

스마트공장과 노동수요: 스마트공장 도입 단계에 따른 직종별 업무량의 변화*

이창근** · 김미경***

<목 차>

- I. 서론
- II. 이론적 배경
- III. 분석전략 및 자료
- IV. 공장의 스마트화와 직종별 요구 업무량의 변화
- V. 사업체 내 정보통합 수준과 직종별 업무량의 변화
- VI. 결론

국문초록 : 본 연구는 한국노동연구원의 사업체패널에 새롭게 포함된 스마트공장 관련 정보들을 활용하여 스마트공장이 노동수요에 미치는 영향을 추정했다. 스마트공장의 도입은 전반적으로 생산직의 업무량을 감소시키며, 스마트공장 수준이 고도화 될 수록 업무량 감소 정도는 더욱 커진다. 특히 동일제품을 반복 생산하는 공정에서 두드러진다. 반대로 스마트공장이 표방하는 지능화 및 연결성과 관련된 관리직, 기술전문직 등의 직종이나, 다양한 제품의 혼류 생산을 구현하는 과정의 생산직의 경우 업무량이 늘어나는 것이 관찰된다. 이는 기존 연구에서 제시한 결과와 전반적으로 부합한다. 본 연구의 의의는 최종 노동수요가 아닌 스마트공장이 표준적인 업무량에 직접적으로 미치는 영향을 추정했다는 데 있다.

주제어 : 스마트공장, 노동수요, 기술혁신

* 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구다 (NRF-2020R1G1A1015142 및 NRF-2022R1A5A7033499).

** KDI국제정책대학원 교수(cklee@kdischool.ac.kr)

*** 연세대 바르ICT연구소 연구교수, 교신저자(oliviahyekim@gmail.com)

Smart Factory and Labor Demand: Workload Changes by Smartification Level and Occupation

Changkeun Lee · Olivia Hye Kim

Abstract : This study estimates the impact of smart factories on workload, a direct indicator of labor demand, using information on smart factories from the Korea Labor Institute's Workplace Panel Survey. Overall, we find that the workload of production workers decreases as the level of smartification increases. Our heterogeneity analysis shows that the effect is concentrated among establishments producing the same product repeatedly. In contrast, we find that workload increases for managerial and technical occupations who need to put more effort into implementing more intelligent and connected production, and production workers at establishments pursuing product variety. These results are broadly consistent with the existing literature.

Keywords : Smart factory, Labor demand, Employment, Workplace Panel Survey

I. 서론

4차 산업혁명과 COVID-19 팬데믹(Pandemic)의 영향으로 사회 전체적으로 디지털 대전환이 일어나고 있으며, 다품종 복합생산으로의 전 세계적인 제조업 패러다임 변화는 세계 각국으로 하여금 제조업 생존 전략을 수립하고 기존 제조업에 ICT와의 융합 및 유연생산체계구축을 가속화 하도록 하고 있다. 이에 한국 정부는 지난 2019년 제조업 르네상스 비전 및 전략을 발표하였고, 2030년까지 인공지능(AI) 기반 스마트공장을 2천개 구축하고, 스마트산단 20개를 조성하는 것을 목표로 수립하였다. 양적 추격형 전략은 이미 한계에 봉착하였고, 주력산업은 정체되었으며 신산업 창출은 지연되고 있는 현재 상황에서 스마트공장은 한국이 혁신 경쟁에서 우위를 확보할 수 있도록 하는 중요한 산업정책 중 하나로 주목받고 있다.

한편, 기술혁신으로 인한 생산성 증가가 고용을 감소시킬 수 있다는 우려는 19세기 초반 영국의 러다이트 운동 이후 꾸준히 제기되어 왔다. 학계에서는 Frey and Osborne(2013) 등 로봇의 도입과 자동화(Automation)로 인해 고용이 크게 감소할 것이라고 예측하는 주장이 있는 한편, 자동화와 고용에 대해 낙관적인 입장을 취하는 연구들도 다수 있다. 이와 같이 4차 산업혁명 이후 인공지능과 로봇의 도입이 고용에 미치는 영향에 대해서는 현재까지 활발한 논의가 진행 중이지만 스마트공장이 고용에 미치는 효과에 관한 연구는 그 중요성에 비해 상대적으로 연구가 덜 이루어지고 있다.

본 연구는 스마트공장이 노동수요에 미치는 영향을 기업단위 조사자료를 이용하여 실증 분석했다. 선행연구와 본 연구와의 차별성은 최종 결과변수에 대응하는 고용량이 아닌, 각 직종의 평균적 업무량에 직접적으로 미치는 영향을 분석했다는 데 있다. 본 연구는 스마트공장이 고도화되어가는 단계에 따라 노동수요에 미치는 영향이 서로 다를 수 있음을 반영하여 영향을 직종별로 추정하였다. 또한 공정의 특성을 반영하여 고용 효과의 이질성을 드러내고자 했다. 분석 결과는 스마트공장의 도입은 전반적으로 생산직의 업무량을 감소시키며, 그 수준이 고도화되며 그 감소 정도는 더욱 커짐을 발견한다. 이러한 업무량의 감소효과는 동일제품을 반복 생산하는 공정에서 특히 두드러진다. 반대로 스마트공장이 표방하는 지능화 및 연결성과 관련된 관리직, 기술전문직 등의 직종이나, 다양한 제품의 혼류 생산을 구현하는 과정의 생산직의 경우 오히려 업무량이 늘어나는 것이 관찰된다. 이상의 결과는 기존 연구에서 제시한 결과와 전반적으로 부합한다.

II. 이론적 배경

1. 스마트공장의 개념

스마트공장(Smart Factory)은 전통 제조산업에 정보통신기술(ICT)을 활용하여 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT 기술로 유기적으로 통합하여 최소비용과 시간으로 보다 유연한 고객 맞춤형 생산을 가능하게 하는 공장이다(국가기술표준원, 2021). 스마트공장은 독일의 Industrie 4.0에 그 기원을 두고 있다. 이 개념은 기업 외부의 경제환경에 불확실성이 많으므로 이에 유연하게 대처할 수 있어야 한다는 것을 강조한다. 따라서 빠른 프로토타입 생산을 거쳐 양질의 제품을 대량생산해낼 수 있는 역량을 강조하며, 따라서 정보의 유통 및 시스템 통합이 공장 안에서만이 아니라 공간 간, 기업 간에도 이루어져야 함을 강조한다(Burke et al. 2017; Büchi et al. 2020). 따라서 학자들은 연결성(connectivity)을 통한 지능형 생산시스템의 구현이야말로 스마트공장의 요체라고 보고 있다.

스마트공장은 자동화(automation)와 어떤 점이 다른가? 이 질문은 스마트공장의 본질을 설명하는 핵심적 질문이기도 하다. ICT를 적극적으로 제조 현장에 도입한다는 점에서 스마트공장은 분명 자동화의 요소를 가지고 있다. 그러나 스마트공장은 제조 공정 전체에 걸쳐 센서 등을 활용하여 데이터를 수집하고, 로봇이나 제어 시스템을 활용하여 생산 프로세스를 간소화하고 최적화하는 것이 포함된다(Makris et al. 2023). 또한 제조 부문을 넘어 R&D, 마케팅 각 부문 사이 간 데이터의 연결성 개선과 그에 기반한 의사결정을 목표로 한다. 이로 인해 모니터링, 예측 유지보수, 적응형 생산이 가능해져 생산성, 품질, 대응력이 향상되는 것이다(Kaya et al. 2023). 이러한 이유로 스마트공장은 자동화를 넘어 ‘지능화(intelligence)’라는 용어로도 흔히 정의되며, 이는 초기의 설명부터 지금까지 일관되게 지속되고 있다(이방실 2017).

이처럼 자동화와 대비되는 특징으로 인해 스마트공장은 노동친화적인 제조모델로도 각광받고 있다. 공정 효율성의 향상으로 인해 에너지 절감, 인간중심의 작업환경이 구현될 뿐만 아니라 개인맞춤형 제조를 위한 공정을 구축하는 과정에서 근로자들의 숙련과 참여에 대한 필요가 증가하기 때문이다. 기계의 도입 역시 비용 절감을 목적으로 한 근로자 대체보다 인간-기계의 결합을 통한 노동생산성 강화를 위해 이루어지는 것으로 간주된다. 스마트공장의 중주국인 독일의 Industrie 4.0 역시 기업 뿐 아니라 노동조합과

학계의 광범위한 참여를 그 바탕에 두고 있다. 이는 근로자들의 디지털 기술 역량 확보와 함께 재설계된 공정 운영에 대한 참여가 필수적이기 때문이다.

2. 자동화와 스마트공장의 고용효과에 관한 선행연구

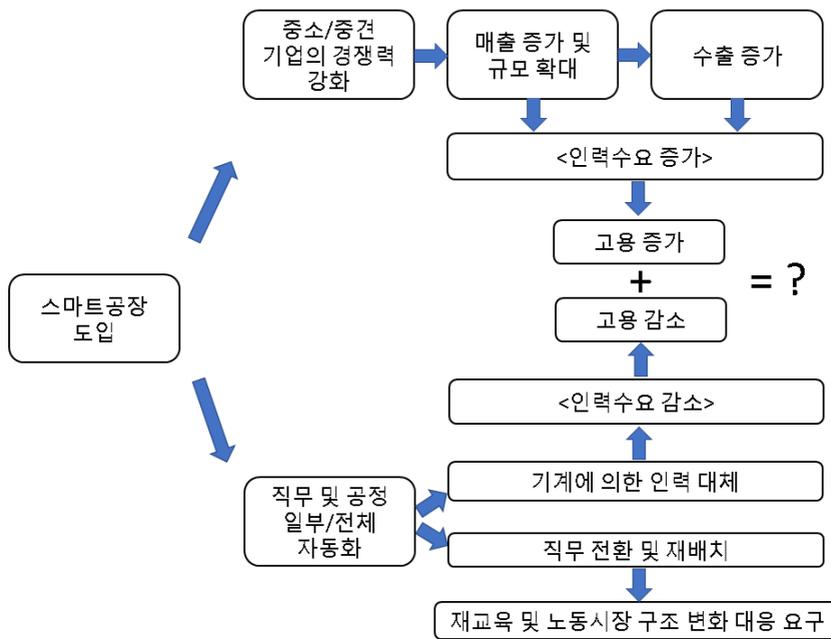
기술혁신이 기업의 고용에 미치는 영향에 대한 연구는 Pavitt(1984)의 분류에 따라 제품혁신과 공정혁신을 구분하여 접근했다. 제품혁신(product innovation)이란, 완전히 새로운 제품 또는 “기능이나 사용자 특성에 있어서 상당한 개선이 있는” 제품의 생산을 의미한다(OECD/Eurostat, 2005). 공정혁신(process innovation)이란, 동일한 제품을 투자나 중간재 투입에 대해서 개선된 생산방법으로 생산하여 비용을 절감시키거나 유연성을 개선시키는 것을 의미한다(Zhu et al., 2021).

스마트공장의 자동화에 비해 고도화된 특성, 다양성과 복잡성은 스마트공장 도입의 효과를 연구하는 데 장애물로 작용하기도 한다. 스마트공장이 기계의 도입으로 대표되는 자동화가 아니라 지능화로 정의 되는만큼, 그 정도를 0과 1의 이분법적으로 측정하는 것이 불가능하기 때문이다. 로봇의 도입으로 대변되는 생산 자동화는 이미 과거부터 상당한 시간 동안 진행되었으므로, 이를 검증하기 위한 자료가 축적된 반면, 스마트공장은 비교적 최근에 부각된 개념이어서 아직 실증분석에 충분한 자료가 거의 존재하지 않는다. 또한 자동화는 노동자 1인당 로봇의 수와 같이 자동화의 수준을 측정하기가 비교적 쉬운 반면, 스마트공장은 생산시스템 전반의 수준을 측정한다.

이러한 이유로 스마트공장에 대한 선행연구 역시 모두 이러한 점을 고민했고, 많은 경우 정부의 스마트공장 사업 참여 여부를 활용했다(김세움·이근희 2016, 방형준 2018). 그러나 이 경우에도 스마트공장의 본질적 효과라고 보기는 어려운 것이, 각국의 스마트공장에 대한 전략이 정부 주도형, 협력형, 그리고 시장 주도형으로 다르고, 따라서 정부 주도에 의해서만 스마트공장이 도입되지는 않기 때문이다(Belton et al. 2019).

선행연구들은 측정의 어려움을 다양한 방법을 활용하여 해결하고 스마트공장이 노동 수요에 미치는 영향에 대해 추정했는데, 전반적으로 부정적인 효과는 발견되지 않는다(김세움·이근희 2016, 방형준 2018, 이창근 2019). 이는 일반적으로 공정혁신은 고용을 감소시키며, 제품혁신은 고용을 증가시킨다는 통상적인 결과와 대비된다(문성배·전현배 2008; 정성문·곽기현·여영준 2017; 임지선 2022; Harrison et al., 2014; Hou et al.,

2019; Zhu et al., 2021). 해당 문헌들은 공정혁신이 효율성 증가를 통해 요구 노동량을 줄이지만 제품혁신은 새로운 제품 생산에 필요한 수요를 창출한다는 것을 염두에 두고 있다. 그러나 스마트공장의 목표 중 하나가 맞춤형 제품 생산이며, 설계-계획-생산-유지 보수 등 생산의 모든 단계를 최적화한다는 점에서는 공정혁신과 제품혁신의 측면을 모두 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 경제학 문헌에서 말하는 것처럼 스마트공장 도입이 경쟁력 강화와 매출 증가를 통해 노동 수요 증가로 이어질 가능성도 있다. 방형준(2018)은 이러한 경로들을 모두 포괄하여 스마트공장이 고용에 미치는 효과를 다음과 같이 도식화하고 있다.



자료: 방형준(2018)

<그림 1> 스마트공장 도입의 고용효과

스마트공장에 대한 문헌은 그 수가 많지 않을뿐더러 다소 복잡한 결과를 도출한다. 따라서 로봇과 인공지능을 비롯한 자동화에 대한 최근 연구 결과를 간단히 살펴보고보자. 자동화의 고용효과에 관한 연구 초기에는 산업 단위 데이터를 이용하여 자동화가 고용에 부정적인 영향을 주는 것으로 주장한 연구들이 있었지만, 최근 들어 기업단위 실증분석이 가능해지면서 자동화가 오히려 고용에 긍정적인 영향을 주거나 노동자들의 숙련도에 따라 이질적인 효과를 주는 것으로 밝힌 연구가 늘어났다. Acemoglu and

Restrepo(2020)는 국제로봇연맹(International Federation of Robotics, IFR)의 데이터를 사용하여 미국을 대상으로 로봇에 의한 자동화 노출 수준이 높을수록 고용과 임금이 감소하는 것으로 분석하였다. 반면 독일을 대상으로 분석한 Dauth et al.(2017)은 로봇에 의한 자동화가 전체 고용 수준을 감소시키지는 않지만, 제조업의 고용을 줄이고 서비스업의 고용을 증가시키는 등 전체 고용의 구성에 변화를 준다고 분석하였다. 또한 이러한 제조업 고용의 감소는 기존의 제조업 일자리가 사라짐으로써 발생하는 것이 아니라, 젊은 근로자의 신규 일자리가 감소함으로써 발생하는 것임을 확인한다. Koch et al.(2021)과 Domini et al.(2021)은 각각 스페인과 프랑스 제조업을 대상으로 기업 단위 데이터를 이용하여 분석했는데, 로봇의 도입은 고용의 증가 효과가 있는 것으로 추정했다. 그러나 분석의 가정, 파라미터, 탄력성, 그리고 직종에 따라 고용 효과는 다르게 나타난다(Arntz et al., 2017; Barbieri et al., 2019; Battisti and Gravina, 2021; Blanas et al., 2019).

한국의 경우 자동화와 경직적 고용제도와 연관되어 있음을 시사하는 연구들이 두드러진다. 정진화·임동근(2018)이 한국이 다른 나라에 비해 산업용 로봇이 급속하게 도입 확대된 요인으로 고용 비용의 증가와 같은 노동시장 환경 변화와 지속적인 기술혁신 역량 확충이라는 요인이 동시에 작용한 결과로 보았다. 사업체 패널을 활용한 손정민(2019)은 자동화는 기업의 규모에 따라, Lee and Kim(2023)은 노동조합의 유무에 따라 고용효과가 다를 수 있다는 것을 지적하고 있는데, 기본적으로 자동화가 노동수요 절감의 요인과 연관되어 있음을 시사한다.

자동화에 관한 선행연구가 스마트공장 연구에 제시하는 시사점은, 스마트공장의 효과가 자동화와 다르다면 그것은 스마트공장이 아예 다른 패러다임을 가진 혁신이기 때문인지, 아니면 자동화의 효과 중 경쟁력 강화-매출 증대-수요 증가의 경로가 더 강하게 작용하기 때문인지를 검증할 필요가 있다는 것이다.

Ⅲ. 분석전략 및 자료

본 연구의 핵심적인 질문은 “스마트공장은 노동수요에 어떤 영향을 미치는가?”이다. 그러나 선행연구에서 설명한 바와 같이, 스마트공장은 0과 1의 이진변수로 표현하거나 기계의 수로 측정하기가 매우 어렵다. 스마트공장에 관해 우리나라의 표준을 제시하고 있는 스마트제조혁신추진단 역시 스마트공장은 제조지능화의 수준이 깊어지는 것으로 보고 있으며, 따라서 <표 1>과 같은 표준적인 진단 틀을 제시하고 있다.

<표 1> 스마트공장의 6단계

단계	항목	스마트제조 혁신추진단	비율 (%)	정의
1단계	미적용	미적용	20.8	수기로 생산관리
2단계	점검	기초	43.8	부분적 표준화 및 실적정보 관리
3단계	모니터링	중간1	31.9	생산정보의 실시간 모니터링 가능
4단계	제어	중간2	3.1	수집된 정보를 분석하여 제어 가능
5단계	최적화			시뮬레이션을 통한 사전 대응 및 의사결정 최적화
6단계	자율운영	고도화	0.4	모니터링부터 제어, 최적화까지 자율로 운영

자료:스마트공장 사업관리 시스템(<https://www.smart-factory.kr>)

<표 1>에 따르면 데이터를 자율적으로 수집하고 처리하여 공정을 최적화하는 스마트 공장 개념은 5단계 이상에서 가능하다. 즉, 최소한 “최적화” 수준을 달성해야 수집된 정보가 생산에 다시 반영되어 스마트공장 개념이 제시하는 “유기적 공정”의 특성을 일부 갖추게 된다고 할 수 있다. 스마트공장을 설명할 때 흔히 등장하는 아디다스 등의 모델들이 이 수준에 해당한다고 할 수 있다. 그러나 이 논문에서 활용하는 사업체패널을 기준으로 할 때 5단계 이상을 달성한 사업체는 전체의 3.5%에 불과하다. 따라서 이상적인 기준을 적용해서는 실증분석을 위해서는 충분한 변이가 확보되지 않을 뿐 아니라 현실과도 상당한 괴리를 보인다. 스마트제조혁신추진단 역시 이를 반영하여 2단계를 스마트공장의 ‘기초’로, 3단계를 ‘중간1’로, 4, 5단계를 ‘중간2’로, 그리고 6단계를 ‘고도화’로 재분류하고 있다. 본 연구는 실제 분포를 감안하여, 중간2 이상을 하나로 통합하여 하나의 범주로 다루고자 한다.

<표 1>은 스마트공장의 효과를 도입-미도입과 같은 이진변수로는 파악하기 어려우며, 단계에 따라 달라지는 효과를 파악해야 한다는 것을 시사한다. 따라서 이 논문은 각 단계별로 변화하는 노동수요의 비선형적 변화를 살펴볼 것이다.

분석을 위해 2005년부터 한국노동연구원에서 격년제로 실시하는 사업체패널조사(Workplace Panel Survey, WPS)을 활용한다. 이 조사는 사업체에서의 고용구조 및 노동수요를 체계적으로 파악하고 기업의 인적자원 관리 체계를 평가하며 이에 부응하는 인력공급체계를 마련하는 것을 목적으로 한다.

사업체패널을 비롯한 대부분의 기업 대상 조사는 인사담당자 또는 생산담당자의 응답을 기반으로 이루어진다. 따라서 관리자의 인식과 근로자의 인식, 그리고 실제 업무 사이에 간극이 존재할 가능성이 존재한다. 그러나 회사측 관리자와 근로자를 모두 조사한

조사가 아닌 이상 이는 대부분의 기업 데이터가 가지고 있는 문제이며, 스마트제조혁신 추진단을 비롯한 정부의 공장 평가 역시 동일한 방식으로 수집되는 정보에 기반하고 있음을 밝혀두고자 한다. 또한 사업체 패널이 포함하고 있는 풍부한 사업체의 운영에 관한 정보를 감안할 때, 연구목적 달성을 위해 더 나은 자료를 찾기 어렵다.

본 분석의 결과변수, 즉 종속변수로는 스마트공장 도입 이후 직종(직군)별 업무량 변화를 활용한다. 이는 노동수요 측정을 위해 고용량을 활용하는 기존 연구와 다른 점이다. 이는 이 조사의 장점이라고도 할 수 있다. 대부분의 실증연구가 고용량, 즉 개별 근로자 단위에서 업무량이 변화하는 것만이 아닌, 산출 증가에 따른 노동수요 증가와 직종간 재배분까지를 포함하는 최종 결과를 결과변수로 활용하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 <그림 1>에 제시된 세부 과정별로 노동수요에 미치는 영향을 개별적으로 확인하기는 어렵다. 사업체 패널의 질문은 최종적인 일반균형적 결과를 도출하기에 앞서, 근로자들의 표준적인 업무량이 얼마나 변화 하였는지 확인할 수 있다는 데 의미가 있다.

스마트공장 도입 이후 직종(직군)별 업무량 변화는 설문 응답자의 주관적인 평가에 근거하여 ① 크게 감소, ② 약간 감소, ③ 변화 없음, ④ 약간 증가, ⑤ 크게 증가로 표시하게 되어 있다. 해당 질문은 자동화 또는 스마트공장을 도입한 공장들에 한정하여 응답을 얻었다. 따라서 과거 스마트공장이 도입되지 않았다는 전제 하에, 스마트공장의 도입이라는 상태 변화가 노동수요 변화에 어떠한 영향을 미쳤는지를 분석할 수 있다. 회귀분석은 다음과 같은 형태를 띠 것이다.

$$y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_{1j} \times I(SMART_i = j) + X_i \Gamma + \epsilon_i \quad (1)$$

y_i 는 공장 i 에서 스마트화로 인하여 직군 j 의 업무량에 생긴 변화를 나타내는 선택형 범주 변수이다. 종속변수가 선택형 범주이고 이 범주들 사이의 순서가 의미를 지니고 있으므로, 순서형 로짓(ordered logit) 모형 분석을 실시한다. 순서형 로짓 모형은 독립변수의 영향을 기반으로 종속변수가 정렬된 범주 중 하나에 속할 확률을 추정한다. 순서형 로짓 모형은 종속 변수의 자연스러운 순서가 중요한 경우에 특히 두드러지며, 엄밀한 방식으로 순서 데이터를 분석하는 데 필수적이다. β_{1j} 는 j 단계 스마트화의 효과를 측정하는 계수로, 이 논문에서의 분석이 주로 관심을 가지는 변수다. X_i 는 각종 기업특성을 나타내는 설명변수를 의미하며, 산업 더미와 종사자 수 기준 사업체 규모 더미(1~99, 100~299, 300~999, 1000명 이상), 지역더미, 1인당 인건비, 기업연령, 당기순이익이 포함되어 있다.¹⁾ 분석에서는 이러한 요소들을 모두 통제하고자 했다. 분석에서 사용한 변수들

의 기초통계량은 <표 2>에 나타나 있다.

<표 2> 기초통계량

변수명	평균	표준편차	최솟값	최대값
스마트화수준 (기초=1, 중간1=2, 중간2=3)	1.383	0.789	0	3
자동화 설비/스마트공장 도입 이후 직종(직군)별 업무량 변화 (크게 감소=1, 약간감소=2, 변화없음=3, 약간증가=4, 크게증가=5)				
관리직	2.888	0.752	1	5
전문직(기술직포함)	2.843	0.855	1	5
사무직	2.895	0.729	1	5
생산직(조반장급이상)	2.647	0.876	1	5
생산직(일선작업자)	2.51	0.825	1	5
단순직	2.577	0.71	1	5
총근로자수	1.726	0.853	1	4
ln(1인당인건비)	4.064	0.345	2.947	5.097
업력	27.699	13.752	6	88
ln(당기순이익)	7.569	2.372	1.099	14.857
관측치	572			

IV. 공장의 스마트화와 직종별 요구 업무량의 변화

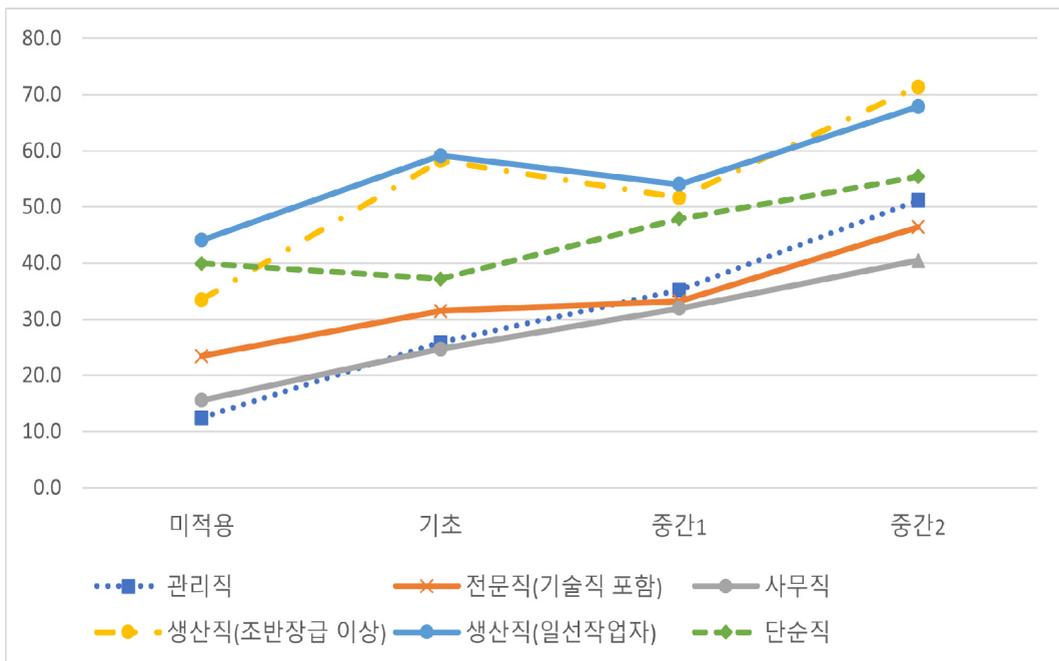
노동수요를 결정하는 주요 요인 중 하나는 생산 과정에 필요한 업무량이다. 새로운 기술 도입에 따른 생산성 증가는 특정 업무를 수행하는데 필요한 작업량을 감소시킬 것이다. <그림 2>는 각 공정 스마트화 수준을 달성한 기업들 중 업무량이 감소(크게 감소+

- 1) 이는 기업을 대상으로 하는 대부분의 실증연구의 관례를 따른 것이다. 계량경제학에서는 인과성 입장을 위해 관찰되지 않는 요인(unobserved confounding factor)들을 통제하는 것이 핵심이며, 기업을 대상으로 한 연구의 경우 대기업과 중소기업 사이에 업무 관행이나 경영모델 등 종속변수에 잠재적으로 영향을 줄 수 있는 요인이 다르고, 이에 대한 학자들 간 합의가 있는 것들을 통상적으로 통제변수로 사용한다. 예컨대, 기업의 규모는 운영 범위, 자원 할당 및 기술 채택 능력에 큰 영향을 준다. 대기업은 일반적으로 소규모 기업보다 입직 및 이직 등 인력 변화가 적은 편이며, 첨단 기술을 더 광범위하게 구현할 인적자원을 보유하고 있다.

약간 감소)한다고 응답한 비율을 직종별로 표시했다. 예컨대 관리직의 경우 스마트공장을 적용하지 않은 기업 중 10% 정도만이 업무량이 감소한다고 응답했다. 그러나 기초 수준의 스마트공장을 달성한 기업들 중 20%가 관리직 업무량이 감소한다고 응답했으며, 이 비율은 중간1, 중간2로 단계가 상승하며 약 35%, 52%로 크게 상승한다. 일선 생산직의 경우 미적용 단계에서도 약 44% 정도의 기업이 이들의 업무량이 감소한다고 응답했다. 이 비율은 지속적으로 높아져 중간2 수준에 다다르면 70%에 육박한다.

<그림 2>는 스마트공장의 수준 향상에 따라 전반적으로 업무량이 계속해서 감소할 확률이 높음을 보여준다. 즉, 매출 증가 또는 공정 내 재배치 요소를 고려에서 제외하고 직종 내 업무량 변화에 초점을 맞추면, 지능형 제조시스템은 인간의 업무량을 감소시킨다는 것을 확인할 수 있다.

그러나 동시에 직종별로 스마트 고도화에 따른 업무량의 변화가 상이한 것도 확인할 수 있다. 생산직, 그 중에서도 일선작업자가 스마트공장으로 인해 업무량이 감소할 가능성이 가장 높은 직종인 것으로 나타난다. 반면 관리직, 전문직(기술직), 사무직 등은 상대적으로 감소 가능성이 모든 단계에서 낮은 것으로 나타난다. 이와 같은 업무량 증가는 보다 고도화되고 유기적인 생산 공정을 만드는 일이 높은 수준의 관리 및 노력을 필요로 하기 때문일 것이다.



<그림 2> 스마트공장 단계에 따른 직종별 업무량의 감소 확률

이제 다양한 통제 요소를 반영한 분석 결과를 살펴보자. 회귀식 (1)에 기반한 순서형 로짓 분석의 결과를 <표 3>에 보고했다. 이 회귀분석은 스마트화 수준이 업무량에 미친 영향을 스마트화 ‘미적용’ 대비 특정 단계로 추정하는 것이다. 종속변수가 업무량이 매우 감소(1)-매우 증가(5)로 정의되어 있으므로, 계수들은 ‘미적용’ 수준 대비 ‘기초’, ‘중간1’, ‘중간2’ 이상의 스마트화가 진행 될 때 각 직종의 업무량이 얼마나 변화할 가능성이 높은 지를 보여준다. 이 결과는 단년도 조사에 바탕을 둔 것이므로, 정확한 인과관계 추정을 위해서는 스마트공장 도입 전후의 실제 변화를 관찰하는 것이 필요할 것이다. 그러나 공장에 대한 지식이 충분한 관리자의 인식을 반영하고 있으므로, 여전히 의미 있는 정보를 전달한다.

<표 3> 스마트화 수준과 직종별 업무량 변화

변수명	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	관리직	전문직 (기술직 포함)	사무직	생산직 (조반장급 이상)	생산직 (일선 작업자)	단순직
기초	-0.110 (-0.384)	-0.302 (-1.081)	0.0971 (0.334)	-0.557** (-2.074)	-0.492* (-1.721)	-0.0887 (-0.281)
중간1	0.243 (0.858)	0.337 (1.234)	0.221 (0.766)	-0.258 (-0.962)	-0.569** (-2.013)	-0.653** (-2.112)
중간2	-1.549*** (-3.037)	-0.368 (-0.734)	-0.529 (-1.051)	-1.720*** (-3.497)	-1.141** (-2.336)	-1.047** (-2.064)
사업체 고용규모(기준: 99인 이하)						
100~299명	-0.896*** (-3.475)	-0.250 (-1.030)	-0.580** (-2.269)	-0.0535 (-0.221)	-0.0778 (-0.317)	-0.220 (-0.852)
300~999명	-0.974*** (-2.791)	-0.0565 (-0.169)	-0.247 (-0.719)	-0.0667 (-0.201)	0.0979 (0.296)	-0.162 (-0.463)
1000명 이상	-1.294* (-1.811)	0.896 (1.316)	-0.411 (-0.551)	0.118 (0.175)	0.284 (0.422)	-0.572 (-0.786)
업력	-0.00591 (-0.768)	-0.000389 (-0.0523)	-0.00920 (-1.197)	-0.00151 (-0.203)	-0.00200 (-0.270)	0.00644 (0.833)
ln(1인당 인건비)	-0.590 (-1.507)	-0.542 (-1.424)	-0.258 (-0.656)	-0.370 (-0.994)	-0.127 (-0.334)	0.0867 (0.216)
ln(당기순이익)	0.158** (2.449)	0.0855 (1.406)	0.0672 (1.043)	0.0352 (0.579)	-0.00352 (-0.0576)	-0.0108 (-0.165)
관측치	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292

주: ***는 99%, **는 95%, *는 90% 수준에서 통계적으로 유의함. () 안은 t-값. 산업더미, 지역더미 및 상수항은 표에서 생략함.

<표 4>는 관리직과 생산직, 특히 조반장급 이상의 현장 관리자들의 업무량이 감소할 가능성이 높음을 보여준다. ‘중간1’이 생산정보의 실시간 모니터링이 이루어지는 단계이며, ‘중간2’가 수집된 정보를 활용하여 제어가 가능해지는 단계임을 고려할 때, 현장관리자들은 생산 상태를 확인하고 지시하는 역할을 담당하는데, 이러한 지시와 통제 역할을 스마트공장이 상당 부분 대체할 가능성이 있음을 시사한다. 반면 일선작업자와 단순 노동자의 경우 스마트공장 수준의 향상에 따라 요구 업무량이 감소할 확률이 일관되게 높아질 가능성이 높음을 확인할 수 있다. 관리직의 경우 중간 2단계에 이르러서야 감소 가능성이 높아진다. 이는 전반적으로 <그림 2>에서 관찰되는 패턴을 재확인하고 있다. 이러한 결과는 공정의 종류에 따라 스마트공장의 효과가 다르며(김민호·정성훈 2019), 직군에 따라 노동수요의 변화에 차이가 있을 수 있다는(이창근 2019) 기존 연구와 부합하는 결과이다.

<표 3>은 스마트화 수준에 따른 업무량의 변화는 직종별로 서로 다를 수 있음을 보여준다. 여기에 더해 사업체의 제조공정 특성을 고려하도록 하자. 즉 근로자 특성에 따른 이질성에 더해 고용주 측의 요인을 추가적으로 고려하는 것이다. 사업체 패널 조사자료는 <표 4>와 같이 사업체가 어떤 공정에서 자동화를 도입하였는지를 묻는 문항이 있다. 이는 중복 답변이 가능한 문항이어서, 한 사업체가 인력을 구하기 힘들고 다양한 품목이 혼류 생산되는 공정에 자동화를 도입했다고 답할 수 있다.

<표 4> 자동화가 도입된 공정의 종류

공정의 종류	비율(%)
인력을 구하기 힘든 공정	37.2
불량이 많이 발생하는 공정	43.3
산재 위험이 높은 공정	44.8
작업환경이 열악한 공정	50.3
동일 제품이 반복적으로 생산되는 공정	70.7
다양한 품목이 혼류 생산되는 공정	29.2
인건비가 많이 나오는 공정	44.9
생산량의 변동성이 큰 공정	32.4

<표 4>는 기업이 자동화를 하는 목적을 보여줌과 동시에 자동화가 적용되기 용이한 공정 특성을 보여주는 것으로 해석할 수 있다. 예컨대 전체 사업체 중 70%가 동일 제품

이 반복적으로 생산되는 공정에 대해 자동화를 시행하는 반면, 30% 남짓의 사업체만 다양한 품목이 혼류 생산되는 공정에 자동화를 시행하고 있는데, 이는 혼류 생산에 자동화를 적용하는 것이 더욱 어렵다는 점을 보여준다. 스마트공장은 다양한 제품의 맞춤형 생산을 목표로 하며, 작업환경 개선 또한 추구하는 경우가 많으므로, 이러한 공정 특성은 스마트공장의 효과를 보다 정교하게 측정하는 데 도움이 될 것이다.

공정 특성에 따른 이질성을 분석하기 위해 스마트화 수준과 공정 특성을 나타내는 이진변수를 교차하고 회귀식에 추가하여 앞에서와 동일하게 순서형 로짓을 실시하였고, 결과를 <표 5>에 표시했다. 교차항이 없는 상단의 세 행은 스마트공장화의 기본적인 효과를 보여준다. 중간 2단계에 진입 시 관리직과 생산관리직(조반장 이상)의 업무량이 감소하는 것은 <표 4>와 동일하나, 기초 단계에서 전문직과 사무직의 업무량이 증가하는 것, 기초 및 중간 1단계에서 생산직의 업무량이 감소하는 현상이 관찰되지 않는 것은 앞서와 다른 결과다. 아래의 교차항들은 그 차이가 어디에서 발생하는지를 잘 보여준다.

<표 5> 자동화가 도입된 공정의 종류에 따른 이질성

변수명	(1) 관리직	(2) 전문직 (기술직 포함)	(3) 사무직	(4) 생산직 (조반장 이상)	(5) 생산직 (일선 작업자)	(6) 단순직
기초	0.466 (1.402)	0.560* (1.699)	0.692** (2.028)	0.244 (0.764)	0.193 (0.598)	0.201 (0.539)
중간1	-0.147 (-0.417)	0.115 (0.329)	0.639* (1.760)	-0.0288 (-0.0845)	-0.372 (-1.077)	-0.916** (-2.365)
중간2	-2.060*** (-3.250)	0.482 (0.770)	-0.689 (-1.115)	-1.440** (-2.151)	-0.722 (-1.082)	-0.814 (-1.174)
동일제품 반복생산	0.564* (1.713)	0.824** (2.410)	0.298 (0.860)	1.255*** (3.980)	0.820** (2.544)	0.828** (2.273)
다양한 품목 혼류	1.716*** (3.751)	1.286** (2.421)	1.600*** (3.425)	0.0490 (0.119)	0.140 (0.309)	-0.843* (-1.738)
불량 많이 발생	-0.386 (-0.792)	-1.405** (-2.372)	0.136 (0.266)	-0.322 (-0.737)	-0.751 (-1.518)	0.129 (0.237)
작업환경 열악	1.716*** (3.751)	1.286** (2.421)	1.600*** (3.425)	0.0490 (0.119)	0.140 (0.309)	-0.843* (-1.738)
도입 단계 × 동일제품 반복생산 공정						
기초	-0.596 (-1.571)	-0.676* (-1.728)	-0.467 (-1.174)	-1.071*** (-2.927)	-0.859** (-2.309)	-1.590*** (-3.708)

변수명	(1) 관리직	(2) 전문직 (기술직 포함)	(3) 사무직	(4) 생산직 (조반장 이상)	(5) 생산직 (일선 작업자)	(6) 단순직
중간1	0.236 (0.585)	-0.568 (-1.391)	-0.0207 (-0.0491)	-0.333 (-0.865)	-0.260 (-0.661)	-0.621 (-1.419)
중간2	-1.270** (-1.993)	0.0445 (0.0694)	-0.912 (-1.392)	-0.596 (-0.908)	0.433 (0.671)	0.0165 (0.0250)
도입 단계 × 다양한 품목 혼류생산 공정						
기초	0.977* (1.802)	1.739*** (3.087)	0.594 (1.066)	1.474*** (3.064)	1.922*** (3.587)	1.907*** (3.184)
중간1	0.0275 (0.0515)	0.363 (0.659)	-0.281 (-0.511)	0.693 (1.468)	1.344** (2.576)	1.469** (2.575)
중간2	-0.0746 (-0.0844)	1.081 (1.248)	1.918** (2.084)	0.165 (0.199)	1.200 (1.402)	1.214 (1.340)
도입 단계 × 불량률이 많이 발생하는 공정						
기초	0.613 (1.175)	1.507** (2.420)	0.292 (0.534)	0.319 (0.674)	0.626 (1.186)	0.199 (0.336)
중간1	0.590 (1.090)	1.578** (2.504)	-0.362 (-0.641)	0.0251 (0.0513)	0.407 (0.751)	-0.109 (-0.184)
중간2	-0.213 (-0.290)	2.760*** (3.420)	-0.960 (-1.238)	0.225 (0.320)	0.549 (0.762)	0.206 (0.268)
도입 단계 × 작업환경이 열악한 공정						
기초	-2.222*** (-4.402)	-1.288** (-2.256)	-2.017*** (-3.910)	0.155 (0.335)	0.231 (0.464)	1.435*** (2.612)
중간1	-0.698 (-1.371)	-0.797 (-1.395)	-1.603*** (-3.063)	-0.107 (-0.230)	-0.103 (-0.205)	0.747 (1.388)
중간2	0.744 (0.854)	-1.163 (-1.294)	-0.269 (-0.308)	0.0736 (0.0848)	-1.470* (-1.658)	-0.0118 (-0.0130)
관측치	1,292	1,243	1,290	1,323	1,322	1,139

주: ***는 99%, **는 95%, *는 90% 수준에서 통계적으로 유의함. () 안은 t-값. 산업더미, 지역더미, 기타 통제변수와 일부 교차항의 계수는 지면관계상 생략함. 실제 자동화가 도입된 공정 8개에 대해서 모두 분석을 하였으나 본 논문에서는 일부의 공정에 대한 결과를 제시하였고, 공정8개를 모두 포함한 분석도 결과값에 차이가 나지 않았음.

<표 5>은 낮은 단계에서 발생하는 생산직 업무량의 감소가 주로 동일제품 반복생산 공정에서 일어난다는 것을 보여준다. 이는 로봇 도입이 고용과 임금에 부정적인 영향을 미친다는 기존 경제학 연구와 부합하는 내용이다(Acemoglu and Restrepo, 2022; Battisti and Gravina, 2021; Blanas et al., 2019). 해당 공정에서는 중간 2단계에 도달 할 경우 관리직의 수요가 감소하는 것 역시 주목할만한 대목이다. <표 6>에서 나타나는 바와 같이 중간 2단계는 설비제어가 자동화되고, 실시간 공장제어가 가능해져 관리수요가 감소하는 것으로 생각해 볼 수 있다.

그러나 혼류생산 공정에 자동화를 적용하는 경우, 즉 스마트공장을 구현할 가능성이 높은 공장들에서는 기초 및 중간 1단계에서 업무량이 오히려 늘어나는 것을 관찰할 수 있다. 스마트공장이 표방하는 바와 같이 소비자 취향에 부합하는 다양한 제품을 대량생산 수준의 저비용으로 생산하는 경우, 노동을 기계로 대체하는 것이 아니라 노동을 기계와 결합하는 것을 추구하는 것을 확인할 수 있다.

<표 6> 스마트공장 수준별 특징

구분	현장자동화	공장운영	기업자원관리	제품개발	공급사슬관리
고도 (6단계)	IoT/IIoS 기반의 CPS화				인터넷 공간상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
	IoT/IIoS화	IoT/IIoS(모듈)화 빅데이터 기반의 진단 및 운영			
중간2 (4,5단계)	설비제어 자동화	실시간 공장제어	공장운영 통합	시뮬레이션과 일괄 프로세스 자동화	다품종 개발 협업
중간1 (3단계)	설비데이터 자동집계	실시간 의사결정	기능간 통합	기술 정보 생성 자동화와 협업	다품종 생산 협업
기초 (2단계)	실적집계 자동화	공정물류 관리(POP)	관리 기능 중심 기능 개별 운용	서버를 통한 기술/납기 관리	단일 모기업 의존
ICT 미적용 (1단계)	수작업	수작업	수작업	수작업	전화와 이메일 협업

자료:스마트공장 사업관리 시스템(<https://www.smart-factory.kr>)

스마트공장의 또 다른 목적과 관련이 있는 불량이 많이 발생하는 공정과 작업환경이 열악한 공정과의 관계도 흥미롭다. 불량이 많은 부분에 자동화를 적용하는 사업체는 기술직을 포함한 전문직에서 업무량이 증가하는 것을 관찰할 수 있으며, 이러한 목적의 스마트공장은 설계 및 관리를 위한 기술업무에 대한 수요가 증가하는 것과 연관이 있는 것으로 보인다. 또한 작업환경이 열악한 공정에서 자동화가 일어나는 경우, 관리직, 전문직, 사무직의 업무량은 감소하는 것으로 나타난다. 스마트공장이 제공하는 운영 일관성 및 효율성은 생산 목표를 달성하고 문제를 해결하기 위한 관리직의 지속적인 감독과 개입의 필요성을 감소시키는 것이다. 특히 스마트공장에서 중요시하는 데이터의 수집과 분석, 그에 기반한 의사결정이 보다 잘 구현될 경우, 관리직이 실시간으로 성능을 모니터링하고 유지·관리 및 요구 사항을 예측하며 최소한의 노력으로 생산 프로세스를 최적화할 수 있게 되므로 관리 책임을 간소화하고 문제 식별 해결에 필요한 시간과 노력을 줄여준다. 반면 생산직은 스마트화로 인한 업무량의 유의미한 변화가 없고 단순직은 오히려 늘어나는 것으로 관찰된다.

앞서 강조한 바와 같이, 이상의 분석은 실제 고용 규모나 채용 수요와 같은 최종적인 노동수요에 대한 영향을 추정한 것은 아니다. 평균적인 근로자가 수행해야 하는 업무량에 직접적으로 미치는 영향을 추정한 것이다. 최종적으로 고용에 미치는 영향을 확인하기까지는 업무량 변화에 대해 기업이 어떻게 반응하느냐를 살펴보아야 한다. 예컨대 업무량이 증가할 경우 추가 고용으로 이어지는지, 반대로 업무량이 감소할 경우 추가적인 업무가 주어지거나 다른 업무로 재배치되는지를 확인함으로써 고용에 미치는 종합적인 영향을 살펴보아야 한다.

그러나 기존의 연구는 대부분 모든 것이 반영된 축약형(reduced-form) 분석으로, 모든 것이 반영된 고용 효과에 집중했다는 점에서 직종별 업무량에 미치는 직접적 영향을 분석한 본 연구는 새로운 증거를 더하는 데 의미가 있다.

V. 사업체 내 정보통합 수준과 직종별 업무량의 변화

II절에서 스마트공장의 본질을 연결성과 지능화로 정의한 바 있다. 많은 연구자들과 전문가들은 스마트공장은 제조 공정 자체의 지능화뿐만 아니라 기업 경영의 여러 부문이 긴밀하게 연결되어야 한다고 말한다. 사업체패널에는 이를 반영, “ICT를 활용한 정보

통합의 수준” 변수가 존재한다. 이 변수는 스마트공장이 단순히 생산뿐이 아니라 판매, 재고 관리 등 모든 기업 부문 간의 유기적 연결을 강조한다는 점을 반영한다. 선행연구에서도 생산시스템의 수준을 협의의 스마트 수준으로 정의하고, ICT를 활용한 기업 전반의 통합 정도를 광의의 스마트 수준으로 정의하여 두 개념간의 차이를 부각한 바 있다 (이창근 2018). 본 연구 역시 ICT를 활용한 정보 통합 수준을 독립변수로 사용하여 분석하였다. <표 7>에는 ICT를 활용한 정보통합 수준 단계별 정의와 분포가 제시되어 있다. ICT를 활용한 정보통합 수준 1단계인 사업체는 전체 표본에서 43.7%이고, 2단계가 30.3% 인 것으로 나타났다. 즉, ICT를 활용한 정보 통합의 수준 기준으로 구분하면, 앞에서 살펴본 생산 스마트화에 비해 상대적으로 낮은 수준인 사업체가 전체 표본에서 차지하는 비율이 높다. 이는 생산 시스템 내부의 정보 활용을 넘어 다른 부서(기능)와의 정보 연계가 아직까지는 원활히 이루어지지 않고 있음을 보여준다.

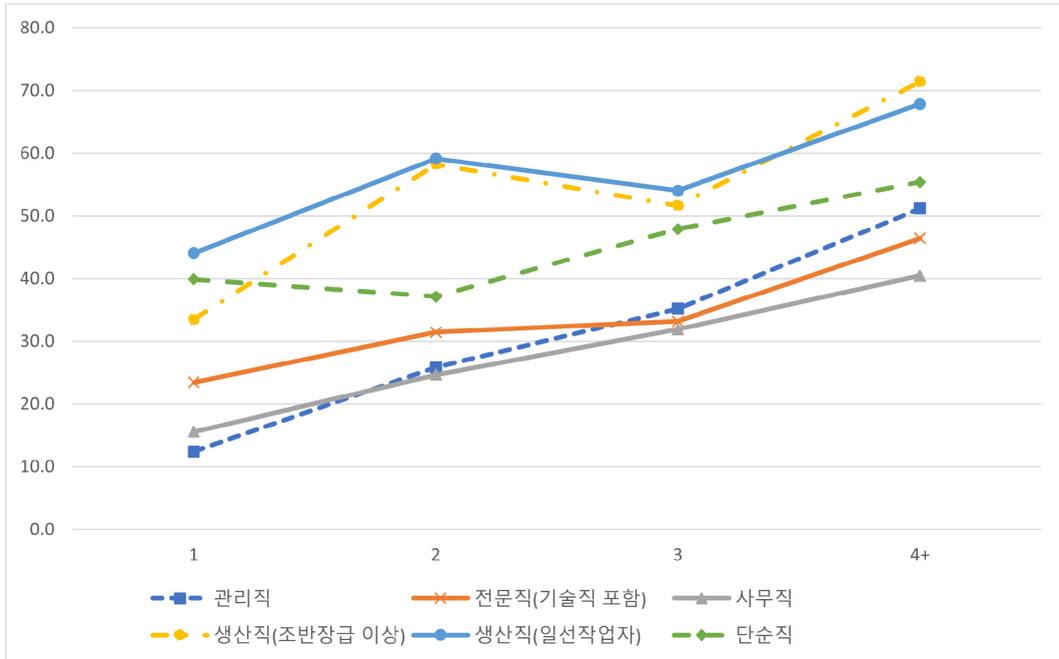
이후 분석에서는 분포를 감안하여 2단계와 3단계, 그리고 4단계와 5단계를 하나의 집단으로 묶어 분석한다.

<표 7> ICT를 활용한 정보 통합 수준 분포

단계	정의	비율(%)
1	업무관련 발생한 정보를 ICT로 연계하지 않음	43.7
2	부서(기능)별 관리시스템 내 운영에 연계	30.3
3	부서(기능)별 관리시스템 간 실시간 단방향 연계	6.8
4	부서(기능)별 관리시스템 간 실시간 쌍방향 연계	16.1
5	업무관련 발생한 모든 정보를 ICT로 연계	3.1

자료: 사업체패널(2019)

<그림 3>는 ICT를 활용한 정보 통합 수준에 따라 업무량이 감소한다고 응답한 비율을 나타냈다. 제조공정에 국한하여 살펴본 <그림 2>와 전반적으로 유사한 패턴을 보인다. 즉 정보 통합 수준이 높아질수록 업무량은 감소할 확률이 높아진다. 그러나 미세한 차이도 존재한다. 예컨대 2단계 이상 진행되면 생산직의 업무량 감소 확률이 더 증가하지는 않는다. 반면 관리직과 전문직의 업무량의 감소확률은 더 증가하는 것으로 보인다.



<그림 3> 정보 통합 수준에 따른 업무량 감소 확률

그러나 다양한 요소를 통제한 상태에서 나타나는 <표 8>에 나타나는 회귀분석 결과는 다소 다른 양상을 보인다. 즉, ICT 정보통합 수준이 2단계 이상 진행될 경우 열(4)-(5)의 생산직의 업무량은 감소하는 반면에 그 이외의 직군은 유의한 영향을 받지 않는다. 이는 ICT 정보통합 수준이 고도화됨에 따라 예측 가능성은 향상되고 생산량 변동성은 줄어들며 생산관리 프로세스가 간소화되어 이와 관련한 생산직이 더 직접적인 영향을 받기 때문일 것이다.

반면, 관리직 및 전문직 종사자 등은 높은 수준의 가변성과 복잡성을 수반하는 작업에 필요하고 사무직과 단순직에 있어서도 여전히 자동화되거나 단순화되지 않는 업무가 있으므로 업무량이 크게 영향을 받지 않는다. 결국 스마트공장의 도입이 연결성과 지능화라는 원래의 취지를 더 잘 달성하게 될수록, 생산직은 영향을 더 많이 받고 관리 및 전문직은 상대적으로 안전하다는 것을 업무량 수준에서 확인하게 된다. 이는 제조업에서 중간 정도의 숙련 수준의 노동수요가 감소한다는 Blanas(2019)의 연구 결과와 일치하며 자동화가 될 경우 생산직의 노동수요가 줄어드는 것을 보고한 국내 선행연구와도 부합하는 결과다(이창근 2019).

<표 8> 정보 통합 수준과 직종별 업무량 변화

변수명	(1) 관리직	(2) 전문직 (기술직포함)	(3) 사무직	(4) 생산직 (조반장급이상)	(5) 생산직 (일선작업자)	(6) 단순직
2,3 단계	0.0292 (0.134)	-0.247 (-1.170)	-0.295 (-1.339)	-0.551*** (-2.632)	-0.647*** (-3.008)	0.111 (0.485)
4,5 단계	-0.0854 (-0.326)	0.181 (0.705)	0.213 (0.807)	-0.136 (-0.530)	-0.437* (-1.691)	-0.397 (-1.503)
사업체 근로자수 더미 (베이스:1~99명)						
100~299명	-0.828*** (-3.220)	-0.265 (-1.084)	-0.593** (-2.307)	-0.0620 (-0.256)	-0.101 (-0.410)	-0.202 (-0.780)
300~999명	-0.890** (-2.542)	-0.0669 (-0.197)	-0.330 (-0.945)	-0.105 (-0.314)	0.0595 (0.177)	-0.145 (-0.412)
1000명 이상	-1.485** (-2.103)	0.887 (1.292)	-0.441 (-0.600)	-0.00933 (-0.0139)	0.209 (0.310)	-0.733 (-1.006)
기업연령	-0.00492 (-0.641)	0.000698 (0.0944)	-0.00825 (-1.075)	-0.000442 (-0.0601)	-0.00225 (-0.304)	0.00480 (0.621)
ln(1인당인건비)	-0.557 (-1.431)	-0.445 (-1.173)	-0.195 (-0.494)	-0.370 (-0.993)	-0.136 (-0.358)	-0.0386 (-0.0967)
ln(당기순이익)	0.136** (2.127)	0.0756 (1.242)	0.0569 (0.883)	0.0285 (0.471)	0.00205 (0.0336)	4.76e-05 (0.000729)
관측치	456	456	456	456	456	456

주: ***는 99%, **는 95%, *는 90% 수준에서 통계적으로 유의함. () 안은 t-값. 산업더미, 지역더미 및 사업체 종사자 규모 더미, 1인당 인건비, 상수항은 표에서 생략함.

VI. 결론

연구는 8차 사업체패널조사자료에 새롭게 포함된 스마트공장 관련 정보들을 활용하여 스마트공장이 노동수요에 미치는 영향을 추정하였다. 기존 연구와 비교하여 스마트공장 도입의 추정을 단순히 도입-미도입이 아니라 표준 체계에 맞추어 구체화하고, 결과 변수 역시 최종 고용량이 아니라 개별 직종의 업무량을 사용하여 기술이 고용에 미치는 직접적인 영향을 보다 구체적으로 추정하고자 했다. 또한 공정의 특성을 반영하고, 제조 공정을 넘어 기업 전반의 스마트화 효과 또한 추정하고자 했다는 점이 기존 연구와 대비한

본 연구의 특징이자 문헌에 대한 기여다.

전반적인 결과는 다음과 같이 요약된다. 스마트공장의 도입은 전반적으로 생산직의 업무량을 감소시키는 경향이 발견된다. 특히 동일제품을 반복 생산하는 공정에서 두드러진다. 반대로 스마트공장이 표방하는 지능화 및 연결성과 관련된 직종이나, 다양한 제품의 혼류 생산을 구현하는 과정에서는 업무량이 늘어나는 것이 관찰된다. 이는 기존 연구에서 제시한 것과 부합하지만, 미시자료를 통해 보다 정교하게 분석했다는 데 이 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

본 연구의 분석 결과는 다음과 같은 정책적 시사점을 도출한다. 우선 본 연구의 결과가 최종 수요가 아닌 업무량 변화에 대한 영향을 분석한 것임을 염두에 두도록 하자. 기업의 인력 수요와 고용량의 변화는 기업이 업무량 변화에 어떻게 대처하느냐에 따라 달라질 수 있다. 예컨대 업무량이 줄어든 직종은 신규 업무를 부여받게 될 것이다. 이 때 기존 근로자들에 대한 재숙련 및 교육 프로그램이 적절히 제공되느냐에 따라 기업이 스마트공장 도입에 따른 인력 재배치를 원활히 할 수 있느냐가 결정될 것이다. 반대로 업무량이 늘어난 직종은 새로운 숙련을 요구하는 경우 신규 채용에 의해, 조직과 업무에 대한 이해가 더 중요할 경우 기존 인력의 전환에 의해 그 업무량을 처리할 수 있다. 적절한 정책 수립을 위해서는 기업이 스마트공장 도입에 따른 인력 정책을 어떻게 가져가는지, 그 과정에서 무엇을 필요로 하는지 파악하는 데서 시작할 것이다.

보다 일반적인 차원에서 스마트공장, 더 넓게는 디지털 전환이 요구하는 숙련을 공급하는 정책이 필요하다. 독일의 Industrie 4.0은 기업과 노동조합, 정부와 학계가 함께 참여하는 전 생애에 걸친 훈련 프로그램을 설계하고 있으며, 미국은 지역의 커뮤니티 칼리지 등을 중심으로 한 전략을 수립하고 있다(이창근 2019). 우리나라 역시 많은 대학에서 스마트팩토리 인재 양성 프로그램을 가동하고 있으며, 테크노파크 등 정부기관과 대기업에서 다양한 교육훈련을 제공하고 있다. 이들 프로그램의 효과성을 검증하고, 지속적인 개선을 모색하는 것이 앞으로의 정책과제가 될 것이다.

본 논문은 학문적으로도 추가 연구의 필요성을 제기한다. 앞에 제시한 분석 결과는 스마트공장과 관련한 기존 연구 결과와 전반적으로 부합하는 양상을 보인다. 그러나 아직 스마트공장의 도입 및 효과에 관한 설문은 1회만 실시된 관계로, 패널구조를 활용하여 그 인과적 효과와 메커니즘을 온전히 규명하기에는 상당한 한계가 있다. 데이터에 포함된 사업체의 다양한 인적관리 및 작업장 혁신 등의 특성이 반영되지 못한 것도 이 논문의 한계다. 이는 추후 연구를 통해 보완하고자 한다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 김민호·정성훈, 「공장의 스마트화와 사업체 성과」, 김민호·정성훈·이창근, 『스마트공장 도입의 효과와 경제적 함의』, 한국개발연구원 연구보고서, 2019.
- 김세음·이근희, 『스마트공장 고용 효과 분석』, 산업통상자원부 의뢰 보고서, 2016.
- 문성배·전현배, 「기술혁신활동의 고용효과에 관한 실증 분석: ICT기업과 비ICT기업의 비교를 중심으로」, 『산업조직연구』, 16집 제1호, 2008, pp.1-24.
- 방형준, 「기계 분야 스마트공장 도입 촉진에 따른 고용변화」, 2018년 고용영향평가 결과 보고회 발표문, 2018.
- 이방실, 「스마트공장은 자동화 공장이 아니다. 연결-통찰-최적화가 결합된 지능형 공장」, 『Donga Business Review』, 227호, 2017.
- 이창근, 「스마트공장화가 고용에 미치는 영향」, 김민호·정성훈·이창근, 『스마트공장 도입의 효과와 경제적 함의』, 한국개발연구원 연구보고서, 2019.
- 임지선, 「수출기업의 공정혁신은 더 많은 고용을 창출하는가?」, 기술혁신연구 25권 3호, pp.429-447, 2022.
- 정성문·곽기현·여영준, 「공정혁신과 제품혁신이 고용구조와 경제성장에 미치는 영향」, 『한국혁신학회지』 12권 2호, 2017, pp.87-117.
- 정준호, 「기술혁신과 경제성장 연구의 현황과 과제: 한국에 대한 논의를 중심으로」, 『기술혁신연구』 25권 4호, pp.47-77.
- 정진화·임동근, 「동적 패널모형을 이용한 산업용 로봇 도입의 결정요인 분석」, 『기술혁신연구』 26권 4호, pp.173-198.

(2) 국외문헌

- Acemoglu, D., Restrepo, P. (2020) "Robots and jobs: evidence from US labor markets", Journal of Political Economy, Vol.128, No.6, pp.2188-2244.
- Acemoglu, D., Restrepo, P.(2022) "Demographics and Automation", The Review of Economic Studies, Vol.89, pp.1-44.
- Arntz, G., T. Gregory, and U. Zierahn (2017) "Revisiting the Risk of Automation", Economics Letters, 159. pp.15-160.
- Barbieri, L., Mussida, C., Piva, M., Vivarelli, M., (2019) "Testing the employment impact of

- automation, robots, and AI: a survey and some methodological issues,” IZA Discussion Paper, No.12612.
- Battisti, M., and A.G. Gravina(2021), “Do Robots Complements or Substitute for Older Workers?”, *Economic Letters*, 208, 110064
- Belloc, B., G. Burdin, L. Cattani, W. Ellis, and F. Landini, (2022) “Coevolution of Job Automation Risk and Work Place Governance.”, *Research Policy*, Vol. 51 No. 3 pp. 1–18
- Blanas, S., G. Gancia, and S. Lee, (2019) “Who is Afraid of Machine?” *Economic Policy*, Vol.34, Issue 100, pp.627–690.
- Büchi, Giacomo, Monica Cugno, and Rebecca Castagnoli (2020) “Smart Factory Performance and Industry 4.0.” *Technological Forecasting and Social Change* 150.
- Burke, R., A. Mussomeli, S. Laaper, M. Hartigan, and B. Sniderman (2017) *Deloitte Insights: The Smart Factory Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing*.
- Dauth, W, and Findeisen, S., Südekum, J., Woessner, N,(2017) “German robots – the impact of industrial robots on workers” . CEPR Discussion Paper No. DP12306,
- Domini, G., Grazzi, M., Moschella, D., Treibich, T.(2021), “Threats and opportunities in the digital era: automation spikes and employment dynamics, *Research Policy*, Vol.50, No.7, pp.1–19.
- Frey, C. B. and Osborne M.A.(2013), “The skill content of recent technological change: an empirical exploration,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol.118, No.4, pp.1279–1333.
- Harrison, R., Jaumandreu, J., Mairesse, J., Peters, B.,(2014), “Does innovation stimulate employment? a firm-level analysis using comparable micro-data from four European countries”, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.35, pp.29–43.
- Kancs, A., Siliverstovs B., Siliverstovs B., (2020), “Employment effect of innovation”, *Empirical Economics*, Vol. 59, No. 3, pp 1373–1391.
- Kaya, I., Karaşan, A., Güvercin Ö., Ilbahar E., Baraçlı H.(2023), “Appraisal of smart factory design for advance manufacturing plants based on transition strategies by using an integrated fuzzy decision-making methodology”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol.36, No.8, pp. 1153–1177.
- Lee, C., Kim O.(2022), “Unions and automation risk: who bears the cost of automation?”. *B.E Journal of Economic Analysis and Policy*, Vol.23, No.3, pp.843–851.
- Makris, S. Michalos, G., Karagiannis P. (2023), “Digitalising smart factories”. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 36, No.1, pp 1–2.
- Koch, M., Manuylov, I., Smolka, M. (2021), “Robots and firms”, *Economic Journal*, Vol.131, No.638, pp.2553–2584.

OECD/Eurostat (2005), Oslo Manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data,“ 3 ed. OECD Publishing, Paris.

Pavitt, K., (1984), “Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory”, Research Policy, Vol.13, No.6, pp.343-373.

Zhu, C., Qiu, Z., Liu, F.,(2021), “Does innovation stimulate employment? Evidence from China”, Economic Modelling, Vol.94, pp.1007-1017.

□ 투고일: 2024.01.11. / 수정일: 2024.04.27. / 게재확정일: 2024.05.09.