한 CEO의 혁신 의지와 지원 수준으로 정의하였다.

이와 같이 선행 연구들은 공통적으로 최고 경영진 지원을 조직의 최고 경영자가 기술혁신의 필요성을 인식하고, 이를 추진하기 위한 의지와 자원을 제공하며, 구성원의 참여를 유도하는 리더십적 행위로 설명하고 있다. 특히 스마트팩토리나 협동로봇과 같은 첨단 제조 기술의 도입 맥락에서는 최고 경영진의 혁신 의지, 자원 지원, 전략적 관심, 조직 내 동기부여 역할이 기술 수용 의도에 직접적인 영향을 미치는 핵심 요인으로 작용한다(Oliveira & Martins, 2011). 따라서 본 연구에서는 최고 경영진 지원을 “최고 경영진의 협동로봇에 대한 이해와 심적 및 물리적 지원정도”로 정의한다.

#### 라. 정부 지원의 조작적 정의

선행 연구를 종합하면 정부 지원(Government Support)은 조직이 혁신 기술을 수용하고 활용하는 과정에서 중요한 환경적 요인(Environmental Context)으로 정의된다. 또한 정부의 지원은 기업이 새로운 기술을 도입할 때 정책적·제도적·재정적 차원에서 제공되는 다양한 지원 활동을 포괄한다(Tornatzky & Fleischer, 1990).

정현석 (2019)은 정부 지원을 ‘IT 기술혁신을 촉진하기 위한 정부의 제도적 지원’으로 정의하였으며, 안문형 (2021)은 그의 연구에서 ‘농업 벤처

관련한 정부의 법, 규정 측면의 지원정도'로 정의하였다. 김기홍 (2022)은 '스마트팩토리 도입을 위한 교육, R&D, 시설, 컨설팅 등 구체적 지원 수준'으로 정부 지원을 설명하였고, 김남형 (2023)은 정부·공공기관으로부터의 '기술·자본·인재·자원 등 외부 지원을 수용하는 역량'을 강조하였다.

이와 같이 선행 연구들은 정부 지원을 기업의 혁신 기술 채택을 촉진하기 위한 외부 환경 요인으로 보고 있으며, 정부는 인프라, 법·제도적 환경, 규제 지침, 재정적 및 정책적 지원을 통해 기술 확산을 유도한다고 보았다. 따라서 본 연구에서는 정부 지원을 "협동로봇 도입 및 확산을 위한 정부 또는 지자체의 정책 차원의 지원 정도"로 정의한다.

#### 마. 노동력 부족의 조작적 정의

Poór et al., (2024)의 연구에서는 '사회경제적·인구통계학적 환경 변화로 인해 숙련된 노동력을 확보하기 어려운 정도'로 정의된다. 이는 초고령화 사회 진입으로 인한 생산가능인구의 감소, 청년층의 제조업 기피 현상, 그리고 숙련 인력의 고령화 등 구조적 요인에 의해 심화되고 있다.

정진화와 임동근 (2018)은 고용 비용 상승과 인건비 부담 증가가 제조업의 인력난을 가중시키며, 결과적으로 제조용 로봇과 같은 자동화 기술 도입 수요를 촉진한다고 분석하였다. Tussyadiah et al., (2020) 역시 노동력 부족이 기술 자동화 및 로봇화의 주요 추진 요인임을 실증적으로 확인하였다.

특히 국내 산업의 경우, 최저임금 상승, 주 52시간제, 중대재해처벌법 도입 등 노동환경의 변화가 중소 제조기업의 인력 운영 부담을 증가시키고 있다. 더불어 코로나19 팬데믹 이후 외국인 노동자 고용의 제약이 심화되면서, 기업들은 한정된 노동력 풀 속에서 숙련된 인력을 확보하고 유지하는 데 어려움을 겪고 있다(김태우 외, 2020; Baumgartner et al., 2022).

이러한 맥락에서 노동력 부족은 단순한 인력난을 넘어, 기업이 적절한 기술을 가진 인력을 안정적으로 확보·유지하기 어려운 구조적 상황으로

인식된다. 따라서 노동력 부족은 기업이 생산성을 유지하기 위해 협동로봇과 같은 자동화 기술을 도입하고자 하는 동기 요인으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 노동력 부족을 “직무를 수행할 적합한 지원자를 찾지 못하는 상황 정도”로 정의한다.

#### 바. 인지된 용이성의 조작적 정의

인지된 용이성은 기술수용모델(TAM)의 핵심 신념 변수 중 하나로, Davis (1989)에 의해 ‘개인이 특정 시스템을 사용하는 것이 신체적·정신적 노력 없이도 가능하다고 믿는 정도’로 정의된다. 이는 사용자가 새로운 기술이나 시스템을 학습하고 사용하는 과정에서 느끼는 노력의 부재(free of effort)와 용이성(ease of use)에 대한 지각을 의미한다.

Davis (1989)의 정의 이후, Gefen & Straub (2000)은 인지된 용이성을 ‘사용자가 기술을 쉽게 사용할 수 있다고 인식하는 정도’로 확장하여 전자상거래 맥락에 적용하였으며, Venkatesh & Davis(2000)는 ‘시스템의 사용이 명확하고 이해하기 쉬운지, 그리고 학습과 숙달에 필요한 노력이 적은지에 대한 지각된 신념’으로 설명하였다.

최근 연구에서도 인지된 용이성은 여전히 “노력의 부재”라는 개념적 틀을 유지하며, ‘혁신 기술(로봇·AI 서비스·핀테크 등)의 사용이 얼마나 쉽고 간편하다고 느끼는가.’를 중심으로 정의되고 있다. 예를 들어, 조희수 (2024)의 서비스 로봇 수용 연구에서는 이를 ‘사용자가 해당 기술이나 시스템을 사용하기가 얼마나 쉽고 간편한지를 지각하는 정도’, 김수현 외 (2023)의 핀테크 분야 연구에서는 ‘사용자가 목표 시스템을 쉽게 이용할 수 있다고 느끼는 정도’로 정의하였다. 또한 양다형 (2024)의 연구에서는 인지된 용이성을 ‘사용자가 기술을 수용하는 데 있어 큰 어려움 없이 사용 가능한 편의성 측면’으로 설명하였으며, 이는 산업 현장에서 협동로봇 사용의 직관성과 학습 용이성을 강조한 본 연구의 정의와 맥을 같이한다.

이와 같이 인지된 용이성은 기술을 사용하는 데 필요한 노력의 정도, 학습의 용이성, 시스템의 직관성 및 편의성을 포함하는 개념으로, 사용자가

기술을 수용하는 초기 단계에서 중요한 영향 요인으로 작용한다. 따라서 본 연구에서는 인지된 용이성을 “협동로봇이 사용하기 쉽고 편리하다고 인식되는 정도”로 정의한다.

#### 사. 인지된 유용성의 조작적 정의

인지된 유용성은 기술수용모형(TAM)의 핵심 변수로, ‘사용자가 특정 기술을 활용함으로써 자신의 직무 성과나 생산성이 향상될 것이라고 믿는 정도’를 의미한다(Davis, 1989). 이는 개인이 정보기술 사용을 통해 얻을 수 있는 효율성, 효과성, 업무성과 개선에 대한 주관적 신념을 반영하는 개념이다.

Davis (1989) 이후 Adams, Nelson & Todd(1992)와 Venkatesh & Davis (2000)는 유용성을 ‘시스템 사용이 업무 성과 향상에 기여할 것이라는 신념’으로 확장하며, TAM의 신뢰성과 일반화를 검정하였다. 최근 연구에서는 인지된 유용성이 로봇, AI, 핀테크, 스마트팩토리 등 다양한 혁신기술의 수용 맥락에서 적용되고 있으며, 기본 정의는 동일하게 유지되고 있다.

이가은 외 (2023)의 연구에서는 ‘서비스 로봇으로부터 제공받은 제품 및 서비스의 혜택이 효율적이고 유용하다고 지각하는 정도’, 박혜현과 이선민 (2021)의 연구에서는 ‘AI 스피커 사용이 업무 효율을 높일 수 있다고 느끼는 정도’, 양다형 (2024)의 호텔 로봇 서비스 연구에서는 ‘해당 기술이 사용자의 성과를 증진시켜 줄 것이라고 믿는 정도’로 정의되었다. 또한 Cippelletti, et al.(2025)의 협동로봇 관련 연구에서도 인지된 유용성은 ‘협동로봇 사용이 생산성 향상, 작업 효율성, 품질 개선, 업무 성과 개선에 기여한다고 인식하는 정도’로 정의되었다. 따라서 본 연구에서는 인지된 유용성을 “협동로봇이 업무에 도움이 된다고 느끼는 정도”로 정의한다.

## 아. 인지된 위험의 조작적 정의

인지된 위험은 ‘특정 기술이나 시스템을 수용할 때 발생할 수 있는 불확실한 부정적 결과에 대한 개인의 주관적 인식 정도’를 의미한다. 이는 사용자가 새로운 기술을 도입하거나 활용할 때 결과를 명확히 예측할 수 없을 때 느끼는 불확실성(uncertainty) 과 그 결과의 부정적 영향(severity)에 대한 인식의 결합으로 정의된다(Bauer, 1960; Peter & Ryan, 1976).

Bauer(1960)는 인지된 위험을 ‘소비자가 특정 행동의 결과를 확실히 예측할 수 없을 때 느끼는 불안과 불확실성의 정도’로 처음 정의하였으며, Peter & Ryan(1976)은 이를 ‘손실 발생 확률(probability of loss)과 손실의 중요성(importance of loss)의 함수로 설명하였다. 이후 Featherman and Pavlou(2003)는 인지된 위험을 ‘전자서비스나 새로운 기술을 사용하는 과정에서 발생할 수 있는 잠재적 부정적 결과에 대한 인식’으로 정의하면서, 재무적 위험·보안 위험·기능적 위험 등 다차원적 속성을 제시하였다.

최근 연구에서도 인지된 위험은 기술 수용을 저해하는 주요 요인으로 간주되며, 그 내용은 적용 분야에 따라 다양하게 확장되고 있다. 예컨대, 황재와 유흥식(2016)의 연구에서 모바일 결제 분야에서는 금융 정보 유출이나 결제 오류 등으로 인한 손실 가능성에 대해 ‘모바일 간편결제 기술을 채택할 경우 느끼게 되는 위험에 대한 인식의 정도로 정의하였고, RFID 및 사물인터넷 분야에서는 보안 위험과 비용 위험(이미숙, 2007), 인터넷 전문은행의 경우 재무적 · 기능적 · 보안적 위험(정주원 & 조소연, 2018), Liu, Zou, & Greene(2024)의 협동로봇(Cobots) 관련 연구에서는 ‘로봇의 형태에 대한 작업자의 위험 인식 정도’로 정의 되고 있다.

협동로봇 도입의 맥락에서는 인지된 위험이 작업자의 안전, 직무 위험, 투자 대비 불확실한 성과, 유지보수 비용 증가 등의 우려를 포함한다. 즉, 기업이나 근로자가 협동로봇 도입을 고려할 때 느끼는 안전사고 위험, 직무 대체 불안, 기술 실패 가능성, 예기치 못한 부정적 결과에 대한 주관적 평가가 인지된 위험을 구성한다. 따라서 본 연구에서는 인지된 위험을 ‘협동로봇에 대해 느끼는 신체적 · 심리적 위험 정도’로 정의한다.

#### 자. 도입 의도의 조작적 정의

도입 의도는 ‘사용자가 새로운 기술이나 시스템을 실제로 도입하거나 활용하고자 하는 의지 또는 계획의 정도’를 의미하며, 기술수용모델(TAM)의 핵심적인 종속변수 중 하나이다(Davis, 1989).

Davis (1989)는 사용 의도를 사용자의 태도와 인식된 유용성, 인식된 용이성에 의해 형성되어 실제 행동을 예측할 수 있는 주요 요인이라고 제시하였다. 이 개념은 합리적 행동이론(TRA)과 계획된 행동이론(TPB)에 근거하여 발전하였으며, 사용 의도(behavioral intention)는 특정 기술을 사용하는 데 대한 개인의 심리적 준비 상태이자 행동 가능성의 예측 변수로 간주 된다(Venkatেশ et al., 2003)

최근 연구에서는 기술의 발전과 함께 도입 의도의 개념이 확장되어, 단순한 ‘도입하려는 의지’를 넘어 지속적인 사용 및 확산 의도를 포함하는 방향으로 진화하였다. 이해진 (2025)은 도입 의도를 ‘중소기업이 블록체인 기술을 도입하고 이후에도 지속적으로 사용할 의도’로 정의하였으며, 이태진 외 (2024)의 조선산업 디지털 전환 연구에서는 ‘자신이 선택한 디지털 기술을 수용하려는 의도와 긍정적인 태도’로 정의하였다. 송영심 (2021)의 스마트물류센터 도입 연구에서는 ‘혁신 기술을 도입하려는 의도와 가능성 정도’로 정의하며, “우리 회사는 조만간 스마트물류센터 관련 신기술을 도입하겠다”는 식의 실질적 행동 의향 항목으로 측정하였다. 정수용 외 (2017)의 소비자 분쟁처리시스템 지속사용 연구에서는 Davis (1989)의 정의를 인용하여, ‘특정 시스템을 지속적으로 사용할 의도’로 정의하였다.

이와 같이 도입 의도는 새로운 기술에 대한 태도적 수용과 실제 행동 간의 연결고리로 작용하며, 사용자가 기술을 긍정적으로 인식하고 이를 조직 내에 적극적으로 도입하려는 심리적 준비 상태를 반영한다. 협동로봇 도입의 맥락에서는 도입 의도가 조직의 혁신 수용성, 기술에 대한 긍정적 인식, 향후 도입 계획 및 지속적 활용 의향을 모두 포함하는 개념으로 적용된다. 즉, 기업이 협동로봇의 효용성과 용이성을 인식한 후, 이를 실제 생산 현장에 도입하거나 확대하려는 의지의 정도를 의미한다. 따라서 본 연

구에서는 도입 의도를 “중소 제조기업이 협동로봇 기술을 도입하고자 하는 의지 정도”로 정의한다.

## 2. 변수의 조작적 정의 요약

본 연구에 적용되는 변수들의 조작적 정의 요약은 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 조작적 정의 요약

변수	조작적 정의	측정척도	Reference
상대적 이점	협동로봇 기술 도입으로 인해 이전보다 새로운 것이 낫다고 인식하는 정도로 정의.	<ul style="list-style-type: none"> <li>생산성 향상</li> <li>품질 향상성</li> <li>공정의 효율성</li> <li>업무시간 단축</li> <li>업무의 질적향상</li> </ul>	Rogers(2003) Sun et al., (2016) 정현석(2019) 김창현(2023)
안전성	협동로봇은 안전하다고 느끼는 인식 정도로 정의.	<ul style="list-style-type: none"> <li>로봇 안전성 인식</li> <li>안전 기능 인식</li> <li>안전성 검증 인식</li> <li>작업 안전성 인식</li> <li>충돌 안전성 인식</li> </ul>	Bröhl et al. (2019) Akalin et al. (2022)
최고 경영진 지원	최고경영자의 협동로봇에 대한 이해와 심적 및 물리적 지원 정도로 정의.	<ul style="list-style-type: none"> <li>협동로봇 이해정도</li> <li>협동로봇 도입 효과 인식</li> <li>협동로봇 필요성 인식</li> <li>향후 로봇 도입 여부</li> <li>협동로봇 예산지원</li> </ul>	안문형(2021) 이소라(2021) 김기홍(2022) 김남형(2023)
정부 지원	협동로봇 도입 및 확산을 위한 정부 또는 지자체의 정책 차원의 지원 정도로 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>정부지원사업 인식 정도</li> <li>도입시 지원제도 활용</li> <li>지원사업 이해정도</li> <li>정부지원 희망정도</li> <li>예산지원 영향도 정도</li> </ul>	우순규 외 (2018) 김산희(2019) 정현석(2019) 곽창원(2021)
노동력 부족	직무를 수행할 적합한 지원자를 찾지 못하는 상황 정도로 정의.	<ul style="list-style-type: none"> <li>인력확보 어려움 정도</li> <li>생산직 지원 정도</li> <li>숙련 인력 구인 어려움</li> <li>인력 부족으로 인한 업무 차질 정도</li> <li>인력부족 해결 인식정도</li> </ul>	Grigoryan (2024)
인지된 용이성	협동로봇이 사용하기 쉽고 편리하다고 인식되는 정도로 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>학습 용이성 정도</li> <li>사용 범용성 정도</li> <li>적용 용이성 정도</li> <li>사용 편의성 정도</li> <li>작업 편의 증대</li> </ul>	Davis(1989) Venkatsh & Davis(2000) Venkatsh (2003)
인지된	협동로봇이 업무에 도움이 된	<ul style="list-style-type: none"> <li>업무 능력 제고</li> </ul>	Davis(1989)

유용성	다고 느끼는 정도.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업 효율성 정도</li> <li>• 성과 효율 제고</li> <li>• 업무 성과 향상</li> <li>• 업무 효율 증대</li> </ul>	Venkatsh & Davis(2000) Venkatsh (2003)
인지된 위험성	협동로봇 도입의 결과가 실제로 바람직하게 나타나지 않을 가능성에 대한 주관적으로 인식하는 정도로 정의.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실직 우려</li> <li>• 안전 사고 우려</li> <li>• 직무 변경 우려</li> <li>• 투자성과 우려</li> <li>• 운영비용 우려</li> </ul>	Wu et al. (2017) Hsieh(2021) 오경상(2022) 김창현(2023)
도입 의도	중소 제조기업이 협동로봇 기술을 도입하고자 하는 의지 정도로 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도입 찬성 의향</li> <li>• 필요성 인식</li> <li>• 도입 참여 의향</li> <li>• 투자 의향 존재</li> <li>• 전략 수단 인식</li> </ul>	Davis(1989) 이태진 외 (2024) Venkatsh (2003) 김용표(2022)

### 3. 변수의 측정 척도

본 연구에서 사용된 설문지는 선행 연구의 이론적 배경과 각 변수의 조작적 정의를 바탕으로 구성하였다. 각 변수별 측정 항목은 선행 연구에서 검증된 문항들을 참고하되, 협동로봇 도입 환경과 중소기업의 실정에 맞게 일부 수정·보완하였다.

설문지는 크게 연구모형 변수 관련 문항과 일반 사항 관련 문항으로 구분된다. 연구모형 변수는 기술 요인(상대적 이점, 안전성), 조직 요인(최고 경영진 지원), 환경 요인(정부 지원, 노동력 부족), 개인 인식 요인(인지된 용이성, 인지된 유용성, 인지된 위험), 도입 의도 등으로 구성되며 일반적 사항에는 응답자의 성별, 연령, 직급, 근속연수, 근무 부서, 등 인구통계학적 특성과 스마트팩토리 수준, 협동로봇 대상 업무 등이 포함되었다.

본 연구의 주요 변수별 설문 문항 구성은 다음과 같다.

순번	“상대적 이점” 설문 문항
1	협동로봇 도입은 기존 작업 방식보다 생산성에 기여할 수 있을 것이다.
2	협동로봇 도입은 제품 품질 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다.
3	협동로봇 도입은 제조 공정의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.
4	협동로봇 도입은 전체 업무시간을 단축 시킬수 있을 것이다.
5	협동로봇 도입은 업무의 질적 향상에 기여할 수 있을 것이다.

순번	“안 전 성” 설문 문항
1	협동로봇은 안전기준에 따라 설계된 로봇으로 알려져 있다.
2	협동로봇은 작업자 보호를 위한 다양한 안전장치가 적용되어 있다.
3	협동로봇의 안전성은 충분히 검증되었다.
4	협동로봇은 사람과 가까운 거리에서 안전하게 작업하도록 설계된 로봇이다.
5	협동로봇은 충돌 감지나 자동 정지 기능 등으로 같이 작업 하여도 문제가 없을 것이다.

순번	“최고 경영진 지원” 설문 문항
1	협동로봇과 관련하여 최고 경영진은 관련 정보를 접하거나 논의한 적이 있다.
2	최고 경영진은 협동로봇의 활용 가능성과 기대 효과에 대해 알고자 하는 노력을 보인 바 있다.
3	최고 경영진은 경쟁력 확보를 위해 협동 로봇 도입 필요성에 대해 관심을 가져본 적이 있다.
4	향후 여건이 마련된다면 최고 경영진은 협동로봇 도입을 검토할 수 있을 것이다.
5	협동로봇 도입이 실질적 도움이 된다고 판단되면 최고 경영진은 자원 지원을 고려할 수 있을 것이다.

순번	“정부 지원” 설문 문항
1	정부의 협동로봇 관련 지원사업에 대한 정보를 접한 적이 있다.
2	정부의 협동로봇 관련 지원제도는 도입을 고려할 때 참고할 수 있는 요소다.
3	정부는 협동로봇 도입을 위해 다양한 형태의 지원을 시도하고 있는 것으로 알고 있다.
4	협동로봇 도입 시 정부의 재정적 지원을 받을 수 있을 것이다.
5	정부의 지원 정책은 협동로봇 확산에 긍정적 영향을 줄 수 있다고 생각한다.

순번	“노동력 부족” 설문 문항
1	우리 회사는 생산 현장에서 필요한 작업 인력을 확보하는 데 지속적인 어려움이 있다.
2	우리 회사는 단순 반복 업무나 3D 작업에 지원하는 인력이 매우 제한적이다.
3	우리 회사는 적절한 기술이나 숙련도를 갖춘 작업 인력을 찾기 어렵다
4	우리 회사는 인력 부족으로 인해 생산 일정이나 업무 운영에 차질을 겪은 적이 있다.
5	노동력 부족 문제는 우리 회사의 경쟁력 유지에 있어 해결해야 할 과제이다.

순번	“인지된 용이성” 설문 문항
1	협동로봇의 사용 방법을 배우는 일은 쉬울 것이다.
2	협동로봇은 조직 구성원 누구나 사용할 수 있다고 생각한다.
3	협동로봇 도입 후 사용 방법에 금방 익숙해질 것이다.
4	협동로봇은 언제나 편하게 사용할 수 있을 것이다.
5	협동로봇과 같이 작업하기 위해서는 많은 노력이 필요하지 않다.

순번	“인지된 유용성” 설문 문항
1	협동로봇은 업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있게 할 것이다.
2	협동로봇 도입으로 수작업이 줄고 작업시간이 단축 것이다.
3	협동로봇은 업무 성과에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이다.
4	협동로봇의 활용은 업무 수행 능력을 향상시킨다.
5	협동로봇 도입은 우리 회사의 업무에서 유용할 것이다.

순번	“인지된 위험” 설문 문항
1	협동로봇이 도입되면 실직 가능성이 우려된다.
2	협동로봇 도입 시 안전사고가 발생할 확률이 높아질 것이다.
3	협동로봇은 작업자의 직무에 위협이 될 수 있다고 생각한다.
4	협동로봇 도입이 투자 대비 성과가 낮을까 우려된다.
5	협동로봇 도입 후 유지보수 비용이나 관리상의 문제 발생이 우려된다.

순번	“도입 의도” 설문 문항
1	협동로봇이 중소기업에 널리 활용되면 도입에 긍정적인 입장을 가질 것이다.
2	중장기적으로 협동 로봇은 우리 회사에 필요한 기술이라고 생각한다.
3	협동로봇 도입이 활성화되면 우리 회사도 도입 할 것이다.
4	협동로봇 도입 성공 사례가 입증되면 도입을 위한 투자를 검토할 수 있다.
5	협동로봇은 향후 우리 회사의 주요 생산 수단이 될 것이다.

[표 3-3] 변수별 설문 문항 수 및 척도.

연구 변수		문항수	측정방법	
번호	변수명			
1	독립변수 (TOE)	상대적 이점	5	5점 Likert 척도
2		안전성	5	5점 Likert 척도
3		최고 경영진 지원	5	5점 Likert 척도
4		정부지원	5	5점 Likert 척도
5		노동력 부족	5	5점 Likert 척도
6	매개 변수	인지된 용이성	5	5점 Likert 척도
7		인지된 유용성	5	5점 Likert 척도
8		인지된 위험	5	5점 Likert 척도
9	종속 변수	도입 의도	5	5점 Likert 척도
10	일반사항	성별 회사소재지 회사 업종 회사 업력 매출액 종업원 수 근무 부서 직급 스마트팩토리 수준 적용대상업무	각 1문항	명목척도

모든 문항은 5점 리커트(Likert) 척도를 사용하여, ‘1점 = 전혀 그렇지 않다’에서 ‘5점 = 매우 그렇다’까지의 범위 내에서 응답하도록 설계하였다. 이는 각 문항에 대한 응답자의 동의 정도를 정량적으로 측정하여 변수 간의 관계를 분석하기 위함이다. 각 변수의 세부 측정 문항과 문항 수, 그리고 사용된 측정 척도는 별도로 제시된 변수별 문항 수 및 척도를 [표 3-3]에 상세히 나타내었다.

## 제 4 장 실증 분석 결과

### 제 1 절 자료의 수집 및 분석 방법

#### 1. 표본의 선정 및 자료 수집

본 연구는 중소 제조기업의 스마트 제조 환경에서 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위해 선행연구를 기반으로 연구모형과 가설을 도출하고, 이를 검증하기 위한 실증 분석을 수행하였다. 이를 위해 측정 도구로 활용된 설문지는 기존 연구에서 신뢰성과 타당성이 확인된 문항을 토대로 연구 목적에 맞게 일부 문항을 수정·보완하여 구성하였다.

설문지의 타당성과 신뢰도를 확보하기 위해 파일럿 테스트(pilot test)를 실시하였으며, 중소 제조기업 종사자 50명을 대상으로 온라인 예비조사를 수행하였다. 예비조사 결과에 대해서는 탐색적 요인분석(EFA)과 신뢰도 검정(Cronbach's  $\alpha$ )을 통해 각 문항의 적합성과 내적 일관성을 검토하였다. 이를 바탕으로 요인 구조가 불명확하거나 타당성이 낮은 문항은 제거하거나 표현을 조정하여 측정 도구의 정교성과 신뢰성을 강화하였다.

또한 응답자가 설문 문항을 일관되게 이해하고 정확한 응답을 제공할 수 있도록, 설문지 서두에 '협동로봇 개념의 이해' 항목을 별도로 제시하였다. 해당 항목에는 협동로봇의 정의, 필요성, 기존 산업용 로봇과의 차별성, 주요 활용 사례 등을 포함하여, 응답자가 본 연구의 대상 기술인 협동로봇의 특성과 역할을 충분히 인지한 상태에서 설문에 참여하도록 유도하였다.

본 연구에서는 협동로봇 도입 의사결정의 실제 평가 주체에 초점을 두고 최고경영자(CEO)를 설문 대상에서 제외하였다. 이는 CEO가 전략·재무·경영환경을 종합하여 최종 승인 역할을 수행하는 반면, 기술의 실제 유용성과 용이성, 안전성, 위험에 대한 평가는 현장 실무자가 수행하는 것이 보다 타당하다는 판단에 근거한다(Ferri et al., 2021). 아울러 CEO는 기술을 직접 사용하지 않음에도 불구하고 전략적 관점에서 긍정 편향된 응답

을 할 가능성이 있어(Theodorakopoulos et al., 2025), 본 연구의 TAM 기반 인식 변수 측정에는 적합하지 않다고 판단하였다. 따라서 설문은 협동로봇의 선정·도입·운영 과정에 직접 관여하는 기획, 설비, 안전, 생산, 품질 담당자 등 실무 책임자를 중심으로 구성하였다.

본 조사는 [표 4-1]과 같이 중소 제조기업에 근무하는 대리급 이상 관리자 및 실무 책임자를 대상으로 실시되었으며, 모집단의 대표성 확보를 위해 무작위 표본추출(Random Sampling) 방식을 적용하였다. 설문은 전문 온라인 조사기관 (주)엠브레인리서치를 통해 2025년 8월 1일부터 8월 5일까지 5일간 진행되었고, 총 300부의 설문이 배포·회수되었다.

응답자의 직무 구성에서 기획·관리·영업 직군이 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하였으나, 나머지 약 70%는 설비·안전·품질·생산 등 제조 현장의 기술적·운영적 업무를 직접 수행하는 직군으로 구성되었다. 이는 협동로봇의 주요 도입 대상 업무가 생산·품질·검사 등 제조 현장 중심으로 약 80%를 차지하는 실제 분포와도 상당 부분 부합한다. 따라서 전체 표본은 협동로봇 도입 효과를 평가하기에 경험적 기반이 충분한 집단으로 판단된다.

[표 4-1] 설문 대상 및 방법.

구 분	설 명
대상	중소 제조기업에 근무하는 대리 이상의 근무자
샘플링 방법	무작위 추출
샘플 크기	300명
조사기관 및 방법	(주)엠브레인리서치를 통한 온라인 설문
설문조사 기간	2025. 08. 01 ~ 2025. 08. 05

동시에 본 연구는 CEO의 의도나 경영진의 최종 의사결정을 간접적으로 추정하는 것이 아니라, 중소기업 근무자 개인이 협동로봇을 어떻게 인식하는지를 측정하는 데 목적이 있다. 즉, 응답자는 자신의 경험과 인식을 바탕으로 기술의 용이성, 유용성, 안전성, 위험성에 대해 평가하도록 설문이 설계되었으며, 이는 ‘CEO의 대리 응답’이 아닌 근로자 개인 인식에 기반

한 직접 응답이라는 점에서 표본의 목적 적합성이 확보되었다.

수집된 자료는 품질관리 절차에 따라 검토되었으며, 문항별 표준편차(Standard Deviation, SD)를 기준으로 응답의 신뢰도를 평가하였다. 사전에 설정한 기준( $SD \geq 0.4$ )을 충족하지 못한 불성실 응답 27부를 제외하고, 총 273부의 설문이 최종 유효 표본으로 선정되어 분석에 사용되었다.

## 2. 분석 방법

본 연구의 실증분석은 SmartPLS 소프트웨어를 활용한 PLS 구조방정식 모델링 (PLS-SEM, Partial Least Squares Structural Equation Modeling) 방법을 적용하여 수행하였다. PLS-SEM은 공분산 기반 구조방정식 모형(CB-SEM, 예: AMOS, LISREL)과 구별되는 분산 기반 (Variance-Based) 통계 기법이다. 이 방법을 채택한 주요 이론적 근거는 다음과 같다. 첫째, PLS-SEM은 연구가 이론 발전의 초기 단계에 있거나 복잡한 모형을 분석할 때 적합하며, 이는 내생변수의 예측력 극대화에 초점을 맞추어 모형을 추정하기 때문이다. 둘째, PLS는 CB-SEM과 달리 측정 변수의 다변량 정규 분포 가정에 비교적 엄격하지 않으며, 상대적으로 적은 표본 크기로도 안정적인 분석이 가능하다는 장점이 있다(Hair et al., 2022). 또한 본 연구는 다수의 외생변수와 매개변수를 포함한 복합 경로 구조를 분석해야 하므로, 예측력 중심 분석과 복잡한 모형 처리에 강점을 지닌 PLS-SEM(SmartPLS)을 분석 도구로 채택하였다.

구조방정식 모델링(SEM)은 데이터를 분석하는 방식에 따라 크게 공분산 기반 구조방정식 모델(CB-SEM)과 부분최소자승(Partial Least Squares) 구조방정식 모델(PLS-SEM)로 구분할 수 있으며, 소스에 근거한 두 모델의 비교 내용은 [표 4-2]와 같다.

본 연구에서는 기존 선행 연구에서 깊이 다루어지지 않았던 '안전성'과 '노동력 부족'이라는 새로운 변수들을 중심으로 연구모형을 구축하고 있다. 이러한 상황에서는 기존 이론을 엄격하게 검증하는 것보다는, 새롭게 도입된 변수 간의 관계를 탐색하고 예측하는 데 더 큰 의미를 둘 필요가 있다.

[표 4-2] CB구조방정식 모델과 PLS구조방정식 모델 비교

구분	공분산 구조방정식 모델 (CB-SEM)	PLS 구조방정식 모델 (PLS-SEM)
목적	전체 구조방정식모델의 최적화에 초점을 둠.	모형 추정 과정에서 발생하는 구조 오차의 최소화를 통한 예측력 극대화에 초점을 둠.
성격	확인적 성격의 모델링(Confirming). 주로 가설 검정에 사용됨.	탐색적 성격의 모델링(Exploratory). 이론이 없거나 부족할 때 적용하는 데 적합.
모수 추정법	최대우도법(Maximum likelihood)을 이용한 모수 추정법. 공분산 통계량이 분석의 중심 대상임.	주성분 분석반복 수행 (성분 기반). OLS(최소중자법)를 활용한 다단계 반복과정으로 모수 추정.
분포에 대한 가정	다변량 정규분포가정이 엄격하게 요구됨.	분포에 대한 가정이 없음. 잔차 분포에 대한 요구 사항이 비교적 엄격하지 않음.
표본의 크기	다중회귀모형보다 많이 요구됨(일반적으로 200~400개).	적은 표본 크기로도 분석 가능함. (예: 추정될 모수 당 20개 정도, 또는 복잡한 변수의 측정항목 수에 최소 10배 필요).
측정 모델의 지표	구성개념 간의 공분산구조 분석.	측정 오차와 잠재 변수 간의 예측 오차를 최소화하는 방법 사용.
모형 적합도 지수	$f^2$ 검정, GFI, AGFI, NFI, CFI, RMSR 등 다양한 적합도 지수가 존재.	내생 잠재 변수별 방정식에 대한 결정계수( $R^2$ )를 주로 사용.
모형 형태	순환/비순환 모형 모두 가능.	비순환 모형. 반영 지표(reflective)와 형성 지표(formative) 모두 가능.
잠재 변수의 측정	잠재 변수 척도에 대한 불확실성으로 직접적 측정 불가능.	측정 변수의 선형 결합으로 직접 측정 가능.
주요 소프트웨어	LISREL, AMOS, MPlus 등.	SmartPLS, PLS-Graph, Visual PLS 등.

출처: Rigdon et al., (2017), 신건권(2018)

Smart-PLS는 복잡한 연구 모형에서도 데이터의 정규성 가정을 덜 요구하고, 상대적으로 작은 표본 크기에도 강점을 보이며, 새로운 이론을 개발하거나 예측 중심의 연구를 수행하는 데 적합한 도구이기 때문에, 본인의 연구처럼 신규 변수를 통해 새로운 관계를 규명하려는 탐색적인 목적에 매우 효과적이라 하겠다. 따라서 SmartPLS는 본 연구자가 연구하고자 하는 '안정성'과 '노동력 부족' 변수가 어떠한 관계 속에서 어떠한 결과를

만들어내는지에 대한 새로운 통찰을 제공하고, 예측 모델의 정확도를 높이는 데 큰 도움을 줄 것이다. 또한 본 연구에서 Smart-PLS를 이용한 분석을 위해 G\*Power 분석을 실시하여 필요한 최소 표본 크기(예: 92개)를 충족하여 Smart-PLS 분석에 무리가 없음을 확인하였다. 분석은 측정 모형 평가(Measurement Model Evaluation)와 구조 모형 평가(Structural Model Evaluation)의 2단계 접근법을 통해 진행되었다.

## 제 2 절 표본의 일반적 특성

### 1. 표본의 개인적 특성과 기업 특성

최종 표본 273명의 특성은 [표 4-3]과 같다. 성별은 남성 68.5%, 여성 31.5%로 남성 비중이 높았다. 직급은 과장(29.3%), 대리(23.8%)가 다수를 이루어 실무·중간관리자 응답이 중심이 되었으며, 근무 부서는 기획/관리부서/영업 관련 부서(30.8%)로 제일 많았고 설비관리/안전(22.3%), 품질관리/연구개발(21.3), 생산관리(16.5%) 순으로 나타났다. 지역은 경기(34.1%), 경상(26.0%) 순으로 분포하였고, 업종은 전기/전자/반도체(29.3%), 기계/조선(21.2%), 화학/제약/식품(17.6%)의 비중이 상대적으로 높았다. 기업 특성 측면에서 업력 20~50년 이하(44.0%)가 가장 많았으며, 매출액은 100억~300억 미만(45.1%)이 최대 구간이었다. 종업원 규모는 20~30명 미만(37.7%)이 가장 큰 비중을 차지하였다.

[표 4-3] 설문 응답자의 개인적 특성과 기업 특성 분류

일반적 특성	빈도수(N=273)		백분율 (%)
	성별	직급	
성별	남	187	68.5
	여	86	31.5
직급	대리	65	23.8
	과장	80	29.3
	차장	53	19.4

	부장	57	20.9
	임원	18	6.6
근무 부서	생산관리	45	16.5
	품질관리/연구개발	58	21.2
	설비관리/안전	61	22.3
	구매/자재/물류	25	9.2
	기획/관리부서/영업	84	30.8
소재지	서울	31	11.4
	인천	30	11.0
	경기	93	34.1
	강원/제주	2	0.7
	충청	35	12.8
	전라	11	4.0
	경상	71	26.0
업종	전기/전자/반도체	80	29.3
	기계/조선	58	21.2
	금속/철강	30	11.0
	화학/제약/식품	48	17.6
	자동차	38	13.9
	섬유/의류/생활용품	19	7
업력	5년 미만	7	2.6
	5년 이상 ~ 10년 미만	45	16.5
	10년 이상 ~ 20년 미만	90	33.0
	20년 이상 ~ 50년 이하	120	44.0
	50년 이상	11	4.0
매출액	50억원 미만	22	8.1
	50억원 이상~ 100억원 미만	46	16.8
	100억원 이상 ~ 300억원 미만	123	45.1
	300억원 이상 ~ 500억원 미만	44	16.1
	500억원 이상	38	13.9
종업원규모	20명 미만	80	29.3
	20명 이상~30명 미만	103	37.7
	30명 이상~50명 미만	71	26.0
	50명 이상~100명 미만	19	7.0
	100명 이상	0	0

## 2. 스마트팩토리 수준 및 적용 대상 업무

표본의 스마트팩토리 수준을 분석한 결과, [표 4-4]와 같이 ICT 미적용 단계가 41.0%, 기초단계가 38.1%로 나타나, 전체적으로 도입 초기 및 준비 단계에 해당하는 특성을 보였다. 이를 통해 스마트팩토리 도입률은 약 59.0%(=100-41)로 산출되며, 도입 기업 중 기초단계의 비중은 약 64.6%(=38.1/59.0)로 확인되었다. 해당 수치는 국가 평균 대비 상대적으로 높은 도입 수준을 의미한다. 중소벤처기업부가 2025년 4월 9일 발표한 「2024년 스마트제조혁신실태조사 결과」에 따르면, 전국 기업의 스마트팩토리 도입률은 19.5%, 그중 기초단계 비중은 75.5%로 보고된 바 있다. 이에 비해 본 연구 표본의 도입률은 약 세 배 이상 높아, 디지털 전환에 비교적 적극적인 기업집단이 포함되었을 가능성이 크다.

이러한 결과는 표본 구성의 특성과 관련될 수 있다. 즉, 스마트 제조에 대한 관심이 상대적으로 높은 기업의 자발적 참여(self-selection bias)와 제조·현장 중심 직무의 높은 응답 비중이 복합적으로 작용하면서 표본의 대표성과 편중이 동시에 나타났을 가능성이 있다.

[표 4-4] 스마트팩토리 수준과 적용 대상 업무

구분	빈도수(N=273)		백분율(%)
스마트 팩토리 수준	1단계: ICT 미적용	112	41.0
	2단계: 기초단계	104	38.1
	3단계: 중간1	45	16.5
	4단계: 중간2	10	3.7
	5단계: 고도화 수준	2	0.7
적용대상 업무	입/출고	22	8.1
	생산	165	60.4
	품질검사	39	14.3
	포장	31	11.4
	사내 물류	16	5.9

[표 4-4] 협동로봇을 우선 적용 대상 업무에 대해서는 생산(60.4%)이 가장 높게 나타났으며, 품질검사(14.3%), 포장(11.4%)이 뒤를 이었다. 생

산·품질·포장을 합한 비율은 86.1%로, 응답자들이 협동로봇을 가치 흐름의 핵심 공정에 적용하고자 하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 반복성과 정밀성이 요구되는 공정에서 협동로봇이 생산성 향상과 품질 안정성 확보에 기여할 것이라는 기대가 반영된 결과로 해석된다.

응답자의 직무 구성에서 기획·관리·영업 직군이 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하였으나, 나머지 약 70%는 설비·안전·품질·생산 등 제조 현장의 기술적·운영적 업무를 직접 수행하는 직군으로 구성되어 있다. 즉, 응답자의 대다수는 협동로봇 적용 가능성이 높은 제조 현장 직무 종사자들로, 기술 도입의 실질적 영향과 효과를 판단할 수 있는 충분한 경험적 기반을 갖추고 있다.

따라서 기획·관리 직군의 응답 비율이 상대적으로 높게 나타났다고 하더라도, 설문조사 대상은 중소 제조기업에 근무자를 대상으로 하였기에 다른 직군이라 하더라도 도입 분야를 생산 관련 분야를 선택하는 것은 현장 경험에 기반한 합리적인 판단으로 해석된다. 특히 생산 및 기술 관련 직군이 표본의 절대다수를 차지하고 있다는 점에서 본 연구의 표본은 협동로봇 도입 효과를 평가하기에 타당하고 신뢰성 있는 구성으로 판단된다.

또한 본 연구는 CEO의 의사결정보다는 중소기업 근무자 개인이 협동로봇을 어떻게 인식하는지를 분석하는 데 목적이 있다. 따라서 직무 유형과 관계없이 각 응답자의 기술 인식을 알아보기 위한 설문 응답은 본 연구의 목적에 부합하는 것으로 판단되며, 본 표본은 협동로봇 도입 인식 분석을 수행하기 충분한 대표성과 적합성을 갖춘 구성으로 볼 수 있다.

### 3. 측정 척도들의 분포

본 연구를 위해 실시한 설문조사에 대한 측정 척도의 표본 특성은 [표 4-5]와 같다. 각 측정 척도의 첨도와 왜도를 보면, 대부분  $\pm 2$  이내로 정규성은 있는 것으로 판단된다.

[표 4-5] 기술 통계

Name	N	평균	중앙값	최소값	최대값	표준 편차	왜도	첨도
T-RA-1	273	4.026	4	2	5	0.551	1.850	-0.383
T-RA-2	273	3.850	4	2	5	0.665	0.514	-0.421
T-RA-3	273	4.125	4	2	5	0.634	1.177	-0.542
T-RA-4	273	4.011	4	2	5	0.708	0.451	-0.513
T-RA-5	273	3.941	4	2	5	0.671	0.583	-0.442
T-SA-1	273	3.630	4	2	5	0.645	-0.055	-0.206
T-SA-2	273	3.641	4	2	5	0.698	-0.077	-0.221
T-SA-3	273	3.249	3	2	5	0.714	-0.195	0.140
T-SA-4	273	3.495	4	1	5	0.752	1.335	-0.892
T-SA-5	273	3.462	4	1	5	0.726	0.294	-0.385
O-TS-1	273	2.315	2	1	5	0.947	-0.190	0.503
O-TS-2	273	2.509	2	1	5	1.028	-0.666	0.342
O-TS-3	273	2.443	2	1	5	1.051	-0.850	0.294
O-TS-4	273	2.769	3	1	5	1.049	-0.933	-0.139
O-TS-5	273	2.868	3	1	5	1.061	-0.840	-0.160
E-GS-1	273	2.421	2	1	5	0.931	-0.649	0.327
E-GS-2	273	3.370	4	1	5	0.889	0.122	-0.641
E-GS-3	273	2.949	3	1	5	0.778	-0.115	-0.333
E-GS-4	273	3.245	3	1	5	0.781	0.214	-0.647
E-GS-5	273	3.538	4	1	5	0.779	0.443	-0.572
E-LS-1	273	3.623	4	1	5	0.890	-0.291	-0.375
E-LS-2	273	3.531	4	1	5	0.914	-0.371	-0.382
E-LS-3	273	3.659	4	1	5	0.900	-0.216	-0.515
E-LS-4	273	3.381	3	1	5	0.961	-0.475	-0.205
E-LS-5	273	3.703	4	1	5	0.858	0.233	-0.542
PEOU-1	273	3.212	3	1	5	0.755	-0.459	-0.272
PEOU-2	273	3.227	3	1	5	0.877	-0.794	-0.100
PEOU-3	273	3.491	4	1	5	0.761	-0.098	-0.395
PEOU-4	273	3.392	3	1	5	0.796	-0.423	-0.299
PEOU-5	273	2.978	3	1	5	0.881	-0.899	0.075
PU-1	273	3.766	4	2	5	0.584	0.805	-0.576
PU-2	273	3.762	4	2	5	0.725	0.329	-0.529
PU-3	273	3.755	4	2	5	0.642	0.788	-0.641
PU-4	273	3.795	4	2	5	0.613	0.801	-0.521
PU-5	273	3.509	4	1	5	0.761	0.207	-0.407
PR-1	273	3.231	3	1	5	0.946	-0.582	-0.163

PR-2	273	2.938	3	1	5	0.881	-0.410	-0.007
PR-3	273	3.172	3	1	5	0.912	-0.427	-0.085
PR-4	273	3.564	4	1	5	0.837	-0.299	-0.317
PR-5	273	3.835	4	2	5	0.760	0.308	-0.570
AI-1	273	3.418	4	1	5	0.865	0.043	-0.614
AI-2	273	3.322	3	1	5	0.880	-0.006	-0.646
AI-3	273	3.315	3	1	5	0.871	0.038	-0.659
AI-4	273	3.440	4	1	5	0.850	0.252	-0.548
AI-5	273	3.231	3	1	5	0.848	0.013	-0.388

### 제 3 절 측정 모형의 평가 (Measurement Model Evaluation)

#### 1. 신뢰도와 집중 타당도

본 연구에서 활용된 설문조사의 측정 척도들이 해당 구성 개념을 얼마나 일관성 있게 측정하고 있으며, 측정 항목들이 하나의 구성 개념으로 얼마나 잘 수렴하는지 검토하기 위해 신뢰도 및 집중 타당도 분석을 [표 4-6]와 같이 수행하였다. 신뢰도(Reliability)는 측정의 일관성을 나타내며, Cronbach's  $\alpha$  와 복합 신뢰도(Composite Reliability)로 평가한다.

[표 4-6] 신뢰도 및 집중 타당도

구분	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho_a)	Composite reliability (rho_c)	Average variance extracted (AVE)
상대적 이점	0.741	0.770	0.837	0.565
안전성	0.828	0.843	0.878	0.591
최고 경영진 지원	0.856	0.935	0.911	0.774
정부 지원	0.767	0.815	0.843	0.576
노동력 부족	0.864	0.925	0.899	0.642
용이성	0.814	0.845	0.878	0.644
유용성	0.782	0.790	0.859	0.603
위험성	0.721	0.830	0.814	0.598
도입 의도	0.875	0.894	0.909	0.667

일반적으로 Cronbach's  $\alpha$ 와 복합 신뢰도가 0.7 이상일 경우, 해당 측정 척도는 높은 내적 일관성을 지닌 것으로 판단한다. 집중 타당도 (Convergent Validity)는 동일한 개념을 측정하는 항목들이 서로 밀접하게 연관되어 있는지의 정도로, 평균 분산 추출(Average Variance Extracted, AVE) 값으로 평가하며 AVE 값이 0.5 이상일 경우, 측정 항목들이 해당 구성 개념을 효과적으로 측정하고 있다고 판단한다(Fornell & Larcker, 1981).

[표 4-7]은 본 연구에서 사용된 잠재 변수들의 신뢰도 및 집중 타당도 분석 결과를 제시한 것이다. 분석 결과, 각 잠재 변수를 구성하는 문항의 Cronbach's  $\alpha$ 는 0.721에서 0.875의 범위로 나타나 모두 0.7 이상으로 확인되었다. 이는 각 구성 개념을 측정하는 항목 간의 내적 일관성이 확보되었음을 의미한다. 또한 복합 신뢰도 역시 0.837에서 0.911의 범위로 나타나 Hair et al., (2014)이 제시한 기준치인 0.7 이상(0.95 이하)을 충족하여, 구성 개념의 측정 항목들이 높은 수준의 신뢰성을 지니는 것으로 판단된다.

반면, 집중 타당도(Convergent Validity)를 평가하기 위해 평균분산추출 지수(Average Variance Extracted, AVE)를 검정한 결과, 모든 잠재 변수의 AVE 값이 0.565에서 0.774로 나타나 기준값인 0.5를 상회하였다. 이는 각 잠재 변수가 해당 측정 항목의 분산 중 50% 이상을 설명함을 의미하며, 측정 항목들이 해당 구성 개념을 충분히 반영하고 있음을 시사한다.

따라서 본 연구에서 사용된 모든 잠재 변수는 내적 일관성과 집중 타당도가 모두 확보된 것으로 판단되며, 이후 구조 모형(Structural Model) 분석을 수행하기 위한 측정 모형의 신뢰성과 타당성이 충족된 것으로 확인되었다.

[표 4-7] 집중 타당도 평가 결과

잠재 변수	측정 변수	집중 타당도		
		외부적재값 ≥0.7	측정변수 신뢰도 ≥0.5	AVE ≥0.5
상대적 이점	T-RA-1	0.763	0.582	0.565

	T-RA-2	0.657	0.432	
	T-RA-3	0.814	0.663	
	T-RA-4	0.694	0.482	
	T-RA-5	0.735	0.540	
안전성	T-SA-1	0.740	0.548	0.591
	T-SA-2	0.804	0.646	
	T-SA-3	0.684	0.468	
	T-SA-4	0.814	0.663	
	T-SA-5	0.796	0.634	
최고 경영진 지원	O-TS-1	0.760	0.578	0.774
	O-TS-2	0.805	0.648	
	O-TS-3	0.834	0.696	
	O-TS-4	0.913	0.834	
	O-TS-5	0.872	0.760	
정부 지원	E-GS-1	0.352	0.124	0.576
	E-GS-2	0.780	0.608	
	E-GS-3	0.638	0.407	
	E-GS-4	0.781	0.610	
	E-GS-5	0.833	0.694	
노동력 부족	E-LS-1	0.862	0.743	0.642
	E-LS-2	0.749	0.561	
	E-LS-3	0.749	0.561	
	E-LS-4	0.770	0.593	
	E-LS-5	0.871	0.759	
인지된 용이성	PEOU-1	0.803	0.645	0.643
	PEOU-2	0.823	0.677	
	PEOU-3	0.848	0.719	
	PEOU-4	0.848	0.719	
	PEOU-5	0.613	0.376	
인지된 유용성	PU-1	0.743	0.552	0.576
	PU-2	0.741	0.549	
	PU-3	0.816	0.741	
	PU-4	0.784	0.615	
	PU-5	0.751	0.564	
인지된 위험	PR-1	0.578	0.334	0.598
	PR-2	0.856	0.732	
	PR-3	0.780	0.608	
	PR-4	0.524	0.275	
	PR-5	0.405	0.164	
도입 의도	AI-1	0.717	0.514	0.667
	AI-2	0.855	0.731	
	AI-3	0.860	0.740	
	AI-4	0.799	0.638	
	AI-5	0.844	0.712	

## 2. 판별 타당도

판별 타당도 검정은 연구모형 내에서 사용된 잠재 변수들이 서로 명확하게 구분되어 측정되고 있는지를 확인하기 위한 절차이다. 즉, 각 구성개념이 고유한 의미를 지니며 다른 개념과 중복되지 않고 독립적으로 작동함을 입증함으로써 측정 모형의 타당도를 강화하는 데 목적이 있다(Hair et al., 2022; Fornell & Larcker, 1981). 만약 판별 타당도가 확보되지 않을 경우, 서로 다른 개념이 동일한 개념으로 인식될 위험이 존재하여 구조 모형의 추정 결과가 왜곡될 가능성이 높다. 따라서 판별 타당도의 확보는 연구모형 내 변수 간 인과관계를 정확히 해석하기 위한 필수적인 단계라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 측정 모형의 타당도를 객관적이고 엄격하게 평가하기 위하여, 다음과 같은 세 가지 기준을 순차적이고 종합적으로 적용함으로써 각 잠재 변수의 개념적 독립성을 평가하고 연구모형의 견고성을 입증하고자 하였다.

첫째, 교차 적재(Cross-Loadings) 분석으로 개별 측정 항목(관측 변수)이 의도된 잠재 변수에 더 강하게 적재되고, 다른 잠재 변수에는 낮게 적재되는지 확인하여 측정 항목 수준의 판별 타당도를 평가한다. 측정 항목의 외부 적재값(Outer Loading)가 해당 구성 개념에 대해 다른 구성 개념에 대한 교차 적재값 보다 높게 나타나야 판별 타당도가 확보된 것으로 간주된다(신건권, 2018).

둘째, Fornell & Larcker 기준을 적용하여 잠재 변수 간의 상관관계와 해당 잠재변 수의 수렴 타당도 수준을 비교하여 판별 타당도를 검정한다. Fornell & Larcker (1981)가 제시한 바와 같이, 각 잠재 변수의 평균분산 추출(AVE)값의 제곱근이 해당 잠재 변수와 다른 모든 잠재 변수 간의 상관관계수보다 큰지 확인한다(윤경호, 2022).

마지막으로 HTMT 비율(Heterotrait-Monotrait Ratio) 분석을 실시하여 잠재 변수들 간의 유사도를 측정하는 새로운 접근 방식을 통해 판별 타당도를 최종적으로 보완 평가한다. HTMT 비율은 일반적으로 0.85 또는

0.9 미만일 때 판별 타당도가 확보된 것으로 평가된다 (Henseler et al., 2016; 신건권, 2018).

#### 가. 교차 적재(Cross-Loadings) 분석

측정 척도들의 판별 타당도를 평가하기 위해 각 측정 항목의 교차 적재를 [표 4-8]에서 검토하였다. 판별 타당도는 특정 측정 항목이 자신이 속한 구성 개념에는 높은 적재값 (0.7 이상)을 보이면서, 다른 구성 개념에는 낮은 적재값 (0.4 미만)을 보이는 것을 의미한다(Hulland, 1999).

분석 결과, 일부 항목에서 기준값을 초과하는 교차 적재 현상이 확인되어 일부 구성 개념 간 개념적 중복 가능성이 제기되었다. 특히 ‘기술의 상대적 이점(T-RA)’의 T-RA-3(0.412)은 ‘인지된 유용성(PU)’ 요인에도 높은 적재를 보여 두 요인 간 개념적 유사성이 나타났으며, ‘기술의 안전성(T-SA)’의 T-SA-1(0.333)과 T-SA-2(0.351)은 ‘상대적 이점(T-RA)’과 교차되어 측정 경계의 모호성이 확인되었다.

또한 ‘최고 경영진 지원(O-TS)’의 O-TS-4(0.335), O-TS-5(0.375)는 ‘정부 지원(E-GS)’ 요인에, 반대로 ‘정부 지원(E-GS)’의 E-GS-1은 본래 요인보다 ‘최고 경영진 지원(O-TS)’ 요인에 더 강하게 적재되어, 조직 내부 및 외부 지원 요인 간 개념 혼재가 드러났다.

‘인지된 용이성(PEOU)’의 PEOU-3(0.397)과 PEOU-4(0.366)도 ‘인지된 유용성(PU)’과 높은 상관을 보여 두 인지 요인 간 밀접한 연관성이 나타났으며, ‘인지된 유용성(PU)’의 항목들은 다수의 다른 구성 개념에 0.3 전후의 적재를 보여 가장 광범위한 판별 타당도 저하를 보였다.

‘도입의도(AI)’ 요인의 AI-4(0.459)와 AI-5(0.433)는 ‘최고 경영진 지원(O-TS)’ 및 ‘정부 지원(E-GS)’ 요인과의 중첩이 강하게 관찰되었다. 반면, ‘인지된 위험(PR)’ 구성 개념의 모든 측정 항목은 0.1 미만의 낮은 교차 적재값을 보여 다른 구성 개념과 명확히 구분되는 높은 판별 타당도를 확보하였다.

따라서 일부 기술·조직·환경 요인 간에는 문항의 개념적 유사성으로 인한

측정 중복이 존재하나, 전반적으로는 각 구성 개념이 비교적 뚜렷한 구분성을 유지한 것으로 평가된다.

[표 4-8] 교차 적재

측정 척도	상대적 이점	안전성	최고 경영진 지원	정부 지원	노동력 부족	용이성	유용성	위험성	도입 의도
T-RA-1	0.763	0.243	0.124	0.294	0.087	0.217	0.359	-0.064	0.185
T-RA-2	0.657	0.260	0.038	0.167	0.123	0.083	0.281	-0.035	0.170
T-RA-3	0.814	0.238	0.062	0.242	0.083	0.210	0.412	-0.115	0.181
T-RA-4	0.694	0.211	0.050	0.118	-0.082	0.194	0.288	-0.059	0.057
T-RA-5	0.735	0.292	0.128	0.187	-0.017	0.201	0.324	-0.068	0.159
T-SA-1	0.333	0.740	0.033	0.168	0.058	0.175	0.308	-0.198	0.161
T-SA-2	0.351	0.804	-0.071	0.226	0.057	0.165	0.324	-0.171	0.179
T-SA-3	0.143	0.684	0.140	0.095	-0.080	0.167	0.098	-0.204	0.149
T-SA-4	0.215	0.814	0.060	0.158	0.021	0.259	0.279	-0.234	0.221
T-SA-5	0.227	0.796	0.103	0.111	0.033	0.249	0.232	-0.285	0.250
O-TS-1	0.046	-0.004	0.760	0.240	-0.065	0.055	0.072	0.028	0.293
O-TS-2	0.056	0.010	0.805	0.272	-0.050	0.013	0.068	0.011	0.347
O-TS-3	0.045	0.033	0.834	0.292	-0.079	0.039	0.134	0.083	0.348
O-TS-4	0.147	0.102	0.913	0.335	-0.040	0.054	0.228	-0.001	0.512
O-TS-5	0.108	0.053	0.872	0.375	-0.059	0.091	0.179	-0.022	0.444
E-GS-1	-0.044	0.018	0.427	0.352	0.025	0.103	0.013	0.132	0.158
E-GS-2	0.272	0.199	0.294	0.780	0.124	0.077	0.331	-0.147	0.352
E-GS-3	0.086	0.133	0.260	0.638	0.024	0.079	0.132	0.029	0.168
E-GS-4	0.138	0.107	0.269	0.781	0.088	0.106	0.246	0.032	0.239
E-GS-5	0.296	0.165	0.282	0.833	0.115	0.106	0.379	-0.046	0.266
E-LS-1	0.091	0.078	-0.042	0.187	0.862	0.027	0.219	0.001	0.159
E-LS-2	0.039	0.043	-0.145	0.042	0.749	-0.004	0.141	-0.022	0.016
E-LS-3	0.037	-0.008	-0.112	0.033	0.749	0.009	0.155	0.083	0.011
E-LS-4	-0.071	0.008	-0.057	0.040	0.770	-0.007	0.097	-0.025	0.175
E-LS-5	0.053	-0.001	0.023	0.130	0.871	0.049	0.251	-0.018	0.187
POEU-1	0.234	0.237	0.055	0.120	0.017	0.803	0.235	-0.131	0.084
POEU-2	0.202	0.184	0.006	0.033	-0.039	0.823	0.248	-0.092	0.040
POEU-3	0.262	0.255	0.092	0.149	0.023	0.848	0.397	-0.088	0.136
POEU-4	0.202	0.209	0.028	0.157	0.096	0.848	0.366	-0.155	0.071
POEU-5	0.049	0.159	0.084	-0.037	-0.020	0.613	0.159	-0.031	0.127
PU-1	0.369	0.297	0.080	0.330	0.197	0.392	0.743	-0.093	0.203
PU-2	0.357	0.181	0.076	0.302	0.169	0.204	0.741	-0.037	0.246
PU-3	0.336	0.272	0.119	0.273	0.242	0.275	0.816	-0.111	0.352
PU-4	0.326	0.253	0.124	0.226	0.215	0.265	0.784	-0.073	0.319

PU-5	0.370	0.265	0.290	0.322	0.090	0.285	0.751	-0.080	0.532
PR-1	0.096	-0.067	0.024	-0.009	-0.056	-0.080	0.029	0.578	-0.005
PR-2	-0.149	-0.300	0.043	-0.069	-0.053	-0.104	-0.161	0.856	-0.103
PR-3	-0.035	-0.195	0.023	0.003	0.015	-0.068	0.015	0.780	-0.070
PR-4	-0.046	-0.119	-0.079	-0.063	0.126	-0.121	-0.093	0.524	-0.067
PR-5	0.078	-0.038	-0.019	0.074	0.149	-0.162	0.051	0.405	0.055
AI-1	0.180	0.241	0.354	0.188	0.118	0.066	0.277	-0.063	0.717
AI-2	0.203	0.228	0.383	0.345	0.166	0.111	0.436	-0.107	0.855
AI-3	0.143	0.211	0.390	0.287	0.072	0.057	0.372	-0.109	0.860
AI-4	0.089	0.166	0.459	0.286	0.091	0.058	0.283	-0.082	0.799
AI-5	0.212	0.194	0.433	0.433	0.301	0.165	0.403	-0.048	0.844

그러나 일부 측정 척도가 연구모형의 구성 개념 타당도, 특히 판별 타당도를 저해할 가능성이 확인되었다. 특정 구성 개념에 대한 외부 적재(outer loading)가 낮거나, 다른 구성 개념에 대한 교차 적재(cross-loading)가 높을 경우, 해당 척도를 제거하는 것이 모형의 명확성과 신뢰도를 높이는 데 도움이 된다(Hulland, 1999). 이에 본 연구에서는 이러한 원칙에 따라 총 8개의 측정 척도를 삭제하였다.

먼저, ‘기술의 상대적 이점(T-RA-5)’은 본래 구성 개념 외에 ‘인지된 유용성(PU)’에 0.324로 교차 적재되어 개념 중복이 확인되었다. ‘최고 경영진 지원(O-TS-1, O-TS-2)’은 각각 0.240, 0.272 수준으로 ‘정부 지원(E-GS)’ 요인과 교차 적재되어, 내·외부 지원 요인 간 경계가 모호하였다. ‘정부 지원(E-GS-1)’은 해당 요인에 대한 적재값이 0.352로 낮고, 오히려 ‘최고 경영진 지원(O-TS)’에 0.427로 더 높게 적재되어 개념 타당성이 결여된 것으로 판단되었다. 또한, ‘인지된 용이성(PEOU-3)’은 0.848의 높은 적재값을 보였으나, ‘인지된 유용성(PU)’과 0.397의 높은 교차 적재를 보여 두 인지 요인 간 혼동 가능성이 제기되었다. ‘인지된 유용성(PU-4)’은 여러 구성 개념에 0.2 후반~0.3대의 교차 적재를 보여 단일 요인 측정의 타당도를 저해하였다. 마지막으로, ‘인지된 위험(PR-4, PR-5)’은 해당 요인에 대한 적재값이 각각 0.524, 0.405로 기준(0.6)에 미달하여 구성 개념의 대표성이 부족한 것으로 나타났다.

이러한 부적합 항목의 제거를 통해 [표 4-9]에서 제시된 정제된 측정 모형은 각 구성 개념의 내적 일관성과 수렴 타당도를 높이는 동시에, 요인

간 관별 타당도를 향상시켜 연구모형의 견고성과 해석의 신뢰성을 강화하였다.

[표 4-9] 측정 척도 삭제 후 외부 적재값

측정 척도	상대적 이점	안전성	최고 경영진 지원	정부 지원	노동력 부족	용이성	유용성	위협성	도입 의도
T-RA-1	0.805								
T-RA-2	0.638								
T-RA-3	0.848								
T-RA-4	<b>0.696</b>								
T-SA-1		0.739							
T-SA-2		0.806							
T-SA-3		<b>0.676</b>							
T-SA-4		0.816							
T-SA-5		0.797							
O-TS-3			0.772						
O-TS-4			0.946						
O-TS-5			0.911						
E-GS-2				0.783					
E-GS-3				0.611					
E-GS-4				0.777					
E-GS-5				0.845					
E-LS-1					0.861				
E-LS-2					0.754				
E-LS-3					0.746				
E-LS-4					0.764				
E-LS-5					0.872				
PEOU-1						0.834			
PEOU-2						0.836			
PEOU-4						0.862			
PEOU-5						<b>0.663</b>			
PU-1							0.755		
PU-2							0.763		
PU-3							0.811		
PU-5							0.776		
PR-1								<b>0.605</b>	
PR-2								0.884	
PR-3								0.805	
AI-1									0.715

AI-2									0.853
AI-3									0.862
AI-4									0.802
AI-5									0.843

#### 나. Fornell & Larcker 기준

Fornell and Larcker (1981)가 제시한 기준에 따라 구성 개념 간 판별 타당도를 검정하였다. 이 방법은 각 구성 개념의 평균분산추출(AVE)값의 제곱근이 해당 구성 개념과 다른 구성 개념 간 상관계수보다 높을 경우 판별 타당도가 확보된 것으로 판단한다.

[표 4-10]에서 제시된 결과에 따르면, 모든 구성 개념의 대각선 값(AVE의 제곱근)은 0.752~0.880의 범위로 나타나 각 구성 개념 간 상관계수보다 모두 높게 나타났다. 예를 들어, ‘도입 의도(0.817)’는 다른 변수들과의 상관계수(0.145~0.446)보다 높았으며, ‘상대적 이점(0.752)’과 ‘유용성(0.777)’, ‘최고 경영진 지원(0.880)’ 역시 각각의 상관계수를 상회하여 판별 타당도가 확보되었음을 확인할 수 있다. 또한 ‘기술의 안전성(0.769)’, ‘용이성(0.803)’, ‘위험(0.774)’, ‘정부 지원(0.759)’, ‘노동력 부족(0.801)’ 등 모든 구성 개념에서 동일한 경향이 확인되었다.

이러한 결과는 각 잠재 변수가 서로 독립적으로 측정되었으며, 구성 개념 간 개념적 중복이 존재하지 않음을 의미한다. 따라서 Fornell & Larcker 기준에 따라 본 연구의 측정 모형은 충분한 판별 타당도를 확보한 것으로 판단된다.

[표 4-10] Fornell & Larcker

구분	노동력 부족	도입 의도	상대적 이점	안전성	용이성	위험성	유용성	정부 지원	최고 경영진 지원
노동력 부족	0.801								
도입 의도	0.145	0.817							
상대적	0.071	0.197	0.752						

이점									
안전성	0.033	0.254	0.312	0.769					
용이성	0.026	0.095	0.210	0.248	0.803				
위험성	-0.036	-0.098	-0.099	-0.287	-0.113	0.774			
유용성	0.221	0.446	0.454	0.332	0.326	-0.098	0.777		
정부 지원	0.129	0.349	0.289	0.202	0.096	-0.058	0.406	0.759	
최고 경영진 지원	-0.061	0.505	0.107	0.076	0.055	0.030	0.219	0.366	0.880

다. HTMT 기준

추가적으로 HTMT(Heterotrait-Monotrait) 비율을 [표 4-11]과 같이 산출하여 판별 타당도를 재확인하였다(Henseler et al., 2016). HTMT 값이 0.85 이하이면 판별 타당도가 확보된 것으로 간주 되며, 0.90 이하인 경우에도 사회과학 연구에서는 수용 가능한 수준으로 평가된다.

[표 4-11] HTMT 기준

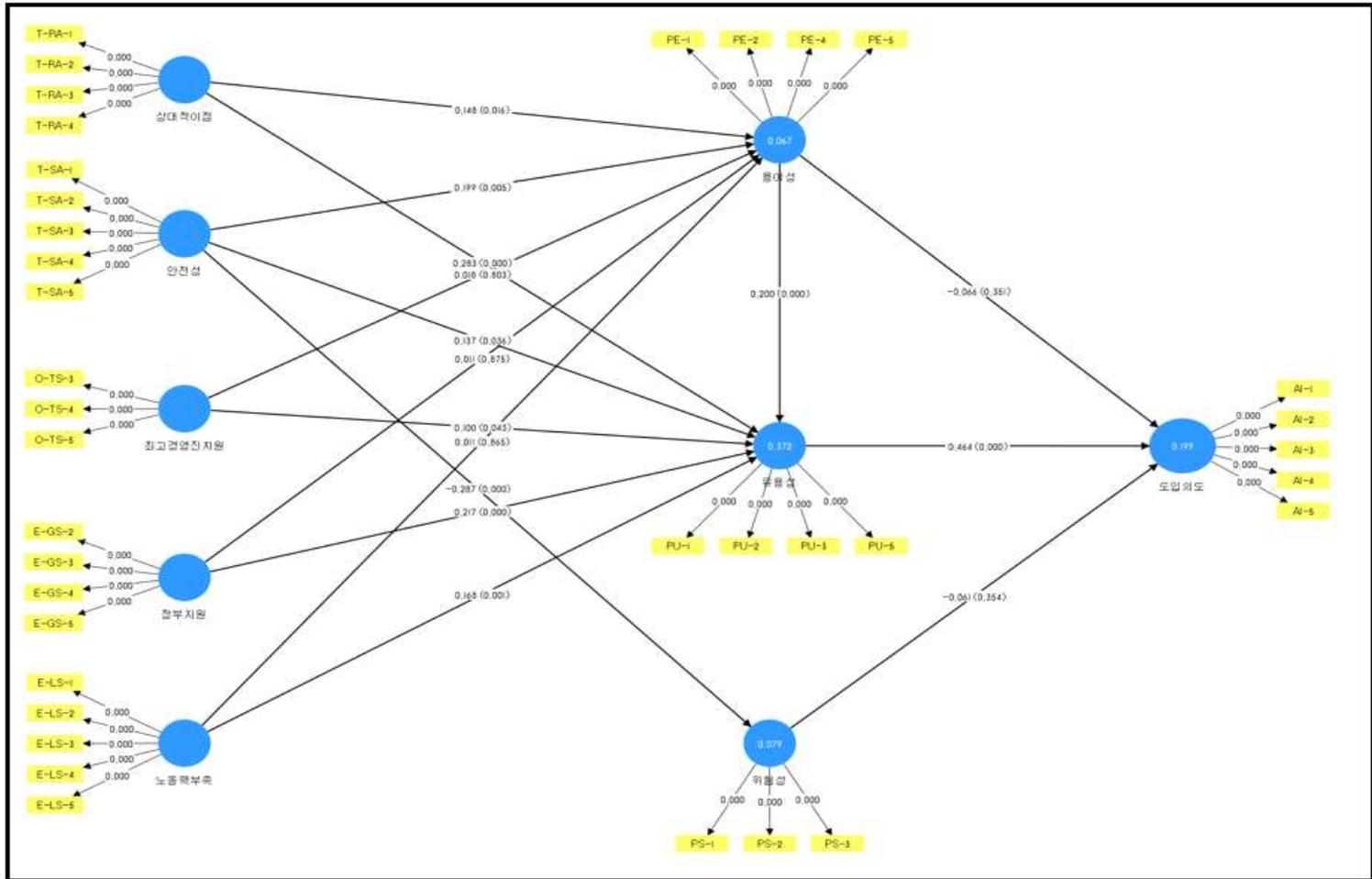
구분	노동력 부족	도입 의도	상대적 이점	안전성	용이성	위험성	유용성	정부 지원	최고 경영진 지원
노동력 부족									
도입 의도	0.172								
상대적 이점	0.147	0.242							
안전성	0.080	0.294	0.398						
용이성	0.069	0.125	0.261	0.296					
위험성	0.086	0.116	0.163	0.296	0.137				
유용성	0.254	0.505	0.587	0.391	0.385	0.138			
정부 지원	0.135	0.401	0.332	0.245	0.146	0.137	0.470		
최고 경영진 지원	0.116	0.575	0.125	0.135	0.075	0.070	0.241	0.451	

분석 결과, 모든 구성 개념 간 HTMT 값이 0.6~0.7 범위 내에 분포하였으며, 어느 쌍도 0.85를 초과하지 않았다. 특히 ‘도입 의도 - 유용성 (0.505)’, ‘유용성-상대적 이점(0.587)’, ‘최고 경영진 지원 - 도입 의도 (0.575)’ 등의 관계에서도 허용 기준 이하의 값을 보여, 요인 간 상호 구별성이 충분히 확보된 것으로 판단된다. 따라서 HTMT 기준에서도 본 연구의 측정 모형은 판별 타당도를 충족하였으며, 이는 Fornell & Larcker 기준 결과와 일관된 결론을 뒷받침한다.

결론적으로, 교차 적재 분석과 Fornell & Larcker 기준, HTMT 기준을 모두 충족함으로써 본 연구에서 설정한 모든 구성 개념이 서로 충분한 판별 타당도를 확보하고 있음을 확인하였다. 이는 연구모형에 포함된 구성 개념들이 통계적으로 유의미하게 구분되며, 독립적인 역할을 수행하고 있음을 강력하게 지지한다. 따라서, 이러한 측정 척도들의 견고성은 본 연구가 제시하는 구조 모형과 가설 검정 결과의 신뢰성을 더욱 높이며, 후속적인 구조 모형 분석을 진행하기 위한 확고한 기초를 제공한다.

#### 제 4 절 구조 모형의 평가 (Structural Model Evaluation)

구조 모형의 평가는 측정 모형의 신뢰도와 타당도가 확보된 이후 연구모형 내 잠재 변수 간 인과관계를 검정하기 위하여 수행된다. 먼저 독립변수 간 다중공선성 문제를 확인하기 위하여 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, VIF)를 검토하며, 일반적으로 VIF 값이 5 미만이면 다중공선성이 없는 것으로 판단한다(Rigdon et al. 2017; 신건권, 2018). 다음으로 잠재 변수 간 경로계수(path coefficient)의 크기와 방향을 확인하고, [그림 4-1]과 같이 부트스트래핑(bootstrapping) 기법을 통해 표준오차와 t=값, p=값을 산출하여 그 유의성을 검정한다. 마지막으로 내생변수의 설명력을 평가하기 위해 결정계수( $R^2$ )를 산출하며,  $R^2$ 는 0.75 이상일 경우 상당히 높음, 0.50 이상일 경우 중간 수준, 0.25 이상일 경우 낮은 수준의 설명력을 갖는 것으로 해석한다(Henseler et al., 2016).



[그림4-1] PLS-SEM의 부트스트래핑(bootstrapping) 실행결과

## 1. 다중공선성 검토

본 연구에서는 구조방정식 모형 분석에 앞서 독립변수 간 다중공선성(Multicollinearity) 문제를 검토하기 위해 [표 4-12] 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, VIF)를 확인하였다. 다중공선성은 독립변수들 간의 상관관계가 높아 개별 변수의 순수한 영향력을 식별하기 어렵게 만들고, 통계적 추정치의 안정성을 저해할 수 있는 문제이다. 일반적으로 VIF 값이 10 이상일 경우 심각한 다중공선성 문제로 간주하며, 보다 보수적인 관점에서는 VIF 값이 5를 초과할 때 다중공선성 문제를 의심한다(이일현, 2015).

[표 4-12] Collinearity statistics(VIF)

변수	노동력 부족	도입 의도	상대적 이점	안전성	용이성	위험성	유용성	정부 지원	최고 경영진 지원
상대적 이점					1.175		1.184		
안전성					1.204	1	1.234		
최고 경영진 지원					1.337		1.349		
정부 지원					1.188		1.197		
노동력 부족					1.046		1.047		
인지된 용이성		1.109					1.104		
인지된 유용성		1.1							
인지된 위험		1.011							
도입 의도									

협동로봇 도입 의도 모형의 주요 변수(상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족, 용이성, 유용성, 위험, 도입 의도)를 대상으로 VIF 값을 산출하였다. 전반적으로 모든 변수의 VIF 값이 1.0~1.3 수

준으로 나타나, 모든 변수 간의 다중공선성 문제는 존재하지 않는 것으로 판단되며, 노동력 부족의 VIF는 1.046~1.047로, 다른 변수들과의 상관관계가 매우 낮음을 의미하고, 상대적 이점의 VIF(1.175~1.184), 용이성의 VIF(1.109), 유용성의 VIF(1.101) 역시 모두 1.2 미만으로 안정적인 수준으로 나타났다. 안전성의 VIF(1.204)는 다소 높은 편이지만 여전히 2 미만으로, 허용 가능한 범위 내에 있는 것으로 확인되었다. 이는 안전성이 다른 인지 요인(용이성, 유용성 등)과 어느 정도 관련성을 가지지만 심각한 공선성은 없음을 의미한다. 정부 지원(1.188~1.197)과 최고 경영진 지원(1.337~1.349) 변수의 VIF 값이 상대적으로 가장 높게 나타났지만, 이 또한 기준값(10 또는 5)를 훨씬 하회하므로 모형 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

분석 결과, 본 연구에서 사용된 모든 독립변수들의 VIF 값은 최저 1에서 최고 1.349 사이에 분포하는 것으로 나타났다. 모든 VIF 값이 5 미만을 충족하며, 이는 연구모형 내에서 독립변수들 간에 다중공선성 문제가 존재하지 않음을 명확히 보여준다.

## 2. 결정계수 평가

본 연구에서의 PLS-SEM 분석을 통해 도출된 외생변수에 의해서 설명되는 내생 잠재 변수의 분산 비율 결정계수( $R^2$ ) 결과는 [표 4-13]와 같다.

도입 의도의  $R^2$  값은 0.208로 나타나, 본 연구모형에서 외생변수(상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족)가 내생변수인 인지된 유용성·용이성·위험을 매개로 하여 도입 의도의 분산을 약 20.8% 설명함을 의미한다. 이는 중간 이하 수준의 설명력으로, 중소기업의 협동로봇 도입 의도에는 본 연구에서 설정한 기술적·조직적·환경적 요인 외에도 추가적인 변수들이 영향을 미칠 가능성이 있음을 시사한다.

인지된 용이성의  $R^2$  값은 0.084로, 외생변수들에 의해 약 8.4%만이 설명되는 것으로 나타났다. 이는 인지된 용이성이 다른 요인들에 비해 상대

적으로 낮은 수준의 설명력을 보이며, 사용자의 기술 수용에 영향을 미치는 요인으로서 인지된 용이성보다는 인지된 유용성이 보다 큰 역할을 하고 있음을 의미한다.

실제로 인지된 유용성의  $R^2$  값은 0.386으로 분석되어 본 연구의 모든 내생변수 중 가장 높은 설명력을 보였다. 이는 기술-조직-환경 요인 등이 사용자의 유용성 인식에 실질적인 영향을 미치고 있음을 의미하며, 협동로봇의 도입이 생산성 향상이나 업무 효율성 제고로 이어진다고 인식될 수록 도입 의도 또한 강화된다는 점을 시사한다. 한편 인지된 위험의  $R^2$  값은 0.083으로 나타나 낮은 수준의 설명력을 보였다. 이는 협동로봇의 위험 인식이 주로 개인의 심리적 요인이나 경험적 요인에서 비롯되며, 조직적 혹은 환경적 요인으로부터 직접적인 설명을 받기 어렵다는 점을 보여준다.

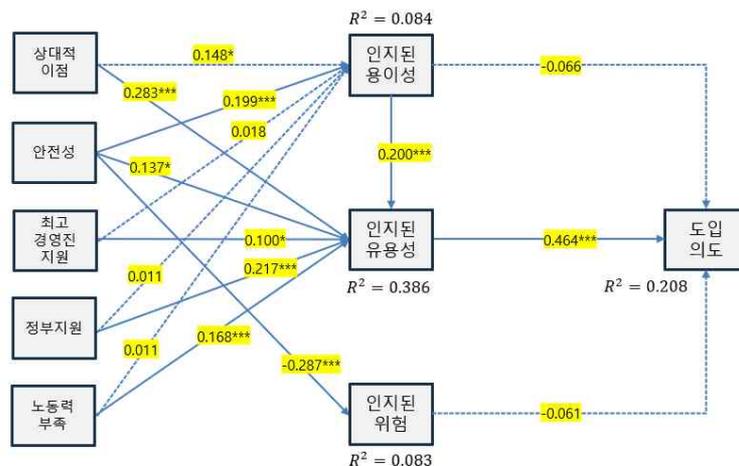
전체적으로 볼 때, 본 연구 모형은 인지된 유용성(0.386)과 도입 의도(0.208)에서 비교적 의미 있는 설명력을 확보하였으나, 인지된 용이성과 인지된 위험의 설명력은 다소 낮게 나타났다. 따라서 향후 연구에서는 사용자의 실제 경험, 기술 적응 훈련, 안전 교육 수준 등과 같은 개인적·행동적 요인을 추가로 고려하여 모형의 설명력을 보완할 필요가 있다.

[표 4-13] 결정계수( $R^2$ ) 평가 결과

내생 변수	R-square	R-square adjusted
도입 의도	0.208	0.199
인지된 용이성	0.084	0.067
인지된 유용성	0.386	0.372
인지된 위험	0.083	0.079

## 제 5 절 가설 검증

본 연구에서는 SmartPLS 4.0을 사용하여 개별 변수들에 대한 분석하였다. 측정 모형 검정을 통해 연구모형의 신뢰도와 타당도가 확보되었음을 확인하고, 구조방정식모형(Structural Equation Model: SEM)을 적용하여 5개의 독립변수, 3개의 매개변수, 1개의 종속변수 간에 영향을 미치는지 여부에 대한 인과관계를 검증하였다. 부분최소제곱 기반 PLS-SEM은 공분산 기반 구조방정식모형(CB-SEM)과 달리 자료가 정규분포를 따른다고 가정하지 않으며, 모수적 방법에 기반한 추론을 사용하지 않는다(신건권, 2018). 대신 계수의 통계적 유의성을 검증하기 위해 비모수적 부트스트래핑(Bootstrapping) 절차를 활용한다(Hair et al., 2022). SmartPLS에서는 기본적으로 5,000개의 서브 샘플(sub-sample)을 이용한 부트스트랩 검정을 제공하며, 이는 기업 간 정보시스템 연구를 비롯한 다양한 실증연구에서 활용되어 왔다(Patnayakuni et al., 2006). 따라서 본 연구에서도 동일한 절차를 적용하여 5,000개의 서브 샘플을 기반으로 각 경로계수의 유의성을 검증하였다. 본 연구의 연구모형 경로 분석 결과에 따른 가설 검증 결과는 [그림 4-2]와 같이 나타났다.



\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

[그림 4-2] 정식(SEM) 모형의 분석 결과

## 1. 독립변수와 매개변수 간의 가설 검정 결과

본 연구에서는 협동로봇 도입 의도에 영향 요인으로 독립변수를 TOE 요인 중 기술 요인으로 상대적 이점(T-RA)과 안전성(T-SA)을, 조직 요인으로 최고 경영진 지원(O-TS), 환경 요인으로 정부 지원(E-GS)과 노동력 부족(O-LS)을 제시하였고, 매개변수로는 TAM의 대표적인 변수인 인지된 용이성과 인지된 유용성을 그리고 협동로봇에 대한 개인의 위험 인식을 연구하기 위해 인지된 위험을 제시하였으며, 마지막 종속변수로 도입 의도를 제시하여 변수 간의 가설 검정 결과는 다음과 같이 나타났다.

첫째 기술 요인 중 상대적 이점은 ‘협동로봇 기술 도입으로 인해 이전보다 새로운 것이 낫다고 인식하는 정도’로 정의하였다.

**가설 H1-1, H1-2** 상대적 이점은 인지된 용이성과 인지된 유용성에 긍정적인 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 통계분석의 결과치인 인지된 용이성과의 경로계수 0.148,  $t=2.407$ ,  $p=0.016$ 로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하여 채택되었다. 인지된 유용성과의 경로계수 0.283,  $t=4.791$ ,  $p=0.000$ 로 유의확률  $p<0.001$ 에서 통계적으로 높은 유의성을 보여 채택되었다. 이러한 결과는 상대적 이점이 혁신 또는 신기술 도입에 따른 인지된 용이성과 인지된 유용성에 영향을 미치는 점이라는 것은 이전의 많은 연구에서도 증명(Leung et al., 2015)되었듯이 본 연구에서도 같은 결과를 보였다.

안전성은 ‘협동로봇은 안전하다고 느끼는 인식 정도’로 정의하였다.

**가설 H2-1, H2-2** 안전성은 인지된 용이성과 인지된 유용성에 긍정적인 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 통계분석의 결과치인 인지된 용이성과의 경로계수 0.199,  $t=2.817$ ,  $p=0.005$ 로 유의확률  $p<0.01$ 에서 통계적으로 유의하여 채택되었으며, 인지된 유용성과의 경로계수 0.137,  $t=2.103$ ,  $p=0.036$ 로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하여 채택되었다. 이는 Bröhl et al.,(2019)의 인간과 로봇의 협업수용 모델에 관한 연구와 송일형 (2022)의 인공지능 기반 인사관리시스템 도입 관련 연구

의 결과와 일치 함을 보였다.

둘째 조직 요인에서 최고 경영진 지원은 ‘최고경영자의 협동로봇에 대한 이해와 심적 및 물리적 지원정도’로 정의하였다.

**가설 H3-1, H3-2** 최고 경영진 지원은 인지된 용이성과 인지된 유용성에 긍정적인 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 통계분석의 결과치인 인지된 용이성과의 경로계수 0.018,  $t=0.249$ ,  $p=0.803$ 으로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하지 않아 채택되지 않았다. 반면 인지된 유용성과의 경로계수 0.100,  $t=2.025$ ,  $p=0.043$ 으로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하여 채택되었다.

최고 경영진의 지원이 신기술의 유용성 인식을 강화한다는 기존 TAM 및 TOE 기반 연구의 주류적 결과와 일치한다. 이는 송영심 (2023) 등 다양한 연구에서 최고 경영진 지원이 인지된 유용성에 매우 강한 정(+)<sup>1</sup>의 영향을 미친 것으로 보고되었다. 그러나 최고 경영진 지원이 혁신 또는 신기술 도입에 따른 인지된 용이성에 영향을 미치는 점이라는 것은 이전의 많은 연구에서도 증명(Leung et al., 2015)되었음에도 불구하고, 본 연구에서는 채택되지 않았다. 이는 일부 연구에서 최고 경영진 지원이 용이성 인식에 직접적인 영향을 미치지 못한다는 결과와 일맥상통한다. 예컨대, 멀티 클라우드 연구(2019) 등 다수의 연구에서 최고 경영진 지원이 인지된 용이성에 유의하지 않은 영향을 보였다. 이는 기술의 복잡도나 사용자 숙련도에 따라 최고 경영진 지원의 용이성 효과가 달라질 수 있음을 시사한다.

셋째 환경 요인 중 정부 지원은 ‘협동로봇 도입 및 확산을 위한 정부 또는 지자체의 정책 차원의 지원 정도로 정의’로 하였다.

**가설 H4-1, H4-2** 정부 지원은 인지된 용이성과 인지된 유용성에 긍정적인 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 통계분석의 결과치인 인지된 용이성과의 경로계수 0.011,  $t=0.157$ ,  $p=0.875$ 로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하지 않아 채택되지 않았으나, 인지된 유용성과의 경로계

수 0.217,  $t=4.035$ ,  $p=0.000$ 으로 유의확률  $p<0.001$ 에서 통계적으로 유의하여 채택되었다. 이는 이성종 등 (2024)의 스마트팩토리 고도화 연구와 이혜진 (2025)의 블록체인 수용에 관한 연구 등 다양한 기술 수용 연구에서 정부 지원이 인지된 유용성을 높인다는 일반적인 결과와 일치한다. 반면에, 인지된 용이성에 대해서는 가설이 채택되지 않았는데, 이러한 결과는 고기철 외(2017)의 산업기술의 내부 유출방지 관련 연구와 정현석 (2019)의 멀티 클라우드 컴퓨팅 사용 의도에 관한 연구와도 같은 결과를 나타냈다. 이는 정부 지원과 같은 외부 환경의 지원이 재정적 부담을 완화하거나 가치를 확산시키는 데는 효과적이지만, 협동로봇 시스템 자체의 내재적인 복잡성이나 사용 난이도를 직접적으로 해소하여 사용자가 '사용하기 쉽다'고 느끼게 만드는 데는 한계가 있음을 시사한다.

노동력 부족(Labor Shortage)은 '직무를 수행할 적합한 노동력을 찾지 못하는 상황 정도'로 정의하였다.

가설 H5-1, H5-2 노동력 부족은 인지된 용이성과 인지된 유용성에 긍정적인 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 통계분석의 결과치인 인지된 용이성과의 경로계수 0.011,  $t=0.171$ ,  $p=0.865$ 로 유의확률 0.05에서 통계적으로 유의하지 않아 기각되었으며, 인지된 유용성과의 경로계수 0.168,  $t=3.179$ ,  $p=0.001$ 로 유의확률 0.01에서 통계적으로 유의하여 채택되었다. 선행 연구는 제조 현장의 노동력 부족이 신기술 채택을 촉진한다는 점을 일관되게 보고한다(Leesakul et al., 2022). 이는 환경적 압력이 성과 기대(=인지된 유용성)를 고양 시켜 채택을 유도한다는 해석과 부합한다. 반면, 환경 요인 → 인지된 용이성(PEOU) 경로는 맥락에 따라 비 유의로 나타날 수 있으며(Akbar et al., 2022), 본 연구에서도 노동력 부족 → PEOU 경로가 비 유의로 도출되었다.

위와 같은 검정 결과를 바탕으로 독립변수와 매개변수 가설 검정 결과를 [표 4-14]와 같이 정리하였다.

[표 4-14] 독립변수와 매개변수 간 가설 검정 결과

가설 번호	시작 변수	종착 변수	경로 계수	t-value	p-value	검정 결과
H1-1	상대적 이점	인지된 용이성	0.148	2.407	0.016	채택
H1-2		인지된 유용성	0.283	4.791	0.000	채택
H2-1	안전성	인지된 용이성	0.199	2.817	0.005	채택
H2-2		인지된 유용성	0.137	2.103	0.036	채택
H3-1	최고 경영진 지원	인지된 용이성	0.018	0.249	0.803	기각
H3-2		인지된 유용성	0.100	2.025	0.043	채택
H4-1	정부 지원	인지된 용이성	0.011	0.157	0.875	기각
H4-2		인지된 유용성	0.217	4.035	0.000	채택
H5-1	노동력 부족	인지된 용이성	0.011	0.171	0.865	기각
H5-2		인지된 유용성	0.168	3.179	0.001	채택

## 2. 안전성과 인지된 위험 간의 가설 검정 결과

본 연구에서는 협동로봇 도입 의도에 영향 요인으로 협동로봇의 기술적 특징인 안전성과 협동로봇 도입에 대한 작업자의 인식을 알아보기 위해 인지된 위험 변수를 연구모형에 적용하여 협동로봇의 기술적 특징인 안전성이 작업자의 위험 인식에 미치는 영향을 분석하고자 가설 H2-3 안전성은 인지된 위험에 긍정적인 “부(-)”의 영향을 미칠 것이라는 가설을 수립하였다, 이 가설에 대한 통계분석의 결과치는 [표 4-15]과 같이 안전성과 인지된 위험의 경로계수 -0.287, t=5.158, p=0.000으로 유의확률  $p < 0.001$ 에서 통계적으로 높은 유의성을 보여 채택되었으며, 이는 안전성 제고가 위험 인식을 유의하게 감소시킬 수 있는 동인임을 확인하게 되었다. 이러한 결과는 협동로봇 도입 관련 선행 연구(제조 현장 안전 요인의 중요성, 안전성, 지각의 신뢰 등)과도 정합적이다(Baumgartner et al., 2022).

[표 4-15] 안전성과 인지된 위험 간의 가설 검정 결과

가설 번호	시작 변수	종착 변수	경로 계수	t-value	p-value	검정 결과
H2-3	안전성	인지된 위험	-0.287	5.157	0.000	채택

### 3. 매개변수와 종속변수 간 가설 검정 결과

본 연구에서는 협동로봇 도입 의도에 영향 요인을 분석하기 위한 매개변수로 TAM의 인지된 용이성과 인지된 유용성이 도입 의도에 미치는 영향과 인지된 위험이 도입 의도에 미치는 영향을 분석하기 위해 수립한 가설에 대한 결과는 [표 4-16]과 같이 나타났다.

[표 4-16] 매개변수와 종속 변수 간 가설 검정 결과

가설 번호	시작 변수	종착 변수	경로 계수	t-value	p-value	검정 결과
H6	인지된 용이성	인지된 유용성	0.200	3.553	0.000	채택
H7	인지된 용이성	도입 의도	-0.066	0.932	0.351	기각
H8	인지된 유용성	도입 의도	0.464	7.748	0.000	채택
H9	인지된 위험	도입 의도	-0.061	0.928	0.354	기각

**가설 H7** 인지된 용이성은 도입 의도에 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설을 수립하였고, 경로계수 -0.066,  $t=0.932$ ,  $p=0.351$ 로 유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의하지 않아 기각되었다.

**가설 H8** 인지된 유용성은 도입 의도에 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 경로계수 0.464,  $t=7.748$ ,  $p=0.000$ 으로 유의확률  $p<0.001$ 에서 통계적으로 유의미하여 채택되었다. 이는 기술 수용 모델(TAM)의 가장 핵심적인 주장과 일치하는 결과로, 협동로봇 도입을 통해 업무 성과 향상, 작업 효율성 및 품질 개선 등 긍정적인 결과가 예상될수록 (Cippelletti et al., 2025) 도입 의도가 높아짐을 의미한다. 이는 서경화 (2021)의 외식

산업의 키오스크(Kiosks) 확산 연구 등 다수 연구에서 유용성의 강력한 영향력이 검증되었다.

**가설 H9**, 인지된 위험은 도입 의도에 “부(-)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은, 경로계수  $-0.061$ ,  $t=0.928$ ,  $p=0.354$  유의확률  $p<0.05$ 에서 통계적으로 유의미하지 않아 기각 되었다.

그리고 인지된 유용성과 인지된 용이성 간의 영향 관계 분석을 위한

**가설 H6** 인지된 용이성은 인지된 유용성에 “정(+)”의 영향을 미칠 것이라는 가설은 경로계수  $0.200$ ,  $t=3.553$ ,  $p=0.000$  유의확률  $p<0.001$ 에서 통계적으로 유의미하여 채택 되었다.

#### 4. 매개효과 검정 결과

TOE 요인들과 도입 의도 간의 인지된 용이성과 인지된 유용성, 인지된 위험의 매개효과 검정 결과[표 4-17]에서 인지된 용이성은 매개 역할을 전혀 하지 못한 것으로 나타났으며, 인지된 위험 역시 매개 역할을 하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 인지된 유용성은 상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족이 도입 의도에 미치는 영향 관계에 있어서 인지된 유용성은 매개 역할을 할 것이다. 라는 가설들에서 최고 경영진 지원을 제외한 나머지 가설 등은 채택 되었다.

상대적 이점 → 인지된 유용성 → 도입 의도 경로계수( $\beta=.144$ ,  $t=4.931$ )로, 상대적 이점이 인지된 유용성을 매개로 하여 도입 의도에 정(+ )의 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 안전성 → 인지된 유용성 → 도입 의도 경로계수( $\beta=.081$ ,  $t=2.360$ )로 안전성이 인지된 유용성을 매개로 하여 도입 의도에 정(+ )의 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 정부 지원 → 인지된 유용성 → 도입 의도 경로계수( $\beta=.101$ ,  $t=3.343$ )로 정부 지원이 인지된 유용성을 매개로 하여 도입 의도에 정(+ )의 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 노동력 부족 → 인지된 유용성 → 도입 의도 경로계수( $\beta=.078$ ,  $t=2.844$ )로 노동력 부족이 인지된 유용성을 매개로 하여 도입 의도에 정(+ )의 유의한 영향을 미친다는

것을 알 수 있다.

[표 4-17] 매개효과 검정 결과(간접 효과)

가설 번호	매개 경로	경로 계수	t-value	p-value	검정 결과
H10-1	상대적 이점 → 용이성 → 도입 의도	-0.01	0.746	0.456	기각
H10-2	안전성 → 용이성 → 도입 의도	-0.013	0.863	0.388	기각
H10-3	최고 경영진 지원 → 용이성 → 도입 의도	-0.001	0.166	0.868	기각
H10-4	정부 지원 → 용이성 → 도입 의도	-0.001	0.101	0.919	기각
H10-5	노동력 부족 → 용이성 → 도입 의도	-0.001	0.114	0.909	기각
H11-1	상대적 이점 → 유용성 → 도입 의도	0.131	4.536	0.000	채택
H11-2	안전성 → 유용성 → 도입 의도	0.063	1.8911	0.059	기각
H11-3	최고 경영진 지원 → 유용성 → 도입 의도	0.047	1.802	0.072	기각
H11-4	정부 지원 → 유용성 → 도입 의도	0.101	3.418	0.001	채택
H11-5	노동력 부족 → 유용성 → 도입 의도	0.078	2.918	0.004	채택
H12	안전성 → 위험성 → 도입 의도	0.017	0.859	0.391	기각

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

[표 4-19]는 외생변수(상대적 이점, 안전성, 최고 경영진 지원, 정부 지원, 노동력 부족)가 도입 의도에 미치는 직접 효과(direct effect)와 인지된 용이성, 인지된 유용성, 인지된 위험을 매개로 한 간접 효과(indirect effect)를 SmartPLS 부트스트래핑(5,000회 재표본 추출)을 통해 분석한 결과를 제시한 것이다. 95% 신뢰구간(2.5%, 97.5%)과 t 값, p 값을 기준으로 유의성을 판정하였으며, Zhao et al. (2010)에 따라 직접 효과와 간접효과의 유의성 및 부호(sign)의 일치 여부에 따라 완전 매개(full mediation), 부분 매개(partial mediation), 보완적 매개(complementary

mediation), 경쟁적 매개(competitive mediation)로 분류하였다.

상대적 이점은 인지된 유용성( $\beta=0.131$ ,  $t=4.536$ ,  $p<0.001$ )을 매개로 도입 의도에 유의한 간접 효과를 보였으나, 직접 효과( $\beta=0.069$ ,  $p=0.149$ )는 유의하지 않았다. 이에 따라 상대적 이점은 완전 매개 형태로 판정되었다. 즉, 기술의 상대적 이점은 사용자에게 직접적으로 도입 의도를 높이기보다는 ‘해당 기술이 얼마나 유용하다고 인식되는가?’에 따라 간접적으로 영향을 미친다는 의미이다.

안전성은 인지된 용이성( $\beta=0.425$ ,  $p<0.001$ )을 통해 인지된 유용성( $\beta=0.283$ ,  $p<0.001$ )으로 이어지는 직렬 매개 경로( $\beta=0.018$ ,  $t=2.150$ ,  $p=0.032$ )가 유의하였으며, 직접 효과( $\beta=0.172$ ,  $t=2.755$ ,  $p=0.006$ ) 또한 유의하였다. 이에 따라 안전성은 부분 매개로 판단되며, 직접 효과와 간접 효과가 모두 정(+) 방향으로 나타나 보완적 매개 형태를 보였다. 이는 협동로봇 기술의 안전성 인식이 높을수록 기술에 대한 신뢰가 강화되고, 이를 통해 시스템 사용의 용이성과 유용성 인식이 동시에 높아져 결국 도입 의도가 함께 상승함을 의미한다.

최고 경영진 지원은 간접효과가 유의하지 않고, 직접 효과( $\beta=0.452$ ,  $t=8.388$ ,  $p<0.001$ )만 유의하게 나타났다. 따라서 매개효과가 존재하지 않는 직접 효과 중심(direct-only effect) 관계로 해석된다. 이는 중소기업의 협동 로봇 도입 과정에서 최고 경영진의 의사결정과 지원이 매개변수를 거치지 않고 직접적으로 도입 의도에 영향을 미치는 것을 의미한다.

정부 지원은 인지된 유용성을 통한 간접효과( $\beta=0.101$ ,  $t=3.418$ ,  $p=0.001$ )가 유의하였으며, 직접 효과( $\beta=0.106$ ,  $p=0.096$ )는 비 유의하였다. 이에 따라 정부 지원은 완전 매개(Full Mediation) 형태로 나타났다. 즉, 정부나 지자체의 정책적 지원은 도입 의도를 직접 높이기보다 기술의 유용성 인식을 강화함으로써 간접적으로 도입 의도에 영향을 미친다.

노동력 부족은 인지된 유용성을 통한 간접효과( $\beta=0.078$ ,  $t=2.918$ ,  $p=0.004$ )와 직접 효과( $\beta=0.180$ ,  $t=2.727$ ,  $p=0.006$ )가 모두 유의하였다. 따라서 부분 매개(Partial Mediation)로 판단되며, 두 효과가 동일한 방향(+)으로 나타나 보완적 매개(Complementary Mediation) 형태로 해석된

다. 즉, 노동력 부족이 심화 될수록 협동로봇의 필요성과 유용성 인식이 모두 높아져 도입 의도를 강화시키는 직·간접 경로가 작동하고 있음을 보여준다.

종합적으로, 상대적 이점과 정부 지원은 완전 매개(Full Mediation), 안전성과 노동력 부족은 부분 매개(보완적 매개, Complementary Mediation) 형태로 확인되었으며, 최고 경영진 지원은 직접 효과 중심으로 나타났다. 이러한 결과는 외생변수(기술·조직·환경 요인)가 도입 의도에 미치는 영향이 매개변수(인지된 용이성·유용성·위험성)에 따라 달라진다는 점을 보여주며, 특히 인지된 유용성이 핵심 매개 변수로 작용함을 실증적으로 보여준다.

추가적으로 총 효과의 유의성을 알 수 있는 결과를 [표 4-18]와 같이 제시한다.

총 효과 = 직접 효과 + 간접 효과

[표 4-18] 경로 분석에 따른 검정 결과(총 효과)

경로	경로 계수	t-value	p-value	결과
상대적 이점 → 인지된 용이성	0.143	2.287	0.022	채택
상대적 이점 → 인지된 유용성	0.312	5.303	0.000	채택
상대적 이점 → 도입 의도	0.135	4.616	0.000	채택
안전성 → 인지된 용이성	0.200	2.830	0.005	채택
안전성 → 인지된 유용성	0.177	2.685	0.007	채택
안전성 → 도입 의도	0.086	2.185	0.029	채택
안전성 → 인지된 위험	-0.287	5.158	0.000	채택
인지된 위험 → 도입 의도	-0.060	0.918	0.359	기각
인지된 유용성 → 인지된 용이성	0.285	3.461	0.001	채택
인지된 용이성 → 도입 의도	-0.062	0.868	0.385	기각
인지된 유용성 → 도입 의도	0.443	7.830	0.000	채택
최고 경영진 지원 → 인지된 용이성	0.023	0.310	0.756	기각
최고 경영진 지원 → 인지된 유용성	0.102	1.998	0.046	채택
최고 경영진 지원 → 도입 의도	0.046	1.758	0.079	기각
정부 지원 → 인지된 용이성	0.004	0.060	0.952	기각
정부 지원 → 인지된 유용성	0.220	3.941	0.000	채택
정부 지원 → 도입 의도	0.101	3.423	0.001	채택
노동력 부족 → 인지된 용이성	0.010	0.146	0.884	기각
노동력 부족 → 인지된 유용성	0.170	3.059	0.002	채택
노동력 부족 → 도입 의도	0.078	2.908	0.004	채택

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

[표 4-19] 간접 효과와 직접 효과의 유의성을 통한 매개효과 분석 결과

경로	간접 효과						직접 효과						매개 효과
	경로 계수	신뢰구간		t value	p value	유의 성	경로 계수	신뢰구간		t value	p value	유의 성	
		2.5%	97.5%					2.5%	97.5%				
상대적 이점→ 인지된 의도 의도	-0.010	-0.042	0.010	0.746	0.456	No	0.069	-0.014	0.173	1.445	0.149	No	없음
상대적 이점→ 인지된 의도 의도	0.131	0.079	0.192	4.536	0.000	Yes	0.069	-0.014	0.173	1.445	0.149	No	완전 매개
상대적 이점→ 인지된 의도 의도	0.014	0.002	0.030	1.895	0.058	No	0.069	-0.014	0.173	1.445	0.149	No	없음
안전성→ 인지된 의도 의도	-0.013	-0.046	0.016	0.863	0.388	No	0.172	0.055	0.298	2.755	0.006	Yes	없음
안전성→ 인지된 의도 의도	0.063	0.004	0.133	1.891	0.059	No	0.172	0.055	0.298	2.755	0.006	Yes	없음
안전성→ 인지된 의도 의도	0.018	0.004	0.038	2.150	0.032	Yes	0.172	0.055	0.298	2.755	0.006	Yes	부분 매개 (보완적)
안전성→ 인지된 의도 의도	0.017	-0.019	0.061	0.859	0.391	No	0.172	0.055	0.298	2.755	0.006	Yes	없음
최고 경영진 지원→ 인지된 의도 의도	-0.001	-0.012	0.019	0.166	0.868	No	0.452	0.339	0.552	8.388	0.000	Yes	없음
최고 경영진 지원→ 인지된 의도 의도	0.047	0.003	0.103	1.802	0.072	No	0.452	0.339	0.552	8.388	0.000	Yes	없음
최고 경영진 지원→ 인지된 의도 의도	0.002	-0.012	0.016	0.244	0.807	No	0.452	0.339	0.552	8.388	0.000	Yes	없음

인지된 유용성→ 도입 의도													
정부 지원→ 인지된 의도 의도	-0.001	-0.018	0.013	0.101	0.919	No	0.106	-0.016	0.231	1.666	0.096	No	없음
정부 지원→ 인지된 의도 의도	0.101	0.060	0.165	3.418	0.001	Yes	0.106	-0.016	0.231	1.666	0.096	No	완전 매개
정부 지원→ 인지된 의도 의도	0.001	-0.013	0.014	0.154	0.878	No	0.106	-0.016	0.231	1.666	0.096	No	없음
노동력 부족→ 인지된 의도 의도	-0.001	-0.016	0.013	0.114	0.909	No	0.180	0.063	0.294	2.727	0.006	Yes	없음
노동력 부족→ 인지된 의도 의도	0.078	0.030	0.135	2.918	0.004	Yes	0.180	0.063	0.294	2.727	0.006	Yes	부분 매개 (보완적)
노동력 부족→ 인지된 의도 의도	0.001	-0.012	0.014	0.165	0.869	No	0.180	0.063	0.294	2.727	0.006	Yes	없음

## 제 5 장 결 론

### 제 1 절 연구 결과 요약

본 연구는 4차 산업혁명이라는 기술적 전환기 속에서 중소기업들이 직면한 생산성 저하와 노동력 부족 문제를 해결할 혁신 기술로서 협동로봇의 도입 의도에 영향을 미치는 요인을 실증적으로 규명하고자 수행되었다. 협동로봇은 기존 로봇과 달리 인간과 물리적으로 협력하며 작업하도록 설계되었으며, 중소기업의 스마트 제조 환경 전환에 핵심적 역할을 수행할 수 있는 기술로 평가된다. 이에 본 연구는 협동로봇 도입의 실질적 저해 요인을 파악하고, 기술·조직·환경(TOE) 요인과 기술수용모델(TAM), 그리고 인지된 위험(PR)을 통합한 다층적 연구 모형을 제시하였다.

중소 제조기업 종사자 273명의 응답 자료를 SmartPLS 기반의 구조방정식 모형(PLS-SEM)으로 분석한 주요 연구 결과는 다음과 같이 요약되며, 이를 바탕으로 이론적 논의를 전개하였다.

첫째, TOE 요인 중 상대적 이점( $\beta = 0.148, t = 2.407, p = 0.016$ )과 안전성( $\beta = 0.199, t = 2.817, p = 0.005$ )이 인지된 용이성(PEOU)에 유의한 정(+)의 영향을 미쳤으며, 나머지 요인은 유의하지 않았다. 이는 협동로봇이 기존 방식보다 효율적이고, 작업자에게 안전하다고 인식될수록 사용이 쉽다고 느끼는 경향을 의미한다. 주로 안전성은 인간-기계 협업 특성상 사용자의 심리적 부담을 줄이는 핵심 요인으로 작용했다. 반면, 최고 경영진 지원·정부 지원·노동력 부족 등 외부 요인은 사용 용이성 인식에 직접적 영향을 주지 않았다. 따라서 협동로봇 수용 초기 단계에서는 기술적 안정성과 효용 인식이 사용자의 수용 태도 형성에 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었다.

둘째, TOE 요인 중 상대적 이점( $\beta=0.283, p<0.001$ ), 안전성( $\beta=0.137, p=0.036$ ), 정부 지원( $\beta=0.217, p<0.001$ ), 노동력 부족( $\beta=0.168, p=0.001$ )이 인지된 유용성(PU)에 유의한 정(+)의 영향을 미쳤으며, 최

고경영진 지원은 통계적으로 유의하지 않았다. 특히 환경적 요인인 정부 지원(Government Support)과 노동력 부족(Labor Shortage)이 상대적으로 강한 영향력을 보였다. 이 결과는 협동로봇이 중소기업에게 단순한 생산성 향상 기술을 넘어, 인구 구조적 위기로 인한 인력난 해소를 위한 사회적 대안 기술로 인식되고 있음을 시사한다. 이는 중소기업 경영자의 기술 수용 의도가 외부 환경 요인에 의해 영향을 많이 받는다는 선행 연구의 해석과 그 맥을 같이한다.

셋째, 기술적 요인인 안전성(Safety)은 인지된 위험(PR)에 유의한 부(-)의 영향을 미쳐( $\beta = -0.287, t = 5.157, p < 0.001$ ) 사용자의 위험 인식을 완화시키는 요인으로 작용하였으나, 이러한 효과가 도입 의도에까지 이어지지 않는다는 인지의 위험의 매개효과는 통계적으로( $\beta = 0.017, t = 0.951, p = 0.391$ ) 유의하지 않았다. 안전성이 높게 인식될수록 인지된 위험은 감소하였으며, 이는 협동로봇의 충돌 방지, 속도 제어 등의 안전 기능이 사용자에게 신뢰를 제공하여 신체적 위험(Physical Risk)과 심리적 위험(Psychological Risk)을 감소시키는 방향으로 작용함을 의미한다.

넷째, 인지된 유용성(PU)은 도입 의도(AI)에 유의한 정(+)의 영향을 미쳤으나( $\beta = 0.464, t = 7.748, p < 0.001$ ), 인지된 용이성(PEOU)과 인지된 위험(PR)은 도입 의도에 직접적인 유의미한 영향을 미치지 못하여 가설이 기각되었다. 이 결과는 협동로봇의 도입 결정 과정에서 '사용의 용이함'보다는 '도입을 통한 실질적 효용 및 성과 기여 가능성'이 훨씬 더 중요한 판단 기준으로 작용함을 시사한다. 이러한 유용성의 우선적 영향력은 기존 TAM 연구(Davis, 1989; Venkatesh & Davis, 2000)에서 보고된 결과와 일관되며, 중소기업의 기술 도입이 성과 중심의 조직적 판단에 의해 결정된다는 점을 실증적으로 보여준다

다섯째, 부트스트래핑을 통한 매개효과 검정 결과, 인지된 유용성은 TOE 요인과 도입 의도 간 관계에서 유의미한 매개 역할을 수행하였다. 상대적이점, 안전성, 정부 지원, 노동력 부족 요인 모두 인지된 유용성을 통해 간접적으로 도입 의도에 영향을 미쳤다. 이는 협동로봇이 기술적 또는 정

책적으로 얼마나 실질적 가치를 창출할 수 있는가에 대한 인식이 도입 의도 형성의 핵심 경로임을 보여주었다. 반면, 인지된 용이성과 인지된 위험의 매개 효과는 유의하지 않았다. 이는 기술 수용 초기 단계에 있는 중소기업의 경우, 위험을 완전히 제거하려는 노력보다 '유용성'을 통해 위험을 상쇄하려는 인지적 균형(cognitive trade-off) 경향이 반영된 결과로 해석된다.

## 제 2 절 논의 및 시사점

본 연구는 중소기업의 협동로봇 도입 의도에 TOE 요인과 TAM 기반의 인지적 요인이 미치는 다층적 인과 구조를 실증적으로 규명하였다. 특히, 실증 분석 결과를 「로봇활용제조혁신지원사업」의 성과 데이터(제2장 제2절 4항)와 비교·대조함으로써, 본 연구 결과의 실무적 타당성 및 외적 일관성을 확보하고, 협동로봇 보급 활성화를 위한 심층적인 논의와 시사점을 제시하고자 한다.

### 1. 논 의 (Discussion)

본 연구의 구조 모형 분석 결과는 협동로봇 도입 의사결정이 단순히 기술적 효용성에 기반한 선택이 아니라, 조직 내부의 전략적 필요(Need)와 외부 환경에서 발생하는 구조적 압력(Pressure)이 상호작용하는 사회 기술적(socio-technical) 수용 과정임을 분명하게 보여준다. 특히 본 연구는 실증 결과를 국내 「로봇활용제조혁신지원사업」의 정량·정성 성과와 비교·대조함으로써 분석 결과의 외적 타당성을 확보하였으며, 이러한 비교 분석은 협동로봇 도입의 실제적 특징과 연구모형 간의 높은 일관성을 확인하는 데 중요한 논의적 기반을 제공한다.

우선, 인지된 유용성의 결정적 역할과 관련하여, 본 연구는 인지된 유용성(PU)이 최종 도입 의도(AI)에 가장 강력한 정(+)의 영향을 미치는 핵

심 요인임을 확인하였다(경로계수 = 0.464,  $p < 0.001$ ). 반면, 인지된 용이성(PEOU)과 인지된 위험(PR)은 도입 의도에 직접적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 중소 제조기업이 기술 도입을 결정할 때 “사용하기 쉬운가”라는 문제보다 “도입을 통해 실질적인 성과를 창출할 수 있는가”라는 유용성 중심의 의사결정 구조를 더 중시함을 의미한다.

이러한 경향은 지원사업의 정량적 성과 분석 결과(제2장 [표 2-9])와도 높은 일관성을 보인다. 해당 사업에 참여한 기업들은 협동로봇 도입 이후 일일 생산량 평균 60.5% 증가, 공정 불량률 68.3% 개선, 총원가 51.2% 절감 등 매우 높은 개선 효과를 경험하였다. 이러한 성과는 협동로봇이 실제로 생산성과 품질을 혁신한다는 실증적 효익을 사용자들이 직접 체감하도록 하며, 이는 곧 도입 의도 형성에 결정적 영향을 미치는 ‘유용성 인식’을 강화하는 외생적 근거로 작용한다. 따라서 본 연구의 분석 결과는 협동로봇 도입 의사결정의 중심축이 기술적 편리성보다 실질적 성과 창출 가능성에 있음을 확인시켜 준다.

다음으로, 노동력 부족과 정부 지원의 역할은 협동로봇 도입의 환경적 배경을 설명하는 데 중요한 근거를 제공한다. 본 연구는 노동력 부족( $\beta = 0.168$ ,  $p < 0.01$ )과 정부 지원( $\beta = 0.217$ ,  $p < 0.001$ )이 인지된 유용성(PU)에 유의미한 정(+)의 영향을 미치며, 두 요인이 인지된 유용성을 매개하여 도입 의도에 간접적으로 영향을 미치는 보완적 매개 관계(Complementary Mediation)를 형성함을 확인하였다. 이는 협동로봇 도입이 단순한 선택적 혁신이 아니라, 중소 제조기업에는 노동력 부족이라는 구조적 압력과 정부 지원이라는 외부적 유인책이 결합된 ‘필연적 대응 전략’으로 기능하고 있음을 의미한다. 특히 중소 제조기업은 인력난, 고령화, 높은 작업 강도 등 구조적 제약으로 인해 생산성 유지가 어려운 상황에 직면해 있으며, 협동로봇 도입은 이러한 제약을 해결하기 위한 실질적 대안으로 고려된다.

지원사업의 정성적 분석에서도 ‘인력 재배치’와 ‘작업환경 개선’이 핵심 성과로 도출되었으며, 이는 협동로봇이 단순 자동화가 아닌 ‘인력 보완형

기술'로 활용되고 있음을 보여준다. 본 연구의 결과는 이러한 산업 현장의 구조적 맥락을 이론적으로 설명함으로써 정부의 지원 정책이 중소기업의 기술수용을 견인하는 정당성을 실증적으로 입증하였다.

마지막으로, 인지된 위험 감소 경로와 안전성 인프라의 중요성 또한 협동로봇 도입의 핵심 논점으로 제시된다. 본 연구는 기술적 요인인 안전성(Safety)이 인지된 위험(PR)에 유의미한 부(-)의 영향을 미친다는 결과(경로계수 =  $-0.287$ ,  $p < 0.001$ )를 도출하였다. 이는 협동로봇의 안전성이 높을수록 사용자가 기술과의 상호작용에서 느끼는 신체적·심리적 위험이 감소함을 의미하며, 협동로봇 수용 과정에서 안전성이 '전제 조건(Precondition)'으로 작용함을 보여준다. 이는 협동로봇이 인간과 동일한 작업 공간에서 근접 협업을 수행하는 기술적 특성과 직접적으로 연관되며, 사용자 신뢰 확보의 핵심 요인임을 시사한다. 지원사업 사례 분석(제2장 [표 2-7])에서도 용접, 주조, 사출 등 고위험 공정의 로봇 대체 비중이 컸는데, 이는 중소기업 자동화의 주요 동인이 '위험 회피(Risk Avoidance)' 전략에 있음을 반영한다.

본 연구의 결과는 충돌 감지, 속도 제어 등 협동로봇의 내재적 안전기술이 작업자의 인지된 위험을 구체적으로 낮춘다는 점을 실증적으로 보여주었으며, 협동로봇 보급에 있어 단순한 장비 성능 경쟁이 아니라 신뢰 기반의 안전 프로토콜 구축이 사용자 수용성을 높이는 가장 효과적인 위험 완화 전략임을 확인하게 한다.

종합적으로, 본 연구의 논의는 협동로봇 도입이 기술적 요인뿐 아니라 조직적 필요, 환경적 압력, 안전 인프라 등 다양한 요소가 상호작용하는 복합적 의사결정 과정임을 실증적으로 보여주며, 지원사업의 실제 성과와의 일관성을 통해 연구 결과의 현장 적용성과 설명력을 강화하였다.

## 2. 시사점

### 가. 학술적 시사점

첫째, 본 연구는 TOE Framework과 TAM을 통합적으로 적용하여 협동로봇 도입 의도의 구조적 관계를 실증적으로 검증함으로써, 기술 수용 연구의 이론적 확장성을 제시하였다. 기존 TAM이 개인의 인식 수준에서 기술 수용을 설명하는 데 한정되었던 것에 반해, 본 연구는 기술적 요인(상대적 이점, 안전성), 조직적 요인(최고 경영진 지원), 환경적 요인(정부 지원, 노동력 부족)이 기업의 인식 구조에 미치는 영향을 동시에 검증함으로써, 기업 단위 기술 수용의 복잡성을 규명하였다.

둘째, 협동로봇의 본질적 특성을 반영하여 안전성(Safety)을 핵심 독립변수로 명확히 포함하고 그 역할을 입증하였다. 인간과의 물리적 상호작용이 필수적인 협동로봇의 특성을 고려하여 안전성을 설정하였고, 분석 결과 안전성은 인지된 용이성과 위험 인식에 모두 유의한 영향을 미치는 핵심 선행 요인임을 실증적으로 보여주었다. 이는 신체적·심리적 위험 감소가 기술 수용의 선행 요인임을 입증한 것이다.

셋째, 본 연구는 인지된 위험(Perceived Risk) 개념을 매개변수로 도입하여, 혁신 기술 도입에 내재된 불확실성과 심리적 저항을 정량적으로 분석하였다. 비록 인지된 위험의 매개효과는 직접적인 유의성을 보이지 않았으나, 안전성이 위험 감소를 통해 간접적으로 도입 의도에 영향을 미칠 수 있다는 점을 확인함으로써, 향후 ‘위험인지 - 신뢰 형성 - 도입 의도’로 이어지는 인식적 경로의 연구 가능성을 제시하였다.

넷째, TAM의 핵심 요인인 인지된 유용성의 우선적 영향력을 조직 수준의 기술 도입 환경에서도 검증하였다. 인지된 용이성이 도입 의도에 유의하지 않고, 인지된 유용성만이 유의하게 나타난 결과는 중소기업의 기술 도입 의사결정이 '성과 중심의 조직적 판단'에 의해 결정된다는 점을 실증적으로 입증함으로써, 기술 수용 연구의 적용 범위를 개인에서 조직 수준으로 확장한 연구적 의의가 있다

#### 나. 실무적·정책적 시사점

첫째, 정책 당국은 협동로봇 보급 사업을 단순한 기술 보조금 중심에서

벗어나 인력난 해소형 자동화 지원 정책으로 전환할 필요가 있다. 정부 지원과 노동력 부족이 유용성 인식에 강한 정(+ )의 영향을 미친다는 결과는, 협동로봇이 단순한 생산성 향상 장비를 넘어 인력 보완형 기술로서의 역할을 수행할 수 있음을 확인시켰다. 이는 향후 정책 방향을 "로봇 자동화 중심"이 아닌 "인간-로봇 협업 중심의 스마트 제조 전략"으로 재정립해야 함을 시사한다.

둘째, 협동로봇 도입을 촉진하기 위해서는 기술의 안전성과 신뢰성을 강화하는 현장 실증(Test Bed)이 강화되어야 한다. 본 연구 결과에서 안전성 인식의 중요성이 명확히 드러났으므로, 정부와 유관 기관은 중소기업의 기술 검증에 대한 불확실성을 해소하기 위해 실제 유사 규모의 시범 적용과 데이터 기반의 효과 검증이 병행되는 체험 중심의 기술 확산 제도 정책을 펼쳐야 한다.

셋째, 중소기업의 기술 수용 성공을 위해 최고경영자의 기술 수용 리더십과 내부 커뮤니케이션이 필수적이다. 최고 경영진의 지원이 인지된 용이성과 유용성 간의 경로에서 낮은 영향력을 보인 결과는, 조직 내 리더십이 기술 도입 초기 단계에서 구체적 기술 경험보다는 조직 문화적 인식 변화를 통해 간접적으로 작용함을 시사하였다. 따라서 정부와 유관기관은 경영자 대상 '로봇 기술 경영 교육'이나 '스마트팩토리 리더십 과정'을 활성화하여 최고경영자의 기술 이해력을 제고해야 한다.

넷째, 협동로봇은 단순한 '자동화 기계'가 아닌 인력 보완적 혁신 파트너(Human-Cooperative Technology)로 인식되어야 하며, 이를 위한 조직문화의 변혁이 병행되어야 한다.

이러한 측면에서, 본 연구에서 성과를 분석한 한국로봇산업진흥원의 「로봇활용제조혁신지원사업」은 중소기업의 기술 수용성을 제고하고 실증 중심의 협동로봇 확산을 견인한 대표적 정책 사례로 평가된다. 따라서 본 사업의 지원 규모 확대 및 협동로봇 중심의 실증 프로그램 강화는 향후 중소기업의 로봇 도입 활성화와 산업 전반의 생산성 혁신에 기여할 것으로 기대된다.

### 제 3 절 연구의 한계점 및 연구 방향

본 연구는 중소 제조기업의 협동로봇 도입 의도를 실증적으로 규명하였으나, 다음과 같은 연구적 한계를 내포하고 있으며, 이는 향후 연구의 확장 방향을 제시한다.

첫째, 방법론적 한계로서 본 연구는 특정 시점의 인식을 분석하는 횡단적(cross-sectional) 연구에 기반하여 수행되었다. 따라서 협동로봇에 대한 인식이 도입 전(인지) 단계에서 도입 후(성과 및 유지) 단계로 이행되는 동태적 변화 과정을 충분히 설명하는 데에는 제약이 존재한다. 향후 연구에서는 기술 수용이 ‘초기 기대 - 실제 사용 경험 - 성과 평가’로 이어지는 시간적 흐름을 보다 정교하게 규명하기 위해 종단적(longitudinal) 연구 설계를 적용할 필요가 있다.

둘째, 본 연구는 중소 제조기업 종사자를 대상으로 수행되었기 때문에 산업군별·기업 규모별 특성을 충분히 반영하지 못한 한계가 있다. 특히 대기업은 협동로봇이 이미 운영·확산 단계(Post-adoption)에 진입해 있는 반면, 중소기업은 인식 - 도입 초기 단계(Pre-adoption)에 머무는 경우가 많아 기술 수용 구조가 상이할 가능성이 존재한다. 또한 협동로봇 도입은 투자, 공정 재설계, 안전관리, 인력 운용 등 경영 의사결정과 밀접하게 연관되므로, 실제 결정권자인 최고 경영진의 관점이 중요한데, 본 연구 표본은 근로자 중심이어서 이를 반영하기 어렵다는 제약이 있다.

따라서 향후 연구에서는 대기업을 포함한 확장 표본을 구성하고, 최고 경영진의 관점을 분석하여 기업 규모별·의사결정 주체별 기술 수용 요인의 차이를 비교·검증할 필요가 있다. 이러한 접근은 협동로봇 도입이 중소기업과 대기업에서 어떠한 구조적 차이를 보이며, 경영진의 전략적 인식이 기술 확산에 어떠한 영향을 미치는지를 규명함으로써, 보다 일반화된 협동로봇 수용 모델을 제시하는 데 기여할 것이다.

셋째, 이론적 한계로서 본 연구는 TOE와 TAM을 통합한 연구모형을 적용하였으나, 조직문화, 기술 준비도, 학습 역량, 변화 수용성 등의 심리적·조직적 변수를 충분히 반영하지 못하였다. 협동로봇 도입은 단순한 기술

효율성뿐만 아니라 구성원의 인식, 조직 내 커뮤니케이션, 학습 분위기 등 사회적 요인의 영향을 동시에 받는 복합적 과정이므로, 향후 연구에서는 이러한 변수를 포함하여 통합기술수용모형(UTAUT)등 다양한 기술 수용모형을 통해 기술 수용의 심리적 메커니즘을 보다 심층적으로 규명할 필요가 있다.

넷째, 성과 연계 측면에서 본 연구는 도입 의도(Intention)에 초점을 두었으며, 실제 도입이 조직성파로 이어지는 비용(Cost) - 생산성(Productivity)의 경제적 검증 단계는 다루지 못하였다. 협동로봇 도입의 최종 의사결정은 “비용 대비 성과의 객관적 검증”에 기반하므로, 도입 이후 생산성 향상, 품질 개선, 작업 안전성 증대, 비용 절감 등의 구체적 성과지표를 정량적으로 검증하는 연구가 필수적이다. 다만 본 연구는 도입 직전의 인식 단계를 분석 대상으로 설정하였기에, 성과 변수 측정이 아닌 도입 의도 형성 메커니즘을 밝히는 데 목적을 두었다. 향후 연구에서는 협동로봇을 도입한 기업을 대상으로 성과 측정을 포함한 단계별 통합 모형을 개발하여 경제적 타당성을 검증하는 연구가 뒤따라야 한다.

다섯째, 정책적 관점에서 협동로봇 보급 사업이 단순한 설비 도입을 넘어 기업의 학습 효과 및 기술 내재화 수준을 실질적으로 제고하는 방향으로 작동하고 있는지를 정량적으로 평가하는 정책 효과 분석 연구가 필요하다. 이는 향후 정부 정책의 실효성 제고와 맞춤형 지원 전략 수립에 기여할 수 있을 것이다.

끝으로, 기술 융합 관점에서 협동로봇이 AI, 디지털 트윈, 엣지 컴퓨팅, IoT 등과 결합될 경우 도입 의도와 수용 요인이 어떻게 변화하는지를 탐색하는 연구도 요구된다. 이러한 접근은 향후 5차 산업혁명 시대의 인간 중심형 스마트 제조(Human-Centric Smart Manufacturing)로의 전환 과정에서 협동로봇의 새로운 역할을 이론적으로 조명하는 데 기여할 것이다.

요컨대, 본 연구는 협동로봇이라는 혁신 기술의 도입을 중소기업의 현실적 맥락 속에서 실증적으로 분석함으로써 기술 수용 연구의 새로운 방향을 제시하였다. 향후 연구에서는 보다 다층적인 변수와 산업적 맥락을 반영하여 협동로봇 수용의 심리적·조직적 메커니즘을 심화 탐구함으로써,

“사람과 로봇이 공존하는 생산 현장”을 실현할 수 있는 학문적 근거를 확립해 나가야 할 것이다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 가회광, 김진수. (2014). 빅데이터 도입 의도에 미치는 영향 요인에 관한 연구: 전략적 가치인식과 TOE(기술 조직 환경) Framework을 중심으로. 「Asia Pacific Journal of Information Systems」, 24(4), 443-472.
- 강정석, 광철호. (2018). 자동화 및 스마트 공장 구축에 대한 정부지원사업의 효과 분석. 「기술혁신학회지」, 21(2), 738-766.
- 국가기술표준원. (2015). 기술보고서 제78호-스마트공장 기술 및 표준화 동향.
- 고기철, 정진섭, 최성규, 한경석. (2017). 산업기술의 내부 유출방지 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 「디지털융복합연구」, 15(7), 159-167.
- 고제욱, 고희석, 남상완, 한경석. (2019). 블록체인 채택에 영향을 미치는 요인 관련 개선된 연구모델 제시를 위한 실증연구. 「한국디지털콘텐츠학회 논문지」, 20(3), 513-526.
- 곽영기, 이원부. (2024). TOE 프레임워크를 활용한 RPA 도입 의도에 미치는 영향 요인 연구 - 중소기업 규모의 조절효과를 중심으로. 「품질경영학회지」, 52(1).
- 곽창원. (2021). 「중소기업 경영자의 스마트공장 도입의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구」, 국립목포대학교 박사학위논문.
- 곽호성. (2024). 스마트팩토리: 협동로봇기술의 최신동향. 「로봇과 인간」, 23.
- 권세인. (2019). 「스마트 팩토리 도입의 핵심성공요인과 기업성과에 관한 실증연구: 국내 중소 제조기업을 중심으로」. 단국대학교 대학원 박사학위논문.

- 권영식, 안현철. (2021). 블록체인 기반 공급사슬관리 서비스 활용의 결정요인 연구. 「지식경영연구」, 22(2), 119-144.
- 김기성, 김규남, & 김기수. (2021). Offset Wrist를 갖는 6자유도 협동로봇의 역기구학 해석. 「한국산업융합학회 논문지」, 24(6), 577-584.
- 김기홍. (2022). 「국내 제조기업의 스마트팩토리 도입요인 및 성과에 관한 실증 연구」. 한국기술교육대학교.
- 김근정, 박성준, & 이희정. (2019). 인지된 사용용이성과 인지된 유용성이 휴머노이드(Humanoid) 로봇 사용의도에 미치는 영향. 상품학연구, 37(3), 1-9
- 김남형. (2023). 중소기업(SMEs)의 디지털 전환 역량이 기업성과에 미치는 영향에서의 갈등 효과에 대한 연구, 경희대학교 대학원 박사학위논문.
- 김도원, 김진환, & 김은호. (2020). 로봇 암의 다양한 관절 구성을 위한 모듈형 링크 체결 메커니즘. 「한국기계가공학회지」, 19(2), 53-58.
- 김산희. (2019). 데이터 협업기반 스마트시티 플랫폼 도입에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 [박사학위논문, 숭실대학교].
- 김용표. (2022). 통합기술수용이론(UTAUT)을 활용한 스마트 팩토리 수용 의도와 행동 결정에 관한 실증 연구. 석사학위 논문, 동국대학교 대학원.
- 김유정, 이형석, 윤중수, & 이영로. (2009). 기대된 사용 용이성, 지각된 유용성 및 시스템품질이 개인용 로봇 수용에 미치는 영향. Journal of The Korean Data Analysis Society, 11(4), 2105-2121.
- 김윤희, 김진오. (2020). 협동로봇 활용을 위한 작업안전 시나리오 설계 방법론 연구. 한국로봇학회 논문지, 15(3), 256-268
- 김정래. (2020). 「중소기업의 스마트팩토리 도입의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 - 정부지원기대와 과업기술적합도를 포함하여」. 호서대학교 벤처대학원 박사학위논문.
- 김정래, 이상직. (2020). 스마트팩토리 기술수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 「한국데이터베이스학회」, 27(1), 75-95.
- 김정영, 윤선영, 이주진, 김원중. (2019). 고출력 및 경량 협동 로봇 위한 케

- 이블 유압 구동 3자유도 매니플레이터 설계 및 구현. 「한국로봇학회 논문지」, 14(4), 304-312.
- 김재은, 이혜진, & 한성렬. (2021). 협동로봇의 건전성 관리를 위한 머신러닝 알고리즘의 비교 분석. 「한국안전경영과학회지」, 23(4), 163-171.
- 김지형, 김대현, & 이정훈. (2019). 센서 및 카메라 비전을 활용한 OPC UA 기반 협동 로봇 가드 시스템의 설계 및 구현. 「한국인터넷방송통신학회 논문지」, 19(6), 183-190.
- 김진세, 배수빈, 박예슬, & 이정원. (2022). 협동 로봇 센싱 데이터의 특징 클러스터 기반 학습 모델 성능 평가 기법. 정보과학회논문지, 49(10), 824-837.
- 김창봉, 허영. (2021). 「TOE-TAM 모형 적용을 통한 B2B 역직구 플랫폼 활용요인에 관한 탐색적 연구: 우리나라 수출중소기업을 중심으로」. The e-Business Studies, 22(5), 47-67.
- 김창현. (2023). 「제조기업의 스마트팩토리 전환의도에 영향을 미치는 요인」, 협성대학교 박사학위논문
- 김태우. (2014). 「기술, 조직, 환경요인이 SCM 정보시스템 확산 및 성과에 미치는 영향과 기업특성의 조절효과」. 경북대학교 대학원 경영학 박사학위논문.
- 김태우, 서창교. (2022). AHP를 이용한 소기업의 제조용 로봇 도입 성공요인 분석. 「經營科學」, 39(2), 1-16.
- 김태우, 윤정민, 전진우. (2020). 제조공정에서 협동로봇 활용 서비스 모델 탐색. 「한국생산제조학회 논문집」, 260-277.
- 류재술, 류기철. (2002). 실업근로자의 성별 의중임금함수 추정. 노동경제논집, 25(2), 27-59.
- 박희봉, 김지은. (2023). 인력난 해소를 위한 지역산업 맞춤형 일자리 정책의 방향. 「한국지역개발학회지」, 35(3).
- 백상용. (2009). 「조절변수 탐색을 위한 기술수용모형 메타분석」. 경영학연구, 38(5), 1353-1380.
- 박혜현, 이선민. (2021). 기술수용모형을 활용한 지체장애인의 인공지능 스피

- 커 사용 의도에 관한 연구. 한국산학기술학회논문지, 22(2), 283-289.
- 서경화. (2021). 외식산업의 키오스크(Kiosks) 확산: 개인 혁신성, 자기효능감, 즐거움, 고객만족을 통합한 기술수용모델. 호텔경영학연구, 30(7), 73-92.
- 설동훈. (2004). 한국의 중소 제조업체 노동력 부족의 개념과 측정. 「한국인구학」, 27(1), 121-145.
- 송근혜, 한역수. (2023). 스마트 제조 산업 경쟁력 제고를 위한 ICT 기술 우선순위 분석. 「한국콘텐츠학회」, 281-282.
- 송영심. (2023). 스마트 물류센터 도입의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구: TOE Framework와 지각된 위험을 중심으로, 한성대학교 대학원 박사학위논문.
- 송일형. (2023). IT중소기업의 인공지능기반 인사관리시스템 도입의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 숭실대학교 대학원 박사학위논문.
- 신건권. (2018). SmartPLS 3.0 구조방정식모델링, 청람.
- 심재윤, 이준경. (2016). 스마트팩토리 망에서 DPI와 자기 유사도 기술 기반의 OPC-UA 프로토콜 게이트웨이 융합 보안 기술. 「정보보호학회」, 26(5), Oct. 2016.
- 안문형. (2021). 「농업벤처기업의 빅데이터 활용의도에 미치는 영향 요인에 관한 연구: TOE 프레임워크를 중심으로」, 호서대학교 벤처대학원 박사학위논문.
- 안문형, 허철무. (2020). 농업벤처기업의 빅데이터 사용의도에 미치는 영향요인과 기대편익에 대한 연구: 농업벤처 사업분야별 차이에 대한 비교를 중심으로. Proceedings of Conference on Business Venturing, Fall 2020, 47-53.
- 안지수. (2021). 「스마트 플랜트 구축의 영향요인과 기업경쟁력의 관계」, 동국대학교 대학원 박사학위논문.
- 양다형. (2024). 기술수용모델 이론을 적용한 호텔 로봇의 인공지능(AI)서비스 특성이 지속사용의도에 미치는 영향: 사용자의 대체불안감에 대한

- 조절효과를 중심으로. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
- 양승훈, 이상복. (2025). 중소기업의 협동 로봇 도입 요인에 대한 스마트 팩토리 전문가 인식 분석. 한국산업경영시스템학회지, 48(2), 86-100
- 양종근, 김남규, & 김상현. (2016). 기술수용이론을 적용한 공급자 재고관리 의도에 관한 연구. 디지털산업정보학회논문지, 12(1), 87-100.
- 염승호, 김호윤, 이창구, 이현우, & 김경천. (2020). 모바일 플랫폼 기반 협동 로봇의 사용자 추종을 위한 초음파 센서 활용 기법. 「한국전자통신 학회 논문지」, 14(3), 473-478.
- 유일, 신정신, & 소순후. (2004). 중소기업 최고경영층의 조직간 정보시스템 이용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 「한국중소기업학회」, 26(1), 149-174.
- 이가은, 김은석, 김영준. (2023). 서비스 로봇의 사용자 수용 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 서비스경영학회지, 24(1), 97-125.
- 이미숙. (2007). RFID에 대한 신뢰 및 인지된 위험의 영향. 산업경제연구, 20(6), 2509-2538.
- 이상림. (2012). 출산 고령화에 따른 노동력 부족 전망과 정책 함의. 「한국 인구학」, 35(2), 1-28.
- 이상무, 이재선. (2016). 「중소기업 제조공정 스마트화를 위한 로봇의 적용」. 한국생산기술연구원.
- 이수철, 최상수, & 유태중. (2022). 중소기업 제조 공정 혁신 기술 도입 활성화 를 위한 디지털 트윈 기술 적용 - 협동 로봇 적용 사례-. 한국 CDE학회 논문집, 27(4), 500-507.
- 이소라. (2021). 「항공서비스 비대면 교육 도입의 지속적 사용의도에 관한 연구: TOE프레임워크와 혁신확산이론 중심으로」. 경기대학교 관광 전문대학원 박사학위논문.
- 이성중, 윤미현, 조인수. (2025). 스마트팩토리 고도화 도입 의도 영향 요인 탐색: TOE 프레임워크를 중심으로. 「한국생산관리학회지」, 36(1), 93-112.

- 이일현. (2015). Easy Flow 회귀분석, 서울: 한나래.
- 이유나, 이유재. (2008). 쇼핑 감정과 인지된 위험이 충동구매에 미치는 영향: 구매 충동성 특성의 조절 역할. Seoul Journal of Business, 14(2), 67-90.
- 이종근. (2023). 「기술 조직-환경(TOE)요인이 스마트팩토리 지속사용의도와 도입성파에 미치는 영향에 관한 연구-스마트팩토리 구축수준의 조절 효과 검토」. 동국대학교 박사학위논문.
- 이주찬, 목형수, 이주석, 도현민, 심도식, 최태용, & 서현욱. (2020). 협동로봇의 관절구동 제어를 위한 영구자석 동기전동기의 제어변수 추정. 제어·로봇·시스템학회 논문지, 26(12), 1067-1075.
- 이태진, 김영준, & 김은석. (2024). 조선산업의 디지털전환 수용 결정요인에 관한 실증 연구. 「생산성연구」, 38(6), 45-89.
- 이혜진. (2025). 「중소기업의 블록체인 기술 수용의도에 관한 실증분석: TOE속성을 중심으로」. 가톨릭관동대학교 대학원, 박사학위논문.
- 임사랑, 김태훈. (2024). 협동 로봇을 이용한 냉연강 슬리터 나이프 가공 공정에서의 작업 위험도 도출에 관한 연구. 한국산학기술학회논문지, 25(1), 706-713.
- 임정우, 조동혁, 이승엽, 박희준, & 박종우. (2017). 스마트팩토리 기반 제조 공정 혁신에 관한 연구: 전자제품 조립 제조라인 적용사례. 대한경영학회지, 30(9), 1609-1630.
- 윤경. (2015). 「클라우드 컴퓨팅서비스 사용의도에 영향을 미치는 요인: 금융권을 중심으로」 단국대학교, 박사학위논문.
- 윤경호. (2022). 컨설턴트의 역량과 신뢰, Hybrid 예비창업보증이 직장인의 Hybrid 창업열망과 창업의도에 미치는 영향에 대한 연구: 목표지향적 행동모델(MGB)을 중심으로. 한성대학교 대학원, 박사학위논문.
- 전영준. (2024). 중소기업 생존 결정요인에 관한 실증분석: 자원의존 이론과 조직생태학 관점을 중심으로. 「한국정책분석학회」, 34(4), 141-167.
- 전진우, 류재용, 김경석, & 김호철. (2019). 협동로봇 설치작업장 위험성평가

- 방법 개발 및 규제 대응. 「한국로봇학회 논문지」, 14(4), 333-339.
- 정수용, 신용태, 한정훈, & 이성훈. (2017). 소비자 분쟁처리시스템 지속사용 의도에 대하여 IT기업과 비 IT기업 간의 차이분석에 관한 연구: 한국 중소기업을 중심으로. 「디지털융복합연구」, 15(12), 203-212.
- 정은미, 김경유, 이은창, 박양신, 지민웅, 박상수, 송명구, 심우중, 윤자영, 박진, 김경문. (2019). 「한국형 스마트 제조전략」. 산업연구원 연구보고서 2019-929.
- 정진화, 임동근. (2018). 동적 패널모형을 이용한 산업용 로봇 도입의 결정요인 분석. 기술혁신연구, 26(4), 173-198.
- 정주원, 조소연. (2018). 인터넷전문은행에 대한 소비자 이용만족도에 영향을 미치는 요인 분석. 소비문화연구, 21(2), 203-228.
- 정준모, 정운세. (2024). 국내 중소 수출기업의 무역 빅데이터 서비스 활용의도에 관한 연구. 「무역학회지」, 49(4), 61-88.
- 정현석. (2019). 「멀티클라우드 컴퓨팅 사용의도에 영향을 미치는 요인에 대한 연구」. 숭실대학교 대학원 박사학위논문.
- 주강진, 이민화, 양희진, 류두진. (2017). 4차 산업혁명과 인공지능: 현황, 사례, 규제에 대한 개괄적 고찰. 「한국경영과학회지」, 42(4), 1-14.
- 주영섭. (2019). (사)한국ICT융합네트워크. (2019). 「2019 스마트 제조혁신 전략」. 중소기업기술정보진흥원.
- 중소벤처기업부, & 스마트제조혁신추진단. (2025). 2024년 스마트제조혁신실태조사 결과.
- 조희수, 박진용. (2024). TAM을 적용한 서비스 로봇 수용 연구. 유통연구, 29(4), 97-120
- 최영환, 최상현. (2017). 스마트공장 시스템 구축이 중소기업 경쟁력에 미치는 요인에 관한 연구. 「Information Systems Review」, 19(2), 95-113.
- 최정호, 김낙일, 김원현, 윤승정. (2023). 산업용 협동 로봇과 작업자연구 트렌드 쟁점 연구. 「한국정보기술학회」, 21(8), 61-78.
- 한국과학기술기획평가원(KISTEP). (2021). 스마트 제조혁신 기술개발사업 :2020년도 예비타당성조사 보고서.

- 한국로봇산업진흥원. (2022, 2023, 2024). 「로봇 활용 제조혁신 지원사업 사례집」
- 한국전자통신연구원(ETRI). (2018). 스마트제조 기술 및 표준
- 한민국, 이주찬, & 이준석. (2020). 산업용 협동 로봇의 직접교시를 위한 DMP 제어의 교시 정밀도 개선 알고리즘. 「제어·로봇·시스템학회 논문지」, 26(12), 1045-1052.
- 허인석, 박기원, 송지훈, 최정호, & 조병주. (2023). 산업용 협동 로봇의 경험 품질 정의를 위한 사용자 요구조건 구조화. 「한국산업융합학회 논문지」, 26(5), 629-638.
- 황재, 유흥식. (2016). 수용자의 모바일 간편결제에 대한 적극적 이용의도에 관한 연구: TAM2와 인지된 위험을 중심으로. 「정보기술아키텍처연구」, 13(2), 291-306.
- 황석빈, 조재형, 김도환, 이지윤, 윤민영. (2023). 혼합현실기반 비접촉식 협동 로봇 조작 시스템. 「한국정보통신학회 논문지」, 27(6), 724-731.

## 2. 국외문헌

- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 3-30
- Adams, D. A., Nelson, R. R., & Todd, P. A. (1992). Perceived Usefulness, Ease of Use, and Usage of Information Technology: A Replication. *MIS Quarterly*, 16(2), 227-247.
- Ajoudani, A., Zanchettin, A. M., Ivaldi, S., Albu-Schäffer, A., Kosuge, K., & Khatib, O. (2018). Progress and prospects of physical human robot interaction. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(4), 944-960.
- Akalin, N., Kristoffersson, A., & Loutfi, A. (2019). The influence of

- feedback type in robot–assisted training. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(4), 67.
- Akalin, N., Tasić, J., & Karwowski, W. (2022). Perceived safety and acceptance of collaborative robots among manufacturing workers: An empirical study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 88, 103276.
- Akbar, A., Hussain, A., Shahzad, A., Mohelska, H., & Hassan, R. (2022). Environmental and technological factor diffusion with innovation and firm performance: Empirical evidence from manufacturing SMEs. *Frontiers in Environmental Science*, Advance online publication, 10
- Akella, P., Peshkin, M., Colgate, E., Wannasuphoprasit, W., Nagesh, N., Wells, J., Holland, S., Pearson, T., & Peacock, B. (1999). Cobots for the automobile assembly line. In *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1, 728–733.
- Arai, T., Kato, R., & Fujita, M. (2010). Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly. *CIRP Annals*, 59(1), 5–8.
- Arents, J., Abolins, V., Judvaitis, J., Vismanis, O., Oraby, A., & Ozols, K. (2021). Human Robot Collaboration Trends and Safety Aspects: A Systematic Review. *J. Sens. Actuator Netw.*, 10, 48.
- Bagozzi, R. P. (2007). The legacy of the Technology Acceptance Model and a proposal for a paradigm shift. *Journal of the Association for Information Systems*, 8(4), 244–254
- Baker, J. (2012). The technology–organization–environment framework. In Y. K. Dwivedi, M. R. Wade, & S. L. Schneberger (Eds.), *Information systems theory: Explaining and predicting our digital society*, Vol. 1 (pp. 231–245).

- Bandura, A. (1977). Self-Efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215.
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Prentice–Hall.
- Bauer, R. A. (1960). Consumer behavior as risk taking. In R. S. Hancock (Ed.), *Dynamic Marketing for a Changing World : Proceedings of the 43rd Conference of the American Marketing Association* (pp. 389–398). American Marketing Association.
- Baumgartner, M., Kopp, T., & Kinkel, S. (2022). Analysing factory workers' acceptance of collaborative robots: A web-based tool for company representatives. *Electronics*, 11(1), 145.
- Bhattacharya, M., Penica, M., O'Connell, E., Southern, M. and Hayes, M. (2023). Human-in-Loop: A Review of Smart Manufacturing Deployments. *Systems*, 11, 35.
- Bi, Z. M., & Wang, L. (2021). Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems: A literature survey. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 102022.
- Bokhorst, J. A. C., Knol, W., Slomp, J., Bortolotti, T. (2022). Assessing to what extent smart manufacturing builds on lean manufacturing principles. *International Journal of Production Economics*, 253, 108599.
- Borboni, A., Reddy, K. V. V., Elamvazuthi, I., AL-Quraishi, M. S., Natarajan, E., & Azhar Ali, S. S. (2023). The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works. *Machines*, 11, 111.
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: A general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700–5705.

- Bradford, M., & Florin, J. (2003). Examining the role of innovation diffusion factors on the implementation success of enterprise resource planning systems. *International Journal of Accounting Information Systems*, 4(3), 205–225.
- Bröhl, C., Nelles, J., Brandl, C., Mertens, A., & Nitsch, V. (2019). Human–Robot Collaboration Acceptance Model: Development and Comparison for Germany, Japan, China and the USA. *International Journal of Social Robotics*, 11, 709–726.
- Bryan, A., & Zuva, T. (2021). A Review on TAM and TOE Framework Progression and How These Models Integrate. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6(3), 176–183.
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119790.
- Chatterjee, S., Rana, N. P., Dwivedi, Y. K., & Baabdullah, A. M. (2021). Understanding AI adoption in manufacturing and production firms using an integrated TAM–TOE model. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120880.
- Chemweno, P., Pintelon, L., & Decre, W. (2020). Orienting safety assurance with outcomes of hazard analysis and risk assessment: A review of the ISO 15066 standard for collaborative robot systems. *Safety Science*, 129, 104832.
- Choi, S. S., Jung, K., Kulvatunyou, B., & Morris, K. C. (2016). An analysis of technologies and standards for designing smart manufacturing systems. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 121, 422–433
- Chung, S., & Kim, M. (2024). How smart is a 'smart factory'? an organizational view. *Industrial and Corporate Change*, 33(5),

1199–1230.

- Cippelletti, E., Fournier, É., Jeoffrion, C., & Landry, A. (2025). Assessing cobot's acceptability of French workers: Proposition of a model integrating the TAM3, the ELSI and the meaning of work scales. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 41(5), 1–13.
- Colgate, J. E., Wannasuphprasit, W., & Peshkin, M. A. (1996). Cobots: Robots for collaboration with human operators. In *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 58, 433–440.
- Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Computer Self-Efficacy: Development of a Measure and Initial Test. *MIS Quarterly*, 19(2), 189–211.
- Correia Simões, A., Lucas Soares, A., & Barros, A. C. (2020). Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of Engineering and Technology Management*, 57, 101574.
- Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators. *Academy of Management Journal*, 34(3), 555–590.
- Davis, F. D. (1985). *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*. Doctoral Dissertation, MIT Sloan School of Management.
- 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.

- DePietro, R., Wiarda, E., & Fleischer, M. (1990). The context for change: Organization, technology and environment. Tornatzky, L. G., & Fleischer, M. (Eds.), 「The processes of technological innovation」 (151–175). Lexington Books.
- Diachenko, D., Fedorova, N., Okhotnikov, G., Smetana, A., & Tertychna, T. (2022). Industrial collaborative robot Digital Twin integration and control using Robot Operating System. *Journal of Machine Engineering*, 57–67.
- Ducanes, G., & Abella, M. (2008). Labour shortage responses in Japan, Korea, Singapore, Hong Kong, and Malaysia: A review and evaluation (ILO Asian Regional Programme on Governance of Labour Migration Working Paper No. 11).
- Ejaz, M. R. (2024). Smart manufacturing as a management strategy to achieve sustainable competitiveness. 15, 682–705.
- El Zaatari, S., Marei, M., Li, W., & Usman, Z. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 162–180.
- Eller, E., & Frey, D. (2019). Psychological perspectives on perceived safety: social factors of feeling safe. In *Perceived Safety* (pp. 43–60).
- Elprama, S., El Makrini, I., Vanderborght, B., & Jacobs, A. (2016). Acceptance of collaborative robots by factory workers: a pilot study on the role of social cues of anthropomorphic robots. In *The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication* (pp. 919–919). IEEE.
- European Commission, Directorate–General for Research and Innovation. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human–centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union.

- Featherman, M. S., & Pavlou, P. A. (2003). Predicting e-services adoption: A perceived risk facets perspective. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(4), 451-474.
- Ferri, L., Spanò, R., Maffei, M., & Fiondella, C. (2021). How risk perception influences CEOs' technological decisions: Extending the Technology Acceptance Model to small and medium-sized enterprises' technology decision makers. *European Journal of Innovation Management*, 24(3), 777-798.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Addison-Wesley.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- Gangwar, H., Date, H., & Ramaswamy, R. (2015). Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM-TOE model. *Journal of Enterprise Information Management*, 28(1), 107-130.
- Gefen, D., & Straub, D. W. (2000). The Relative Importance of Perceived Ease of Use in IS Adoption: A Study of E-Commerce Adoption. *Journal of the Association for Information Systems*, 1(8), 1-28.
- Gillespie, R. B., Colgate, J. E., & Peshkin, M. A. (2001). A general framework for cobot control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4), 391-401
- Gil-Vilda, F., Sune, A., Yagüe-Fabra, J. A., Crespo, C., & Serrano, H. (2017). Integration of a collaborative robot in a U-shaped production line: A real case study. *Procedia Manufacturing*, 13, 109-115
- Grandon, E., & Pearson, J. (2004). Electronic commerce adoption: An empirical study of small and medium US businesses. *Information*

- and Management, 42, 197–216.
- Guertler, M., Tomidei, L., Sick, N., Carmichael, M., Paul, G., Wambsganss, A., Moreno, V. H., & Hussain, S. (2023). WHEN IS A ROBOT A COBOT? MOVING BEYOND MANUFACTURING AND ARM-BASED COBOT MANIPULATORS. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED23 24–28 JULY 2023.
- Haddadin, S., & Croft, E. (2016). Physical human robot interaction. [Springer Handbook of Robotics] , pp 1835–1874.
- Hair, J. F., Jr., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2014). A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS–SEM) (2nd ed.). SAGE Publications.
- Hair, J. F., & Alamer, A. (2022). Partial least squares structural equation modeling (PLS–SEM) in second language and education research: Guidelines using an applied example. Research Methods in Applied Linguistics, 1(3)
- Hameed, M. A., & Arachchilage, N. A. G. (2016). A model for the adoption process of information system security innovations in organisations. arXiv preprint arXiv:1609.07911.
- Hamm, P., & Klesel, M. (2021). Success factors for the adoption of artificial intelligence in organizations: A literature review. In the Americas Conference on Information Systems (AMCIS) Proceedings.
- Hameed, A., Ordys, A., Mozaryn, J., & Sibilska–Mroziewicz, A. (2023). Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. Appl. Sci., 13(1).
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., de Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta–analysis of factors affecting trust in human–robot interaction. Human

- Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 53(5), 517-527.
- Henseler, J., Hubona, G., & Ray, P. A. (2016). Using PLS path-modeling in new technology research: Updated guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 116(1), 2-20.
- Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesböck, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123-139.
- Hinds, P. J., Roberts, T. L., & Jones, H. (2004). Whose job is it anyway? A study of human robot interaction in a collaborative task. *Human-Computer Interaction*, 19, 151-181.
- Hollerer, S., Fischer, C., Brenner, B., Papa, M., Schlund, S., Kastner, W., & Zseby, T. (2021). Cobot attack: a security assessment exemplified by a specific collaborative robot. *Procedia Manuf.*, 54, 191-196.
- Huber, A., & Weiss, A. (2017). Developing human-robot interaction for an Industry 4.0 robot: How industry workers helped to improve remote-HRI to physical-HRI. In *Proc. Companion ACM/IEEE Int. Conf. Human Robot Interact.*, 137-138.
- Hulland, J. "Use of partial least squares(PLS) in strategic management research: a review of four recent studies", *Strategic Management Journal*, 1999, Vol.20, No.2, pp.195-204.
- Ifinedo, P. (2011). An Empirical Analysis of Factors Influencing Internet/E-Business Technologies Adoption by SMEs in Canada. *International Journal of Information Management*, 31(3), 245-250.
- Im, I., Kim, Y., & Han, H. J. (2008). The effects of perceived risk and technology type on users' acceptance of technologies. *Information & Management*, 45(1), 1-9.
- ISO 10218-1/2. (2021). Robots and robotic devices – Safety requirements

- for industrial robots. International Organization for Standardization.
- ISO/TS 15066. (2016). Robots and robotic devices – Collaborative robots. International Organization for Standardization.
- Jahanmahin, R., Masoud, S., Rickli, J., & Djuric, A. (2022). Human–robot interactions in manufacturing: A survey of human behavior modeling. *Robotics and Computer–Integrated Manufacturing*, 78, 102404
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Shanay Rab, S. R., & Suman, R. (2022). Significant applications of Cobots in the field of manufacturing. *Cognitive Robotics*, 2, 222–233.
- Jeyaraj, A., Rottman, J., & Lacity, M. (2006). A Review of the Predictors, Linkages, and Biases in IT Innovation Adoption Research. *Journal of Information Technology*, 21(1), 1–23.
- Jeon, H., Kim, D.–W., & Kang, B.–Y. (2024). Deep reinforcement learning for cooperative robots based on adaptive sentiment feedback. *Expert Systems with Applications*, 243, 121198.
- Jung, Y., & Kim, S. (2015). Response to potential information technology risk: Users' valuation of electromagnetic field from mobile phones. *Telematics and Informatics*, 32, 57–66.
- Kakade, S., Patle, B., & Umbarkar, A. (2023). Applications of collaborative robots in agile manufacturing: A review. *Robotic Systems & Applications*, 3(1), 59–83.
- Keshvarparast, A., Battini, D., Battaia, O., & Pirayesh, A. (2024). Collaborative robots in manufacturing and assembly systems: Literature review and future research agenda. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 2065–2118
- Kim, J., Jeong, H., Park, H., (2023). Key Drivers and Performances of Smart Manufacturing Adoption: A Meta–Analysis of Korean

- Evidence. *Sustainability*, 15(8), 6496.
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). The Guilford Press.
- Knudsen, M., & Kaivo-Oja, J. (2020). Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 3(2), 13–20.
- Kopp, T., Baumgartner, M., & Kinkel, S. (2021). Success factors for introducing industrial human–robot interaction in practice: An empirically driven framework. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 112, 685–704.
- Kwon, T. H., & Zmud, R. W. (1987). Unifying the fragmented models of information systems implementation. *Critical Issues in Information Systems Research*, (227–251).
- Lee, I., Choi, B., Kim, J., & Hong, S. J. (2007). Culture–technology fit: Effects of cultural characteristics on the post–adoption beliefs of mobile internet users. *International Journal of Electronic Commerce*, 11(4), 11–51.
- Lee, M. C. (2009). Factors influencing the adoption of internet banking: An integration of TAM and TPB with perceived risk and perceived benefit. *Electronic Commerce Research and Applications*, 8(3), 130–141.
- Lee, Y., Kozar, K. A., & Larsen, K. R. T. (2003). The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future. *Communications of the Association for Information Systems*, 12, 752–780.
- Leesakul, N., Oostveen, A.–M., Eimontaite, I., Wilson, M. L., & Hyde, R. (2022). Workplace 4.0: Exploring the implications of technology adoption in digital manufacturing on a sustainable workforce. *Sustainability*, 14(6), n.p.
- Legesse, T. S., Azadi, H., Senbeta, A. F., & Schwaninger, M. (2024).

- Exploring the influencing factors of blockchain technology adoption in national quality infrastructure: A dual-stage structural equation model and artificial neural network approach using TAM-TOE frameworks. *Technology in Society*, 76, 102445
- Legris, P., Ingham, J., & Collette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information & Management*, 40(3), 191-204.
- Leung, D., Lo, A., Fong, L. H. N., & Law, R. (2015). Applying the Technology-Organization-Environment framework to explore ICT initial and continued adoption: An exploratory study of an independent hotel in Hong Kong. *Tourism Recreation Research*, 40(3), 391-406.
- Li, J. C. F. (2020). Roles of individual perception in technology adoption at organization level: Behavioral model versus TOE framework. *Journal of System and Management Sciences*, 10(3), 97-118.
- Liu, L., Zou, Z., & Greene, R. L. (2024). The effects of type and form of collaborative robots in manufacturing on trustworthiness, risk perceived, and acceptance. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(10), 2330-2343.
- Ma, K. Q., & Zhang, W. (2023). Assessing univariate and multivariate normality in PLS-SEM. *Data Analysis Perspectives Journal*, 4(1), 1-7.
- Majstorovic, V., Ninkovic, M., Hadzistevic, M., Milosevic, M., Lukic, D., & Djurdjanovic, D. (2024). Towards smart manufacturing a case study. *Procedia CIRP*, 130, 1262-1267.
- Matthias, B., Kock, S., Jerregard, H., Kallman, M., Lundberg, I., & Mellander, R. (2011). Safety of collaborative industrial robots: Certification possibilities for a collaborative assembly robot concept. In 2011 IEEE International Symposium on Assembly and

- Manufacturing (ISAM), 1–6.
- Maurice, P., Lavoie, M., Laflamme, L., Svanström, L., Romer, C., & Anderson, R. (2001). Safety and safety promotion: Definitions for operational developments. *Injury Control and Safety Promotion*, 8(4), 237–243.
- McKinsey Global Institute. (2012). «Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation». McKinsey & Company.
- Mendez, M., et al. (2022). Marketing Mix Modeling Using PLS–SEM: Bootstrapping the Model Coefficients. *Mathematics*, 9(15), 1832.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 233(5), 1342–1361.
- Möller, N., Hansson, S. O., & Peterson, M. (2006). Safety is more than the antonym of risk. *Journal of Applied Philosophy*, 23(4), 419–432.
- Montoro, L., Useche, S. A., Alonso, F., & Cendales, B. (2019). Perceived safety and attributed value as predictors of the intention to use autonomous vehicles: A national study with Spanish drivers. *Safety Science*, 120, 865–876.
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, 2(3), 192–222.
- Morawiec, P., & Sołtysik–Piorunkiewicz, A. (2023). ERP system development for business agility in Industry 4.0—A literature review based on the TOE framework. *Sustainability*, 15, 4646.
- Nguyen, T. H., Le, X. C., & Vu, T. H. L. (2022). An Extended Technology–Organization–Environment (TOE) Framework for Online Retailing Utilization in Digital Transformation: Empirical

- Evidence from Vietnam. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(4), 200.
- Nijland, K., Trotta, D., Preenen, P., & Thiede, S. (2025). Jobs and skills of production workers at manufacturing SMEs: An empirical exploration of smart technology adoption. *European Journal of Workplace Innovation*, 10(1), 55–86.
- Oliveira, T., & Martins, M. F. (2011). Literature Review of Information Technology Adoption Models at Firm Level. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, 14(1), 110–121.
- Onnasch, L., Maier, X., & Jürgensohn, T. (2016). Mensch–Roboter–Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle (bua: Fokus). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Panchetti, T., Pietrantonio, L., Puzzo, G., Gualtieri, L., & Fraboni, F. (2023). Assessing the relationship between cognitive workload, workstation design, user acceptance and trust in collaborative robots. *Applied Sciences*, 13(3), 1720
- Park, C., Leigh, N. G., & Lee, H. (2025). A Study of Collaborative Robot Adoption by Korea's Small and Medium-sized Manufacturers. Georgia Institute of Technology.
- Patil, S., Vasu, V., & Srinadh, K. V. S. (2023). Advances and perspectives in collaborative robotics: a review of key technologies and emerging trends. *Discover Mechanical Engineering*, 2(13).
- Pavlou, P. A. (2003). Consumer acceptance of electronic commerce: Integrating trust and risk with the technology acceptance model. *International Journal of Electronic Commerce*, 7(3), 101–134.
- Peshkin, M. A., & Colgate, J. E. (1999). 「Cobots」. *Industrial Robot: An International Journal*, 26(5), 335–341.
- Peter, J. P., & Ryan, M. J. (1976). An investigation of perceived risk at

- the brand level. *Journal of Marketing Research*, 13(2), 184–188.
- Pfeffer, J., & Salancik, G. R. (1978). *The external control of organizations: A resource dependence perspective*. Harper & Row.
- Pieskä, S., Kaarela, J., & Mäkelä, J. (2018). Simulation and programming experiences of collaborative robots for small-scale manufacturing. In *2018 2nd International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS)* (pp. 1–4)
- Polonara, M., Romagnoli, A., Biancini, G., & Carbonari, L. (2024). Introduction of Collaborative Robotics in the Production of Automotive Parts: A Case Study. *Machines*, 12(3).
- Poór, J., Juhász, T., Caha, Z., Stor, M., & Haromszeki, Ł. (2025). Factors influencing labour shortages in Visegrad (V4) countries with regard to difficult economic environments. *Regional Statistics*, 15(1), 90–116.
- Prakash, C. (2025). Evaluating the TOE Framework for Technology Adoption: A systematic review of its strengths and limitations. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 13(1).
- Prassida, G. F., & Asfari, U. (2022). A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in industry 5.0. *Procedia Computer Science*, 197, 61–67.
- Premkumar, G., & Roberts, M. (1999). Adoption of new information technologies in rural small businesses. *Omega: The International Journal of Management Science*, 27(4), 467–484.
- Proietti, S., & Magnani, R. (2025). Assessing AI Adoption and Digitalization in SMEs: A Framework for Implementation. *arXiv*.
- Pudjianto, B., Zo, H., Ciganek, A. P., & Rho, J. J. (2011). Determinants of e-Government Assimilation in Indonesia: An Empirical Investigation Using a TOE Framework. *Asia Pacific Journal of*

- Information Systems, 21(1), 49–80.
- Quenum, G. G. Y., Vallée, S., & Ertz, M. (2025). The Digital Maturity of Small- and Medium-Sized Enterprises in the Saguenay-Lac-Saint-Jean Region. *Machines*, 13(9), 835.
- Quinn, J. B. (1985). Innovation and corporate strategy: Managed chaos. *Technology in Society*, 7(2–3), 263–279.
- Ramakrishna, S., Khongb, T. C., & Leongb, T. K. (2017). Smart Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 12, 128–131.
- Ramdani, B., Kawalek, P., & Lorenzo, O. (2009). Predicting SMEs' adoption of enterprise systems. *Journal of Enterprise Information Management*, 22, 10–24.
- Rigdon, E.E., Sarstedt, M. and Ringle, C.M. (2017), “On comparing results from CB-SEM and PLS-SEM: Five perspectives and five recommendations”, *Marketing: ZFP-Journal of Research and Management*, Vol. 39 No. 3, pp. 4–16.
- Rinaldi, M., Caterino, M., & Fera, M. (2023). Sustainability of Human-Robot cooperative configurations: findings from a case study. *Computers & Industrial Engineering*, 182.
- Robinson, L. (2009). A summary of diffusion of innovations. *Enabling Change*.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations* (3rd ed.). The Free Press.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations* (4th ed.). The Free Press.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovation* (5th ed.). The Free Press.
- Rossi, F., Pini, F., Carlesimo, A., Dalpadulo, E., Blumetti, F., & Gherardini, F. (2020). Effective integration of Cobots and additive manufacturing for reconfigurable assembly solutions of biomedical

- products. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(3), 1085–1089.
- Sabherwal, R., Jeyaraj, A., & Chowa, C. (2006). Information System Success: Individual and organizational determinants. *Management Science*, 52(12), 1849–1864.
- Schraft, R. D., Meyer, C., Parlitz, C., & Helms, E. (2005). PowerMate – A safe and intuitive robot assistant for handling and assembly tasks. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005)* (pp. 4074–4079)
- Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020). Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0). *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)*.
- Simões, A. C., Pinto, A., Santos, J., Pinheiro, S., & Romero, D. (2022). Designing human–robot collaboration (HRC) workspaces in industrial settings: A systematic literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 28–43.
- Sulaiman, T., Mahomed, A. S. B., Rahman, A. A., Hassan, N., & Rahim, A. I. A. (2023). Understanding antecedents of learning management system usage among university lecturers using an integrated TAM–TOE model. *Sustainability*, 15(3), Article 1885.
- Suryoputro, M. R., Zhang, L., & Senevi B, W. A. (2025). Ergonomics and safety in human–collaborative robot interaction: A review of literature for manufacturing industries. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 106, 103683
- Taylor, S., & Todd, P. A. (1995). Understanding information technology usage: A test of competing models. *Information Systems Research*, 6(2), 144–176.
- Thabane, L., Ma, J., Chu, R., Cheng, J., Ismaila, A., Rios, L. P., et al. (2010). A tutorial on pilot studies: the what, why and how.

- BMC Medical Research Methodology, 10(1), Article 1.
- Theodorakopoulos, N., Chatzoglou, P., & Christou, C. (2025). Cognitive bias mitigation in executive decision-making: Implications for strategic leadership and technology investment. *Electronics*, 14(19), 3930.
- Thong, J. Y. L. (1999). An integrated model of information systems adoption in small businesses. *Journal of Management Information Systems*, 15(4), 187-214.
- Tornatzky, L. G., & Klein, K. J. (1982). Innovation characteristics and innovation adoption implementation: A meta-analysis of findings. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-29(1), 28-45.
- Tornatzky, L. G. & Fleischer, M. (1990). *「The Processes of Technological Innovation」*. Lexington Books, MA: Lexington.
- Tussyadiah, I. P., Tuomi, A., Ling, E. C., Miller, G., & Lee, G. (2022). Drivers of organizational adoption of automation. *Annals of Tourism Research*, 93, Article 103308
- Van Teijlingen, E. R., & Hundley, V. (2002). The importance of pilot studies. *Nursing Standard*, 16(40), 33-36.
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186-204.
- 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.
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). Survey on human robot collaboration in industrial settings: Safety, interaction and trust. *Mechatronics*, 55, 248-266.
- Vroom, V. H. (1964). *「Work and motivation」*. New York: Wiley.

- Wan, X., Ajaz Kazmi, S., & Wong, C. Y. (2022). Manufacturing, exports, and sustainable growth: Evidence from Developing Countries. *Sustainability*, 14(3).
- Wang, K., Ding, L., Dailami, F., & Matthews, J. (2025). A Contemporary Review of Collaborative Robotics Employed in Manufacturing Finishing Operations: Recent Progress and Future Directions. *Machines*, 13(9).
- Wannasuphoprasit, W., Akella, P., Peshkin, M. A., & Colgate, J. E. (1998). Cobots: A novel material handling technology. In *Proceedings of the 1998 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition (IMECE 1998)* (Paper No. 98-WA/MH-2)
- Weiss, A.-K., Wortmeier, A.-K., & Kubicek, B. (2021). Cobots in Industry 4.0: A roadmap for future practice studies on human robot collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 335-345.
- Weking, J., Stöck, M., C., Kowalkiewicz, M., Böhm, M., Krcmar H.A. O. (2020). Leveraging Industry 4.0—A business model pattern framework. *International Journal of Production Economics*, 225, 107588.
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2018). The Internet of Things for Smart Manufacturing: A Review. *IIE Transactions*, 50(12), 1190-1216.
- Yang, X., Zhou, Z., Sørensen, J. H., Christensen, C. B., Ünalán, M., & Zhang, X. (2023). Automation of SME production with a Cobot system powered by learning-based vision. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 83, 102564.
- Yaputri, J. A., & Widuri, R. (2024). Analysis of factors influencing cloud accounting adoption in Indonesian start-up companies using the

- technology acceptance model (TAM) and technology, organization, and environment (TOE) frameworks. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(4), 2202–2224.
- Young, R., & Jordan, E. (2008). Top Management Support: Mantra or Necessity?. *International Journal of Project Management*, 26(7), 713–725.
- Yu, C., Xu, Y., Li, L., & Hsu, D. (2023). COACH: Cooperative Robot Teaching. *Conference on Robot Learning, PMLR* (205, 1092–1103).
- Zafar, M. H., Khan, M. A., Hussain, A., & Li, X. (2024). Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102769.
- Zaltman, G., Duncan, R., & Holbek, J. (1973). *Innovations and organizations*. Wiley.
- Zhao, X., Lynch, J. G., Jr., & Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and truths about mediation analysis. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 197–206.
- Zhao, X., Xu, M., Ma, C., Yan, X., & Li, C. (2023). A Dual-Arm Robot Cooperation Framework Based on a Nonlinear Model Predictive Cooperative Control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 113.
- Zhou, B., Li, X., Fürsterling, A., Durocher, H. J., Mouridsen, J., & Zhang, X. (2022). Multi-robot multi-station cooperative spot welding task allocation based on stepwise optimization: An industrial case study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73.
- Zhu, K., & Kraemer, K. L. (2005). Post-adoption variations in usage and

value of e-business by organizations: Cross-country evidence from the retail industry. *Information Systems Research*, 16(1), 61–84.

Zhu, K., Kraemer, K. L., & Xu, S. (2006). The process of innovation assimilation by firms in different countries: A technology diffusion perspective on e-business. *Management Science*, 52(10), 1557–1576.

Zikmund, W. G., & Scott, J. E. (1973). A Multivariate Analysis of Perceived Risk, Self-Confidence and Information Sources. In S. Ward & P. Wright (Eds.), *Advances in Consumer Research*, Vol. 1 (pp. 406–416).

## 부 록

### 중소기업 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구를 위한 설문조사

안녕하십니까?

『중소기업 스마트 제조를 위한 협동로봇 도입 의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구』라는 주제로 연구를 수행하고 있는 양승훈입니다.

본 설문은 중소기업의 제조 환경변화에 따른 협동로봇 도입 요인들을 설문조사를 통해 분석하여 중소 제조기업 현실에 적합한 협동로봇 도입방안을 모색하는데 목적이 있으며, 해당 설문 문항들은 선행 논문 연구를 거쳐 선정하였습니다. 여러분의 소중한 의견 부탁드립니다.

응답해 주시는 모든 내용은 통계법 33조에 의거 연구 목적으로만 사용될 것입니다. 바쁘신 중에 본 설문 조사에 귀중한 시간을 할애해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

2025년 08월

한성대학교 대학원 스마트융합건설팅학과

지도교수 : 이 상 복 (slee@hansung.ac.kr)

연구자 : 양 승 훈 (kocobot@naver.com)

## <협동로봇의 개념의 이해>

### □ 협동로봇이란?

협동로봇(collaborative robot, cobot)은 작업자와 협업하는 목적으로 개발된 산업용 로봇으로, 충돌 감지, 비상 정지 기능 등 안전 기능이 내장된 로봇입니다.

협동로봇은 충돌 감지, 자동 정지, 속도 조절 기능 등 다양한 안전 기능을 갖추고 있어 작업자와 물리적으로 가까운 거리에서 함께 작업할 수 있는 것이 특징입니다. 최근에는 중소 제조기업에서 반복 작업, 조립, 이송 등의 업무에 도입이 활발히 이루어지고 있으며, 작업자의 보조 수단으로 생산성 향상과 인력 부족 해결에 기여할 수 있는 기술로 주목받고 있습니다.

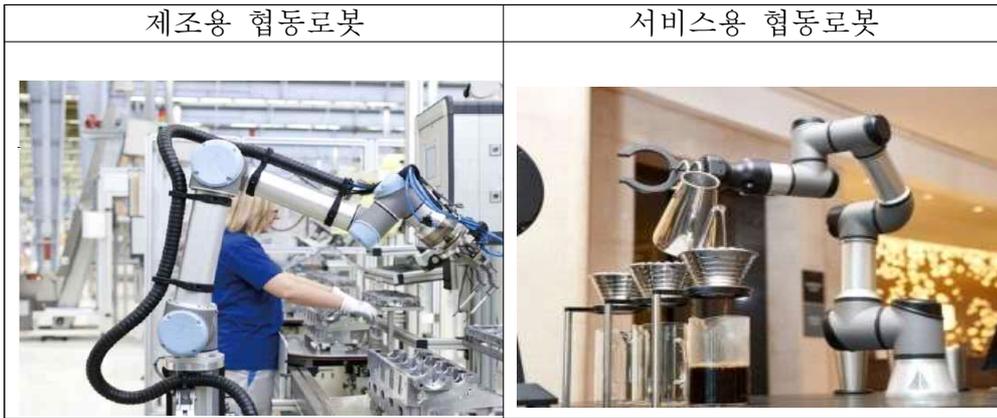
#### \* 협동로봇의 필요성

저출산·고령화로 인해 국내 생산가능인구는 2018년 이후 지속적으로 감소하고 있습니다. 이는 중소 제조기업의 심각한 구인난으로 이어지고 있어, 생산현장 작업 인력을 구하기 어려운 것이 현실입니다. 이러한 구인난 문제를 자동화, 주로 협동로봇에 기반한 자동화가 아니면 해결하기 위한 대안으로 협동로봇이 떠오르고 있는 실정입니다. 현재 협동로봇을 도입한 중소 제조기업 기업의 비율은 저조하지만, 향후 협동로봇의 도입 없이는 생산 현장의 운영이 매우 어려운 시기가 도래할 것입니다.

#### \* 산업용 로봇과의 차이점

기존의 산업용 로봇은 주로 대기업의 생산 공장에서 안전펜스를 갖춘 별도 공간에서 소품종 대량 생산 작업에 많이 사용되고 있다. 대표적인 예가 자동차 공장에서의 용접 작업입니다. 그러나 중소기업은 대량생산보다는 다품종·소량 생산이 필요한 경우가 많으므로 기존의 산업용 로봇을 사용하면 빈번하게 작업을 위한 프로그램

교체가 필요하며, 이를 위해서는 숙련된 로봇 엔지니어가 필요하지만, 중소기업이 이러한 조건을 갖추기는 어렵습니다. 그래서 협동로봇은 중소기업의 작업환경에서 작업자와 직접 상호작용 할 수 있도록 안전 기능을 갖추고, 쉽게 사용법을 숙지 할 수 있도록 기능을 제공하고 있습니다.



■ 문항을 읽으시고 귀하의 생각에 가까운 번호에 √표 해주시기 바랍니다.

I. 협동로봇 기술 도입에 있어, 기업의 기술·조직·환경 관점에서의 질문입니다.

1. 기술적 요인 중 “상대적 이점”에 대한 질문입니다.

상대적 이점 정의 : 협동로봇 기술 도입으로 인해 이전보다 새로운 것이 낫다고 인식하는 정도.

순번	“상대적 이점” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇 도입은 기존 작업 방식보다 생산성에 기여할 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
2	협동로봇 도입은 제품 품질 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤

3	협동로봇 도입은 제조 공정의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇 도입은 전체 업무시간을 단축시킬 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇 도입은 업무의 질적 향상에 기여할 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤

2. 기술적 요인 중 “안전성”에 대한 질문입니다.

안전성 정의 : 협동로봇 사용시 안전할 것이라는 인식 정도.

순번	“안 전 성” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇은 안전기준에 따라 설계된 로봇으로 알려져 있다.	①	②	③	④	⑤
2	협동 로봇은 작업자 보호를 위한 다양한 안전장치가 적용되어 있다.	①	②	③	④	⑤
3	협동로봇의 안전성은 충분히 검증되었다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇은 사람과 가까운 거리에서 안전하게 작업하도록 설계된 로봇이다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇은 충돌 감지나 자동 정지 기능 등으로 같이 작업 하여도 문제가 없을 것이다.	①	②	③	④	⑤

3. 조직적 요인 중 “최고 경영층 지원”에 대한 질문입니다.

최고 경영층의 지원 정의 : 최고경영자의 협동로봇에 대한 이해와 심적 및 물리적 지원정도.

순번	“최고 경영진 지원” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇과 관련하여 최고 경영진은 관련 정보를 접하거나 논의한 적이 있다.	①	②	③	④	⑤
2	최고 경영진은 협동로봇의 활용 가능성과 기대 효과에 대해 알고자 하는 노력을 보인다.	①	②	③	④	⑤
3	최고 경영진은 경쟁력 확보를 위해 협동로봇 도입 필요성에 대해 관심을 가져본 적이 있다.	①	②	③	④	⑤
4	향후 여건이 마련된다면 최고 경영진은 협동로봇 도입을 검토할 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇 도입이 우리 회사에 실질적 도움이 된다고 판단되면 최고 경영진은 자원	①	②	③	④	⑤

지원을 고려할 수 있을 것이다.					
-------------------	--	--	--	--	--

4. 환경 요인 중 “정부 지원”에 대한 질문입니다.

정부 지원 정의 : 협동로봇 도입 및 확산을 위한 정부 또는 지자체의 정책 차원의 지원정도.

순번	“정부 지원” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	정부의 협동로봇 관련 지원사업에 대한 정보를 접한 적이 있다.	①	②	③	④	⑤
2	정부의 협동로봇 관련 지원제도는 도입을 고려할 때 참고할 수 있는 요소다.	①	②	③	④	⑤
3	정부는 협동로봇 도입을 위해 다양한 형태의 지원을 시도하고 있는 것으로 알고 있다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇 도입 시 정부의 재정적 지원을 받을 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
5	정부의 지원 정책은 협동로봇 확산에 긍정적 영향을 줄 수 있다고 생각한다.	①	②	③	④	⑤

5. 환경 요인 중 “노동력 부족”에 대한 질문입니다.

노동력 부족 정의 : 직무를 수행할 적합한 지원자를 찾지 못하는 상황 정도.

순번	“노동력 부족” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	우리 회사는 생산현장에서 필요한 작업 인력을 확보하는 데 지속적인 어려움이 있다.	①	②	③	④	⑤
2	우리 회사는 단순 반복 업무나 3D 작업에 지원하는 인력이 매우 제한적이다.	①	②	③	④	⑤
3	우리 회사는 적절한 기술이나 숙련도를 갖춘 작업 인력을 찾기 어렵다	①	②	③	④	⑤
4	우리 회사는 인력 부족으로 인해 생산 일정이나 업무 운영에 차질을 겪은 적이 있다.	①	②	③	④	⑤
5	노동력 부족 문제는 우리 회사의 경쟁력 유지에 있어 해결해야할 과제이다.	①	②	③	④	⑤

II. 협동로봇 기술 도입에 개인의 인식 관점에서 인지된 용이성, 인지된 유용성, 인지된 위험에 관한 질문입니다.

6. “인지된 용이성”에 대한 질문입니다.

인지된 용이성 정의 : 협동로봇이 사용하기 쉽고 편리하다고 인식되는 정도.

순번	“인지된 용이성” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇의 사용 방법을 배우는 일은 쉬울 것이다.	①	②	③	④	⑤
2	협동로봇은 조직 구성원 누구나 사용할 수 있다고 생각한다.	①	②	③	④	⑤
3	협동로봇 도입 후 사용 방법에 금방 익숙해질 것이다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇 언제나 편하게 사용할 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇과 같이 작업하기 위해서는 많은 노력이 필요하지 않다.	①	②	③	④	⑤

7. “인지된 유용성”에 대한 질문입니다.

인지된 유용성 정의 : 협동로봇이 업무에 도움이 된다고 느끼는 정도.

순번	“인지된 유용성” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇은 업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있게 할 것이다.	①	②	③	④	⑤
2	협동로봇 도입으로 수작업이 줄고 작업시간이 단축 것이다.	①	②	③	④	⑤
3	협동로봇은 업무 성과에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇의 활용은 업무 수행 능력을 향상시킨다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇 도입은 우리 회사의 업무에서 유용할 것이다.	①	②	③	④	⑤

8. “인지된 위험”에 대한 질문입니다.

인지된 위험 정의 : 협동로봇에 대해 느끼는 신체적 · 심리적 위험 정도.

순번	“인지된 위험” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	협동로봇 도입되면 실직 가능성이 우려된다.	①	②	③	④	⑤
2	협동로봇 도입 시 안전사고가 발생할 확률이 높아질 것이다.	①	②	③	④	⑤
3	협동로봇은 작업자의 직무에 위협이 될 수 있다고 생각한다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇 도입이 투자 대비 성과가 나오지 못 할까 우려된다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇 도입 후 예상치 못한 유지보수 비용이나 관리상의 문제가 발생할까 우려된다.	①	②	③	④	⑤

### Ⅲ. 협동로봇 기술 “도입 의도”에 대한 질문입니다.

도입 의도 정의 : 중소기업이 협동로봇 기술을 도입하고자 하는 의지 정도.

순번	“도입 의도” 설문조사 내용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그렇다	매우 그렇다
1	우리 회사는 협동로봇이 중소기업에 널리 활용된다면 도입에 긍정적인 입장을 가질 것이다.	①	②	③	④	⑤
2	중장기적으로 협동로봇은 우리 회사에 필요한 기술이라고 생각한다.	①	②	③	④	⑤
3	협동로봇 도입이 활성화되면 우리 회사에서도 도입할 것이다.	①	②	③	④	⑤
4	협동로봇 도입 성공 사례가 입증되면 도입을 위한 투자를 검토할 수 있다.	①	②	③	④	⑤
5	협동로봇은 향후 우리 회사의 주요 생산 수단이 될 것이다.	①	②	③	④	⑤

### Ⅳ. 다음은 회사의 일반현황에 관한 질문입니다.

1. 귀사의 소재지는 어디입니까?

- ① 서울 ② 인천 ③ 대전 ④ 대구 ⑤ 부산 ⑥ 울산 ⑦ 광주 ⑧ 강원도 ⑨ 경기도 ⑩ 충청도 ⑪ 경상도 ⑫ 전라도 ⑬ 제주도

2. 귀사의 종사 업종 분야는 어떻게 됩니까?

- ① 전기/전자/반도체/의료기기 ② 기계/조선/항공기 ③ 금속/철강  
④ 화학/제약/식품 ⑤ 자동차 ⑥ 섬유/의류/생활용품

3. 귀사의 업력은 어느정도 입니까?

- ① 5년 미만 ② 5년 이상~10년 미만 ③ 10년 이상~20년 미만  
④ 20년 이상~50년 이하 ⑤ 50년 이상

4. 귀사의 2024년 기준 최근 3년 연간 평균 매출액 규모는 얼마입니까?

- ① 50억원 미만 ② 50억원 이상~100억원 미만 ③ 100억원 이상~300억원 미만 ④ 300억원 이상~500억원 미만 ⑤ 500억원 이상

5. 귀사의 2025년 현재 기준 종업원 규모는 어느 정도 입니까?

- ① 20명 미만 ② 20명 이상~50명 미만 ③ 50명 이상~100명 미만  
④ 100명 이상~200명 미만 ⑤ 200명 이상

6. 귀하의 근무 부서는 어디에 해당합니까?

- ① 생산관리 ② 품질관리 ③ 설비관리/안전 ④ 구매/자재/물류  
⑤ 기획/관리부서/영업 ⑥ 연구개발 부서 ⑦ 기타( )

7. 귀하의 현재 직위는 어떻게 됩니까?

- ① 대리~과장 ② 차장~부장 ③ 임원 ④ 대표이사 ⑤ 기타( )

8. 귀사의 현재 스마트팩토리 도입 수준은 어떻습니까?

- ① 1단계: ICT 미적용 (부분적 표준화, 엑셀로 데이터 관리)  
② 2단계: 기초단계 (생산정보 모니터링 가능 수준 )  
③ 3단계: 중간1 (수집된 정보를 분석하여 제어가능)  
④ 4단계: 중간2 (공정운영 시뮬레이션을 통해 사전대응 가능)  
⑤ 5단계: 고도화 수준 (공장 전체 제어 및 최적화를 자율 운영)

9. 귀사가 협동로봇을 도입한다면 가장 먼저 도입이 필요한 업무는 무엇입니까?

- ① 입/출고 ② 생산 ③ 품질검사 ④ 포장 ⑤ 사내물류 ⑥ 기 타 ( )

[ 장시간 많은 설문에 응하여 주셔서 대단히 감사합니다. ]

# ABSTRACT

## A Study on the Factors Affecting the Acceptance of Collaborative Robots for Smart Manufacturing of Small and Medium-sized Enterprises

Yang, Seung-Hun

Major in Smart Factory Consulting

Dept. of Smart conversion Consulting

The Graduate School

Hansung University

The global manufacturing industry is facing structural changes caused by the rapid advancement of artificial intelligence (AI) and the decline in the working-age population, resulting in severe labor shortages. In this environment, collaborative robots (Cobots) have emerged as a core technology of the Fourth Industrial Revolution, enhancing productivity and safety through human-robot collaboration. In particular, small and medium-sized manufacturing enterprises (SMEs) in Korea struggle with limited technological infrastructure and human resources, making automation adoption difficult. For these firms, collaborative robots are recognized as a practical solution to simultaneously address labor shortages and productivity challenges.

This study empirically analyzes the factors influencing SMEs' intention to adopt collaborative robots by integrating the organizational-level Technology-Organization-Environment (TOE) framework with the individual-level Technology Acceptance Model (TAM), and by incorporating Perceived Risk (PR) as an additional variable. This integration explains that adopting collaborative robots is not merely a technological decision but a complex process in which organizational context and individual perception interact.

The TOE framework includes technological factors (relative advantage and safety), an organizational factor (top management support), and environmental factors (government support and labor shortage). The mediating variables from TAM consist of perceived usefulness (PU), perceived ease of use (PEOU), and perceived risk (PR). Using SmartPLS, a structural equation modeling analysis was conducted, and the following key relationships were identified.

First, among the technological factors, relative advantage had a significant positive effect on perceived usefulness, indicating that the belief in improved productivity and efficiency through cobots strengthens adoption intention. Safety influenced both perceived ease of use and perceived risk, showing that higher safety perceptions reduce user burden and risk awareness, thereby increasing adoption intention through mediation paths.

Second, the organizational factor, top management support, positively affected both perceived usefulness and ease of use. Strong leadership and clear internal decision-making amplified technology acceptance beliefs, indirectly enhancing adoption intention.

Third, the environmental factors, government support and labor shortage, positively influenced adoption intention through perceived usefulness. Government programs reduced financial burdens associated with technology adoption, while labor shortages increased recognition of automation needs, both acting as external drivers for adoption.

Fourth, perceived usefulness exerted the strongest direct effect on adoption intention, while perceived ease of use influenced it indirectly through usefulness. Conversely, perceived risk negatively affected adoption intention, underscoring that ensuring safety and reliability is a prerequisite for widespread adoption.

These findings demonstrate that adopting collaborative robots is not only a matter of technological efficiency but also a socio-technical acceptance process involving the interaction of organizational strategies and user perceptions. By empirically validating the TOE-TAM-PR integrated model, this study provides both theoretical and policy contributions to understanding SMEs' adoption mechanisms of collaborative robots.

Practically, the study highlights four essential conditions for successful adoption:

- ① Establishing verification systems that internalize technological usefulness and safety,
- ② Securing strategic leadership and organizational readiness,
- ③ Utilizing financial and training support from government programs,  
and
- ④ Strengthening reliability-based safety management systems to mitigate risk perception.

These insights offer an empirical foundation for developing future smart manufacturing transition strategies and collaborative robot dissemination policies.

**【Key words】** Smart Manufacturing, Collaborative Robots, Small and Medium-sized Manufacturing Enterprises (SMEs), Technology-Organization-Environment (TOE), Technology Acceptance Model (TAM), Perceived Risk, Safety, Labor Shortage