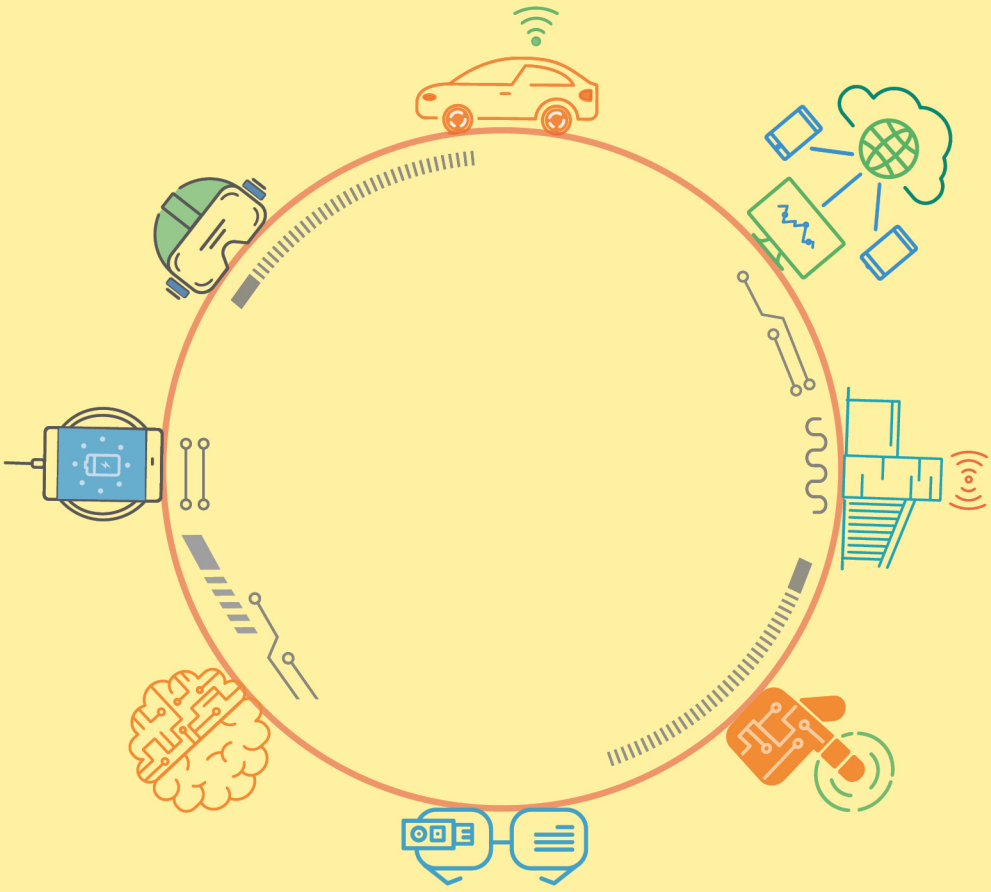
ISSUE PAPER
2025-13

제조 디지털전환이 고용에 미치는 영향

스마트제조 도입을 중심으로

김동근 · 장재기 · 길은선 · 오승환



KIET 산업연구원

ISSUE PAPER 2025-13

제조 디지털전환이 고용에 미치는 영향

스마트제조 도입을 중심으로

김동근 · 장재기 · 길은선 · 오승환

KIET 산업연구원

차 례

요약 ····· 7

제1장 서론 ····· 13

1. 연구 배경 및 필요성 ····· 13
2. 연구 목적 ····· 18

제2장 선행연구 및 국내 스마트제조 정책 현황 ····· 20

1. 선행연구 ····· 20
   (1) 이론 연구 ····· 20
   (2) 실증 연구 ····· 23
2. 국내 스마트제조 정책 현황 ····· 28
   (1) 스마트공장 보급·확산 사업 현황 ····· 28
   (2) 스마트공장 보급·확산 사업의 의의 ····· 33

제3장 분석 자료 및 방법 ····· 36

1. 분석 자료 ····· 36
2. 분석 방법 ····· 42
3. 스마트제조 도입 현황 분석 ····· 48

제4장 스마트제조 도입에 따른 고용 변화 분석 ····· 52

1. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화 ····· 52
2. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 스마트제조 특수산업 분류별 ····· 54
3. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 도입 기술 특성별 ····· 61

4. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 도입 기업 특성별 ····· 63
5. 스마트제조 우수 구축 사례 분석 ····· 65

제5장 주요 연구 결과 및 정책적 시사점 ····· 69

1. 주요 연구 결과 ····· 69
2. 정책적 시사점 ····· 71
(1) 산업정책적 관점에서의 제조 DX·AX 정책 방향 ····· 71
(2) 제조 DX·AX 활성화를 위한 IT 교육의 관점 전환 ····· 74

참고문헌 ····· 77
부록 ····· 81

표 차례

〈표 2-1〉 자동화 기술별 고용 효과 ····· 28
〈표 2-2〉 2026년 스마트제조 혁신 지원사업 개요 ····· 29
〈표 2-3〉 2026년 스마트제조 혁신 지원사업 통합공고 ····· 34
〈표 3-1〉 스마트제조 특수산업 분류 체계 ····· 37
〈표 3-2〉 스마트제조 특수산업 분류 ····· 38
〈표 3-3〉 도입 기술 영역별 스마트제조 신청/선정 여부 ····· 40
〈표 3-4〉 스마트제조 수준 ····· 41
〈표 3-5〉 스마트제조 도입 전후 기술 수준 변화 ····· 42
〈표 3-6〉 변수 ····· 46
〈표 3-7〉 기초통계량 ····· 47
〈표 3-8〉 스마트제조 도입 연도 ····· 49
〈표 3-9〉 스마트제조 도입 기술 수준 ····· 51
〈표 4-1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화 ····· 53
〈표 4-2〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: HW vs. SW ····· 55
〈표 4-3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 고도화 유무 및 수준별 ····· 62
〈표 4-4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 고용 수준별 ····· 63
〈표 4-5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 업력 및 규모별 ····· 64
〈표 4-6〉 스마트제조 우수 구축 사례 ····· 67

그림 차례

〈그림 1-1〉 디지털 전환과 혁신의 중요성 인식 수준(2023) ····· 14
〈그림 1-2〉 연령에 맞춘 청년층 진입과 대조적인 지속 근로형 고령 근로자 ····· 16
〈그림 1-3〉 5세별 인구 ····· 17
〈그림 2-1〉 스마트공장 구축 추이 ····· 30
〈그림 2-2〉 스마트제조추진단 도입 기업 핵심 성과 ····· 32
〈그림 4-1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화 ····· 54
〈그림 4-2〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별 ····· 56
〈그림 4-3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(자동화) ····· 58
〈그림 4-4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(연결화) ····· 58
〈그림 4-5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(정보화) ····· 59
〈그림 4-6〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(지능형) ····· 61
〈그림 4-7〉 ㈜힘펠 도입 성과 ····· 66

요 약

○ 우리나라를 포함한 주요 제조국은 경제성장 둔화의 극복과 혁신성장을 뒷받침하기 위한 전략으로 스마트제조 확산 정책을 적극적으로 지원

- 주요 선진국은 스마트제조를 통한 가치 창출이 제조 생태계 차원으로 확산됨을 인식하고 정책 지원을 집중
- 우리나라도 2014년 '제조업 혁신 3.0 전략'을 시작으로 스마트공장 보급·확산을 거쳐 2027년까지 총 2만 5,000개 제조 현장의 디지털 전환을 유도하는 전략으로 '신(新) 디지털 제조혁신 추진전략'이 시행되며 제조 디지털 전환을 적극적으로 지원하는 중

○ 한편 장기적 관점에서 우리나라는 사망 및 은퇴로 인한 인구 감소와 노동 공급자의 수적 감소 추세를 피하기는 어려움.

- 2025년 기준 대한민국 최대 규모의 인구집단은 1960~1974년 사이에 태어난 50~64세 인구로 그 수는 1,280만 명, 이들은 향후 15년 동안 주된 직장에서 은퇴를 경험하고 비경제활동 인구로 편입될 예정

- 반면, 이제 막 경제활동을 시작한 1995~2009년 사이에 출생한 15~29세 인구는 840만 명으로, 50~64세 인구의 66%에 불과

- 30~64세 인구는 향후 15년 동안 440만 명이 감소하면서 16%가량 사라질 전망

○ 이렇듯 현재 우리나라는 제조 디지털 전환 가속화와 인구구조 변화의 심화가 동시에 진행되면서, 향후 노동시장의 구조적 변화가 불가피한 상황에 직면

- 장기적으로 제조 디지털 전환에 따른 노동 수요의 감소와 인구구조 변화에 따른 노동 공급의 감소는 역행하기 어려운 시대적 흐름

- 따라서 제조 디지털 전환과 인구구조 변화라는 두 메가트렌드를 통합적 관점에서 고려한 정책적 방향 설정이 필요한 시점

○ 이를 위해 제조 디지털 전환에 따른 산업 인력 수요 변화와 인구 감소가 정합적으로 변화해 가는지에 대한 지속적이고 면밀한 점검이 필요

- 이러한 인구구조의 변화와 함께 미래 산업구조 변화에 따른 대응 전략을 모색하기 위해서는 제조 디지털 전환이 노동시장에 미치는 영향을 면밀히 분석하고, 지속적으로 모니터링할 필요

○ 이에 따라 본 연구는 우리나라의 제조 디지털 전환 정책의 핵심인 스마트제조 도입을 대상으로, 자동화 기술 도입이 기업의 고용에 미치는 영향을 분석

- 특히, 도입 기술 유형 및 수준 등에 따른 차별적 고용 변화를 식별함으로써 구체적인 자동화 기술 도입의 영향을 추정

- 이를 통해 제조 디지털 전환과 인구구조 변화가 동시에 전개되는 현

재 상황에서 산업 및 인력 정책의 방향성과 대응 전략을 수립하는 데 필요한 핵심적 시사점을 제시

○ 본 연구의 분석 결과에 따르면, 자동화 기술 도입은 전반적으로 도입 기업의 고용을 증가시키는 것으로 나타남.

- 특히 MES/POP, ERP, 클라우드 컴퓨팅 등 소프트웨어 기반 기술의 도입에서 이러한 영향이 뚜렷하게 나타남.

- 반면 산업용 로봇과 같은 전통적인 협의의 자동화 기술은 도입 후 고용이 감소하는 대체 효과가 우세한 것으로 나타남.

- 추가적으로 자동화 기술의 고도화 수준이 높을수록, 기업 규모·업력이 클수록 고용 증가 효과가 작아지는 경향을 보임.

○ 본 연구의 분석 결과를 종합해 보면, 최근의 일부 기사나 연구에서 제기되어 온 자동화로 인한 일자리 감소에 대한 우려는 현시점에서는 과도한 측면이 있음.

- 본 연구 결과, 현재 제조 DX·AX 단계에서는 생산성 효과와 복귀 효과 등에 의한 고용 창출 효과가 대체 효과보다 더욱 강하게 작동하고 있음을 시사

- 따라서 제조 DX·AX는 시대적 흐름일 뿐만 아니라, 자율제조 생태계 조성을 통한 국내 기업 및 국가 경쟁력 강화를 위해 국가 차원의 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책을 지속적으로 추진할 필요

○ 나아가 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책은 단순한 자동화 기술 지원을 넘어, 중소기업의 스케일업(scale-up)을 촉진하는 핵심 정책 수단으로 활용 가능

- 본 연구에 따르면, 자동화 기술 도입에 따른 고용 창출 효과는 기업 규모가 작고 업력이 낮은 기업일수록 크게 나타남.

- 따라서 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책을 단순 자동화 기술 도입 지원을 넘어 중소기업 성장 정책의 중요한 축으로 적극적으로 활용할 필요

○ 기존 중소기업 중심의 기초 단계 스마트제조 보급·확산 사업의 지속적인 운영 및 확대가 필요

- AI·데이터 기반 자율제조 단계로 나아가기 위해서는 가치사슬 전반에서 생성되는 제조 데이터의 수집 및 활용이 가능한 데이터 생태계 구축이 필수적

- 따라서 중소기업의 생산 과정에서 생성되는 데이터 인프라 확충은 전체 제조 데이터 생태계의 토대를 구축하는 핵심 요소이며, 자율제조 단계로 나아가기 위한 뿌리 역할

○ 다만, 향후 우리의 산업정책적 목표인 제조 DX·AX를 통한 자율제조(autonomous manufacturing) 단계로 진입할수록 대체 효과가 확대되는 것은 필연적일 것으로 예상됨.

- 따라서 자율제조 생태계 확립을 위한 제조 DX·AX 정책과 함께 미래 자율제조 단계에 부합하는 중장기적 관점에서의 교육·인력 정책 정비와 개선이 필요한 시점

○ 특히, 기존 경력 직원 및 임원을 대상으로 한 DX·AX 교육이 현시점에서 가장 중요

-현재의 대학교육과 KDT(K-Digital Training) 등 직업훈련은 청년층 무경력자를 대상으로 IT 공급자(개발자·엔지니어)로 양성하는 교육을

실시하는 데 주안점을 두고 있음.

- 이에 더하여 현재 제조 DX·AX를 통한 중소기업 혁신에 실질적으로 중요한 것은 재직자 훈련으로, 도메인 지식이 뛰어난 에이스 직원 및 임원급을 대상으로 한 DX·AX 수요자 교육임.
- 이러한 재직자 중심 IT·AI 수요 역량 강화 교육을 체계화하기 위하여 중소벤처기업부, 산업통상부, 과학기술정보통신부 등 관계 부처가 역할을 분담하고, 우리나라 중소 제조기업의 특성에 맞는 공통 프로그램 개발과 제조서비스 전문기업과의 연계를 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

제1장

서 론

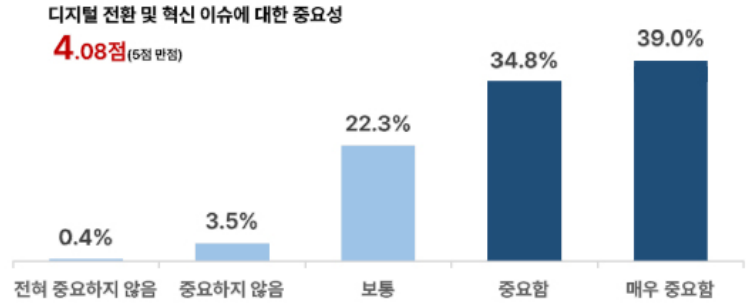


1. 연구 배경 및 필요성

○ 디지털 전환은 경제·사회 전 영역의 화두이며, 특히 산업 디지털 전환은 생산성·효율성 제고를 통해 기업 및 국가 차원의 경쟁력 확보를 위한 핵심 전략으로 평가

- 디지털 전환은 전통적 생산 방식에서 벗어나 생산성을 증대시키고, 데이터를 기반으로 한 경제구조로의 변화를 이끌 것으로 예상
- 디지털 전환과 생성형 AI 도입은 산업 전반의 생산성·비용 구조·고용 형태를 동시에 뒤흔드는 총체적 기술 충격으로, 기술 변화에 따라 산업구조가 급변
- 기업 CEO 대상 실태조사 결과, 디지털 전환 및 혁신의 중요성에 대한 인식 수준은 5점 만점 중 4.08점으로 대부분의 기업 최고경영책임자(CEO)는 디지털 전환의 중요성을 인식

〈그림 1-1〉 디지털 전환과 혁신의 중요성 인식 수준(2023)



자료: 한국고용정보원(2023), 「디지털 기반 기술혁신과 인력 수요 구조 변화」.

- 기업은 경쟁력 유지를 위해 AI 등 디지털 역량을 내재화하고 있으며, 이는 기업의 고용구조와 향후 노동 수요를 변화시키는 핵심적인 동인

○ 글로벌 차원에서도 디지털 전환 기술 도입이 가속화되며, 제조업의 인력 수요와 숙련도 프로필이 빠르게 재편

- 스마트제조는 단순한 기계 자동화를 넘어, 설계·조달·생산·물류·서비스 등 전 과정의 주체들이 데이터를 기반으로 실시간 연결·통합되는 단계로 발전

- UNCTAD 2023년 보고서에 따르면 AI·IoT·로봇공학·빅데이터 등 프런티어 기술이 개발도상국과 선진국 모두에서 확산되며, 관련 직무·역량에 대한 수요가 크게 증가하는 추세

- 이러한 변화는 기업의 생산성 향상은 물론 유연한 생산체계 구축, 고객 맞춤형 대응, 공급망 최적화 등 제조 방식의 근본적인 혁신을 불러오며, 이로 인한 기업 노동 수요의 재편을 불러옴.

○ 이렇듯 우리나라를 포함한 주요 제조국은 경제성장 둔화의 극복과

혁신성장을 뒷받침하기 위한 전략으로 스마트제조 확산 정책을 적극적으로 지원

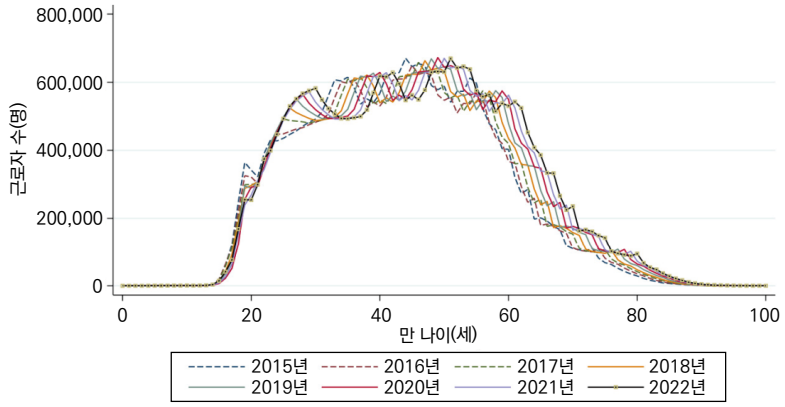
- 주요 선진국은 스마트제조를 통한 가치 창출이 제조 생태계 차원으로 확산됨을 인식하고 정책 지원을 집중
- 우리나라도 2014년 '제조업 혁신 3.0 전략'을 시작으로 스마트공장 보급·확산을 거쳐 2027년까지 총 2만 5,000개 제조 현장의 디지털 전환을 유도하는 '신(新) 디지털 제조혁신 추진전략'이 시행되며 제조 디지털 전환을 적극적으로 지원하는 중

○ 한편, 우리나라는 2017년 이후 생산가능인구(만 15~64세)의 감소와 2020년 이후 총인구의 감소가 이미 시작되었으나, 60세 이상 근로자의 높은 지속적 근로 경향성을 바탕으로 노동 공급이 부족하지 않으며 고용은 여전히 증가하는 추세

- 경제활동인구조사 자료를 기반으로 정태적(static) 중장기 인력 수급 전망을 실시하는 한국고용정보원에서는 인구 감소로 인해 총취업자 수가 2029년부터 감소할 것으로 전망
- 우리나라 근로자들은 정년 연령에 소폭 노동시장 이탈이 증가하지만 대다수가 60대 후반에도 일하고 있음.
- 이는 1955년 이후 출생자들의 대다수가 지속 근로 확률이 매우 높은 코호트적 특성을 지니고 있기 때문으로, 정년 연령 60세가 고령층의 노동시장 이탈에 큰 역할을 하지 않는 상황[1](길은선 외, 2024)
- 한편, 이철희·엄상민(2024)은 청년층과 중년층의 학력 및 생산성 증

1) 다만 공공부문, 일부 대기업 일자리를 중심으로 고소득 기회를 축소.

〈그림 1-2〉 연령에 맞춘 청년층 진입과 대조적인 지속 근로형 고령 근로자



자료: 길은선 외(2024), 「반도체·자동차·철강 산업의 은퇴 전망과 인력수급 이슈 연구」.

가로 인한 노동 공급의 질적 향상까지 고려하면 인구 감소로 인한 총량적 노동인력 부족은 향후 20년간 발생하지 않을 것으로 전망

○ 그러나 장기적 관점에서 우리나라는 사망 및 은퇴로 인한 인구 감소와 노동 공급자의 수적 감소 추세를 피하기는 어려움.

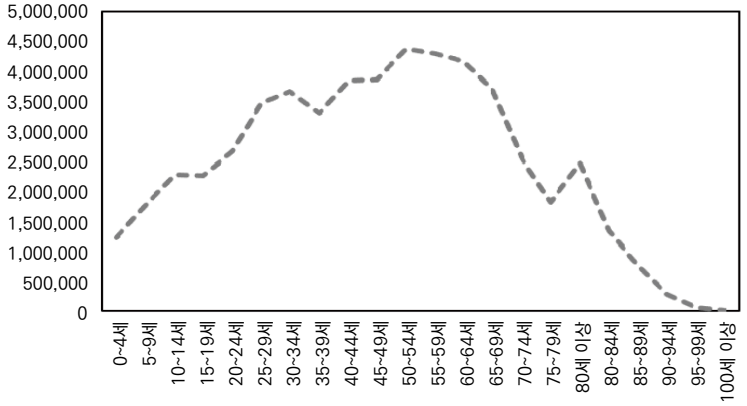
- 2025년 기준 대한민국 최대 규모의 인구집단은 1960~1974년 사이에 태어난 50~64세 인구로(1,280만 명), 이들은 향후 15년 동안 은퇴 및 비경제활동 인구로 편입될 예정

- 반면, 이제 막 경제활동을 시작한 1995~2009년 사이에 출생한 15~29세 인구는 840만 명으로, 50~64세 인구의 66%에 불과

- 30~64세 인구는 향후 15년 동안 440만 명이 감소하면서 16%가량 사라질 전망(한성민 외, 2025)

○ 이렇듯 현재 우리나라는 제조 디지털 전환 가속화와 인구구조 변화

〈그림 1-3〉 5세별 인구



자료: 한성민 외(2025), 「대한민국 인구전략 수립 연구」.

의 심화가 동시에 진행되면서, 향후 노동시장의 구조적 변화가 불가피한 상황에 직면

- 장기적으로 제조 디지털 전환에 따른 노동 수요 감소와 인구구조 변화에 따른 노동 공급의 감소는 역행하기 어려운 시대적 흐름

- 따라서 제조 디지털 전환과 인구구조 변화라는 두 메가트렌드를 통합적 관점에서 고려한 정책적 방향 설정이 필요한 시점

○ 이를 위해 제조 디지털 전환에 따른 산업 인력 수요 변화와 인구 감소가 정합적으로 변화해 가는지에 대한 지속적이고 면밀한 점검이 필요

- 이러한 인구구조의 변화와 함께 미래 산업구조 변화에 따른 대응 전략을 모색하기 위해서는 제조 디지털 전환이 노동시장에 미치는 영향을 면밀히 분석하고, 지속적으로 모니터링할 필요

○ 관련하여 다양한 자동화 기술의 도입 혹은 활용이 고용에 미치는 영향에 대한 연구는 최근까지 활발히 진행되고 있으나, 연구 대상 및 연

구 방법 등에 따라 연구 결과가 서로 상이한 실정

- 선행연구에 따르면 자동화 기술은 인력 부족을 해소하고 생산성을 강화하는 긍정적 측면이 존재하나, 동시에 기존 일자리를 대체하거나 직무 자체를 축소시키는 부정적 측면도 존재

- 미국, 독일, 프랑스, 스페인, 네덜란드, 한국 등 다양한 국가 및 기간을 대상으로 전통적인 자동화 영역인 로봇부터 최근의 인공지능 영역까지 다양한 기술의 도입 혹은 활용이 고용에 미치는 영향에 대한 연구는 최근까지 활발히 진행되고 있음.

- 그러나 일관된 결과를 도출하기 어려우며, 연구 대상 및 연구 방법 등에 따라 연구 결과가 서로 상이한 실정

○ 나아가 대부분의 연구들에서는 자료의 한계 등으로 구체적인 자동화 기술 유형, 수준 등의 기술 특성을 측정하지 못하거나, 기술 도입 시점을 정확히 측정하지 못하는 등의 식별 문제가 존재

- 특히, 제조 디지털 전환 생태계를 구성하는 다양한 개별 기술이 고용에 미치는 영향을 종합적으로 식별하는 연구는 상당히 미흡한 실정

2. 연구 목적

○ 본 연구의 목적은 우리나라의 제조 디지털 전환을 대상으로 자동화 기술 도입이 기업의 고용에 미치는 영향을 분석하는 데 있음.

- 기존 국내 연구들은 기업활동조사 등 자료의 한계로 기술 도입 여부를 간접적으로 측정하는 방식이 대부분이었음.

- 본 연구는 스마트제조 기술을 실제로 도입한 기업들을 대상으로, 다양한 스마트제조 기술 도입 이후의 고용 변화를 분석

○ 특히, 도입 기술의 유형 및 수준 등에 따른 차별적 고용 변화를 식별함으로써 구체적인 자동화 기술 도입의 영향을 추정

- 기존 연구는 전통적인 협의의 자동화 영역인 로봇 도입 중심의 고용 효과 분석에 집중하였으나, 본 연구는 스마트제조 세부 기술 분야 및 수준별 도입 이후의 고용 변화를 식별

○ 이를 통해 제조 디지털 전환과 인구구조 변화가 동시에 전개되는 현재 상황에서, 산업 및 인력 정책의 방향성과 대응 전략을 수립하는 데 필요한 핵심적 시사점을 제시

제2장

선행연구 및 국내 스마트제조 정책 현황

○ 본 장에서는 자동화와 인공지능(AI) 기술이 노동시장에 미치는 영향에 관한 이론 및 실증 연구를 검토하고, 스마트제조 기술 도입에 따른 고용 변화 분석의 필요성을 제시

○ 또한, 국내 스마트제조 보급·확산 사업을 중심으로 스마트제조 기술의 유형 및 도입 현황을 분석

1. 선행연구

(1) 이론 연구

○ 자동화 기술의 고용에 대한 영향을 분석한 기존 연구 중 가장 중요한 이론 연구는 Acemoglu & Restrepo(2018, 2022) 연구로, 이론적 기틀을 마련했다는 점에서 관련 문헌에 크게 이바지함.

- 이들은 과업 기초 모형(task-based model)을 수립하여, 자동화를 인간 노동에서 자본으로 과업 수행의 이전으로 간주하고, 자동화에 따른 고용, 임금, 소득 불평등 등 노동시장의 영향을 분석

○ Acemoglu & Restrepo(2018)는 AI와 로봇으로 인한 자동화 기술은 노동시장에 서로 상충하는 효과가 있다며 다음과 같이 설명함.

- (대체 효과) AI와 로봇 기술이 기존 근로자가 수행하는 과업(task)을 대체하므로 노동 수요가 감소하고, 그에 따라 임금과 고용이 감소

- (생산성 효과) 반면, 기술의 대체는 동일 과업의 생산 비용을 낮추므로 자동화가 이루어진 산업(혹은 직종)뿐 아니라 그렇지 않은 산업(혹은 직종)의 노동 수요의 증가로 이어짐.

  · 예를 들어, ATM 도입으로 은행원들이 이전과 다른 다양한 과업을 수행하게 되어 은행원들의 고용이 증가하고 은행 지점도 증가(Bessen, 2016)

  · 생산성 효과로 실질 임금이 증가하고 비자동화 산업도 제품의 수요가 증가하는데, 대표적으로 농업의 기계화는 공산품의 수요를 높이고, 이는 노동 수요의 증가로 이어짐(Acemoglu & Restrepo, 2020).

- (복귀 효과) 자동화의 확산은 인력이 비교우위를 가진 새로운 직종을 창출하며, 새로운 직종은 생산 과정에서 핵심 생산 요소로 작용하므로 이에 대한 노동 수요가 증가함.

  · 역사적으로 기술 진보에 따른 대체 효과와 복귀 효과가 같이 작동하는데, 예를 들어 산업혁명 시기에 엔지니어, 기계 수리공, 경영자, 금융 관리자 등 새로운 직종이 창출되었고, 농업의 기계화가 이루어지는 수십 년 동안 미국에서는 새로운 직종과 산업, 특히 서비스와

제조업의 공장직과 사무직 노동 수요가 급증함.

- (자본 축적 효과) 자동화 확대는 자본의 수요 증가를 의미하며, 이는 다시 노동 수요의 증가로 연결됨.

○ Hémous & Olsen(2022)은 미국의 노동 비중 감소와 숙련 프리미엄 상승을 설명하고, 자동화가 소득 불평등을 유발했음을 제시

- 자동화(기계의 저숙련 노동자 대체)와 수평적 혁신(신제품 혹은 과업 창출)을 주요 요소로 하는 내생적 성장 모형을 활용하여, 복귀 효과를 내생적으로 모형화하여 분석

○ Acemoglu & Restrepo(2020)는 기업의 로봇 도입이 지역 노동시장에 미치는 영향을 이론적으로 분석하고, 자료를 활용하여 모형의 전망을 실증적으로 분석

- 지역 노동시장에는 로봇 도입의 영향으로 인한 대체 효과(-), 비용 감소로 인한 생산성 효과(+), 소득 효과(-)가 존재

- 이러한 로봇의 효과는 자본 공급의 증가나 로봇 자체의 기술력 향상, 산업의 생산성 향상으로 인한 영향과는 구별됨.

- 이들은 한 지역의 로봇 도입으로 인한 생산성 증가와 재화의 가격 변화가 로봇을 도입하지 않은 다른 지역에 미치는 영향을 이론 모형을 통해 추가적으로 분석

○ Rockall, Tavares, Pizzinelli(2025)는 과업 기초 모형(task-based model)에 AI의 상호 보완성과 기업의 내생적 AI 도입 결정을 추가하여, AI 기술과 기존 자동화 기술과의 차별점을 분석

- AI 기술은 단순 반복 업무를 주로 대체한 이전의 자동화 기술과 달리

고숙련자의 업무까지 대체할 수 있으므로, 저숙련과 고숙련 간 임금 격차가 이전처럼 두드러지게 발생하지 않음.

- 그러나 고숙련자는 저숙련자보다 자본 보유량이 높으므로 자본소득을 통해 고용 위험을 일정 부분 완화할 수 있음.

(2) 실증 연구

○ 로봇, AI, 소프트웨어 등 다양한 자동화 기술이 노동시장에 미치는 영향을 실증적으로 분석한 연구도 다수 존재

○ Acemoglu & Restrepo(2020)는 1990년부터 2007년 동안 로봇 도입이 지역 고용과 임금에 미치는 영향을 분석

- 노동자 천 명당 로봇이 1대 증가할 때 전체 노동자 비중이 0.2%포인트 감소하고 임금은 0.4% 감소

- 이는 무역할 수 있는 재화의 가격 하락 등의 낙수효과로 인한 긍정적인 효과가 반영된 결과

- 또한 IT 자본이나 전체 자본의 증가 등 다른 자본 축적의 노동시장 영향과 로봇의 영향을 분리해서 분석하였으며, 이론적으로 로봇의 영향이 자본 공급이나 산업 생산성 증가와 관계가 없음을 제시

○ Chung & Lee(2023)는 Acemoglu & Restrepo(2020)의 방법론을 준용하고 분석 연도를 2016년까지 확대하여 로봇 도입의 노동시장 영향을 분석

- 로봇의 고용 및 임금에 대한 영향은 시간에 따라 다르게 나타나는데, 2005년부터 2010년은 Acemoglu & Restrepo(2020)처럼 고용이 감소

했지만, 2010년 이후로는 로봇의 도입이 고용의 증가와 임금의 증가로 이어졌음을 실증적으로 제시

- 이처럼 로봇 도입의 영향이 시간의 흐름에 따라 역전된 것은 생산성 제고, 새로운 직종의 창출, 다른 산업으로의 낙수효과 등 메커니즘이 복합적으로 작용한 결과

○ Koch, Manuylov, Smolka(2021)는 기업의 로봇 도입 의사결정과 로봇 도입의 노동시장에 대한 영향을 실증적으로 분석

- 1990년부터 2016년까지 스페인의 기업·연도별 패널 자료를 활용하여 생산성이 높은 기업이 그렇지 않은 기업 대비 로봇 도입률이 높고, 수출 기업이 비수출 기업에 비해 로봇 도입률이 높음을 제시

- 나아가 로봇을 도입한 기업은 도입 후 4년 이내에 생산이 20~25% 증가하고, 고용은 최대 10%까지 증가하며, 노동 비용 비중(labor cost share)이 약 5~7%포인트 감소

- 반면, 도입하지 않은 기업은 시장 점유율이 낮아져 고용이 감소하고, 로봇 도입률이 높은 산업에서의 시장 퇴출이 발생

○ Acemoglu, Koster, Ozgen(2023)은 2009년부터 2020년까지 네덜란드의 종사자와 고용주 매칭 패널 자료를 활용하여 로봇 도입의 노동시장에 대한 영향을 실증적으로 분석

- 로봇을 도입한 기업이 그렇지 않은 기업에 비해 생산이 약 14.9% 증가하고 고용은 4.3% 증가하며, 노동 비중은 4.6%포인트 감소함을 제시하였는데, 이는 관련 문헌의 기업 단위 분석 결과와 유사한 결과

- 추가로 로봇 도입이 근로자에게 미치는 비동질적 영향을 분석했는데 로봇에 직접적으로 영향을 받는 근로자(주로 블루칼라, 저학력)의 고

용과 임금은 감소하나, 간접적으로 영향을 받는 근로자(주로 비반복적, 고숙련)는 생산성 증대로 고용과 임금 모두 증가

○ Webb(2020)은 특허와 직업 설명 간의 중첩 정도를 활용하여 직업별 산업용 로봇, 소프트웨어, AI 노출도를 각각 도출하고, 각 기술의 노동시장에 대한 영향을 분석

- 산업용 로봇과 소프트웨어의 사용은 고용 및 임금의 감소로 이어지며, 산업용 로봇이 소프트웨어보다 부정적인 영향이 더 크게 나타남.

- 관련하여 한지우·오삼일(2023)은 Webb(2020)의 방법론을 준용하고 국내 자료를 활용하여 유사한 결과를 도출

- 특히, 산업용 로봇의 부정적 영향이 국내에서 더 크게 나타나는 이유로 국내 로봇 도입 비중이 미국보다 높다는 점을 제시

○ Boustan, Choi, Clingingsmith(2022)는 자동화 기술 중 컴퓨터 수치제어 장비(computer-numerically-controlled machinery, CNC)의 영향을 분석

- 1960년부터 2010년 동안 CNC 기계 활용이 10%포인트 증가함에 따라, 노동자 비중(임금/부가가치)이 1.6% 감소하고 부가가치가 20% 증가함.

- 이는 또 다른 자동화 기술인 산업용 로봇이 노동 비중의 감소와 연관된다는 문헌의 결과와 유사한 결과

○ Acemoglu & Restrepo(2022)는 미국을 대상으로 자동화 기술 중 전용기계(CNC, ATMs 등), 특화 소프트웨어(재고 관리, 고객, 인적 자본 관리 등), 산업용 로봇 활용에 따른 영향을 분석

- 자동화 기술의 활용은 1987년부터 2016년 기간 동안 미국 노동 비중이 50% 감소한 원인을 설명

○ AI의 노동시장에 대한 영향에 관해서도 활발한 연구가 이루어지고 있으나, 분석 대상과 방법 등에 따라 다양한 결과가 존재

- 특히, Acemoglu et al.(2022)은 온라인 구인 공고를 활용하여 AI 노출도가 클수록 인공지능 관련 직종의 고용은 증가한 반면, 비인공지능 직종의 고용은 감소함을 제시

- 세 가지 직업별 AI 노출도(Webb, 2020; Felten et al., 2021; Brynjolfsson et al., 2018)를 활용하여 분석하였으며, AI 노출도가 증가할 때 인공지능 관련 직종의 고용은 증가하고 비인공지능 고용은 감소

- Georgieff & Hyee(2021) 역시 Felten et al.(2021)의 AI 노출도 지수를 활용하여 23개 OECD 국가를 대상으로 직종 단위 분석을 통해, AI 노출도와 고용 증가율 간에 양의 관계가 있음을 제시

○ 장재기·김동근(2025)은 국내 자료를 활용하여 Felten et al.(2021)의 AI 노출 지수를 산출하고, 고용보험 DB를 활용하여 AI의 국내 노동시장에 대한 영향을 분석

- 2010년부터 2019년을 대상으로 분석한 결과 사업장의 AI 노출도가 1% 증가하면 전체 고용이 2.4% 감소

- 나아가 AI 노출도가 낮은 그룹의 고용은 감소하나 높은 그룹의 고용은 증가하는 직업별 AI의 고용 효과의 비동질성을 제시

- 이와 관련하여 한요셉(2023)은 인공지능을 도입한 기업에서 임금 근로자가 증가하는 경향이 있음을 분석

○ Brynjolfsson, Li, Raymond(2025)는 무작위 대조실험(RCT)을 통해 생성형 AI가 생산성 향상에 미치는 영향을 분석

- 5,172명의 고객에게 생성형 AI를 고비용과 훈련 일정 조율 등 제약과 함께 시차를 두고 배포, AI 액세스 시점을 주요 변동으로 하여 인과관계를 추정

- 시간당 문제 해결 건수로 측정할 때 생성형 AI의 사용은 생산성을 약 15% 정도 개선하였으며, 특히 경험이 적은 근로자는 생산성이 30% 증가하였으나 노련한 근로자의 생산성 증가는 크지 않음.

- 이는 생성형 AI가 저숙련자와 고숙련자 간 기술 격차를 줄였음을 시사

- 마찬가지로 Noy & Zhang(2023)은 생성형 AI인 챗GPT(ChatGPT)의 활용을 통해 생산성이 향상됨을 분석

- 453명의 대졸 전문가를 두 그룹으로 나누어 글쓰기 작업을 수행하도록 한 실험에서 챗GPT를 활용한 그룹이 통제 그룹에 비해 약 37% 정도 빠르게 작업을 완료하는 것으로 나타남.

○ 종합하면, 다양한 자동화 기술 유형의 도입 혹은 활용이 고용에 미치는 영향에 대한 연구는 최근까지 활발히 진행되고 있으나, 연구 대상 및 연구 방법 등에 따라 연구 결과가 서로 상이한 실정

- 미국, 독일, 프랑스, 스페인, 네덜란드, 한국 등 다양한 국가 및 기간을 대상으로 전통적인 자동화 영역인 로봇부터 최근의 인공지능 영역까지 다양한 기술의 도입 및 활용이 고용에 미치는 영향에 대한 연구가 최근까지 활발히 진행되고 있음.

- 그러나 일관된 결과를 도출하기 어려우며, 연구 대상 및 연구 방법 등에 따라 연구 결과가 서로 상이한 실정

〈표 2-1〉 자동화 기술별 고용 효과

	고용 효과	선행 연구	비고
① 로봇	+	Acemoglu, Koster, Ozgen(2023) Koch, Manuylov, Smolka(2021)	노동 비중은 감소
	-	Acemoglu & Restrepo(2020) Webb(2020) 한지우·오삼일(2023)	
	+ & -	Dauth at al.(2021) Chung & Lee(2023)	제조 -, 서비스 +(직무, 업종 이동) 2015년 이전 -, 이후 +
② 소프트웨어	-	Webb(2020) 한지우·오삼일(2023)	컴퓨터 프로그램 등의 활용
③ CNC	-	Boustan, Choi, Clingingsmith(2022)	노동 비중은 감소
④ 인공지능	+	한요셉(2023)	도입 기업의 임금 근로자
	+ & -	Acemoglu et al.(2022) 장재기·김동근(2025)	인공지능 +, 비인공지능 - AI 노출도가 높으면 +, 낮으면 -

자료: 저자 작성.

2. 국내 스마트제조 정책 현황

(1) 스마트공장 보급·확산 사업 현황

○ 스마트제조(smart manufacturing) 또는 스마트공장(smart factory)은 디지털 기술을 기반으로 제조 전 과정을 연결·통합하여 생산성과 품질을 향상시키는 지능형 제조 방식을 의미

- 이는 단순한 자동화 수준을 넘어서 공정 데이터를 실시간으로 수집해 최적의 의사결정과 제어가 가능한 형태로 진화한 시스템으로, 자율제조 시스템 구축을 궁극적인 목표로 함.

- 스마트제조 산업[2]은 제조공정을 자동화하고, 정보통신기술을 활용하여 장비·공정·기업을 상호 연결함으로써 생산과정을 정보화·지능화하는 제조혁신 산업으로 정의

- 정부는 이러한 스마트제조를 자동화 기기·연결화 기기·정보화 솔루션·지능형 서비스의 4대 기술 영역으로 정의

○ 정부는 스마트제조를 제조혁신의 핵심 정책으로 설정하고, 중소 제조업 중심의 보급·확산 사업을 집중 지원

- 정부는 제조업의 구조적 한계(인력 부족·저생산성·공정 복잡성 등)에 대응하기 위한 핵심 정책으로 스마트제조 보급·확산을 채택

- 국내 스마트제조 보급·확산을 담당하는 핵심 기관은 중소벤처기업부이며, 대표 사업으로 스마트공장 보급·확산 사업을 운영

〈표 2-2〉 2026년 스마트제조 혁신 지원사업 개요

	내용
사업 목적	중소·중견기업의 디지털 제조혁신 촉진(스마트공장·로봇·공정 자동화·데이터 인프라·R&D 지원)
지원 대상	국내 중소기업 및 중견기업
지원 내용	스마트공장 구축(기초~고도화), 자동화·로봇 도입, 데이터 인프라, AI·DX 기반 기술 개발(R&D)
신청 방법	스마트공장 사업관리시스템(smart-factory.kr) 온라인 신청
정부 지원 비율	총사업비의 30~100%(사업 유형별 상이)
특징	중소 제조기업의 디지털 전환 초기 부담 완화, MES/ERP/로봇 등 단계적 지원

자료: 중소벤처기업부(2025).[3]

2) 관계부처합동(2024), "스마트제조 전문기업 육성을 통한 스마트제조 혁신 생태계 고도화 방안", 10월 2일.

3) 중소벤처기업부(2025), "2026년 스마트제조 혁신 지원사업 통합공고", 중소벤처기업부 공

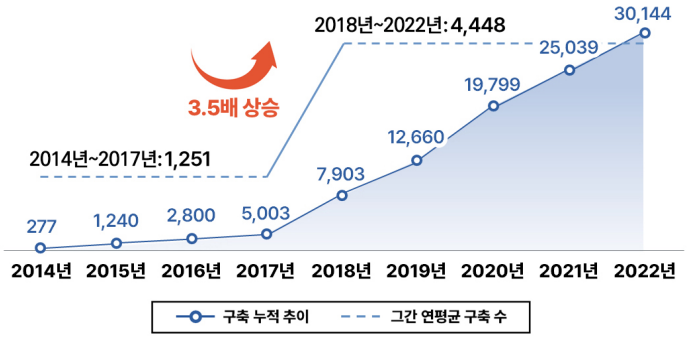
○ 스마트공장 보급·확산 사업은 2014년 「제조업 혁신 3.0 전략」을 기점으로 기초 보급·확산 사업에서 시작하여 최근에는 자율제조 생태계 구축을 위한 고도화 정책으로 발전

- 초기에는 기초 수준의 스마트공장 보급·확산을 중심으로 정책이 추진되어 왔으며, 제조 현장의 자동화·데이터 수집 기반 마련에 집중
- 이후 정책은 데이터 기반 공정 혁신, 공급 기업 역량 강화, 디지털 협업 생태계 구축 등으로 범위를 확대하였으며, 최근에는 AI·데이터 기반 자율제조 생태계를 지향하는 고도화 단계로 심화

○ 그 결과, 국내 스마트공장의 보급·확산 정책은 지난 10년간 양적·질적 측면에서 뚜렷한 성과를 보임.

- 2023년 '新 디지털 제조혁신 추진전략'에 따르면, 2014년 대비 2022년 누적 스마트공장 구축 건수는 3만 건을 돌파

〈그림 2-1〉 스마트공장 구축 추이



자료: 관계부처합동(2023).[4]

고 제2025-574호, 10월 31일.

4) 관계부처합동(2023), "新 디지털 제조혁신 추진전략", 비상경제장관회의 23-21-2, 9월 18일.

- 도입 기업의 성과 역시 생산성 33.6% 향상, 품질(불량률) 44.4% 개선, 납기 16.3% 단축, 고용 2.3명 증가 등 양적, 질적 성과를 달성

○ 스마트공장 보급·확산 사업은 중소 제조업을 대상으로 디지털 전환의 진입장벽을 낮추어 스마트공장의 보급을 확산시키는 기반을 마련

- MES·POP, ERP, 자동화 장비 등 기본적인 데이터 수집·공정관리 체계의 구축을 지원함으로써, 중소기업의 생산성 및 품질 경영 역량을 제고

- 민간 주도의 공급시장 형성, 기업 맞춤 솔루션 다양화 등 스마트제조 생태계 초기의 기반을 마련한 사업으로 평가

- 디지털 전환이 어려웠던 중소기업에 정책적 인센티브와 기술 기반을 제공하여, 현장 혁신 활동을 제도화하는 매개 역할을 수행

○ 10년 이상 지속된 스마트공장 보급·확산 사업을 통해 제조 현장에 자동화 및 정보화 솔루션 도입이 광범위하게 진행

- 스마트제조 혁신 실태조사[5]에 따르면, 공장을 보유한 중소·중견 제조기업 중 19.5%가 스마트공장을 도입한 것으로 나타남.

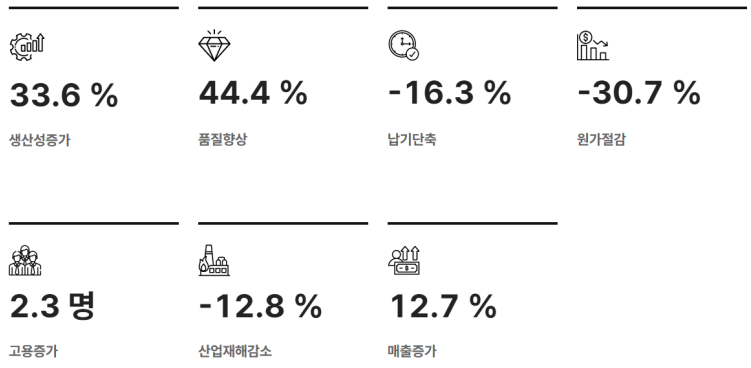
- 주요 도입 기술은 ERP(76.3%), 제어컨트롤러(16.9), MES(14.4%)를 도입한 것으로 조사되었으며, 향후 도입할 기술로는 제조로봇(1.7%) 제어컨트롤러(1.3%), ERP(1.1%) 순으로 나타남.

- 스마트공장 활용률이 80%를 상회하는 등 제조 프로세스 내 디지털 기반 운영이 실제 현장에 적용되고 있는 것으로 나타남.

---

5) 중소벤처기업부(2025), "2024년 스마트제조 혁신 실태조사 결과 발표", 보도자료. 4월 29일.

〈그림 2-2〉 스마트제조추진단 도입 기업 핵심 성과



자료: 스마트제조혁신추진단(2025).[6]

- 즉, 디지털 기반 공장 운영 솔루션(MES·POP, ERP) 도입이 본격화되면서 데이터 집계·공정 관리·품질 관리 등 핵심 프로세스의 디지털 전환이 현장에서 정착되고 있으며, 자동화 설비의 보급이 진행 중
- 그 결과, 스마트공장 도입 기업의 생산성·품질·납기·고용 등 주요 지표에서 유의미한 개선 효과가 나타남.

○ 그러나 스마트제조 도입에 따른 양적·질적 성과에도 불구하고 고도화·지능화 단계로의 전환은 여전히 제한적

- 국내 스마트공장 도입 기업 중 75.5%[7]가 여전히 기초 수준에 불과
- 특히, 고도화 단계로 평가될 수 있는 AI·CPS 기반 지능형 기술 도입률은 0.1% 수준으로 미약한 실정

6) 스마트제조혁신추진단(2025), "추진단 핵심 성과", 스마트공장사업관리시스템, https://www.smart-factory.kr/(검색일: 2025. 11. 21).
7) 중소벤처기업부(2025a), "2024년 스마트제조 혁신 실태조사 결과 발표", 보도자료, 4월 29일.

(2) 스마트공장 보급·확산 사업의 의의

○ 국내 중소 제조업 스마트공장 도입의 대부분은 스마트제조혁신추진단이 수행하는 스마트제조 보급·확산 사업을 통해 진행되어 옴.

- 2026년 스마트제조 혁신사업 통합공고 기준, 스마트공장 구축, 자동화, 제조 로봇 도입, AI·데이터 등 스마트제조 전 영역에서 40개 이상의 사업이 추진단의 체계하에서 운영됨.
- 사전 기획-구축-수준 확인-사후 관리까지 도입 전·중·후 단계의 품질 관리 기능을 모두 스마트제조혁신추진단이 수행함에 따라, 사실상 중소 제조업의 디지털 전환 인프라 구축을 전담

○ 중소 제조업의 내부 역량 부족은 정부 개입, 특히 스마트제조혁신추진단 중심의 보급·확산 사업 구조를 강화

- 스마트제조 보급·확산 정책은 중소 제조업을 대상으로 설계된 정책으로, 실제 참여 기업 역시 중소·중견 제조업이 대다수를 차지
- 중소 제조업은 만성적인 기술 인력 부족, 낮은 R&D 투자 수준, 비표준화된 공정·데이터 등으로 자체적인 전환이 어려움.
- 특히, 대규모 디지털 전환의 초기 비용(설비·기술·컨설팅·DB 구축)으로 중소기업이 자체 재원만으로 감당하기에는 어려움.
- 기술 인력 부족으로 인해 공정 분석, 요구 조건 정의, 솔루션 검토에 어려움을 겪으며, 공정 자체도 표준화되지 않은 경우가 많음.
- 중소 제조업은 수작업 비중이 높아 표준화된 상용 솔루션의 적용이 제한적이므로, 컨설팅-솔루션-SI-현장 적용까지 통합적인 대응책이 중요

〈표 2-3〉 2026년 스마트제조 혁신 지원사업 통합공고

세부 사업명		지원 과제 수	지원 기간 (개월)	지원 한도 (억 원)	지원 비율 (%)
1 스마트공장 구축	정부형	265	9	2	50
	부처협업형	150	9	2	50
	지역특화형	미정	9	2	50
	레전드50+	50	9	5	50
	도약(Jump-Up)	10	9	5	50
	자율형 공장	30	24	6	50
	제조 AI 특화	400	9	2	50
	대중소 상생형	250	9	1.2	30
	상생형 AI트랙	20	9	5	50
	디지털 협업공장	6	12	10	50
	R&D 성과 확산	20	12	5	50
2 자동화 지원	제조로봇 도입	180	8	2.5	50
	자동화 공정 구축	127	8	0.95	50
3 스마트공장 수준 확인		2,000	-	0.01	100
4 클라우드 제조 솔루션	단독형	7	8	2.5	50
	통합형	1	12	8	
5 공급 기업 역량 진단		775	-	0.01	80
6 제조DX 멘토단 활용 지원	사전 기획	500	3	0.02	85
	구축 지도	400	3	0.01	
	AX 기획	200	3	0.05	
	사후 관리	210	4	0.19	50
7 AI 응용제품 신속 상용화		45	24	30	80
8 제조데이터 상품 가공 지원, 가공기업 Pool 모집		-	-	-	-
9 제조데이터 상품 가공 지원		25	4	0.5	80
10 중소기업 스마트 서비스 지원	신규	150	6	0.5	50
	고도화	25	6	1	

(계속)

세부 사업명		지원 과제 수	지원 기간 (개월)	지원 한도 (억 원)	지원 비율 (%)
11 중소 제조 특화 Multi AI Agent 개발(R&D)	PoC	12	6	3	75
12 표준공정 기반 공정 최적화 기술 개발(R&D)	현장 진단	4	6	4.36	100
	R&D	10	24	10	75

자료: 중소벤처기업부(2026).[8)]
주: 지원 기간, 지원 한도, 지원 비율은 '최대'를 의미함.

- 한편, 경영자 의사결정도 단기 비용·단기 효과 중심으로 이루어져, 장기적 디지털 전환 투자에 대한 인식이 부족한 경우가 많음.
- 종합적으로, 중소기업 자체적인 디지털 전환 추진이 실질적으로 어렵고 정책 사업에 대한 의존도가 높은 구조

○ 또한 공급-도입 기업 간 정보 비대칭으로 인해 투자 위험이 높음.

- 국내 스마트제조 공급 기업 생태계는 소규모 SI(시스템 통합)·솔루션 기업이 다수로 공급 기업별로 품질·경험 편차가 큼.
- 중소 제조업의 경우 공급 기업의 기술·품질을 자체적으로 평가할 역량이 부족하여 업체 선택 단계에서부터 불확실성이 누적
- 나아가 기술 수준, 유지보수 능력, 실제 효과 등에 대한 정보 격차로 인한 자체 도입 리스크가 높음.

○ 종합하면, 중소기업은 자본·인력 여건이 열악해 자체 투자만으로 스마트제조의 적극적 도입이 어렵고, 사실상 스마트공장 보급·확산 사업이 대표적인 접근 경로로 작동

8) 중소벤처기업부(2025), "2026년 스마트제조 혁신 지원사업 통합공고", 중소벤처기업부 공고 제2025-574호, 10월 31일.

제3장

분석 자료 및 방법

1. 분석 자료

○ 본 연구는 스마트제조혁신추진단이 수집·관리하는 스마트공장 보급·확산 사업 관리 대장 자료를 활용

- 해당 데이터는 스마트제조혁신추진단의 스마트공장 사업 관리 대장을 원자료로, 2020~2023년까지 승인된 스마트공장 구축·고도화 사업의 개별 프로젝트 단위 정보를 포함[9)]
- 자료 단위는 과제×기업×연도로, 동일 기업이 여러 해 또는 동일 연도에 복수의 과제 신청 및 수행 가능
- 과제 정보에는 해당 과제의 선정 결과(선정/접수/미선정)과 함께, 도입 기술 유형(ERP, MES, WMS 등)과 수준(Lv. 0~Lv. 4) 등의 도입 기술 특성 정보가 포함됨.

9) 2024년 승인 과제는 아직 구축이 진행 중이므로, 완료 여부가 확인되지 않은 과제는 분석 대상에서 제외.

○ 이상의 스마트공장 도입 정보와 기업 재무 및 고용 자료를 연계한 기업×연도 패널데이터를 구축

- 스마트제조혁신추진단의 스마트공장 보급·확산 사업 대장 자료를 활용하여 도입 여부 및 시점, 도입 기술 유형(정보화·자동화·연결화·지능형 등), 도입 수준 등을 식별
- 종속변수인 상시근로자 수는 한국고용정보원의 고용보험DB를 활용
- 한국평가데이터(KED)의 기업별 재무자료를 활용하여 기업 규모, 업력, 재무 변수 등 기업 특성 변수를 정의

○ 스마트제조 도입 기술은 스마트제조 특수산업 분류[10]에 따라 크게 자동화, 연결화, 정보화, 지능화로 구분되며, 기술 간 특성 및 고도화 수준 차이가 존재

〈표 3-1〉 스마트제조 특수산업 분류 체계

영역	정의
① 자동화 기기	외부 환경을 인지하고 인간과 협업하거나 스스로 제조 작업을 수행하는 장비 (로봇, 머신비전 등)
② 연결화 기기	제조 데이터를 수집·전송하고 공정 제어를 위해 장비·시스템을 연결하는 장치 (각종 센서, 네트워크 장비 등)
③ 정보화 솔루션	제조·물류·경영 활동 전반을 관리·운영하는 정보 시스템 (물류·생산·경영정보 시스템 등)
④ 지능화 서비스	제조 데이터 분석·예측·최적화 및 가상 제조 구현을 위한 지능형 기술·서비스 (AI, CPS 등)

자료: 관계부처합동(2024).[11]

10) "스마트제조 전문기업 육성을 통한 스마트제조 혁신 생태계 고도화 방안(2024. 10. 2)"에서 스마트제조 특수산업 분류를 제시.
11) 관계부처합동(2024), "스마트제조 전문기업 육성을 통한 스마트제조 혁신 생태계 고도화 방안", 10월 2일.

〈표 3-2〉 스마트제조 특수산업 분류

영역	세부 분야		주요 내용
자동화 기기	산업용 로봇		외부 환경 인식, 상황을 판단하여 자율적으로 동작하는 기계
	스마트장비		3D프린터, 검사계측용 스마트머신, 프로그램 수치제어 자동화 기계 등
	식별 시스템/머신비전		영상 등 필요한 정보를 수집·저장·가공하여 목적에 맞는 작업을 수행하는 시스템·장비
연결화 기기	제어 시스템/컨트롤러		특정 작업이나 공정을 감시·제어하여 목표 결과를 얻는 시스템 및 장비
	센서/액추에이터		물리적·화학적 외부 자극을 전기신호로 변환·측정하는 장치 제어명령을 증폭하여 제어 대상을 구동하는 장치
	통신네트워크 장비		인터넷과 연결하기 위한 업링크와 다운링크 기능을 제공하는 유무선 통신장비
정보화 솔루션	생산관리 시스템	MES/POP	공장 운영 및 통제, 품질 관리, 생산 계획 등 제조 현장 관리·운영에 필요한 기능을 수행하는 시스템
		FEMS	에너지 측정·분석·제어를 통해 공장 내 에너지 공급 소비를 최적화하는 에너지 관리시스템
		CMMS	제품 품질 관리시스템 및 제조공정 설비 관리시스템
	물류관리 시스템	SCM/WMS	공급사슬 관리, 입출고 관리 등 가치사슬 관점에서 공급망 구성 요소들을 관리하는 시스템
	경영설계 관리시스템	ERP	경영활동 프로세스를 통합적으로 연계·관리하는 전사적 자원관리 시스템
		PLM/PDM	설계 등 제품 개발부터 폐기에 이르기까지 제품의 수명주기 전 과정의 데이터를 관리하는 시스템
지능형 서비스	클라우드 컴퓨팅		인터넷상의 서버를 통하여 데이터 저장, 네트워크 콘텐츠 사용 등 컴퓨팅 환경을 제공하는 플랫폼
	CPS/디지털 트윈		기계적인 메커니즘이 컴퓨터 기반의 알고리즘에 의해 제어되는 지능형 시스템
	제조 빅데이터/제조 AI		빅데이터 분석, 인공지능 등과 관련된 플랫폼
	AR/VR/MR		가상현실, 증강현실 환경을 제공하는 플랫폼
	컨설팅/사이버보안		정보시스템·정보화 전략(ISP) 등 컨설팅 기술적·물리적 보안 제공

자료: 관계부처합동(2024).[12)]

12) "스마트제조 전문기업 육성을 통한 스마트제조 혁신 생태계 고도화 방안"(2024. 10. 2).

- 스마트제조 특수산업 분류는 스마트제조 관련 다양한 기술 분야를 포괄하는 광의의 자동화 기술 분류 체계

- 구체적으로 산업용·지능형 로봇과 같은 자동화 기기, 센서·액추에이터 등 연결화 기기, ERP·MES 등을 포함하는 정보화 솔루션, 그리고 AI·CPS 등 지능형 서비스를 포괄하는 개념으로, 스마트제조 산업을 기술·기능 관점에서 재구성한 분류 체계[13)]

- 전통적인 자동화 영역인 산업용 로봇 등 단순한 기계 자동화에서부터 MES·ERP 중심의 정보화 솔루션, 그리고 AI·CPS 기반의 지능형서비스까지 기술 스펙트럼이 넓음.

- 이러한 기술적 차이는 다양한 종류의 스마트제조 기술 도입이 고용에 미치는 영향 또한 상이하게 나타날 가능성을 시사

- 예를 들어 선행연구에 따르면 로봇 도입에 따른 자동화는 단순 생산직무를 대체할 수 있으며, AI와 같은 지능화 기술 도입은 공정 관리·데이터를 다루는 새로운 직종의 수요를 창출할 가능

○ 스마트제조 보급·확산 사업 중 정보화 영역의 신청이 가장 높은 비중을 차지하며, 선정 비중 또한 가장 높은 것이 특징

- 이는 MES/POP, ERP 등 정보화 영역이 제조 디지털 전환의 초기 단계이자 핵심 기술임을 시사

- 한편, 자동화, 연결화, 지능형 영역은 선정 비중이 다소 낮게 나타났으며, 특히 지능형 영역의 경우 상대적으로 신청 규모와 선정률이 가

13) 일반적으로 활용하는 '표준산업분류'는 산업 간 경계를 명확하게 제시하지만, 스마트제조 기술은 자동차, 조선, 반도체, 가전 등 다수의 제조업에 공통으로 적용되는 특징으로 인해 전통적 산업분류로는 스마트제조의 특성과 영향을 명확하게 보여주는 것이 어려움.

〈표 3-3〉 도입 기술 영역별 스마트제조 신청/선정 여부

도입 시스템 분류	선정	미선정	합계
연결화	4,016	5,010	9,026
자동화	6,550	8,185	14,735
정보화	16,900	15,546	32,446
지능형	2,713	4,026	6,739
합계	31,743	34,012	65,755

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장 자료를 바탕으로 저자 작성.
주: 1) 도입 기술별 사업 신청 건수.
2) 특수 분류로 분류가 불가능한 기타는 제외.

장 낮은 것으로 나타남.

- 이는 AI 기반 고도화 기술이 상대적으로 높은 구축 난이도를 요구하는 반면, 이에 비해 실제 중소기업의 디지털 전환 수준과 준비도는 낮음을 시사

○ 한편, 스마트제조혁신추진단에 따르면 스마트제조의 수준은 기초-중간1-중간2-고도의 네 단계로 구분

- 기초 단계는 실적 집계 자동화, POP 기반 공정·물류 관리 등 부분적 정보화 수준에 해당

- 중간1 단계에서는 설비데이터 자동 집계, 기능 간 통합, 기술정보의 자동화 생성 등 실시간 판단과 기능 통합이 본격화

- 중간2 단계는 실시간 공장 제어, 시뮬레이션 기반 공정 자동화, 다품종 개발 협업 등 공장 운영의 통합 및 자동화가 심화된 수준을 의미

- 고도화 단계는 데이터 기반 의사결정과 공정 간 통합이 이루어지는 단계로, 자율제조 체제로의 전환 단계

〈표 3-4〉 스마트제조 수준

	현장 자동화	공장 운영	기업자원 관리	제품 개발	공급사슬 관리
고도	IoT/IoS 기반의 CPS화				인터넷 공간상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
	IoT/IoS화	IoT/IoS(모듈)화 빅데이터 기반의 진단 및 운영			
중간2	설비제어 자동화	실시간 공장제어	공장 운영 통합	시뮬레이션과 일괄 프로세스 자동화	다품종 개발 협업
중간1	설비데이터 자동 집계	실시간 의사결정	기능 간 통합	기술 정보 생성 자동화와 협업	다품종 생산 협업
기초	실적 집계 자동화	공정물류 관리 (POP)	관리 기능 중심 기능 개별 운용	서버를 통한 기술/납기 관리	단일 모기업 의존
ICT 미적용	수작업	수작업	수작업	수작업	전화와 이메일 협업

자료: 스마트공장사업 관리시스템(https://www.smart-factory.kr/usr/pr/sf/ma/smrtFctryIntrcn).

○ 스마트제조 도입 기업 대부분은 기초(1단계) 또는 초기 단계(중간1) 수준으로 도입

- 도입 전 수준이 0단계(미도입 상태)였던 기업 1만 5,767개 중 약 91.6%(1만 4,451개)가 도입 후 1단계로 진입
- 도입 전 수준이 1단계(기초)였던 기업 중 2단계를 도입한 기업도 68.3%(8,897개) 수준으로 다수를 차지하고 있으며, 동일한 수준으로 도입한 경우까지 고려하면 98.1%가 1~2단계 도입에 해당
- 그러나 고도화 단계(3~4단계)를 도입한 기업은 전체 도입 기업들 중 4.9%에 불과하여 중간2 이상의 시스템을 도입한 경우는 제한적인 수준에 불과

〈표 3-5〉 스마트제조 도입 전후 기술 수준 변화

도입 전 수준	도입 후 수준				합계
	기초(1)	중간1(2)	중간2(3)	고도화(4)	
미도입(0)	14,451	1,261	26	29	15,767
기초(1)	3,880	8,897	153	90	13,020
중간1(2)	1	1,706	968	89	2,764
중간2(3)	0	0	116	72	188
고도화(4)	0	0	0	4	4
합계	18,332	11,864	1,263	284	31,743

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장 자료를 바탕으로 저자 작성.
주: 1) 도입 기술별 사업 신청 건수.
2) 특수 분류로 분류가 불가능한 기타는 제외.

2. 분석 방법

○ 본 연구는 스마트제조 도입 기업과 미도입 기업을 대상으로, 스마트제조 도입 이후 고용 변화를 식별

- 스마트제조 도입 기업은 샘플기간(2017~2023) 동안 스마트공장 보급·확산 사업을 통해 스마트공장을 도입한 기업을 의미
- 미도입 기업은 샘플기간(2017~2023) 동안 스마트공장 보급·확산 사업에 지원하여 스마트제조 도입 의향은 있었으나, 미승인되어 도입하지 못한 기업을 의미[14)15)16)17)18)]

14) 스마트제조 기술 도입 전 기술 수준이 미도입인 기업을 대상으로 한 강건성 테스트의 추정 결과는 질적으로 유사하였는데, 해당 결과는 요청 시 제공 가능.
15) 2023년 스마트제조 보급·확산 사업에 지원하였으나 미선정된 기업을 통제집단으로 하는 강건성 테스트의 추정 결과는 질적으로 유사하였는데, 해당 결과는 요청 시 제공 가능.

○ 스마트제조 도입 기업과 미도입 기업의 도입 전후 고용 변화를 비교 분석하기 위해 이원고정효과모형(two-way fixed effect model)을 사용

- (종속변수) 기업별 상시근로자 수의 자연로그로 정의

- (독립변수) 스마트제조 도입(전체, 스마트제조 특수산업 분류별, 도입

---

16) 스마트제조 기술의 선택적 도입으로 인해 발생 가능한 도입 기업과 미도입 기업 간 이질성 문제를 완화하기 위해 최근접 이웃 매칭(nearest-neighbor matching)을 활용한 강건성 검증을 진행함. 여기서는 각 도입 기업에 대해 도입 이전의 기업 특성 벡터에 기반한 표준화 거리 지표(metric distance)를 최소화하는 미도입 기업(사업 미지원 기업)을 식별함. 매칭에 사용되는 도입 이전의 기업 평균 특성에는 lnEMP, lnAsset, Debt to Asset, Growth, Age 등을 포함함. 〈부표 2〉에서 확인할 수 있듯이, 매칭 이후 미도입 기업(사업 미지원 기업)은 주요 특성 측면에서 도입 기업과 매우 유사한 기업 집단으로 구성됨. 여기서 표준화 평균 차이(Standardized Mean Differences, SMD)는 두 집단의 평균 차이를 도입 기업과 미도입 기업(사업 미지원 기업)의 분산 평균의 제곱근으로 나눈 값으로 정의함(Rosenbaum and Rubin, 1985; Austin, 2009). 보편적인 기준이 존재하는 것은 아니지만, 일반적으로 SMD가 0.2, 0.5, 0.8일 때 각각 작은 효과, 중간 효과, 큰 효과로 해석됨(Austin, 2009; Cohen, 2013). 매칭 이후 대부분의 공변량에서 SMD는 0.1 이하이며, 일부 변수(예를 들면, lnEMP, lnAsset)의 경우 0.1~0.2 사이에 위치하여 통상적인 기준에 비추어볼 때 전반적으로 양호한 균형(balance)이 달성된 것으로 판단됨. 잔존하는 관측 가능한 기업 특성의 차이는 해당 변수를 회귀모형 내 통제변수로 포함함으로써 추가적으로 보정함. 이상의 매칭을 활용한 강건성 테스트의 추정 결과는 질적으로 유사하였는데, 해당 결과는 〈부표 3〉에 제시.

17) 한편, 〈부표 2〉에서 확인할 수 있듯이, 매칭 이전에 기업 규모(lnEMP, lnAsset) 측면에서 다소의 불균형이 존재하는 것으로 나타났으나, 과도한 불균형이 존재하지는 않는 것으로 판단됨. 관련하여 스마트제조 보급·확산 사업의 추진 기관인 스마트제조혁신추진단과의 정책협의회 내용에 따르면, 도입 기업의 기업 규모나 경영 성과 등이 아닌 사업 전과 후의 스마트제조 도입 수준을 사업 채택 기준으로 함(즉, 도입 이전 수준이 낮을수록, 도입 이후 수준이 높을수록, 도입 계획이 구체적일수록 채택 확률이 증가). 따라서 도입 기업과 미도입 기업의 매칭 이전의 다소 적은 기업 특성 불균형은 이상의 내용과 부합하는 결과인 것으로 판단됨.

18) 본 연구의 분석 대상인 스마트공장 보급·확산 사업은 2020~2023년에 수행된 사업으로, 코로나19 팬데믹 시기와 상당 부분 중첩. 따라서 코로나19로 인한 고용 충격과 그에 대응하는 정부의 고용유지 지원금 등 다양한 고용유지 지원 정책이 스마트제조 도입에 따른 고용 변화에 영향을 미쳤을 가능성이 존재. 이에 따라 팬데믹 충격과 정부의 대규모 고용유지 지원 정책이 집중적으로 시행된 시기의 스마트제조 보급·확산 사업을 배제하기 위해 2022~2023년 사업을 대상으로 강건성 검증을 실시. 〈부표 5〉에 따르면, 추정 계수의 방향, 수준, 유의성 등의 측면에서 일관되게 나타났는데, 이상의 결과는 본 연구의 주요 결과가 코로나19 팬데믹과 고용유지 지원 정책의 일시적 영향에 의해 유도된 것은 아님을 시사.

기술 특성별, 도입 기업 특성별) 이후 1, 아니면 0[19]

- (통제변수) 스마트제조 도입 외에 기업 규모, 부채 비율, 성장성, 업력 등 고용에 영향을 미칠 수 있는 기업 특성을 통제
- 기업 고유의 이질적인 특성(특히 관측 불가능한 특성)을 통제하고, 기업의 고용 결정에 영향을 미칠 수 있는 거시경제 환경 변화와 계절성 등을 고려하기 위해 기업 고정효과와 시간 고정효과를 포함[20]
- 마지막으로, 동일 업종에 포함된 기업들의 경영 환경과 의사결정 패턴의 가능한 유사성을 고려하기 위해 업종별(KSIC 중분류) 군집화 표준오차(clustered standard error)를 적용

$$\ln Emp_{it} = \beta_0 + \beta_1 Adoption_{it} + X'_{it}\gamma + \rho_i + \delta_t + \epsilon_{it}$$

- 여기서 X_{it}=통제변수; ρ_i=기업 고정효과; δ_t=시간 고정효과; ϵ_{it}=오차항

○ 추가적으로 이중차분법의 핵심 가정인 공통 추세 가정(parallel trends assumption)의 타당성을 검토하기 위해, 이하와 같은 일반화 이중차분모형(generalized difference-in-differences)을 추정

- 공통 추세 가정하에서는 스마트제조 기술을 도입한 그룹과 그렇지 않은 그룹은 기술 도입 이전에 고용 결정 측면에서 유사한 공통 추세를 따름.

---

19) 시점을 달리하여 복수의 스마트제조 기술을 도입한 경우 두 번째 도입 전의 기간을 메인 분석 기간으로 설정.

20) 추가적으로 업종별로 서로 상이한 경기적 변화를 통제하기 위해 업종별 시간 추세를 포함한 강건성 검증을 수행하였는데, 이상의 분석 결과는 〈부표 4〉에 제시.

$$\ln Emp_{it} = \beta_0 + \sum_{\tau=-6}^{-1} \beta_\tau Adoption_{it}^{\tau} + \sum_{\tau=0}^{3} \beta_\tau Adoption_{it}^{\tau} + X'_{it}\gamma + \rho_i + \delta_t + \epsilon_{it}$$

- 여기서 $Adoption_{it}^{\tau}$는 도입 기업 i가 스마트제조 기술을 도입한 시점(연도) t로부터 τ년 전(또는 후)에 해당하면 1, 아니면 0인 시간 더미 변수

- 특히, 기업별 스마트제조 기술 도입 시점이 이질적으로 나타남에 따른 처치효과의 이질성을 고려하기 위해, 시차적 이중차분법 모형(staggered difference in differences)을 구축하고 상호 작용 가중 추정량(interaction weighted estimator)을 활용(Sun and Abraham, 2021)

○ 나아가 스마트제조 특수산업 분류별, 도입 기술 특성별, 도입 기업 특성별 분석을 통해 다양한 스마트제조 도입 기술 및 기업 특성 차이에 따른 차별적 고용 변화를 식별

- (스마트제조 특수산업 분류별) 스마트제조 특수산업 분류에 따르면 도입 기술은 크게 하드웨어(자동화, 연결화)와 소프트웨어(정보화, 지능형) 기반 기술로 구분 가능하며, 자동화·연결화·정보화·지능화의 4대 영역과 ERP, MES, POP 등 17개 세부 분야로 구분

- (도입 기술 특성별) 도입 기술 수준에 따라 고도화 수준을 구분

- (도입 기업 특성별) 고용 수준, 자산 규모, 업력 등 도입 기업 특성 차이에 따라 스마트제조 기술 도입에 따른 고용 변화가 어떻게 차별적으로 나타나는지를 분석

○ 〈표 3-6〉과 〈표 3-7〉은 연구에 사용된 변수의 정의와 기초통계량을 제시

〈표 3-6〉 변수

		Variable	정의
종속변수		lnEmp	ln(고용자 수)
독립변수	도입 유무	Adoption	스마트제조 도입 이후 1, 아니면 0
	도입 기술 특성	Adoption(HW)	HW(자동화/연결화) 기술 도입 이후 1, 아니면 0
		Adoption(SW)	SW(정보화/지능화) 기술 도입 이후 1, 아니면 0
		Adoption(Advanced)	고도화 스마트제조 기술 도입 이후 1, 아니면 0
		Adoption(Level)	스마트제조 기술 도입 수준(0~4)
	스마트제조 특수산업 분류	자동화	자동화 기기 도입 이후 1, 아니면 0
		연결화	연결화 기기 도입 이후 1, 아니면 0
		정보화	정보화 솔루션 도입 이후 1, 아니면 0
		지능형	지능형 서비스 도입 이후 1, 아니면 0
		산업용 로봇	산업용 로봇 도입 이후 1, 아니면 0
		스마트장비	스마트장비 도입 이후 1, 아니면 0
		식별 시스템_머신비전	식별 시스템_머신비전 도입 이후 1, 아니면 0
		제어 시스템_컨트롤러	제어 시스템_컨트롤러 도입 이후 1, 아니면 0
		센서_액추에이터	센서_액추에이터 도입 이후 1, 아니면 0
		통신네트워크장비	통신네트워크장비 도입 이후 1, 아니면 0
		MES_POP	MES_POP 도입 이후 1, 아니면 0
		FEMS	FEMS 도입 이후 1, 아니면 0
		SCM_WMS	SCM_WMS 도입 이후 1, 아니면 0
		ERP	ERP 도입 이후 1, 아니면 0
		PLM_PDM	PLM_PDM 도입 이후 1, 아니면 0
		클라우드 컴퓨팅	클라우드 컴퓨팅 도입 이후 1, 아니면 0
		CPS_디지털 트윈	CPS_디지털 트윈 도입 이후 1, 아니면 0
		제조 빅데이터_제조 AI	제조 빅데이터_제조 AI 도입 이후 1, 아니면 0
		AR_VR_MR	AR_VR_MR 도입 이후 1, 아니면 0
통제변수		lnAsset	ln(자산)
		Debt to Asset	부채 비율(부채/자산)
		Growth	성장성(매출액/자산)
		Age	업력

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장, 고용정보원 고용보험DB, KED 자료를 바탕으로 저자 작성.

〈표 3-7〉 기초통계량

		Variable	N	Mean	SD	Min	Max
종속변수		lnEmp	109,186	2.717	1.4	0	8.833
독립변수	도입 유무	Adoption	109,186	0.27	0.444	0	1
	도입 기술 특성	Adoption(HW)	109,186	0.0913	0.288	0	1
		Adoption(SW)	109,186	0.243	0.429	0	1
		Adoption(Advanced)	109,186	0.0403	0.197	0	1
		Adoption(Level)	109,186	0.314	0.559	0	4
	스마트제조 특수산업 분류	자동화	109,186	0.0774	0.267	0	1
		연결화	109,186	0.0319	0.176	0	1
		정보화	109,186	0.242	0.428	0	1
		지능형	109,186	0.0285	0.166	0	1
		산업용 로봇	109,186	0.0039	0.0623	0	1
		스마트장비	109,186	0.0636	0.244	0	1
		식별 시스템_머신비전	109,186	0.0194	0.138	0	1
		제어 시스템_컨트롤러	109,186	0.0144	0.119	0	1
		센서_액추에이터	109,186	0.0251	0.157	0	1
		통신네트워크장비	109,186	0.00117	0.0342	0	1
		MES_POP	109,186	0.206	0.404	0	1
		FEMS	109,186	0.00217	0.0465	0	1
		SCM_WMS	109,186	0.00865	0.0926	0	1
		ERP	109,186	0.0421	0.201	0	1
		PLM_PDM	109,186	0.00861	0.0924	0	1
		클라우드 컴퓨팅	109,186	0.0258	0.158	0	1
		CPS_디지털 트윈	109,186	0.000485	0.022	0	1
		제조 빅데이터_제조 AI	109,186	0.00449	0.0668	0	1
		AR_VR_MR	109,186	0.000421	0.0205	0	1
통제변수		lnAsset	103,734	15.52	1.568	11.65	19.68
		Debt to Asset	103,614	2.89	5.795	-7.889	43.68
		Growth	103,436	1.174	0.917	0.0807	5.588
		Age	109,084	15.06	10.40	1	93

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장, 고용정보원 고용보험DB, KED 자료를 바탕으로 저자 작성.

3. 스마트제조 도입 현황 분석

○ 스마트제조 기술 도입 기업별 도입 연도를 분석한 결과, 전반적으로 2020년을 정점으로 도입이 감소하는 추세로 나타남.

- 기초 단계를 주로 지원한 신규 구축 사업은 2020년 최대 1억 원, 2021년 7,000만 원, 2022년 5,000만 원 등 지원 규모가 점차 축소되었으며, 2023년 이후 기초 단계 지원 사업이 축소되고 정부 일반형 사업으로 전환됨.

- 이러한 변화는 스마트제조 정책이 정량적 보급 확대에서 질적 고도화 중심으로 정책적 방향이 전환된 영향으로 판단됨.

- 즉, 정량적인 보급 확산에서 질적인 고도화로 정책적 방향성이 전환됨에 따라, 기초 단계 중심의 신규 도입 기업을 늘리기보다는 기존 도입 기업의 성과 관리 및 고도화에 더욱 집중

○ 한편, 스마트제조 보급·확산 사업은 정보화 솔루션 영역을 중심으로 진행되어 옴.

- 정보화 솔루션은 제조·물류·경영 활동 전반을 관리·운영하는 정보시스템으로, 생산 공정 데이터를 전산화·표준화·시각화하여 업무 효율성을 높이는 기술 영역

- 현재까지의 스마트제조 보급·확산 사업은 이상의 정보화 솔루션, 특히 MES/POP 도입을 중심으로 수행되어 옴.

○ 특히 2020년과 2023년의 도입 기술 분포를 비교하면, 도입 시점에 따라 도입 기술 구성이 변화하는 것으로 나타남.

〈표 3-8〉 스마트제조 도입 연도

단위: 기업 수

Variable	2020	2021	2022	2023
Adoption	4,568	3,203	2,112	566
스마트제조 하드웨어, 소프트웨어별 도입 연도				
HW	1,323	1,818	1,158	327
SW	4,215	2,906	1,874	477
스마트제조 분류별 도입 연도				
자동화	1,230	1,482	897	226
연결화	376	903	608	193
정보화	4,210	2,882	1,869	471
지능화	259	786	489	100
스마트제조 특수 분류별 도입 연도				
산업용 로봇	81	150	63	25
스마트장비	1,153	1,174	581	165
식별 시스템_머신비전	181	521	401	94
제어 시스템_컨트롤러	213	451	284	100
센서_액추에이터	283	731	486	157
통신네트워크장비	21	25	10	1
MES_POP	3,573	2,578	1,633	409
FEMS	47	54	46	31
SCM_WMS	183	165	89	17
ERP	775	600	284	75
PLM_PDM	191	116	59	9
클라우드 컴퓨팅	180	702	456	89
CPS_디지털 트윈	16	20	8	5
제조 빅데이터_제조 AI	123	149	64	24
AR_VR_MR	6	8	11	1

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장, 고용정보원 고용보험DB, KED 자료를 바탕으로 저자 작성.
주: 기업별 중복 도입이 허용되므로, 세분류 합계는 전체 합계와 상이.

- 2020년에는 소프트웨어 기반 기술인 정보화 솔루션이 대부분을 차지했으나, 이후 자동화·연결화·지능화 영역의 기술 비중이 점차 확대

- 따라서 스마트제조 도입에 의한 고용 변화 분석에 있어서 도입 기술 유형에 대한 이질성을 고려해야 할 필요

○ 스마트제조 도입 이후 도입 기업의 기술 수준 평가 결과, 대부분의 기업들이 기초, 중간1 수준으로 나타남.

- 기초 단계를 벗어난 중간1 수준 이상을 고도화 단계로 정의하였을 때 고도화 단계 도입 비율은 17%이며, 지능형 서비스, 연결화 기기, 자동화 기기의 순으로 고도화 수준 도입 비율이 높은 것으로 나타남.

- 그러나 중간2 이상의 고도화 단계 스마트제조 기술을 도입한 기업은 약 114개사에 불과하여 전체 도입 기업 중 1%에 불과

- 특히, 정보화 부문에서는 고도화 비율이 18%에 불과하고, 기초 단계 도입이 두드러지는 것으로 나타남.

- 이는 다년간의 스마트공장 보급·확산 사업에도 불구하고 고도화된 스마트제조 기술의 보급은 여전히 제한적임을 시사

○ 특히, 스마트제조 기술 도입 과정에서 다수의 기업은 MES·POP 등 정보화 솔루션을 기반으로 자동화·연결화·지능화를 결합하여 도입하는 경향

- 동일 기업이 정보화 솔루션을 기반으로 자동화, 연결화, 지능형 영역의 기술을 함께 도입하는 사례가 발생하면서 전체 대비 정보화 항목의 비중이 구조적으로 높게 관측

- 반면, 정보화를 제외한 나머지 영역에서 고도화로 이어지는 기업은

〈표 3-9〉 스마트제조 도입 기술 수준

	기초(1)	중간1(2)	중간2(3)	고도화(4)	전체	고도화 비율 (중간1 이상)
Adoption	8,638	1,697	79	35	10,449	17%
HW	3,440	1,102	61	23	4,626	26%
SW	7,713	1,646	78	35	9,472	19%
자동화	2,864	896	54	21	3,835	25%
연결화	1,397	632	36	15	2,080	33%
정보화	7,693	1,630	75	34	9,432	18%
지능형	1,102	474	42	16	1,634	33%

자료: 스마트제조혁신추진단 사업 대장 자료를 바탕으로 저자 작성.
주: 1) 기업별 중복 도입이 허용되므로, 세분류 합계는 전체 합계와 상이.
2) 고도화는 중간1 이상.

7.1%에 불과하여 정보화 없는 고도화는 소수로 나타남.

- 이는 고도화된 자동화·연결화·지능화는 실시간 데이터 관리·설비 이력 추적·품질 로그 연계가 필수적이기 때문에, MES/POP, ERP 등 정보화 솔루션이 사실상 기초 인프라로 작동하고 있음을 시사

제4장

스마트제조 도입에 따른 고용 변화 분석



○ 본 장에서는 스마트제조 도입 기업과 미도입 기업을 대상으로 스마트제조 도입 이후의 고용 변화를 식별

○ 나아가 스마트제조 특수산업 분류별, 도입 기술 특성별, 도입 기업 특성별 분석을 통해 다양한 스마트제조 도입 기술 및 기업 특성 차이에 따른 차별적 고용 변화를 식별

1. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화

○ 본 연구는 기업 단위의 스마트제조 도입 분석을 통해 광의의 자동화 기술 도입이 고용에 미치는 영향을 실증적으로 분석

- 스마트제조를 도입한 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 도입 이후 고용이 평균적으로 약 3% 증가하는 것으로 나타남.

- 이상의 결과는 현시점 제조업 전반에 도입되고 있는 제조 DX·AX 단

〈표 4-1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp	(3) lnEmp	(4) lnEmp
Adoption	0.044*** (0.006)	0.031*** (0.005)	0.042*** (0.007)	0.030*** (0.005)
lnAsset		0.525*** (0.014)		0.519*** (0.015)
Debt to Asset		-0.002*** (0.000)		-0.002*** (0.000)
Growth		0.136*** (0.009)		0.133*** (0.009)
Observations	112,152	106,051	109,169	103,136
R-squared	0.925	0.942	0.926	0.942
Control	n	y	n	y
Firm FE	y	y	y	y
Year FE	y	y	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

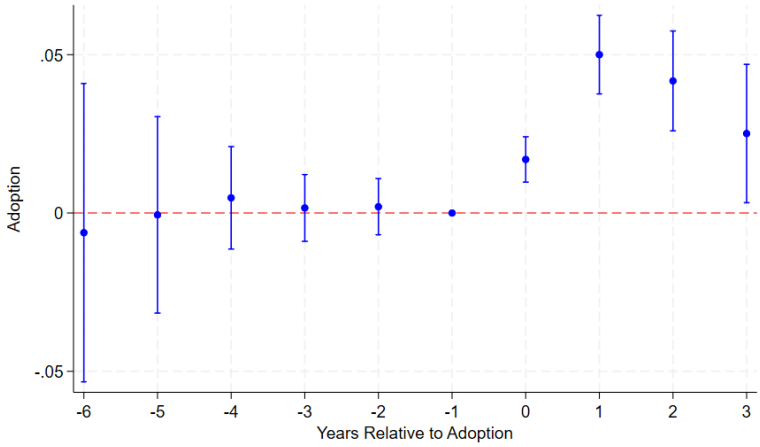
계 혹은 수준하에서, 자동화 기술 도입에 따른 고용 변화는 생산성 효과와 복귀 효과에 의한 긍정적 영향이 대체 효과에 의한 부정적 영향보다 더욱 강하게 작동하고 있음을 시사

○ 추가적으로, 일반화 이중차분법 모형의 결과는 이중차분법의 공통추세 가정을 뒷받침하는 것으로 나타남.

- 스마트제조 기술 도입 이전 기간 동안 시간 더미 변수의 추정계수들은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타남.[21]

21) 해당 계수의 점 추정치(point estimates) 등 자세한 분석 결과는 요청 시 제공 가능.

〈그림 4-1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화



자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

- 이는 스마트제조 기술 도입 기업과 미도입 기업이 도입 시점 이전 기간 동안 고용 변화에 있어 유사한 시간적 추세를 보였음을 시사

2. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 스마트제조 특수산업 분류별

○ 이상의 스마트제조 도입 이후 고용 증가는 소프트웨어 기반 기술의 도입에 기인[22]

22) Webb(2020)과 한지우·오삼일(2023)은 특허에서 추출한 기술의 기능·과업(task)을 직업별 직무기술서의 과업과 매칭하여, 특정 기술이 해당 직업을 얼마나 대체할 수 있는지를 나타내는 노출지수(exposure index)를 구축함. 즉, 실제 기술 도입이 아닌 기술에 대한 잠재적 노출 강도를 측정하는 반면, 본 연구는 다양한 스마트제조 기술의 실제 도입 여부를 이용해 고용 변화를 식별함.

〈표 4-2〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: HW vs. SW

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp
Adoption(HW)	0.007 (0.010)	−0.013 (0.017)
Adoption(SW)	0.035*** (0.005)	0.030*** (0.005)
Adoption(HW+SW)	-	0.030* (0.018)
lnAsset	0.518*** (0.015)	0.518*** (0.015)
Debt to Asset	−0.002*** (0.000)	−0.002*** (0.000)
Growth	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)
Observations	103,136	103,136
R-squared	0.942	0.942
Control	y	y
Firm FE	y	y
Year FE	y	y

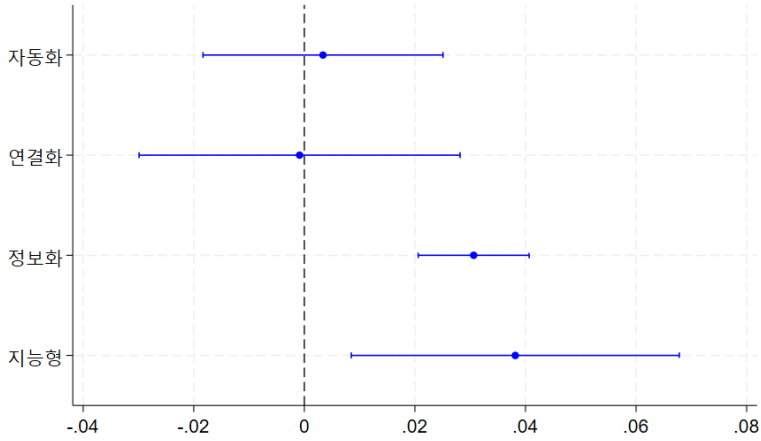
자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

- 소프트웨어 기반 기술 도입 기업은 미도입 기업에 비해 평균적으로 도입 이후 고용이 약 3% 증가하는 것으로 나타남.
- 하드웨어 기기의 경우 도입 이후 도입 기업과 미도입 기업의 고용 변화 차이가 통계적으로 유의미한 수준이 아닌 것으로 나타남.
- 다만, 하드웨어 기기 도입이라도 소프트웨어 기술과 함께 도입한 경우 평균적으로 도입 이후 고용이 증가하는 것으로 나타남.

○ 마찬가지로 스마트제조 도입 이후 고용 증가는 소프트웨어 기술 영역에 포함되는 정보화 솔루션 및 지능형 서비스 도입의 긍정적인 효과에 기반[23]

- 구체적으로, 스마트제조 특수산업 분류에 따른 세부 유형 중 MES/POP, ERP, 클라우드 컴퓨팅과 같은 소프트웨어 기반 기술의 도입 이후 고용 증가가 뚜렷하게 나타남.

〈그림 4-2〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별



자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
2) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

○ 한편, 스마트제조 특수산업 분류의 세부 분야별로 살펴보면, 전통적인 협의의 자동화 기술 도입, 특히 산업용 로봇 도입에 따른 직접적인 고용 감소 효과도 일부 식별됨.

23) 해당 계수의 점 추정치(point estimates) 등 자세한 분석 결과는 〈부표 1〉을 참조.

- 전통적인 협의의 자동화 기술 영역에 가까운 산업용 로봇의 경우 도입 이후 평균적으로 고용이 약 6% 감소하는 것으로 나타남.[24]

- 이는 산업용 로봇과 같이 직접적으로 물리적 작업을 자동화하는 기술의 경우(특히, 생산직을 중심으로 한) 대체 효과가 상대적으로 크게 작동할 수 있음을 시사

- 따라서 이상의 결과는 자동화 기술의 도입에 따라 고용이 감소한다는 대체 효과의 존재를 실증적으로 식별한 기존의 선행연구 결과와 부합

○ 식별 시스템/머신비전의 경우 도입 이후 평균적으로 고용이 증가하는 것으로 나타남.[25]

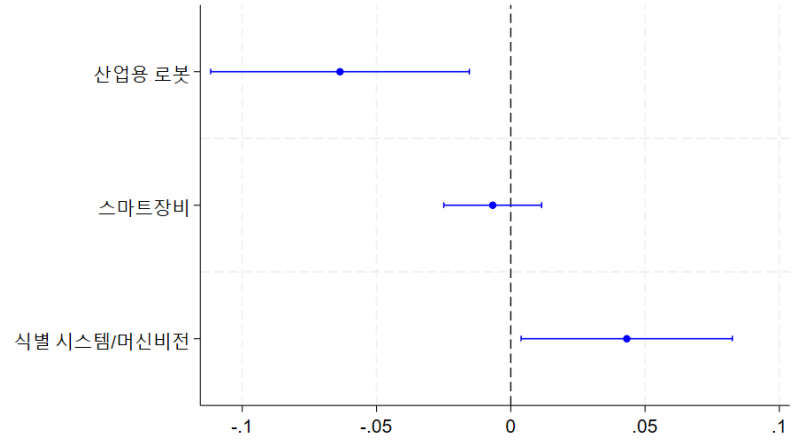
- 식별 시스템/머신비전의 경우 바코드, 머신비전 장비 등 생산 현장의 입력기기와 같은 하드웨어 기기에 해당되나, 정보화 솔루션이나 지능형 서비스와 같은 소프트웨어 기반 기술을 동반하는 자동화 기술 유형[26]

- 이상의 결과는 〈표 4-2〉의 분석 결과와 일치하는 것으로, 분류상 하드웨어 기술 영역에 포함되지만 기술 특성상 소프트웨어 기반 기술 활용을 위한 하드웨어 인프라적 특성을 보유함에 따라 고용 증가 효과가 우세하게 나타나는 것으로 판단됨.

○ 정보화 솔루션 영역 내 세부 분야를 살펴보면, MES/POP와 ERP 도입을 중심으로 기술 도입 이후 평균적으로 도입 기업의 고용이 증가하

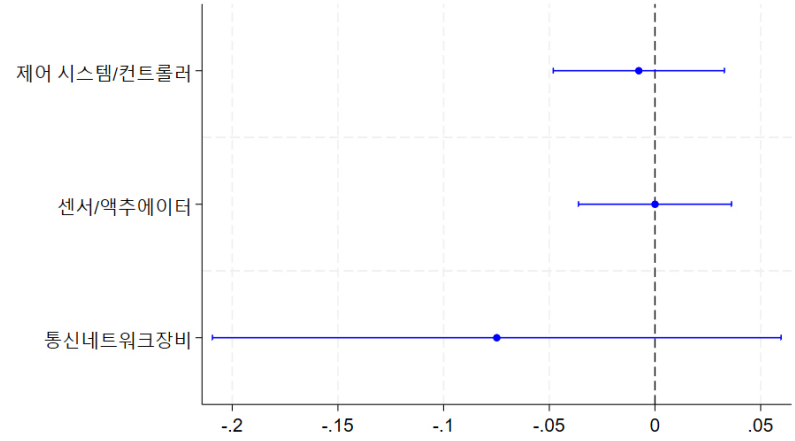
24) 관련 일반화 이중차분법 모형의 분석 결과는 〈부도 1〉을 참조.
25) 관련 일반화 이중차분법 모형의 분석 결과는 〈부도 2〉를 참조.
26) 산업연구원-스마트제조혁신추진단 정책협의회(2025. 12. 2).

〈그림 4-3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(자동화)



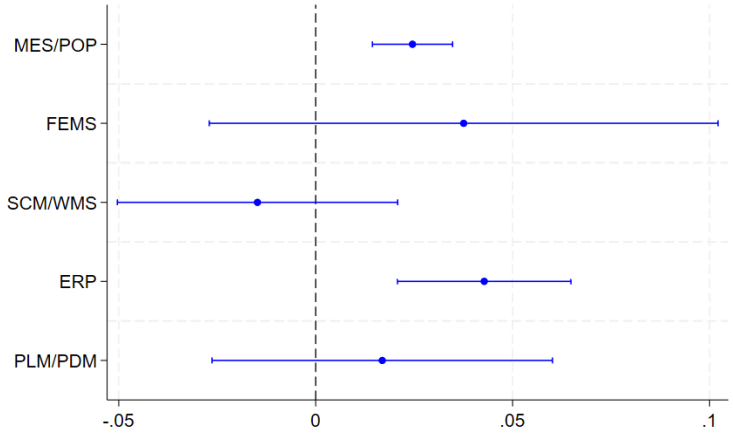
자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
2) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈그림 4-4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(연결화)



자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미
2) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈그림 4-5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(정보화)



자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
2) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

는 것으로 나타남.[27]

- 이는 MES/POP와 ERP와 같은 소프트웨어 기반 기술의 도입에서는 생산성 효과와 복귀 효과에 의한 긍정적 영향이 대체 효과에 의한 부정적 영향보다 더욱 강하게 작동하고 있음을 시사

- 특히 생산 계획, 품질 관리, 재고·출하 관리 등 전사적 업무 효율화를 통해 생산성이 확대되고, 이에 따라 추가 주문 대응, 시스템 운영·관리, 데이터 수집·관리·분석 등을 위한 노동 수요가 증가한 것으로 판단됨.

○ 지능형 서비스 영역 내 세부 분야를 살펴보면, 클라우드 컴퓨팅을 중심으로 기술 도입 이후 평균 고용이 증가한 것으로 나타남.[28]

27) 관련 일반화 이중차분법 모형의 분석 결과는 〈부도 3〉과 〈부도 4〉를 참조.
28) 관련 일반화 이중차분법 모형의 분석 결과는 〈부도 5〉를 참조.

- 이상의 결과는 클라우드 컴퓨팅은 인프라와 시스템을 외주화하지만, 설비·공정 맥락에 기반한 데이터 수집·품질 관리·해석·판단·조치 등 예지보전의 핵심 업무는 기업 내부에서 수행할 필요가 존재함에 따라 노동 수요가 증가할 수 있음을 시사

- 센서 데이터 수집·품질 관리, 설비 데이터 해석, 이상 탐지 결과 검증 등은 내부 엔지니어의 고유 역할이며, 예측 모델의 임계값 조정 및 보정 등 운영·관리 업무 또한 내부 기술자의 지속적인 참여를 필요로 함.

- 아울러 이러한 예지보전 업무 수행에 있어서 기존 인력을 재훈련시키는 비용이 신규 인력 고용 비용보다 더 크게 발생함에 따라[29], 클라우드 컴퓨팅 도입 이후 고용이 증가한 것으로 판단됨.

○ 다만, 지능형 서비스 영역 내 CPS/디지털 트윈(49개사), 제조 빅데이터/제조 AI(360개사), AR/VR/MR(26개사)과 같이 아직 구축 사례 수가 적은 기술 유형의 경우, 분석 결과의 해석에 유의할 필요

- 2023년까지의 분석기간하에서 지능형 서비스, 특히 클라우드 컴퓨팅(1,427개사)을 제외한 세부 분야의 경우 실제 구축 사례가 적은 편임에 따라 통계적으로 유의미한 결과를 도출하기 어려운 측면이 존재

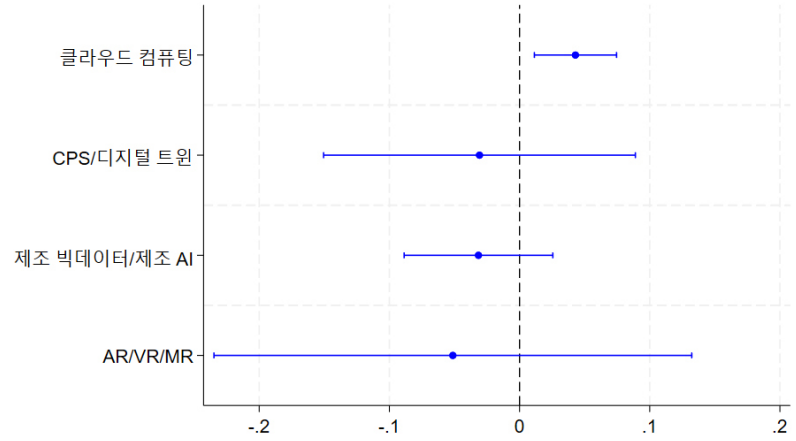
- 특히 제조 빅데이터/제조 AI와 관련하여 최근 선행연구에 따르면, AI 노출도가 높을수록 AI 관련 직종의 고용은 증가하는 것으로 나타남(Acemoglu et al., 2022; 장재기·김동근, 2025).

- 따라서 향후 제조 빅데이터/제조 AI 등의 구축 사례가 확대됨에 따라 후속 연구에서 더욱 심도 있게 다룰 필요가 존재

---

29) 산업연구원-스마트제조혁신추진단 정책협의회(2025. 12. 2).

〈그림 4-6〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별(지능형)



자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
2) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

3. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 도입 기술 특성별

○ 나아가 스마트제조 기술 도입에 따른 고용 변화는 기술 고도화 정도에 따라 상이한 것으로 나타남.

- 도입된 기술의 고도화 유무 또는 수준이 높을수록 스마트제조 도입 이후의 고용 증가 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.

- 이는 한편으로 이미 일정 수준의 자동화가 이루어진 기업일수록 더욱 고도화된 자동화에 따른 추가적(한계적) 생산성 효과와 복귀 효과가 제한적임에 따라 고용 증가 효과가 점차 축소될 수 있음을 시사

- 또한 고도화된 자동화 기술은 수행할 수 있는 업무의 잠재적 범위를

〈표 4-3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 고도화 유무 및 수준별

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp
Adoption	0.035*** (0.006)	0.051*** (0.014)
Adoption(Advanced)	-0.025** (0.011)	-
Adoption(Level)	-	-0.018* (0.010)
lnAsset	0.518*** (0.015)	0.518*** (0.015)
Debt to Asset	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)
Growth	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)
Observations	103,136	103,136
R-squared	0.942	0.942
Control	y	y
Firm FE	y	y
Year FE	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

확장함으로써 대체 효과가 상대적으로 커질 가능성도 존재

- 결론적으로, 이상의 결과는 자동화 기술의 고도화 수준이 높아질수록 추가적 생산성 효과와 복귀 효과는 점차 감소하고 동시에 대체 효과는 점차 커짐에 따라, 전체 고용 증가 효과의 점진적 감소가 나타날 수 있음을 시사[30]

30) 다만 2023년까지의 분석기간하에서 고도화 수준이 높아질수록 도입 기업의 비중이 작아

4. 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 도입 기업 특성별

○ 도입 기업의 규모(고용 수준, 자산 크기)가 클수록 스마트제조 기술 도입 이후의 고용 증가 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.

- 〈표 4-4〉는 고용 수준을 30인 미만, 30인 이상 100인 미만, 100인 이상으로 나눈 분석 결과를 보여주며, 기업의 고용 규모가 커질수록 도

〈표 4-4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 고용 수준별

VARIABLES	(1) 30인 미만 lnEmp	(2) 30인 이상 100인 미만 lnEmp	(3) 100인 이상 lnEmp
Adoption	0.046*** (0.007)	0.018* (0.010)	−0.014 (0.011)
lnAsset	0.508*** (0.011)	0.537*** (0.031)	0.516*** (0.049)
Debt to Asset	−0.002*** (0.000)	−0.000 (0.001)	−0.000 (0.001)
Growth	0.135*** (0.008)	0.137*** (0.018)	0.074** (0.036)
Observations	70,580	23,051	9,505
R-squared	0.853	0.686	0.894
Control	y	y	y
Firm FE	y	y	y
Year FE	y	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

짐(중간2와 고도화 단계의 비중은 전체의 약 4.9%)에 따라 분석 결과의 해석에 다소 유의할 필요가 존재함. 따라서 향후 중간2와 고도화 단계의 구축 사례가 확대됨에 따라, 후속 연구에서 고도화 수준별 스마트제조 도입에 따른 차등적인 고용 변화에 대해 더욱 심도 있게 다룰 필요가 존재.

입 이후 평균적인 고용 증가 효과는 4.6%, 1.8%, 0%로 점진적으로 감소함.

- 마찬가지로 〈표 4-5〉의 (2)는 스마트제조 도입 더미와 자산의 교차항을 활용한 분석 결과를 보여주며, 재무적 측면에서의 기업 규모가 커질수록 도입 이후 고용 증가 효과가 점진적으로 감소함.

○ 한편, 도입 기업의 업력이 높을수록 스마트제조 기술 도입 이후의 고용 증가 효과도 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.

〈표 4-5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 업력 및 규모별

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp
Adoption	0.201*** (0.009)	0.317*** (0.064)
Adoption×Age	-0.010*** (0.001)	-
Adoption×lnAsset	-	-0.018*** (0.004)
lnAsset	0.494*** (0.014)	0.519*** (0.014)
Debt to Asset	-0.001*** (0.000)	-0.002*** (0.000)
Growth	0.131*** (0.009)	0.134*** (0.009)
Observations	103,108	103,136
R-squared	0.943	0.942
Control	y	y
Firm FE	y	y
Year FE	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

- 〈표 4-5〉의 (1)은 스마트제조 도입 더미와 업력과의 교차항을 활용한 분석 결과를 보여주며, 업력이 1년 증가할 때마다 도입 이후 고용 증가 효과가 0.1%씩 감소하는 것으로 나타남.

○ 결과적으로, 스마트제조 기술 도입에 따른 고용 변화는 도입 기업의 특성에 따라 상이한 것으로 나타남.

- 특히 기업의 규모(고용, 자산)가 크고 업력이 높을수록 스마트제조 도입 이후의 고용 증가 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.

- 이는 한편으로 대규모·고업력 기업일수록 이미 정교화된 공정과 조직 시스템을 보유하고 있어, 스마트제조 도입을 통해 기대할 수 있는 추가적(한계적) 생산성 효과와 복귀 효과가 제한적일 수 있음을 시사

- 또한 대규모·고업력 기업일수록 공정 표준화와 자본집약적 운영 구조를 기반으로 대량생산과 규모의 경제를 실현하고 있어, 자동화 기술 도입 시 단위 비용 절감 효과 및 노동 대체 효과가 상대적으로 크게 작동할 가능성도 존재

- 결론적으로, 이상의 결과는 대규모·고업력 기업일수록 추가적인 생산성 효과와 복귀 효과는 점차 감소하는 반면, 대체 효과는 점차 커짐에 따라 전체 고용 증가 효과의 점진적 감소가 나타날 수 있음을 시사

5. 스마트제조 우수 구축 사례 분석

○ 스마트공장 우수 구축 사례 7건을 분석한 결과, 도입 기업별로 0명에서 최대 16명까지의 긍정적인 고용 증가가 발생한 것으로 관찰됨.

〈그림 4-7〉 ㈜힘펠 도입 성과



자료: 스마트제조혁신추진단(2022), "(주)힘펠" 스마트공장 보급 우수 기업 사례.

- 예를 들어 힘펠, 케이이씨, 화요 등의 기업은 스마트제조 기술 도입 이후 공정 효율화 및 생산성 향상뿐만 아니라 고용도 3~14명 수준으로 증가

- 특히 ERP, MES 등 전사적 관리 기술을 도입한 기업에서 고용이 증가한 것으로 나타났는데, 이는 생산 계획, 품질 관리, 재고·출하 관리 등 전사적 업무 효율화를 통해 생산성이 확대됨에 따라 노동 수요가 증가한 것으로 판단됨.

○ 반면, 자동화 기기를 도입한 기업에서는 고용이 유지되거나 1명 수준의 소폭 증가가 나타남.

- 대양롤랜드의 경우 자동화 기기 도입 이후 고용을 소폭 늘린 것으로 나타났는데, 이는 자동화 기기 도입 이후 노동 대체 효과보다 작업 자동화, 휴먼 에러 감소, 공정 안정화 등을 통한 생산성 향상이 더욱 우세하게 나타났음을 시사

○ 이상의 우수 구축 사례 분석 결과는 실증분석 결과와 마찬가지로 스마트제조 기술 도입 이후 생산성 효과와 복귀 효과 등에 의한 고용 창출 효과가 대체 효과보다 더욱 강하게 작동하고 있음을 시사

〈표 4-6〉 스마트제조 우수 구축 사례

도입 연도	도입 사업장	구축 내역	주요 성과	고용 창출
2021	㈜케이이씨 구미사업장	FEMS (중간1)	• 에너지 사용량 -0.9%, • 에너지 비용 -10%	3명 (2019~2020년)
2021	㈜힘펠	ERP, MES (중간1)	• 생산성 향상률 14% • 자재비 제품 재고 12% 감축	12명 (2019~2020년)
2021	에이치엔에스 하이텍㈜	MES (기초)	• 고객 라벨 불량 클레임 건수 -100% • 출하 라벨 출력 -50% • 공정 불량률 -4%	9명 (2019~2020년)
2020	대양롤랜드㈜	자동화 기기 (기초)	• 생산량 200% 증가 • 공정 불량률 50% 감소 • 작업공수 55% 감소	1명 (2018~2019년)
2020	오토스윙	PLM (기초)	• 1인당 생산대수 증가율 31% • 공정 불량률 0.93% 감소 • 제조원가 11% 감소	1명 (2018~2019년)
2020	㈜화요	MES, QR (중간1)	• 생산성 향상률 6% • 직원 수 증가율 20% • 수기 입력 및 모니터링 소요시간 감소율 96%	14명 (2019~2020년)
2022	㈜웰메이드 생활건강	MES (기초)	• 생산성 향상 15% • 공정 불량률 감소 40% • 매출 증가 10% • 납기 단축 40%	0명 (2020~2021년)

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트공장 사업관리시스템 내 우수 구축 사례를 바탕으로 산업연구원 정리, https://www.smart-factory.kr/usr/pr/ec/ma/exclncCnstcCase(검색일: 2025. 11. 29).

- 특히 이러한 사례들은 대부분 스마트제조 도입 초기 단계로, 초기 단계에서 고용 창출 효과는 상대적으로 강하게 나타나는 반면, 대체 효과는 제한적

○ 다만 분석 대상은 정부 지원 스마트공장 사업을 통해 도입 성과가 검증된 우수 기업 사례로, 본래 스마트제조 도입 이후 성과가 상대적으로 양호한 기업이 포함될 가능성 존재

- 추가적으로 우리나라 노동시장은 정규직 중심의 고용구조, 강한 해고 규제, 임금·근로조건 조정 등의 경직성 등으로 인해 단기적 조정이 어려울 수 있기 때문에 분석 결과의 해석에 다소 유의할 필요가 존재

제5장

주요 연구 결과 및 정책적 시사점

1. 주요 연구 결과

○ 본 연구는 기업 단위의 스마트제조 도입 분석을 통해 광의의 자동화 기술 도입이 고용에 어떤 영향을 미치는지 실증적으로 분석

- 스마트제조를 도입한 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 도입 이후 고용이 평균적으로 약 3% 증가하는 것으로 나타남.
- 이러한 결과는 소프트웨어 기반 기술의 도입, 특히 정보화 솔루션 및 지능형 서비스 도입의 긍정적인 효과에 기반
- 구체적으로, 스마트제조 특수산업 분류에 따른 세부 유형 중 MES/POP, ERP, 클라우드 컴퓨팅과 같은 소프트웨어 기반 기술의 도입 이후 고용 증가가 뚜렷하게 나타남.
- 이상의 결과는 현시점 제조업 전반에 도입되고 있는 제조 DX·AX 단계 혹은 수준하에서, 자동화 기술 도입에 따른 고용 변화가 생산성 효과와 복귀 효과에 의한 긍정적 영향이 대체 효과에 의한 부정적 영향

보다 더욱 강하게 작동하고 있음을 시사

○ 한편, 전통적인 협의의 자동화 기술 도입, 특히 산업용 로봇 도입에 따른 직접적인 고용 감소 효과도 일부 식별됨.

- 전통적인 협의의 자동화 기술 영역에 가까운 산업용 로봇의 경우 도입 이후 평균적으로 고용이 약 6% 감소하는 것으로 나타남.

- 이는 산업용 로봇과 같이 직접적으로 물리적 작업을 자동화하는 기술의 경우(특히, 생산직을 중심으로 한) 대체 효과가 상대적으로 크게 작동할 수 있음을 시사

- 따라서 이러한 결과는 자동화 기술의 도입에 따라 고용이 감소한다는 대체 효과의 존재를 실증적으로 식별한 기존의 선행연구 결과와 부합

○ 나아가 자동화 기술 도입에 따른 고용 변화는 자동화 기술의 고도화 정도에 따라 상이한 것으로 나타남.

- 도입된 자동화 기술의 고도화 정도가 높을수록 스마트제조 도입 이후의 고용 증가 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.

- 이는 한편으로 이미 일정 수준의 자동화가 이루어진 기업일수록 더욱 고도화된 자동화에 따른 추가적(한계적) 생산성 효과와 복귀 효과가 제한적임에 따라 고용 증가 효과가 점차 축소될 수 있음을 시사

- 다른 한편으로 고도화된 자동화 기술은 수행할 수 있는 업무의 잠재적 범위를 확장함으로써 대체 효과가 상대적으로 커질 가능성도 존재

- 결론적으로, 이상의 결과는 자동화 기술의 고도화 수준이 높아질수록 추가적 생산성 효과와 복귀 효과는 점차 감소하고 동시에 대체 효과는

점차 커짐에 따라 전체 고용 증가 효과의 점진적 감소가 나타날 수 있음을 시사

○ 마찬가지로 자동화 기술 도입에 따른 고용 변화는 도입 기업의 특성에 따라 상이한 것으로 나타남.

- 특히 기업의 규모(고용, 자산)가 크고 업력이 높을수록 스마트제조 도입 이후의 고용 증가 효과는 점진적으로 감소하는 것으로 나타남.
- 이는 한편으로 대규모·고업력 기업일수록 이미 정교화된 공정·조직 시스템을 보유하고 있어, 스마트제조 도입을 통해 기대할 수 있는 추가적(한계적) 생산성 효과와 복귀 효과가 제한적일 수 있음을 시사
- 다른 한편으로, 대규모·고업력 기업일수록 공정 표준화와 자본집약적 운영 구조를 기반으로 대량생산과 규모의 경제를 실현하고 있어, 자동화 기술 도입 시 단위 비용 절감 효과 및 노동 대체 효과가 상대적으로 크게 작동할 가능성도 존재
- 결론적으로, 이상의 결과는 대규모·고업력 기업일수록 추가적인 생산성 효과와 복귀 효과는 점차 감소하고 동시에 대체 효과는 점차 커짐에 따라 전체 고용 증가 효과의 점진적 감소가 나타날 수 있음을 시사

2. 정책적 시사점

(1) 산업정책적 관점에서의 제조 DX·AX 정책 방향

○ 본 연구의 분석 결과를 종합해 보면, 최근의 일부 기사나 연구에서 제

기되어 온 자동화로 인한 일자리 감소에 대한 우려는 현시점에서는 과도한 측면이 있음.

- 본 연구 결과, 현재 제조 DX·AX 단계에서는 생산성 효과와 복귀 효과 등에 의한 고용 창출 효과가 대체 효과보다 더욱 강하게 작동하고 있는 것으로 나타남.

- 즉, 현 단계의 자동화 기술 도입은 전반적으로 고용을 증가시키는 방향으로 작동하고 있으며, 대체 효과가 우세하게 나타나는 단계는 아직 도달하지 않은 것으로 판단됨.

- 따라서 제조 DX·AX는 시대적 흐름일 뿐만 아니라, 자율제조 생태계 조성을 통한 국내 기업 및 국가 경쟁력 강화를 위해 국가 차원의 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책을 지속적으로 추진해야 할 필요

○ 나아가 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책은 단순한 자동화 기술 지원을 넘어, 중소기업의 스케일업(scale-up)을 촉진하는 핵심 정책 수단으로 활용 가능

- 본 연구 결과, 자동화 기술 도입에 따른 고용 창출 효과는 기업 규모가 작고 업력이 낮은 기업일수록 크게 나타남.

- 따라서 제조 DX·AX 보급 및 확산 정책을 단순 자동화 기술 도입 지원을 넘어 중소기업 성장 정책의 중요한 축으로 적극적으로 활용할 필요

- 이러한 관점에서 현재 중점적으로 추진 중인 스마트공장 고도화 사업뿐만 아니라 기존의 기초 수준 중심의 스마트공장 보급·확산 사업을 제조 DX·AX 정책 및 중소기업 스케일업 정책의 중요한 정책적 도구로 지속 수행할 필요

○ 마지막으로 AI·데이터 기반 자율제조 단계로 나아가기 위해서는 가치사슬 전반에서 생성되는 제조 데이터의 수집 및 활용이 가능한 데이터 생태계 구축이 필수적이며, 이를 위해 기존 중소기업 중심의 기초 단계 스마트제조 보급·확산 사업의 지속 운영 및 확대가 필요

- 대기업은 대규모 자본투자와 자체 도입 시스템을 통해 자동화 및 데이터 인프라를 비교적 쉽게 구축할 수 있으나, 중소기업은 기술·자본 제약으로 데이터 기반 운영체계를 갖추기 어려운 실정

- 특히 우리나라는 대기업–중소기업 간 하도급 중심의 공급망 구조로 인해 최종재 생산 과정에서 생성되는 대기업의 제조 데이터는 마련되어 있으나, 중소기업의 중간재 생산 단계에서의 데이터는 충분히 축적·활용되지 못하고 있는 실정

-이에 따라 가치사슬 전반의 데이터가 연결되지 못하면 제조 데이터 생태계가 불완전한 상태에 머무르게 되며, 이는 AI·데이터 기반 자율제조 단계로의 진화를 제약

- 따라서 중소기업의 생산 과정에서 생성되는 데이터 인프라 확충은 전체 제조 데이터 생태계의 토대를 구축하는 핵심 요소이며, 자율제조 단계로 나아가기 위한 뿌리 역할을 수행

○ 다만, 향후 우리의 산업정책적 목표인 제조 DX·AX를 통한 자율제조(autonomous manufacturing) 단계로 진입할수록 대체 효과가 확대되는 것은 필연적일 것으로 예상됨.

- 우리가 지향하는 자율제조는 AI·로봇·디지털 트윈 등을 기반으로 무인·자율 운영이 심화되는 단계로, 이러한 단계로 고도화될수록 대체 효과가 더욱 우세해지는 것은 개념적·구조적으로 필연적임.

- 앞선 분석 결과와 같이 자동화 기술이 고도화될수록 생산성 효과 및 복귀 효과는 약화되고 대체 효과는 강화될 가능성이 존재하는 것으로 나타남.

- 따라서 자율제조 생태계 확립을 위한 제조 DX·AX 정책과 함께 미래 자율제조 단계에 부합하는 중장기적 관점에서의 교육·인력 정책의 정비와 개선이 필요한 시점

(2) 제조 DX·AX 활성화를 위한 IT 교육의 관점 전환

○ 본 연구는 생성형 AI의 본격적인 활용이 시작된 2025년 이전의 데이터를 분석하고 있어, 향후 DX·AX의 영향은 이보다도 더 복합적인 경로로 나타날 가능성이 존재

- 코로나19 회복기 동안의 디지털 전환은 IT 코딩 개발자의 인력난과 임금 상승을 야기하였으나, 생성형 AI 기술 성능 향상으로 인해 현재는 소프트웨어 개발·공급업을 중심으로 IT 개발자에 대한 신입 채용이 축소되고 있으며, 이미 20대 개발자의 고용 하락이 관측되고 있음.

- DX·AX는 동일 기업(특히, 대기업) 내부에서 팀 단위 프로젝트로 수행될 수도 있으나, 솔루션·플랫폼을 제공하는 공급 기업과 이를 활용하는 수요 기업 간 분업이 심화되며 BtoB 서비스 형태로 다각화·고도화되고 있음.

○ 외부의 DX·AX 공급 기업은 문제를 해결할 기술적 수단(IT knowledge)은 가지고 있지만, 수요 기업의 문제 자체를 설정하거나 우선순위를 결정할 도메인 지식과 역량(domain knowledge)은 부족

- 수요 기업의 입장에서는 제조 데이터 생성 및 관리, 인프라·컴퓨팅 리소스, 클라우드·서버, LLM 등 AI·플랫폼 활용, 능동형 서비스 시스템(agentic service system) 등의 개발·운영·유지보수 중 어느 범위까지를 아웃소싱하고 어느 영역부터 기업 내부에서 직접 담당할 것인지에 대한 판단이 핵심적인 경영 의사결정 문제로 부상

- 이 과정에서 AI 기술 발전 속도에 맞춰 성능, 가격, 보안에 대한 조건이 가까운 미래에 크게 뒤바뀔 수 있는 상황이기에 기업이 필요로 할 노동자의 업무를 단정적으로 예측하기는 어려운 시점임.

-다만, SaaS 등 외부 솔루션을 적극적으로 활용하더라도 해당 업종에 대한 도메인 지식과 규제, 거래 관행, 현장 프로세스, 리스크 등에 대한 심층적인 이해는 기본적으로 수요 기업이 보유한 무형자산임.

○ 이 과정에서 DX·AX 추진을 위해 도메인 지식이 뛰어나고 의사결정 권한을 가진 경영진 및 임원, 기존 팀장급 이상의 핵심 인력이 DX·AX의 개념과 주요 솔루션 유형, 적용 사례에 대해 사용자 관점에서의 이해도를 높이는 것이 매우 중요함.

-어느 영역에 자동화 기술을 도입할지에 대한 방향을 설정한 후, 제조 서비스 솔루션 업체와의 컨설팅을 거치며 단계별 아웃소싱 범위와 직접 운영을 위한 인적·물적 자원의 종류와 규모를 파악하는 것이 중요

○ 결과적으로 기존 경력 직원 및 임원을 대상으로 한 DX·AX 교육이 현 시점에서 가장 중요하며, DX·AX 유지·보수·운영을 담당할 인력의 신규 채용도 적절한 선택으로 판단됨.

- 현재의 대학교육과 KDT(K-Digital Training) 등 직업훈련은 청년층

무경력자를 대상으로 IT 공급자(개발자·엔지니어)로 양성하는 교육을 실시하는 데 주안점을 두고 있음.

- 이에 더하여 현재 제조 DX·AX를 통한 중소기업 혁신에 실질적으로 중요한 것은 재직자 훈련으로, 도메인 지식이 뛰어난 에이스 직원 및 임원급을 대상으로 한 DX·AX 수요자 교육임.

○ 이러한 재직자 중심 IT·AI 수요 역량 강화 교육을 체계화하기 위하여 중소벤처기업부, 산업통상부, 과학기술정보통신부 등 관계 부처가 역할을 분담하고, 우리나라 중소 제조기업의 특성에 맞는 공통 프로그램 개발과 제조서비스 전문기업과의 연계를 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

참고문헌

국내 문헌

- 관계부처합동(2023), "新 디지털 제조혁신 추진전략", 비상경제장관회의 23-21-2, 9월 18일.
- ____(2024), "스마트제조 전문기업 육성을 통한 스마트제조 혁신 생태계 고도화 방안", 10월 2일.
- 길은선·조은교·김동근(2024), 「반도체·자동차·철강 산업의 은퇴 전망과 인력 수급 이슈 연구」, 수탁과제.
- 산업연구원(2025), 「스마트제조 전문기업 지정제도 운영방안 연구용역」, 수탁과제.
- 장재기·김동근(2025), 「인공지능의 고용 효과 분석: 직종별 차별적 영향을 중심으로」, ISSUE PAPER 2025-3, 산업연구원.
- 정순기 외(2023), 「디지털 기반 기술혁신과 인력 수요 구조 변화」, 기본사업 2023-034, 한국고용정보원.
- 중소벤처기업부(2025), "2024년 스마트제조혁신 실태조사 결과 발표", 보도자료, 4월 29일.
- ____(2025), "2026년 스마트제조 혁신 지원사업 통합공고", 중소벤처기업부 공고 제2025-574호, 10월 31일.
- 한국고용정보원(2023), 「디지털 기반 기술혁신과 인력 수요 구조 변화」.
- 한성민 외(2025), 「대한민국 인구전략 수립 연구」, 경제인문사회연구회 협동과제.
- 한요셉(2023), 「인공지능으로 인한 노동시장의 변화와 정책방향」, 연구보고서 2023-03, 한국개발연구원.
- 한지우·오삼일(2023), "AI와 노동시장 변화", 「BOK 이슈노트」, 제2023-30호.

해외 문헌

- Acemoglu, D. and D. Autor(2011), "Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings", In *Handbook of labor economics*,

Vol. 4, Elsevier, pp. 1043-1171.
- Acemoglu, D. and P. Restrepo(2018), "Artificial Intelligence, Automation and Work", NBER Working Paper.
- ____(2020), "Robots and jobs: Evidence from US labor market", *Journal of Political Economy*, 128(6).
- ____(2022), "Tasks, automation, and the rise in US wage inequality", *Econometrica*, 90, pp. 1973-2016.
- ____(2022), "The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment", *American Economic Review*, 108, pp. 1488-1542.
- Acemoglu, D., D. Autor, J. Hazell, and P. Restrepo(2022), "Artificial intelligence and jobs: evidence from online vacancies", *Journal of Labor Economics*, 40(S1), S293-S340.
- Acemoglu, D., H. Koster, and C. Ozgen(2023), "Robots and Jobs: Evidence from the Netherlands", NBER Working Paper w31009.
- Austin, P. C.(2009), "Balance Diagnostics for Comparing the Distribution of Baseline Covariates between Treatment Groups in Propensity-score Matched Samples", *Statistics in Medicine*, 28(25), pp. 3083-3107.
- Bessen, James(2016), "How computer automation affects occupations: Technology, Jobs, and Skills", Law & Economics Working Papers, Boston University school of Law.
- Boustan, L., J. Choi, and D. Clingingsmith(2022), "Automation After the Assembly Line: Computerized Machine Tools, Employment and Productivity in the United States", NBER Working Paper 30400.
- Brynjolfsson, E., D. Li, and L. Raymond(2025), "Generative AI at Work", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 140, pp. 889-942.
- Brynjolfsson, E., T. Mitchell, and D. Rock(2018), "What can machines learn, and what does it mean for occupations and the economy?", *AEA Papers and Proceedings*(2018), 108, pp. 43-47.

- Chung, J. and Y. Lee(2023), "The evolving impact of Robots on Jobs", *ILR Review*, vol. 76.
- Cohen, J.(2013), *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*(2nd ed.), New York, NY: Routledge.
- Dauth, W., S. Findeisen, J. Suedekum, and N. Woessner(2021), "The Adjustment of Labor Markets to Robots", *Journal of the European Economic Association*, 19(6), pp. 3104-3153.
- Felten, E., M. Raj, and R. Seamans(2021), "Occupational, industry, and geographic exposure to artificial intelligence: A novel dataset and its potential uses", *Strategic Management Journal*, 42(12), pp. 2195-2217.
- Georgieff, A. and R. Hyee(2021), "Artificial intelligence and employment: New cross-country evidence", OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 265.
- Hémous, D. and M. Olsen(2022), "The Rise of the Machines: Automation, Horizontal Innovation, and Income Inequality", *American Economic Journal: Macroeconomics*, 14, pp. 179-223.
- Koch, M., I. Manuylov, and M. Smolka(2021), "Robots and firms", *The Economic Journal*, 131(638), pp. 2553-2584.
- Noy, S. and W. Zhang(2023), "Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence", *Science*, Vol. 381, no. 6654.
- Rockall, E., M. Tavares, and C. Pizzinelli(2025), "AI Adoption and Inequality", IMF working papers.
- Rosenbaum, P. R. and D. B. Rubin(1985), "Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods That Incorporate the Propensity Score", *The American Statistician*, 39(1), pp. 33-38.
- Sun, L. and S. Abraham(2021), "Estimating Dynamic Treatment Effects in Event Studies with Heterogeneous Treatment Effects", *Journal of Econometrics*, 225(2), pp. 175-199.

・Webb, Michael(2020), “The impact of artificial intelligence on the labor market”, Unpublished manuscript, Stanford.

온라인 자료

・스마트제조혁신추진단(2025), “추진단 핵심 성과”, 스마트공장사업관리시스템, https://www.smart-factory.kr/(검색일: 2025. 11. 21).
・____(2025), “우수 구축 사례”, 스마트공장사업관리시스템, https://www.smart-factory.kr/(검색일: 2025. 12. 1).

부 록



〈부표 1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 영역별 및 세부 분야별

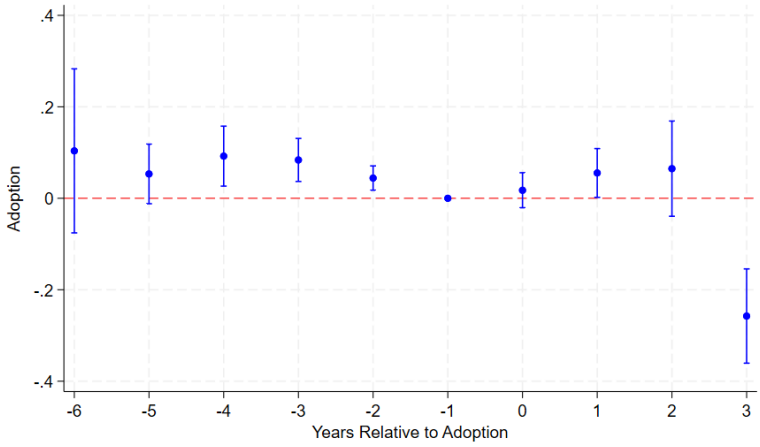
VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp
자동화	0.003 (0.011)	-
연결화	-0.001 (0.015)	-
정보화	0.031*** (0.005)	-
지능형	0.038** (0.015)	-
산업용 로봇	-	-0.064** (0.024)
스마트장비	-	-0.007 (0.009)
식별 시스템/머신비전	-	0.043** (0.020)
제어 시스템/컨트롤러	-	-0.008 (0.020)
센서/액추에이터	-	0.000 (0.018)
통신네트워크장비	-	-0.075 (0.067)
MES/POP	-	0.025*** (0.005)
FEMS	-	0.038 (0.032)
SCM/WMS	-	-0.015 (0.018)
ERP	-	0.043*** (0.011)
PLM/PDM	-	0.017 (0.022)

(계속)

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp
클라우드 컴퓨팅	-	0.043*** (0.016)
CPS/디지털 트윈	-	-0.031 (0.060)
제조 빅데이터/제조 AI	-	-0.032 (0.029)
AR/VR/MR	-	-0.051 (0.092)
lnAsset	0.518*** (0.015)	0.517*** (0.015)
Debt to Asset	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)
Growth	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)
Observations	103,136	103,136
R-squared	0.942	0.942
Control	y	y
Firm FE	y	y
Year FE	y	y

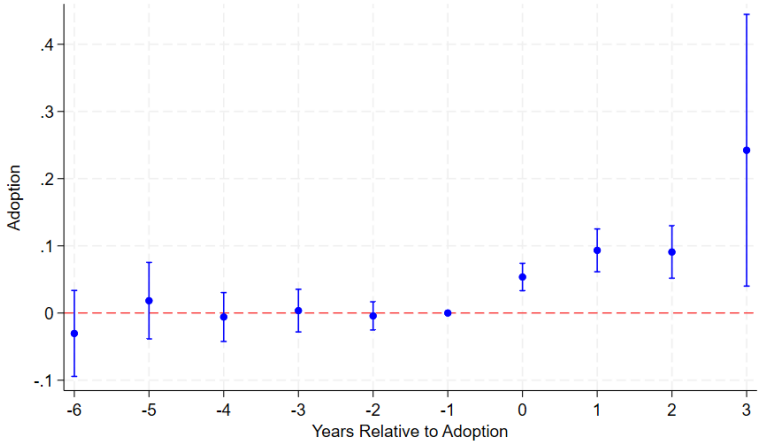
자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

〈부도 1〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 세부 분야별(산업용 로봇)



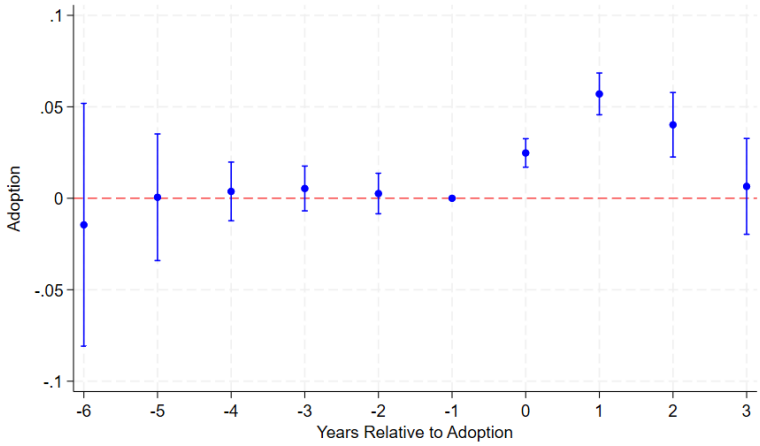
주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈부도 2〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 세부 분야별(식별 시스템/머신비전)



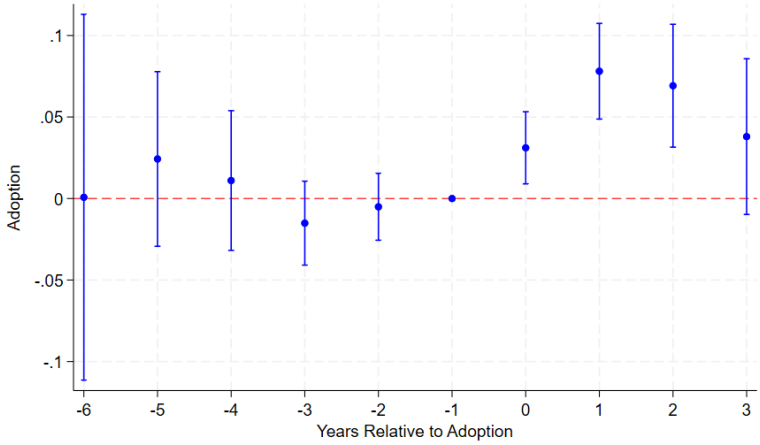
주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈부도 3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 세부 분야별(MES/POP)



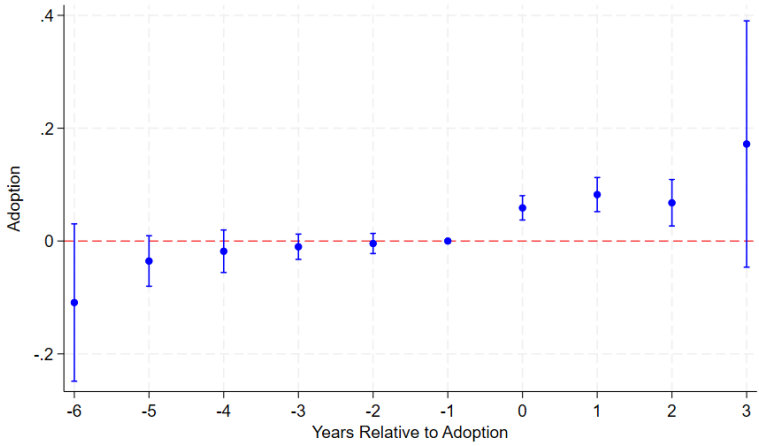
주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈부도 4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 세부 분야별(ERP)



주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈부도 5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 세부 분야별(클라우드 컴퓨팅)



주: 1) 0기는 스마트제조 기술 도입이 발생한 시점(연도)을 의미.
2) 상하위 밴드는 95% 수준의 신뢰구간을 의미.
3) 표준오차는 업종(KSIC 중분류) 수준에서 군집화(clustering).

〈부표 2〉 최근접 이웃 매칭 전과 후의 평균 기업 특성 및 표준화 평균 차이

Matching	Variable	Mean in Adopters	Mean in Non-adopters	SMD
Before	lnEMP	2.771	2.364	0.292
Before	lnAsset	15.444	15.055	0.244
Before	Debt to Asset	2.910	3.288	-0.081
Before	Growth	1.220	1.258	-0.043
Before	Age	13.900	13.384	0.050
After	lnEMP	2.785	2.633	0.110
After	lnAsset	15.464	15.268	0.129
After	Debt to Asset	2.888	2.929	-0.009
After	Growth	1.210	1.233	-0.026
After	Age	13.988	13.536	0.044

주: 1) 매칭 전의 통제 그룹(non-adopters)은 스마트공장 보급·확산 사업에 지원하여 스마트제조 도입 의향은 있었으나, 미승인되어 도입하지 못한 기업을 의미.
2) 매칭 후의 통제 그룹(non-adopters)은 스마트공장 보급·확산 사업에 지원하지 않은 기업을 의미.

〈부표 3〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 최근접 이웃 매칭

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp	(3) lnEmp	(4) lnEmp
Adoption	0.112*** (0.020)	0.068*** (0.012)	0.108*** (0.020)	0.066*** (0.012)
lnAsset	-	0.491*** (0.012)	-	0.487*** (0.012)
Debt to Asset	-	-0.002*** (0.000)	-	-0.002*** (0.000)
Growth	-	0.124*** (0.012)	-	0.123*** (0.012)
Observations	211,519	211,519	208,627	208,627
R-squared	0.920	0.932	0.920	0.932
Control	n	y	n	y
Firm FE	y	y	y	y
Year FE	y	y	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

〈부표 4〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 업종별 시간 추세 통제

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp	(3) lnEmp	(4) lnEmp
Adoption	0.054*** (0.006)	0.036*** (0.005)	0.051*** (0.006)	0.035*** (0.004)
lnAsset	-	0.512*** (-0.012)	-	0.505*** (-0.012)
Debt to Asset	-	-0.002*** (0.000)	-	-0.002*** (0.000)
Growth	-	0.136*** (-0.009)	-	0.133*** (-0.009)
Observations	112,152	106,051	109,169	103,136
R-squared	0.927	0.943	0.927	0.942
Control	n	y	n	y
Firm FE	y	y	y	y
Year FE	y	y	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

〈부표 5〉 스마트제조 도입에 따른 고용 변화: 2022, 2023년 보급·확산 사업 대상

VARIABLES	(1) lnEmp	(2) lnEmp	(3) lnEmp	(4) lnEmp
Adoption	0.074*** (0.015)	0.030** (0.011)	0.074*** (0.014)	0.031*** (0.011)
lnAsset	-	0.513*** (0.012)	-	0.512*** (0.012)
Debt to Asset	-	-0.001 (0.001)	-	-0.001 (0.001)
Growth	-	0.126*** (0.011)	-	0.126*** (0.011)
Observations	57,393	53,760	57,274	53,646
R-squared	0.921	0.937	0.921	0.937
Control	n	y	n	y
Firm FE	y	y	y	y
Year FE	y	y	y	y

자료: 스마트제조혁신추진단의 스마트제조 보급·확산 사업 자료를 활용하여 저자 작성.
주: 1) 괄호 안은 업종별(한국표준산업분류 중분류 기준) 군집화 표준오차를 의미.
2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

연구진

연구책임자 김동근 산업연구원 디지털·AI전환생태계연구실 부연구위원
참여연구진 장재기 산업연구원 인구감소·고령화대응연구실 부연구위원
길은선 산업연구원 인구감소·고령화대응연구실 연구위원
오승환 산업연구원 디지털·AI전환생태계연구실 연구원

ISSUE PAPER 2025-13

제조 디지털전환이 고용에 미치는 영향
스마트제조 도입을 중심으로

발행일 2025년 12월 31일
발행인 권남훈
발행처 산업연구원
등 록 1983년 7월 7일 제2015-000024호
주 소 30147 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 경제정책동
전 화 044-287-3114
팩 스 044-287-3333
문 의 044-287-3146
인쇄처 ㈜프리비

값 4,000원
ISBN 979-11-94827-82-5 93320
내용의 무단 복제와 전재 및 역재를 금합니다.