중소기업 내 스마트기술의 경영성과 효과

노 용 진* ·노 세 리**

이 연구는 『사업체패널조사』 2019년 자료를 이용해서 우리나라 중소제조업들에서 스마트기술이 기업의 경영성과에 어떤 영향을 미치는지, 그리고 스마트기술의 경영성과를 높이기 위한 요건들이 무엇인지에 관해서 실증 분석을 시도하였다. 본 연구는 이론적 추론을 통해서 스마트기술의 경영성과 효과를 조절하는 요소들에 관해서 다음과 같은 가설들을 설정하였다. (1) 상황적 요인들로서 공정의 표준화와 대량생산방식이 스마트공장의 경영성과 효과를 긍정적으로 조절하고, 원청기업의 수는 부정적인 조절효과를 보일 것이다, (2) 주체적 요인들로서 엔지니어 수와 고숙련 생산기능직 근로자의 비율이 스마트공장의 경영성과 효과를 긍정적으로 조절하고, 인력부족률은 부정적인 조절효과를 보일 것이다, (3) 일터혁신 요소로서 근로자 참여 기반 혁신활동, 교육훈련시간, 성과급 등이 스마트공장의 경영성과 효과를 긍정적으로 조절할 것이다. 본 연구에서 사용한 회귀모형은 Cobb-Douglass 생산함수에 기초해서 도출되었다. 회귀모형의 종속변수는 1인당 부가가치이고, OLS로 추정하였다. 분석 결과는 스마트공장은 경영성과에 긍정적인 영향을 미치고 있음을 입증하지 못하고 있다. 그와 동시에 본 연구의 분석 결과는 공정표준화(+), 대량생산방식(+), 원청기업의 수(-), 고근속 생산기능직 근로자 비율(+), 교육훈련시간(+) 등이 스마트공장의 경영성과 효과에 통계적으로 유의한 조절효과를 보이고 있으며, 근로자 참여 기반 혁신활동도 스마트공장의 경영성과 효과에 약하게나마 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있음을 시사하고 있다. 마지막으로 본 연구는 실증분석 결과들을 요약정리하고 정책적 시사점을 논의하였다.

주요용어 : 스마트공장, 경영성과, 노동생산성, 일터혁신, 상황적 조건, 중소기업

Ⅰ. 머리말

정보통신기술과 정보지능기술의 발전과 함께 제조공장의 스마트화에 대한 관심이 높다. 스마트기술이 제조 현장의 정보들을 투명하게 확보하고 그 정보들을 기반으로 제조공장에 자동 제어 기능을 넣고 공정간 시스템화를 추진함으로써 노동생산성과 품질, 납기 등을 획기적으로 개선할 수 있다는 기대를 모으고 있기 때문이다. 중국이나 인도 등 저임금 기반 신흥 강국들의 등장으로 우리나라 제조업이 경쟁력 위기에 빠질 위험이 증가하고 있는 상황에서 지속 가능한 경쟁력을 만들어낼 수 있는 현실적인 방안으로서 스마트기술이 주목을 받고 있는 것이다. 특히 중소제조업들은 중국 등으로부터의 국제적 경쟁 압박에 더욱 취약한 상태에 있으며, 그 밖에도 그 동안 오랜 기간 동안 만성적으로 경험하고 있는 인력부족과 인력의 고령화, 최근 몇 년 동안의 근로시간 단축과

* 서울과학기술대학교 경영학과 교수
** 한국노동연구원 부연구위원

최저임금의 급등 등 제도적 환경의 변화에 따른 인력부족의 심화와 인건비 증가 등의 문제들을 떠안고 있기 때문에 스마트기술의 활용이 더욱 많이 요구받고 있다. 이런 문제의식에서 정부도 중소기업의 스마트공장을 확산시키기 위한 정책을 지속해오고 있다.

이런 필요성에도 불구하고 중소기업은 스마트공장을 효과적으로 운영하기 어려운 조건들을 가지고 있을 가능성이 높다(노용진・박경원, 2020). 중소기업의 스마트기술 운영 역량이 낮을 뿐 아니라 중소기업의 낮은 시장 장악력으로 시장에 휘둘릴 가능성이 높아서 스마트공장을 안정적으로 운영하기도 어렵기 때문이다. 그와 함께 중소제조업에서 스마트공장이 기업의 경영성과를 높이고 있다는 실증적 근거도 확인되지 않고 있다. 지금까지 확인된 스마트공장의 경영성과 효과에 대한 실증분석으로는 이 영면 외(2020)가 있는데, 거기에서는 스마트공장의 경영성과 효과에 대한 추정치가 대부분의 회귀모형들에서 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 보이지 않고 있다. 다만, 이 연구의 설문조사 자료는 정부의 스마트공장보급사업 지원을 받은 중소기업들을 기본으로 하고 거기에 매칭되는 스마트공장 비도입 중소기업들을 표본으로 삼았기 때문에 표본의 대표성 문제가 제기될 수 있다. 이런 점에서 대표성 있는 데이터를 이용해서 스마트공장의 경영성과 효과가 긍정적인지를 확인해 볼 필요성도 제기되고 있으며, 나아가 중소기업의 스마트공장 효과성을 높이는 방안을 찾아볼 필요성이 제기되고 있다.

이상의 문제의식에서 본 연구는 다음의 두 가지 연구목적을 가지고 진행되었다. 첫째로, 전국적 대표성을 가지고 있는 사업체패널조사를 사용해서 중소기업의 스마트기술이 경영성과 효과를 내는지를 추정해보고자 한다. 둘째로, 중소기업 내 스마트기술의 경영성과 효과성을 높이는 요인들이 무엇인지를 실증적으로 분석해보고자 한다. 그 중 첫 번째 연구목적은 중소기업 내 스마트공장의 효과성이 존재하는지를 확인하는 정도의 작업이기 때문에 본 연구의 주된 목적은 후자에 두고자 한다. 후자의 연구목적과 관련해서 중소기업 내 스마트공장의 경영성과 효과를 높이는 것들로서 본 연구가 주목하고 있는 요인들은 직무의 특성과 생산방식, 시장적 조건 등 상황적 조건, 인적 특성, 근로자 참여와 인사관리 관행 등 일터혁신 등이다.

본 연구의 결과는 스마트공장과 상황적 조건 사이의 정합성, 스마트공장과 일터혁신의 통합적 접근 등에 관한 이론적 근거들을 제공할 수 있기 때문에 학술적 가치가 충분하게 존재한다고 주장하고 싶다. 더구나 스마트공장의 효과성을 높이는 요인들에 관한 선행연구들을 찾을 수 없어서 본 연구가 순수하게 이론적 추론을 통해서 스마트공장의 효과성을 높이는 요인들을 도출하고 있다는 점에서도 본 연구의 이론적 가치는 충분하게 존재하고 있다. 그와 함께 스마트공장의 경영성과 효과성을 높이기 위한 조건들에 대한 실증분석 결과들은 스마트공장의 경영성과 효과성을 높이기 위한 방안을 찾는데 기초 자료로 사용할 수 있기 때문에 본 연구는 정책적으로도 의미 있는 작업이라고 볼 수 있다.

본 연구의 나머지 절들은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2 절에서는 스마트기술과 스마트공장의 운영 등에 관한 이론적 논의를 통해서 본 연구의 연구 가설들과 연구모형 등을 도출하고자 한다. 제 3 절에서는 본 연구에서 사용한 자료와 기초통계 등에 대해서 소개하고, 제 4 절에서 실증분석 결과들을 논의하고자 한다. 마지막으로 제 5 절에서 본 연구의 실증분석 결과들을 요약・정

리하고 정책적 시사점들을 도출하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 논의와 연구모형 설정

1. 이론적 논의와 연구 가설의 도출

본 연구에서 스마트기술은 스마트공장을 구현하는데 사용하는 정보통신기술과 정보지능기술을 통칭하는 의미로 사용하고자 한다. 따라서 스마트기술을 이해하기 위해서는 스마트공장을 먼저 이해할 필요가 있는데, 중소기업벤처부의 스마트공장보급사업을 수행하는 공식기관인 스마트제조혁신추진단은 스마트공장을 '제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 정보통신기술로 통합해 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장'으로 규정하고 있다. 이 개념에서 스마트공장은 생산과정을 통합해서 공정과 공정 사이의 동기화(synchronization)와 시스템을 구축해서 노동생산성을 높이고 시장의 요구에 신속하게 대응하는 유연생산체계를 지향하고 있음을 알 수 있다. 기술적으로만 보면 작업공정의 시스템화를 이룰수록 유연성이 떨어지는 경향이 있는데, 최근의 정보지능기술 발전을 이용해서 시스템화와 유연성을 동시에 추구하고 있는 점이 스마트공장의 지향점이다. 그렇지만 시스템화와 유연화의 동시 추구는 스마트공장의 지향점에 불과하고, 현실의 스마트공장은 대부분 유연성이 떨어지기 때문에 인간의 노동으로부터 지원을 받지 않을 수 없는 상황에 있다.

스마트기술의 효과성 제고 방안을 찾는데 도움이 될 것으로 보여서 스마트기술을 보다 구체적으로 살펴보면, 그것은 제조공정에 인간의 두뇌기능을 장착시키는 것이기 때문에 정보의 수집과 전달, 분석, 자동 제어 등을 주된 기능으로 삼고 있다. 감각, 신경기관, 두뇌 등 인간의 신체적 기능으로 비유를 해보면, 센서를 통해서 정보를 받아들이고 그것을 인터넷을 통해서 전달하면 기계학습이나 인공지능 등을 통해서 그 정보들을 분석·학습하고, 그것에 근거해서 제조공정들을 자동 제어하는 과정들을 거치게 된다. 이런 점에서 보면, 스마트기술의 효과성을 높이기 위해서는 정보의 수집과 전달, 분석과 학습, 자동 제어 등 스마트기술의 기능들을 원활하게 촉진하는 조건들을 충족해주고 또 스마트기술의 산출물들인 정보와 그것의 해석 등을 이용해서 제조공정의 효율성을 높이는 경로를 찾는 것이 스마트기술의 효과성을 높이는 주된 방안들이 될 수 있다. 이런 점들을 감안해서 본 연구는 정보의 수집과 전달, 분석, 학습, 그리고 인지된 정보의 효율적 활용 등을 구성요소들로 두고 있는 분석틀 속에서 그것들에 영향을 줄 가능성이 높은 상황적 조건, 주체적 조건, 일터혁신 요소 등을 중심으로 스마트기술의 경영성과 효과성을 높이는 조절변수들을 찾아보았다. 『사업체패널조사』에서 얻을 수 있는지 여부를 감안하면서 이들 조절변수들은 선택되었는데, 상황적 요인 변수들로는 공정 표준화와 생산방식, 원청기업의 수 등이, 주체적 요인 변수들로는 엔지니어의 수, 고숙련 생산기능직 근로자의 비율, 인력부족 등 인적 특성들이, 일터혁신 변수들로는 근로자 참여 기반 혁신활동과 교육훈련시간, 성과급 등이 사용되었다.

가. 상황적 요인들에 관한 가설

스마트기술의 상황적 요인들 중 먼저 공정 표준화에 관한 가설을 살펴보고자 한다. 스마트기술은 정보를 정형화된 문서의 틀로서 수집하는 것이기 때문에 작업공정의 정보가 정형화되고 표준화된 형태로 정리되어 있어야 한다. 그와 함께 스마트기술이 수집된 정보를 분석해서 의미있는 학습과정을 거치기 위해서도 정형화된 정보가 요구되고 있기 때문에 정형화된 정보의 존재가 스마트기술의 효과성에 영향을 미칠 가능성이 높다. 그런데 작업정보를 정형화된 형태로 얻기 위해서는 공정의 표준화와 공식화 등 작업조직의 합리화가 요구되고 있는데, 그 중에서도 특히 공정 표준화가 핵심적인 조건이다. 공정 표준화는 통상 작업방식의 표준화, 기계설비 점검의 표준화, 제품 검사의 표준화 등을 포함하고 있는데, 이들 정보들은 모두 스마트기술의 핵심적인 정보들이다. 이상의 논의에 근거해서 공정 표준화가 스마트기술의 효과성을 높일 수 있는 상황적 조건이 될 것으로 기대하면서 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 1-1. 공정표준화가 높을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 높을 것이다

다음으로 생산방식이 스마트기술의 효과성에 조절작용을 하는지에 관한 가설을 논의해보고자 한다. 여기서 생산방식은 소량방식인가 대량방식인가의 구분을 의미한다. 중소기업은 통상 제품의 종류가 많고 제품별 생산규모가 크지 않은 경향이 있기 때문에 소량생산이 더 지배적인 특성을 보이고 있다. 그런데 대량생산일수록 한 제품을 더 많이 반복 생산하는 것이기 때문에 정보들을 더 반복적으로 수집할 수 있다. 스마트기술의 상황 적응성과 유연성이 높으면 소량생산에 따른 생산의 빈번한 변화에도 쉽게 적응할 수 있겠지만, 유연성이 떨어지는 스마트기술의 경우에는 잦은 생산물이나 생산방식 등의 변경에 부정합성이 발생하게 된다. 그와 동시에 대량생산일수록 작업과정을 더 많이 표준화할 수 있고 더 많이 정형화할 수 있는 이점도 생기게 된다. 이상의 이유들 때문에 대량생산 방식일수록 데이터 수집과 수집된 데이터의 분석이 더 용이해지고 분석된 데이터의 활용성도 높아지면서 스마트기술의 효과성을 높일 수 있다. 이상의 문제의식에서 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 1-2. 대량생산방식일수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 높을 것이다

중소기업을 둘러싼 시장 환경도 스마트기술의 경영성과 효과성에 영향을 줄 가능성이 있다. 중소기업들은 많은 경우 원하청거래 속에 있기 때문에 원청기업과의 관계가 제품시장의 성격을 결정하는 경향이 있다. 본 연구는 원청기업과의 관계 중 원청기업의 수를 주목하고 있다. 원청기업의 수가 많을수록 제품의 수가 증가해서 다품종 소량생산으로 흘러갈 가능성이 높다. 동일한 부품이더라도 원청기업마다 서로 다른 아이템 번호를 가지고 있기 때문에 정보관리시스템에서는 동일한 정보로 처리할 수 없다. 이처럼 원청기업의 수가 많으면 많을수록 제품의 수 증가 이상으로 처리

해야 할 정보가 기하급수적으로 증가하기 때문에 정보의 수집과 분석, 활용 등에서 어려움이 가중되게 된다. 이상의 문제의식에서 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 1-3. 원청기업의 수가 많을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 낮을 것이다

나. 주체적 요인들에 관한 가설

스마트기술은 기술적인 방식으로 시스템화된 유연 생산방식을 지향하고 있지만, 완벽한 스마트공장을 구현하고 있는 곳은 거의 없기 때문에 여전히 인간 노동의 도움이 필요하다고 볼 수 있다. 우선 스마트기술을 운영하고 그것을 계속 혁신해 나가는 것은 결국 인간의 몫이기 때문이다. 먼저 스마트기술도 누군가에 의해서 관리될 필요가 있는데, 그것의 관리를 위해서는 컴퓨터 프로그램 능력뿐 아니라 생산관리 역량, 그리고 생산기술 역량 등 엔지니어 역량이 요구되고 있다. 이런 점에서 회사 내에 생산관리 담당자나 생산기술 담당자, 또는 전산담당자 등을 더 많이 내부화하고 있을수록 스마트기술의 경영성과 효과성이 높을 가능성이 있다. 그러나 본 연구의 사용 자료는 생산관리 담당자나 생산기술 담당자, 전산 담당자 등에 대한 정보를 담고 있지 않기 때문에 본 연구는 엔지니어 인력의 수를 대리변수로 사용하면서 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 2-1. 엔지니어가 많을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 높을 것이다

스마트기술의 콘텐츠를 구성하는 것은 근로자들, 특히 고숙련 생산기능직의 작업내용이다. 이런 점 때문에 스마트기술의 설계와 운영, 혁신 등에서 고숙련 생산기능직의 작업 경험과 노하우가 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 스마트기술을 통해서 수집된 정보를 이용해서 작업공정을 혁신하는데도 고숙련 생산기능직의 역할이 요구되고 있다. 고숙련 생산기능직의 역할과 관련해서 또 한 가지 중요한 점은 스마트기술의 유연화에 대한 기여이다. 스마트공장의 가장 큰 취약점 중 하나는 유연성의 부족에 있다. 수집된 생산정보를 이용해서 기계설비의 제어 프로그램은 변경할 수 있지만, 그것을 실제 생산의 유연성으로 발전하기 위해서는 치구나 공구의 교환 등을 포함해서 물리적으로 생산설비의 작업조건을 변경해줘야 하는 과제가 발생하게 되는데, 그런 생산조건의 변화를 신속하게 처리해내는 능력이 요구되고 있다. 그 밖에도 스마트기술을 통해서 운전하는 기계설비에서도 고장이 없을 수는 없는데, 그런 고장을 예방하는 보전 활동이나 고장의 정비 활동 등이 요구되는데, 그것을 잘 처리해내는 능력이 요구되고 있다. 그러나 본 연구의 사용 자료에 직접적으로 사용할 수 있는 고숙련 생산기능직 변수가 존재하지 않기 때문에 고근속 생산기능직 근로자의 비율을 대리변수로 사용하고자 한다. 이상의 논의에 근거해서 본 연구는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 2-2. 고근속 생산기능인력 비율이 높을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 높을 것이다

위와 동일한 이유로 생산기능직의 인력이 부족할수록 스마트기술의 효과성이 낮아질 가능성이 높다. 스마트기술이 필요 인력의 수를 줄이고 인력 부족 문제를 해소하는데 도움이 되겠지만, 스마트공장을 운영하는데 필요한 생산기능 인력을 보유하지 못하게 되면 스마트기술의 효과성을 낼 수 없기 때문이다. 스마트기술을 운용하는데 필요한 인력이 부족하면 그것을 운용하는데 직접적인 문제가 발생하게 되지만, 그것 외에도 생산기능 인력이 부족하게 되면 근로자들의 시간적 여유가 줄어들기 때문에 정보 수집에 어려움이 생기고, 수집된 정보의 분석을 통해서 얻은 문제점을 개선하는데 시간을 할애하기도 더 어려워질 가능성이 높다. 이상의 문제의식에서 본 연구는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 2-3. 인력부족률이 높을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 낮을 것이다

다. 일터혁신 요인들에 관한 가설

스마트공장이 지향하고 있는 시스템화된 유연 생산체제는 토요타생산방식 등에서처럼 볼 수 있듯이 일터혁신이 도달하고자 하는 이상적인 생산방식과 상당한 유사성을 가지고 있다. 양자간 차이점이 있다면, 그것은 일터혁신에서는 인간의 노동을 이용해서 해서 시스템화와 유연화를 추구한다면 스마트공장에서는 테크놀로지를 이용해서 그런 생산방식을 달성하려고 한다는 점에 있다. 이런 점에서 시스템화된 유연 생산방식에 도달하는데 스마트기술과 인간의 노동은 상호 대체관계에 있다고 볼 수 있지만, 그와 동시에 상호 보완적인 관계가 될 수 있다. 특히 스마트기술이 스마트공장을 완벽하게 구현하지 못하고 있을 때에는 결국 일터혁신 기법에 의해서 그 약점들을 보완될 때 스마트공장의 효과성을 높이는 방안이 될 수 있음을 시사하고 있다. 현실에서 스마트공장을 완벽하게 구현하고 있는 곳은 거의 없다고 본다면 스마트기술과 일터혁신이 통합될 때 스마트공장의 효과성이 제고될 가능성이 높다고 볼 수 있다.

먼저 근로자 참여 기반 혁신활동은 스마트공장의 약점을 보완할 수 있는 대표적인 기능이다. 우선 작업방식의 합리화가 낮아서 스마트기술을 도입하는데 적합하지 않는 경우 요구되는 작업공정의 합리화에 근로자 참여 기반 혁신활동이 기여할 수 있다. 보다 중요하게는 스마트기술을 통해서 수집된 정보를 통해서 병목현상, 중복 업무, 부가가치가 낮은 업무들, 불량 공정, 기계설비의 고장 등 작업 현장의 여러 문제점들을 확인할 수 있지만, 스마트기술이 그런 문제들을 자동적으로 해결해주는 경우는 거의 없기 때문에 근로자들의 혁신활동이 그 점을 보완할 수 있다. 이상의 논의에 근거해서 본 연구는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 3-1. 근로자 참여 기반 혁신활동이 스마트공장의 경영성과 효과성을 높일 것이다

스마트기술은 통상 기계화나 자동화 등과 결합될 수밖에 없기 때문에 근로자들의 역할이 직접

노동에서 기계설비의 관리로 전환되게 된다. 기계설비의 관리 업무는 기계설비의 구조와 작동원리, 작업 공정 전체에 대한 이해 등을 필요로 하기 때문에 지적 숙련을 훨씬 더 많이 요구하게 된다. 이런 지적 숙련은 한편으로 오랜 직무수행 경험을 통해서 형성될 수 있지만, 그와 동시에 공식적인 교육훈련을 더 많이 요구하고 있다. 공식적인 교육훈련은 학습능력을 높여서 직업경험을 통한 숙련 형성 과정을 촉진할 뿐 아니라 본인의 협소한 직업경험을 통해서 얻기 어려운 노하우들을 다른 사람들의 간접 경험을 통해서 습득하게 해주는 이점이 있다. 이상의 논의에 근거해서 본 연구는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

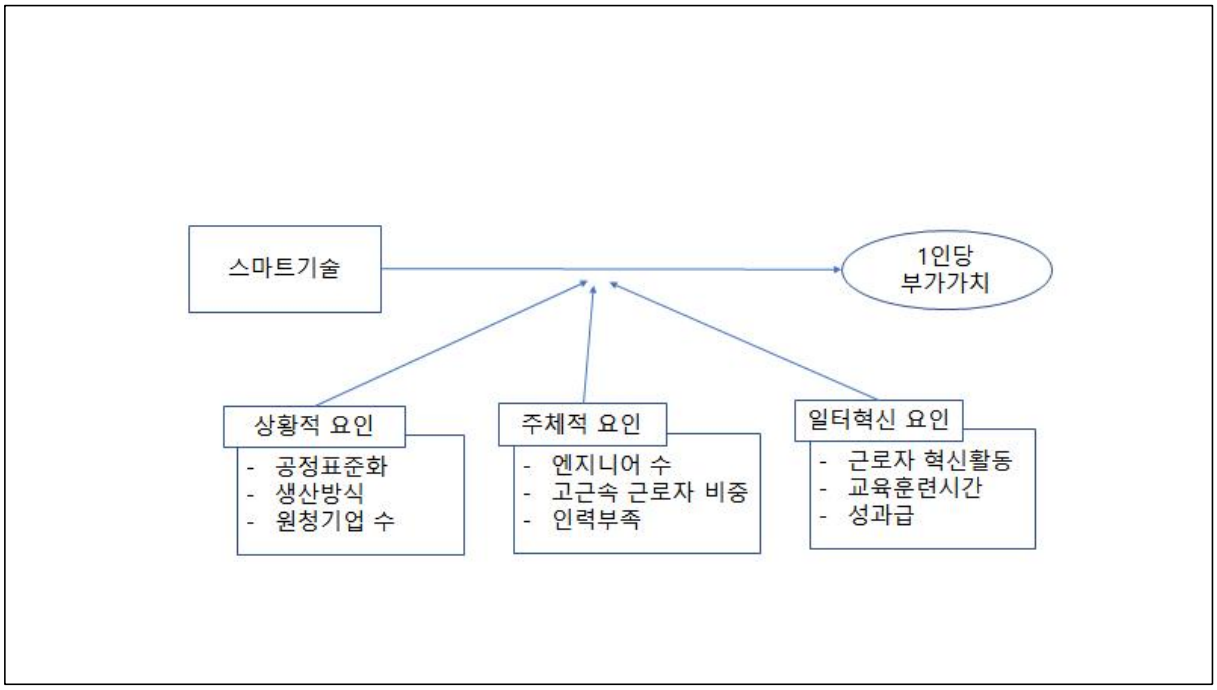
가설 3-2. 교육훈련시간이 많을수록 스마트공장의 경영성과 효과성이 높을 것이다

스마트기술의 효과적인 운영을 위해서는 근로자들의 적극적 협력이 필요하기 때문에 근로자들의 태도 관리가 요구되고 있다. 스마트기술은 한편으로 근로자들을 대체할 우려가 있고, 동시에 작업현장의 정보를 투명하게 드러내기 때문에 근로자들의 반발을 불러일으킬 수 있다. 근로자들의 반발을 중화시키고 근로자들의 적극적 협력을 얻어내기 위해서는 스마트기술의 성과를 근로자들과 공유하는 관리방식이 요구되고 있는데, 그 대표적인 방안 중 하나가 성과급이라고 할 수 있다. 여기서 한 가지 주목할 점은 작업현장의 정보 투명화는 성과평가를 용이하게 만들어 주기 때문에 성과급의 공정한 운영을 촉진할 기술적 환경을 만들어주고 있다. 이런 점에서 스마트기술은 성과급의 운영을 용이하게 해주고 역으로 성과급을 통한 스마트공장의 성과 공유는 근로자들의 협력을 촉진할 가능성이 높기 때문에 성과급이 스마트기술의 효과성을 높일 가능성이 있다. 이상의 문제의식에서 본 연구는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

가설 3-3. 성과급은 스마트공장의 경영성과 효과성을 높일 것이다

이상의 가설들을 종합해서 만든 연구모형이 <그림 1>에 정리되어 있다. 먼저 스마트기술이 경영성과에 어떤 영향을 미치는가를 실증적으로 확인해보고자 하는데, 경영성과 지표는 1인당 부가가치로 측정된 노동생산성이다. 스마트기술의 경영성과 효과에 영향을 주는 조절변수들은 상황적 요인들로서 공정 표준화, 생산방식, 원청기업의 수 등이고, 주체적 요인들로는 엔지니어의 수, 고근속 근로자들의 비중, 인력부족 등이며, 일터혁신 요소들로서 근로자 참여 기반 혁신활동, 교육훈련시간, 성과급 등이다.

<그림 1> 연구모형



2. 연구모형

본 연구는 다음과 같은 Cobb-Douglas 생산함수식을 이용해서 이상의 연구모형을 분석해보고자 한다. 여기서 Q는 생산량, L은 노동투입량, K는 자본투입량, A는 총요소생산성 등이다. 따라서 $\frac{Q}{L}$과 $\frac{K}{L}$은 각각 1인당 노동생산성과 1인당 노동장비율을 가리킨다. 이 모형에서 스마트기술은 A에 포함될 수도 있고, α에 포함될 수도 있지만, 본 연구에서는 스마트공장의 경영성과 효과에 대한 조절변수들을 추정하기 때문에 α에 포함될 경우 3 개의 교차항이 등장하는 등 너무 복잡한 회귀모형이 나오기 때문에 추정의 용이성을 감안해서 A에 포함되는 것으로 가정하고자 한다. 다만, 스마트기술의 경영성과 효과성을 실증적으로 확인할 때에는 스마트기술이 α에 포함된다고 가정하는 모형에 대해서도 추정해보고자 한다.

(1) $\frac{Q}{L} = A(\frac{K}{L})^{\alpha} L^{(\alpha+\beta-1)}$

이 생산함수에서 A의 함수식을 $A = \exp^{(\lambda_0 + \lambda_1 S + \lambda X + \epsilon)}$($S$는 스마트기술의 수준, X는 통제변수들)로 가정하고 수식 (1)의 양측에 로그값을 취하면 다음과 같은 수식을 얻게 되는데, 이 회귀식을 스마트기술의 경영성과 효과성을 추정하기 위한 기본 모형으로 삼고자 한다(주된 관심은 스마트기술 수준의 추정계수인 λ_1임). 본 연구에서 횡단면 자료가 분석되었기 때문에 회귀모형은 OLS이다.

(2) $\ln(\frac{Q}{L}) = \lambda_0 + \lambda_1 S + \alpha \ln(\frac{K}{L}) + (\alpha + \beta - 1)\ln(L) + \lambda X + \epsilon$

스마트기술의 효과성에 영향을 주는 요인들을 추정하기 위해서는 회귀식 (2)에 조절변수들을 추가하여 다음과 같은 회귀식을 만들고자 한다. 여기에서 M이 조절변수를 가리키기 때문에 본 연구의 주된 관심은 교차항인 $S*M$의 추정계수인 λ_2이다.

(3) $\ln(\frac{Q}{L}) = \lambda_0 + \lambda_1 S + \lambda_2 S*M + \lambda_3 M + \alpha \ln(\frac{K}{L}) + (\alpha + \beta - 1)\ln(L) + \lambda X + \epsilon$

본 연구의 회귀모형들에서 사용된 통제변수들은 직접 고용 비정규직 비율, 간접 고용 비정규직 비율, 하청거래 여부, 수출 비율, 시장 경쟁의 치열성 정도, 복수 사업장 여부, 노조 유무, 산업중분류 등이다. 노동생산성이 기업 단위로 산출되고 있는데, 외주 하청이나 간접 고용 근로자들과 그들의 산출물이 노동생산성의 산출에 반영되지 않기 때문에 노동생산성을 왜곡할 우려가 있어서 간접 고용 비정규직 근로자와 하청 거래 등을 포함하였다. 그리고 직접 고용 비정규직 비율도 노동생산성에 영향을 줄 것으로 추론되어서 통제변수에 포함하였다. 내수 기업과 수출 기업 사이에 단가의 책정 등 거래 방식이 서로 다를 가능성이 높다는 점을 감안해서 수출 비율을 통제변수로 포함하였고, 시장의 치열성도 노동시장에 대한 외적 압력으로서 통제변수에 포함하였다. 『사업체패널조사』가 사업체단위인데 재무정보는 기업체 단위라는 점을 통제하기 위해서 복수사업장을 통제변수에 포함하였고, 노동조합이 근로자들의 근속이나 숙련, 태도 등에 영향을 주고 직무통제 등을 통해서 노동생산성에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 통제변수에 포함하였다. 마지막으로 산업별로 노동생산성에 차이가 존재할 가능성이 높기 때문에 산업중분류도 통제변수에 포함하였다.

Ⅲ. 자료와 기초 통계

1. 자료

본 연구에 사용된 자료는 한국노동연구의『사업체패널조사』2019년 자료(8차 웨이브)이다. 본 연구의 주된 독립변수인 스마트공장에 관한 정보가 2019년 자료의 자동화 및 스마트공장 부가설문지에만 포함되어 있기 때문에 2019년 자료만 사용하고자 한다.

『사업체패널조사』2019년 자료의 수집 과정과 표본 추출 방식 등은 다음과 같다. 2019년 자료의 표본은 2015년 자료에 근거하고 있는데, 그것의 모집단으로 사용된 표본추출 틀은 2014년 말 기준의 전국사업체조사(통계청)이다. 거기에서 상시근로자 30인 미만 사업장과 농림어업, 광업 등은 제외하였고, 사업장 규모와 산업 분류를 기준으로 층화추출 방식으로 표본을 추출하였다. 2019년

자료의 설문조사는 2020년 7월 14일에 시작하여 2021년 1월 29일까지 약 7개월 동안 진행되었으며, 기준 연도는 2019년이다. 최종적으로 조사된 사업체는 총 2,795개로서 응답률은 85.5%였다. 그 표본 중 민간부문 사업체가 2,698개, 공공부문 사업체가 97개이고, 과거 자료와 패널 유지된 사업체가 1,158개이고, 신규 패널 사업체가 1,637개였다. 이들 표본 중 본 연구에서는 300인 미만의 중소제조업체만이 사용되었다. 본 연구의 변수들에서 결측치를 보이는 케이스들을 제외하고 남은, 본 연구에서 최종 사용된 표본의 크기는 509개이다.

2. 기초 통계

본 연구에 사용된 변수들의 기초통계가 <표 1>과 <표 2>에 정리되어 있고, 산업중분류별 분포는 <부표 1>에 정리되어 있다. 먼저 <표 1>에는 본 연구의 주된 관심 변수인 스마트기술의 수준에 관한 빈도와 평균 등이 정리되어 있다. 스마트기술 수준은 6점 척도로 측정되어 있는데, 가장 낮은 수준(1점)은 수기로 생산계획을 작성하는 수준이고, 그 다음(2점)은 엑셀로 생산관리를 하는 수준이다. 그 다음으로 3점은 MES 등 정보관리시스템을 이용해서 생산관리를 하는 수준이고, 그 다음으로 4점은 데이터를 통해서 자동적으로 문제 감지와 원격 제어 수준이며, 5점은 빅데이터와 최적화 솔루션 등을 통해서 공정 전체의 최적화, 종합적인 제어와 문제의 사전 예방 등을 이루는 수준이다. 마지막으로 가장 높은 수준인 6 점은 사람의 지원 없이 자율적으로 문제 확인과 해결을 하는 수준이지만, 그 수준까지 도달한 사업체는 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 무시하기로 한다. 빈도 분석 결과를 보면, 정보관리시스템으로 정보관리를 하지 않는 사업체가 66% 정도이고, 정보관리시스템을 통해서 생산정보를 수집하고 문제를 추적할 수 있는 수준이 30.8% 정도이고, 그 수준을 넘는 사업체는 3.2% 정도로서 매우 제한적임을 알 수 있다. 이 변수의 평균값을 보면, 2.2점 정도로서 매우 낮은 수준에 있음을 볼 수 있다. 이상의 통계 결과들을 보면, 중소제조업에서 스마트공장의 현 단계는 정보관리시스템을 도입할 것인가 여부에 집중되어 있음을 알 수 있다.

<표 1> 스마트공장의 수준: 빈도와 평균(N=509)

구분	빈도(%)
수기로 생산일지/체크리스트 관리	103(20.2)
EXCEL을 활용하여 생산일지/체크리스트 관리하고 단순계획 수립	233(45.8)
생산이력을 체계적으로 관리, 생산정보를 언제나 확인/추적 가능	157(30.8)
데이터 통해 실시간 자동적으로 이상발생 감지, 원격제어로 문제 해결	14(2.8)
빅데이터/최적화 솔루션 활용 공정 전체 최적화, 종합적 제어와 문제 발생의 사전예방 가능	2(0.4)
인간의 개입이 거의 없고 자율적으로 이상 발생 시 제어 및 문제 해결 가능	0(0.0)
평균	2.173(0.792)

<표 2>에는 스마트공장 수준 외의 변수들에 대한 기초통계들이 정리되어 있다. 먼저 종속변수로 사용되는 1인당 부가가치는 『사업체패널조사』에서 부가가치를 회계기간의 평균 근로자수로 나누어서 산출한 값을 사용하였는데, 그것의 평균값은 90.2 백 만 원이다. 1인당 노동장비율을 가리키는 1인당 유형자산은 토지와 건물, 기계장치, 운송도구, 공구・치구・비품, 건설 중인 자산 등의 가격을 근로자수로 나누어 얻은 값인데, 그것의 평균값은 177.9백 만 원이다. Cobb-Douglas 생산함수의 또 다른 투입요소인 근로자수의 평균값은 91.6 명으로 조사되고 있다.

주된 조절변수들로 사용되는 상황적 요인 변수들로서 공정표준화 비율, 대량생산 방식, 원청기업 수 등에 관한 기초통계를 보고자 한다. 먼저 공정표준화는 표준화된 공정의 비율을 5점 척도의 구간변수(① 0-20% ~ ⑤80% 이상)를 이용해서 측정한 값에 대해서 중앙값을 부여해서 평균값을 구한 것인데, 그것의 평균값은 68.7%이다. 대량생산방식은 주제품 또는 주업종의 생산방식이 ①소품종 소량생산 ②소품종 대량생산 ③ 다품종 소량생산 ④ 다품종 대량생산 중 어디에 해당되는지를 조사한 문항에 대해서 대량생산인지 여부만을 취해서 만든 변수인데, 그것의 평균값은 0.583으로 조사되고 있다. 마지막 상황적 요인 변수인 원청기업의 수 평균값은 1.2 개로 나타나고 있다.

다음으로 주체적 요인 변수들인 엔지니어의 수, 고근속 생산기능직 근로자 비율, 생산기능직의 인력부족률 등에 대한 기초통계들을 살펴보고자 한다. 먼저 엔지니어 수는 사업체에 고용되어 있는 전문직 인원수로 측정하였는데, 그것의 평균값은 6.0 명으로 조사되고 있다. 고근속 생산기능직의 비율은 근속년수가 20년 이상인 생산기능직의 비율로 측정하였는데, 그것의 평균값은 5.0%로 조사되고 있다. 마지막으로 생산기능직의 인력부족률은 최근 1달 동안 빈 생산기능직 일자리수를 생산기능직 인원수로 나누어서 얻은 백분율인데, 그것의 평균값은 2.4%로 조사되고 있다.

일터혁신 변수들에 관한 기초통계도 <표 2>에 정리되어 있는데, 먼저 근로자 참여 기반 혁신활동 지수는 제안제도, 소집단활동, 품질관리 프로그램 등의 시행 정도를 합산한 값인데, 그것의 평균값은 1.0개로 조사되고 있다. 각각의 혁신활동 프로그램별 시행 정도에 관한 기초통계를 보면, 제안제도를 도입한 사업체의 비율은 35.0%, 소집단활동을 도입한 사업체의 비율은 39.7%, 품질관리 프로그램을 도입한 사업체의 비율은 28.3% 등이다. 교육훈련시간은 근로자 전체에 대해서 1인당 연간 교육훈련시간으로 측정한 값인데, 평균값은 5.2시간으로 조사되고 있다. 마지막으로 성과급은 생산기능직에 대해서 인사평가 근거로 기본급 차등 인상이 있는지 여부와 이익・성과배분제가 시행되고 있는지 여부 등을 합산한 값으로 측정하였는데, 그것의 평균값은 0.47으로 조사되고 있다. 그것의 구성요소들인 생산기능직에 대한 인사평가 기반 기본급 차등 인상과 이익・성과배분제 등의 평균값들은 각각 0.15와 0.31 등으로 조사되고 있다.

<표 2>에 정리되어 있는 기타 통제변수들에 대한 기초통계에 대해서 살펴보고자 한다. 먼저 직접고용 비정규직 비율과 간접고용 비정규직 비율은 각각 전체 근로자 중 직접 고용 비정규직 근로자의 비율과 간접 고용 비정규직 근로자의 비율인데, 그것들의 평균값은 각각 1.9%와 3.5% 등으로 나타나고 있다. 수출 비율은 전체 매출액 중 수출액의 비율로 측정되었는데, 그것의 평균값은 15.0%이다. 하청회사의 존재는 화청회사가 존재하는지 여부로 측정되었는데, 그것의 평균값은 21.8%이다. 시장경쟁의 치열성 정도는 5점 척도로 측정된 정성적 변수인데, 평균값은 3.8 점으로

시장경쟁이 상당히 치열함을 알 수 있다. 복수사업체는 해당 기업이 2 개 이상의 사업체를 가지고 있는지 여부로 측정하였는데, 35.4%의 사업체에서 복수의 사업체들을 가지고 있는 것으로 조사되고 있다. 유노조기업은 노동조합이 있는지 여부로 측정되었는데, 유노조기업의 비율이 12.8%로 나타나고 있다.

<표 2> 다른 변수들의 기초 통계(N=509)

변수			평균(표준편차)
종속변수	1인당 부가가치(백만원)		90.185 (64.859)
Cobb-Douglas 생산함수	1인당 유형자산(백만원)		177.927 (260.372)
	근로자수(명)		91.578 (78.534)
상황적 요인	공정표준화 비율(%)		68.703 (21.642)
	대량생산 방식(더미)		0.583 (0.493)
	원청기업 수(개)		1.238 (4.885)
주체적 요인	엔지니어 수(명)		5.971 (15.670)
	고근속 생산기능직 근로자 비율(%)		5.035 (12.303)
	생산직의 인력부족률(%)		2.382 (7.858)
일터혁신 요인	근로자 참여 기반 혁신활동	제안제도(더미)	0.350 (0.477)
		소집단활동(더미)	0.397 (0.490)
		품질관리 프로그램(더미)	0.283 (0.451)
		지수	1.029 (1.028)
	교육훈련시간(시간)		5.223 (13.501)
	성과급	생산직 인사평가 기반 기본급 차등 인상(더미)	0.151 (0.359)
		성과배분제(더미)	0.314 (0.465)
		지수	0.466 (0.644)
통제변수	직접고용 비정규직 비율(%)		1.869 (7.336)
	간접고용 비정규직 비율(%)		3.535 (10.146)
	수출비율(%)		14.938 (24.067)
	하청회사 존재(더미)		0.218 (0.413)
	시장 경쟁의 치열성 정도(5점 척도)		3.786 (0.798)
	복수 사업체(더미)		0.354 (0.479)
	유노조 기업(더미)		0.128 (0.334)

Ⅳ. 실증분석 결과들

본 연구의 회귀분석 결과들은 <표 3>~<표 6>에 정리되어 있다. <표 3>에서는 스마트기술이 경영성과에 긍정적인 영향을 미치는지에 관한 실증분석 결과들이, <표 4>에는 상황적 요인들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지 여부에 관한 실증분석 결과들이, <표 5>에는 주체적 요인들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지 여부에 관한 실증분석 결과들이, <표 6>에는 일터혁신 요소들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지 여부에 관한 실증분석 결과들이 정리되어 있다.

<표 3> 스마트기술의 경영성과 효과(N=509)

독립변수	종속변수= 로그(인당 부가가치)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
상수항	2.964 (0.255)	3.046 (0.262)	3.084 (0.263)	2.726 (0.398)
스마트기술 수준	0.014 (0.032)	0.016 (0.032)	0.015 (0.032)	0.176 (0.138)
스마트기술*로그(인당 유형자산)	-	-	-	-0.035 (0.029)
로그(인당 유형자산)	0.139***(0.024)	0.139***(0.024)	0.140***(0.024)	0.220***(0.071)
로그(근로자수)	0.108***(0.038)	0.089**(0.040)	0.081**(0.040)	0.081**(0.040)
근로자 혁신활동 지수	-	-	-0.019 (0.026)	-0.020 (0.026)
교육훈련시간	-	-	0.003^(0.002)	0.003^(0.002)
성과급	-	-	0.078*(0.040)	0.077*(0.040)
고근속 생산직 비율	-	0.002 (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)
생산직의 인력부족률	-	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
엔지니어 수	-	0.002^(0.002)	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)
공정표준화 비율	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
대량생산 방식	0.080^(0.051)	0.084^(0.051)	0.078^(0.051)	0.077^(0.051)
원청기업 수	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)
직접고용 비정규직 비율	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)
간접고용 비정규직 비율	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)
수출비율	0.002*(0.001)	0.002*(0.001)	0.002^(0.001)	0.002^(0.001)
하청회사 존재	-0.026 (0.070)	-0.025 (0.071)	-0.023 (0.071)	-0.019 (0.071)
시장 경쟁의 치열성 정도	0.016 (0.031)	0.012 (0.031)	0.009 (0.031)	0.008 (0.031)
복수 사업체	0.031 (0.054)	0.034 (0.055)	0.034 (0.055)	0.028 (0.055)
유노조 기업	0.158*(0.082)	0.152*(0.084)	0.145*(0.084)	0.153*(0.085)
R^2	0.212	0.216	0.225	0.227

주: ^ p<0.10(단측검증) * p<0.10(양측검증) ** p<0.05(양측검증) *** p<0.01(양측검증)
산업중분류도 독립변수로 포함하여 통제하였으나 지면 절약을 위해서 보고를 생략함

먼저 <표 3>에 정리된 스마트기술의 경영성과 효과에 관한 실증분석 결과들을 살펴보고자 한다. 1열에는 상황적 요인들과 통제변수들만을 포함한 회귀모형의 추정 결과가, 2열에는 1열의 변수들 외에 주체적 요인들이 추가된 회귀모형의 추정결과가, 3열에는 2열의 변수들 외에 일터혁신 요소들이 추가된 회귀모형의 추정결과가 정리되어 있다. 마지막으로 4열에는 Cobb-Douglas 생산함수에서 스마트공장의 수준이 A(총요소생산성)가 아니라 α(자본투입량의 계수)에 영향을 미친다고 가정했을 때의 추정결과(이 모형에서 주된 관심변수는 스마트기술과 로그(인당 유형자산의 교차항임)가 정리되어 있다.

그 분석 결과들을 보면, 모든 모형에서 스마트기술의 추정계수는 1인당 부가가치에 통계적으로 유의하지 않은 양(+)의 값을 가지고 있음을 볼 수 있다. 여기에 보고하지는 않았지만, 통제변수들을 변화시켜가면서 여러 가지 모형들을 추정해보았지만 어떤 모형에서도 스마트공장가 통계적으로 유의하게 1인당 부가가치에 긍정적인 영향을 미치는 경우는 발견되지 않았다. 그리고 4열의 추정결과에서 볼 수 있는 것처럼 스마트기술이 1인당 자본투입량의 노동생산성 제고 효과를 긍정적으로 조절하지도 못하고 있다. 이상의 결과들은 스마트공장의 긍정적인 경영성과 효과를 입증하지 못하고 있다.

이상의 추정 결과들은 이영면 외(2020)의 분석결과와 일관되고 있어서 스마트공장의 경영성과 효과가 있는지 의구심을 낳아주고 있다. 스마트공장의 긍정적인 경영성과 효과가 입증되지 않는 이유로 생각해볼 수 있는 것 중 하나는 중소제조업의 스마트공장이 대부분 정부의 지원에 의해서 도입되고 있다는 점에서 찾을 수 있다. 스마트공장을 정부의 지원에 의해서 도입하다보니 효과성이 낮더라도 그것을 도입할 동인이 증가할 것이기 때문에 전체적으로 스마트공장의 효과성이 낮을 가능성이 있다. 그것 외에도 중소제조업의 스마트공장이 낮은 단계에 있어서 아직 경영성과에 긍정적인 영향을 미칠 정도는 아닐 가능성도 있다. 스마트공장이 경영성과 효과에 긍정적인 영향을 미칠 정도가 되려면 스마트기술을 통해서 수집된 데이터를 활용할 수준까지 올라가야 하는데, 중소기업 내 스마트공장이 정보를 수집하는 수준에 머물러 있는 경우에는 경영성과에 유의미하게 긍정적인 영향을 미치지 못할 가능성이 있기 때문이다.

<표 3>의 분석 결과들을 보면, Cobb-Douglas 생산함수의 주요 변수들인 로그(1인당 유형자산)과 로그(근로자수) 등은 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 그 밖에 아래의 모형들에서 조절변수로 사용되는 변수들의 추정계수를 보면, 성과급이 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있고, 교육훈련시간과 대량생산 방식 등이 약하게나마 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있는 정도이고, 나머지 변수들은 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않고 있다. 통제변수들 중에서는 수출비율과 노동조합의 존재 등이 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있고, 직접고용 비정규직 비율과 간접고용 비정규직 근로자 비율 등이 약하게나마 1인당 부가가치에 통계적으로 유의한 음(-)의 영향을 미치고 있다.

<표 4> 스마트기술의 경영성과 효과에 대한 상황적 요인들의 조절작용(N=509)

독립변수	종속변수= 로그(인당 부가가치)		
	(1)	(2)	(3)
상수항	3.498 (0.360)	3.202 (0.271)	3.056 (0.262)
스마트기술 수준	-0.164^(0.111)	-0.039 (0.045)	0.032 (0.033)
스마트기술*공정표준화	0.003*(0.002)	-	-
스마트기술*대량 생산방식	-	0.108*(0.063)	-
스마트기술* 원청기업수	-	-	-0.020*(0.011)
로그(인당 유형자산)	0.140***(0.024)	0.140***(0.024)	0.142***(0.024)
로그(근로자수)	0.083**(0.040)	0.079**(0.040)	0.080**(0.040)
근로자 혁신활동 지수	-0.017 (0.026)	-0.020 (0.026)	-0.020 (0.026)
교육훈련시간	0.003^(0.002)	0.002 (0.002)	0.003^(0.002)
성과급	0.080**(0.040)	0.080**(0.040)	0.081**(0.040)
고근속 생산직 비율	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)
생산직의 인력부족률	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
엔지니어 수	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)
공정표준화 비율	-0.005^(0.004)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
대량생산 방식	0.081^(0.051)	-0.157 (0.147)	0.068^(0.051)
원청기업 수	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)	0.040^(0.024)
직접고용 비정규직 비율	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)	-0.006^(0.004)
간접고용 비정규직 비율	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)
수출비율	0.002^(0.001)	0.002^(0.001)	0.002^(0.001)
하청회사 존재	-0.018 (0.071)	-0.018 (0.071)	-0.005 (0.071)
시장 경쟁의 치열성 정도	0.007 (0.031)	0.009 (0.031)	0.009 (0.031)
복수 사업체	0.032 (0.054)	0.035 (0.054)	0.031 (0.054)
유노조 기업	0.145*(0.084)	0.149*(0.084)	0.134^(0.085)
R^2	0.229	0.230	0.230

주: ^ p<0.10(단측검증) * p<0.10(양측검증) ** p<0.05(양측검증) *** p<0.01(양측검증)
산업중분류도 독립변수로 포함하여 통제하였으나 지면 절약을 위해서 보고를 생략함

<표 4>에는 공정표준화, 대량생산방식, 원청기업의 수 등 상황적 요인들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지에 관한 실증분석 결과들이 정리되어 있다. 그 결과들을 보면, 공정표준화, 대량생산 방식, 원청기업의 수 등이 양측검증으로 α=0.10 수준에서 통계적으로 유의한 영향을 미치고 있다. 먼저 스마트기술과 공정표준화의 교차항에 대한 추정계수는 양측검증으로 α=0.10 수준에서 통계적으로 유의한 양(+)의 값을, 스마트기술과 대량 생산방식의 교차항에 대한 추정계수도 양측검증으로 α=0.10 수준에서 통계적으로 유의한 양(+)의 값을, 스마트기술과 원청기업 수의 교차항에 대한 추정계수는 양측검증으로 α=0.10 수준에서 통계적으로 유의한 음(-)의 값을 보이고 있다. 이 추정 결과들은 공정표준화와 대량생산 방식 등은 1인당 부가가치에 긍정적인 조절작용을, 원청기업의 수는 1인당 부가가치에 부정적인 조절작용을 하고 있음을 시사하고 있다. 이상의 결과들은 스마트기술을 도입할 때 상황적 조건을 감안할 필요가 있음을 시사하고 있다. 공정이 표준화되어 있거나 대량생산 방식이거나 원청기업의 수가 적을 때에는 제조공정 전체에 대해서 데이터를 수집하고 활용하는 전형적인 방식의 정보관리시스템 기반 스마트공장을 도입해도 좋지만, 그렇지 않은 상황적 조건 속에서는 제조공정의 특정 문제를 해결하기 위해서 특목적용으로 도입할 필요가 있는 것으로 보인다.

<표 5>에는 엔지니어 수, 고근속 근로자 비율, 인력부족률 등 주체적 요인들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지에 관한 실증분석 결과들이 정리되어 있다. 그 추정 결과들을 보면, 고근속 근로자 비율만이 스마트기술의 경영성과 효과에 통계적으로 유의한 양(+)의 조절작용을 하고, 엔지니어 수와, 인력부족률 등은 스마트기술의 경영성과 효과에 통계적으로 유의한 조절작용을 하고 있음이 입증되지 않고 있다. 여기에서 엔지니어의 수가 통계적으로 유의한 조절작용을 하지 않은 것은 상당히 놀라운데, 엔지니어의 수가 생산관리 담당자 수나 생산기술 담당자 수 등을 잘 측정하지 못할 가능성이 있기 때문에 추후 다른 연구들에서 다시 확인해볼 필요가 있음을 언급하고 싶다. 생산기능직의 인적 특성과 관련해서는 고숙련 근로자의 대리변수로 사용된 고근속 근로자의 비중이 중요함을 시사하고 있다. 스마트기술에서 생산기능직의 주된 직무 역할이 기계설비의 관리에 있기 때문에 고숙련 근로자의 중요성이 올라가는데, 그 점을 본 연구의 결과가 포착하고 있는 것이 아닌가 추측된다. 반면에 인력부족이 주변 근로자들에서 주로 발생할 가능성이 높다는 점을 감안하면, 주변 근로자들의 인력부족률은 스마트기술의 경영성과 효과를 조절할 정도로 영향력을 발휘하지는 않는 것으로 추측된다.

<표 5> 스마트기술의 경영성과 효과에 대한 주체적 요인들의 조절작용(N=509)

독립변수	종속변수= 로그(인당 부가가치)		
	(1)	(2)	(3)
상수항	3.099 (0.265)	3.158 (0.262)	3.085 (0.263)
스마트기술 수준	0.009 (0.035)	-0.017 (0.034)	0.018 (0.033)
스마트기술*엔지니어 수	0.001 (0.003)	-	-
스마트기술*고근속 근로자 비율	-	0.008***(0.003)	-
스마트기술* 인력부족률	-	-	-0.001 (0.004)
로그(인당 유형자산)	0.140***(0.024)	0.142***(0.024)	0.140***(0.024)
로그(근로자수)	0.081**(0.040)	0.078*(0.040)	0.080**(0.040)
근로자 혁신활동 지수	-0.019 (0.026)	-0.019 (0.026)	-0.019 (0.026)
교육훈련시간	0.003^(0.002)	0.003^(0.002)	0.003^(0.002)
성과급	0.079*(0.041)	0.080**(0.040)	0.078*(0.040)
고근속 생산직 비율	0.001 (0.002)	-0.014**(0.006)	0.001 (0.002)
생산직의 인력부족률	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	0.001 (0.007)
엔지니어 수	-0.001 (0.006)	0.002^(0.002)	0.002 (0.002)
공정표준화 비율	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
대량생산 방식	0.078^(0.051)	0.075^(0.051)	0.079^(0.051)
원청기업 수	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)
직접고용 비정규직 비율	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)	-0.005^(0.004)
간접고용 비정규직 비율	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)
수출비율	0.002^(0.001)	0.001 (0.001)	0.002^(0.001)
하청회사 존재	-0.023 (0.071)	-0.025 (0.070)	-0.023 (0.071)
시장 경쟁의 치열성 정도	0.009 (0.031)	0.007 (0.031)	0.009 (0.031)
복수 사업체	0.034 (0.055)	0.039 (0.054)	0.033 (0.055)
유노조 기업	0.147*(0.085)	0.128^(0.084)	0.144*(0.085)
R^2	0.225	0.237	0.225

주: ^ p<0.10(단측검증) * p<0.10(양측검증) ** p<0.05(양측검증) *** p<0.01(양측검증)
산업중분류도 독립변수로 포함하여 통제하였으나 지면 절약을 위해서 보고를 생략함

마지막으로 <표 6>에는 근로자 참여 기반 혁신활동, 교육훈련시간, 성과급 등 일터혁신 요소들이 스마트기술의 경영성과 효과에 조절작용을 하는지에 관한 실증분석 결과들이 정리되어 있다. 그 추정 결과들을 보면, 교육훈련시간이 스마트기술의 경영성과 효과에 통계적으로 유의한 양(+)의

조절작용을 하고, 근로자 참여 기반 혁신활동은 스마트기술의 경영성과 효과에 단측 검증으로 α =0.10 수준에서 통계적으로 유의한 조절작용을 하고 있음을 보이고 있다. 반면에서 성과급은 스마트기술의 경영성과 효과에 통계적으로 유의한 조절작용을 하고 있음이 입증되지 않고 있다.

<표 6> 스마트기술의 경영성과 효과에 대한 일터혁신 요인들의 조절작용(N=509)

독립변수	종속변수= 로그(인당 부가가치)		
	(1)	(2)	(3)
상수항	3.179 (0.270)	3.200 (0.267)	3.092 (0.266)
스마트기술 수준	-0.031 (0.044)	-0.016 (0.035)	0.011 (0.038)
스마트기술*근로자 참여 혁신활동	0.045^(0.030)	-	-
스마트기술*교육훈련시간	-	0.005**(0.002)	-
스마트기술*성과급	-	-	0.008 (0.047)
로그(인당 유형자산)	0.142***(0.024)	0.141***(0.024)	0.140***(0.024)
로그(근로자수)	0.081**(0.040)	0.076*(0.040)	0.081**(0.040)
근로자 혁신활동 지수	-0.117*(0.071)	-0.021 (0.026)	-0.019 (0.026)
교육훈련시간	0.003^(0.002)	-0.005 (0.004)	0.003^(0.002)
성과급	0.073*(0.040)	0.080**(0.040)	0.059 (0.112)
고근속 생산직 비율	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)
생산직의 인력부족률	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
엔지니어 수	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)
공정표준화 비율	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
대량생산 방식	0.079^(0.051)	0.072^(0.051)	0.078^(0.051)
원청기업 수	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)	-0.002 (0.006)
직접고용 비정규직 비율	-0.005^(0.004)	-0.006^(0.004)	-0.005^(0.004)
간접고용 비정규직 비율	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)	0.004^(0.003)
수출비율	0.002*(0.001)	0.002^(0.001)	0.002^(0.001)
하청회사 존재	-0.021 (0.071)	-0.022 (0.071)	-0.022 (0.071)
시장 경쟁의 치열성 정도	0.004 (0.031)	0.003 (0.031)	0.008 (0.031)
복수 사업체	0.033 (0.054)	0.028 (0.054)	0.034 (0.055)
유노조 기업	0.145*(0.084)	0.151*(0.084)	0.146*(0.085)
R^2	0.229	0.232	0.225

주: ^ p<0.10(단측검증) * p<0.10(양측검증) ** p<0.05(양측검증) *** p<0.01(양측검증)
산업중분류도 독립변수로 포함하여 통제하였으나 지면 절약을 위해서 보고를 생략함

Ⅴ. 결론

이상으로 본 연구는 『사업체패널조사』2019년 자료를 이용해서 스마트공장이 경영성과에 긍정적인 영향을 미치는지, 그리고 스마트공장의 효과성을 높이는 요인들이 무엇인지 등에 관한 실증분석을 실시하였다. 본 연구는 스마트공장의 특성과 한계 등을 감안하면서 이론적 추론을 통해서 스마트공장의 효과성을 높이는 요인들에 관한 가설들을 다음과 같이 설정하였다. 첫째, 상황적 요인들로서 공정 표준화와 대량생산 방식이 스마트공장의 경영성과 효과에 긍정적인 조절 영향을 미치고, 원청기업의 수는 스마트공장의 경영성과 효과에 부정적인 조절 영향을 미칠 것이다. 둘째, 주체적 요인으로서 엔지니어의 수와 고숙련 근로자 비중이 스마트공장의 경영성과 효과에 긍정적인 조절 영향을 미치고, 인력부족률이 스마트공장의 경영성과 효과에 부정적인 조절 영향을 미칠 것이다. 셋째, 일터혁신 요소들로서 근로자 참여 기반 혁신활동, 교육훈련시간, 성과급 등이 스마트공장의 경영성과 효과에 긍정적인 조절 영향을 미칠 것이다. 본 연구의 회귀분석 모형은 Cobb-Douglas 생산함수에 기초하고 도출하였다. 종속변수는 노동생산성 지표로서 1인당 부가가치이고, 그 모형은 OLS로 추정하였다.

본 연구의 회귀분석 결과는 스마트공장이 1인당 부가가치에 통계적으로 유의하게 긍정적인 영향을 미치지 않음을 시사하고 있다. 이 추정 결과는 이영면 외(2020)의 분석 결과와 일관되고 있어서 스마트공장이 경영성과에 긍정적인 영향을 미치는가에 대한 의구심이 제기될 수 있다. 그러나 스마트공장이 경영성과에 긍정적인 영향을 미치지 않는다면 그것을 도입할 이유가 없는데, 많은 중소제조업에서 스마트공장이 도입되고 있는 현실의 추이와 모순이 발생하고 있다. 이런 점에서 추후 다른 연구들을 통해서 스마트공장의 경영성과 효과를 재차 실증해볼 필요성이 제기되고 있다. 특히 정부의 재정지원을 통한 도입이 스마트공장의 경영성과 효과성에 어떤 영향을 미치는지, 그리고 스마트공장의 도입 단계별로 경영성과 효과성에 어떤 영향을 미치는지 등을 분석해볼 필요성이 제기되고 있다.

스마트공장의 경영성과 효과에 관한 조절변수들에 관한 분석 결과들은 다음과 같다. 첫째, 상황적 요인들로서 공정표준화와 대량생산방식 등이 스마트공장의 1인당 부가가치 제고 효과에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고, 원청기업의 수는 스마트공장의 1인당 부가가치 제고 효과에 통계적으로 유의한 음(-)의 영향을 미치고 있어서 가설 1-1, 가설 1-2, 가설 1-3 등이 입증되고 있다. 둘째, 주체적 요인으로서 고근속 생산기능직 근로자 비율이 스마트공장의 1인당 부가가치 제고 효과에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있어서 가설 2-2는 입증되고 있지만, 엔지니어의 수와 인력부족률 등은 통계적으로 유의한 조절효과를 보이지 않고 있다. 셋째, 일터혁신 요소로서 교육훈련시간이 스마트공장의 1인당 부가가치 제고 효과에 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있어서 가설 3-2를 입증하고 있다. 반면에 근로자 참여 기반 혁신활동도 스마트공장의 1인당 부가가치 제고 효과에 단측 검증으로 α=0.10 수준에서 통계적으로 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있어서 그것의 조절효과가 약하게나마 긍정적임을 시사하고 있다. 그러나 성과급은 스마트공장의

경영성과 효과에 통계적으로 유의한 조절효과를 보이지 않고 있다.

본 연구의 조절효과 분석은 여러 가지 정책적 시사점을 던져주고 있다. 첫째, 공정표준화가 스마트공장의 효과성을 높이고 있기 때문에 스마트공장의 도입 시 공정 표준화 등 공정합리화가 전제되고 있다는 점이다. 스마트공장이 정보의 정형화와 공식화를 함축하고 있기 때문에 스마트공장을 기존의 작업방식에 덧붙이는 방식으로 접근하기보다는 공정의 합리화를 위한 계기로 삼을 필요가 있음을 말해주고 있다. 둘째, 생산방식이나 원청기업의 수 등 상황적 조건에 정합적인 방식으로 스마트공장을 도입할 필요성이 제기되고 있다. 스마트공장을 도입하기 위해서 생산방식이나 원청기업의 수를 바꾸는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 그것들에 정합적인 스마트공장 유형을 도입할 필요가 있다. 중소기업들에서도 MES나 ERP 등 정보관리시스템을 공장 전체를 대상으로 해서 도입하는 경향이 있는데, 소량생산에 근거하고 있거나 원청기업의 수가 많은 기업들에서는 문제시되는 특정 공정에 대해서 특수목적용 스마트공장이 더 적합할 수 있다. 가령, 제조현장에 인공지능을 활용하고자 할 때에는 전 작업공정에 대한 정보가 필요한 것이 아니고 특정 공정에 대한 집중적인 정보가 요구되는 경향이 있다는 점을 감안하면, 소량생산방식이나 원청기업의 수가 많은 기업에서는 굳이 전체 공정에 대한 정보보다 특수목적용 정보가 더 유용할 수 있다. 셋째, 스마트공장의 효과성을 높이기 위해서는 고숙련 생산기능직 근로자들이 필요하다는 분석결과를 주목할 필요가 있다. 스마트공장의 도입과 함께 생산기능직 근로자들의 과업 역할이 치・공구의 교환, 프로그램 세팅, 유지보전, 정비 등 기계설비의 관리로 전환하고 있는데, 그것을 위해서는 고숙련 생산기능직 근로자들이 요구되고 있다. 이런 점에서 스마트공장의 효과성을 높이기 위해서는 고숙련 생산기능직 근로자들의 공급과 육성을 위한 정책 방안들이 요구되고 있다. 넷째, 통계적 유의도가 약하기는 하지만 본 연구의 분석 결과들은 스마트공장의 효과성을 높이기 위해서는 일터혁신과의 통합적 접근이 요구되고 있음을 시사하고 있다. 일터혁신 요소 중 교육훈련이 특히 스마트공장의 효과성에 긍정적인 영향을 미치고 있다는 점을 주목할 필요가 있다. 근로자 참여 기반 혁신활동은 약하게나마 스마트공장의 효과성에 긍정적인 영향을 미치고 있는데, 그런 혁신활동들을 스마트공장과 병행하는 수준을 넘어서서 통합적으로 접근할 필요성이 제기되고 있다. 즉, 스마트공장의 정보 수집을 통해서 확인되는 여러 가지 문제점들을 해결하고, 역으로 근로자들의 혁신활동에 스마트공장의 도움을 받는 방안을 강구할 필요성이 제기되고 있다.

마지막으로 다음과 같은 본 연구의 한계를 감안해서 연구 결과의 해석이 신중할 필요가 있다는 점도 말씀드리고 싶다. 첫째, 본 연구의 사용 자료가 횡단면 분석이기 때문에 역인과성이나 상호인과성 문제가 있을 수 있다. 이 점은 추후 패널분석이나 도구변수 기법 등을 이용해서 해결할 필요성이 제기되고 있다. 둘째, 본 연구를 위해 조사된 데이터에 근거하고 있지 않기 때문에 본 연구의 가설들의 입증에 정확하게 필요한 변수들을 얻지 못하고 대리변수들도 일부 사용하고 있다. 셋째, 『사업체패널조사』를 이용해서 기업 경영성과 효과를 분석할 때 직면하는 문제로서 분석 단위의 문제가 있다. 즉, 경영성과 정보는 기업체 단위에서 얻고 있는데, 일반적인 특성은 사업체 단위에서 조사되고 있기 때문에 양자간에 불일치가 발생할 우려가 있다. 이런 한계 때문에 하나의 기업에 속하는 사업체간 동일한 조건이라는 강한 가정을 전제할 수밖에 없고 또 그것을 통제하기

위해서 복수 사업체 여부를 독립변수로 포함하고 있지만, 그것만으로 충분한 통제가 될 수 없다는 점은 분명하다.

참고문헌

노용진·박경원(2020) 『스마트공장의 효과성 제고를 위한 정책방안 연구』 중소벤처기업부

이영면 · 노용진 · 노세리(2020) 『급격한 시장환경 변화에 따른 일터혁신 평가, 모델 발굴 및 확산 방안 연구』 고용노동부

<표 1> 표본의 산업별 분포: 산업중분류 기준(N=509)

산업중분류	평균(표준편차)
10) 식료품 제조업	0.098 (0.298)
11) 음료 제조업	0.004 (0.063)
12) 담배 제조업	0.000 (0.000)
13) 섬유제품 제조업 ; 의복제외	0.033 (0.180)
14) 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업	0.012 (0.108)
15) 가죽, 가방 및 신발 제조업	0.004 (0.063)
16) 목재 및 나무제품 제조업 ; 가구제외	0.008 (0.088)
17) 펄프, 종이 및 종이제품 제조업	0.018 (0.132)
18) 인쇄 및 기록매체 복제업	0.010 (0.099)
19) 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	0.004 (0.063)
20) 화학물질 및 화학제품 제조업 ; 의약품 제외	0.063 (0.243)
21) 의료용 물질 및 의약품 제조업	0.010 (0.099)
22) 고무 및 플라스틱제품 제조업	0.104 (0.306)
23) 비금속 광물제품 제조업	0.029 (0.169)
24) 1차 금속 제조업	0.045 (0.208)
25) 금속 가공제품 제조업 ; 기계 및 가구 제외	0.079 (0.269)
26) 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	0.102 (0.303)
27) 의료, 정밀, 광학 기기 및 시계 제조업	0.047 (0.212)
28) 전기장비 제조업	0.065 (0.246)
29) 기타 기계 및 장비 제조업	0.116 (0.320)
30) 자동차 및 트레일러 제조업	0.098 (0.298)
31) 기타 운송장비 제조업	0.016 (0.125)
32) 가구 제조업	0.020 (0.139)
33) 기타 제품 제조업	0.016 (0.125)

abstract

Firm Performance Effects of Smart Technology in SMEs

Yongjin Nho* Seri Noh **

Utilizing Workplace Panel Survey 2019, we conduct empirical analyses on whether smart technology has a positive effect on firm performance in SMEs, and on which factors moderate its firm performance effects. Based on theoretical conjectures, we set the following hypotheses on some moderators for firm performance effects of smart technology. (1) Process standardization and mass production will have a positive moderating effect respectively, and the number of prime contractors will have a negative moderating effect. (2) The number of engineers and the proportion of skilled production workers will have a positive moderating effect respectively, and labor shortage rate will have a negative moderating effect. (3) Employee-involved innovation practice, training hours, and performance-based pay will have a positive moderating effect respectively. We draw our regression models from the Cobb-Douglass production function. We estimate OLS models whose dependent variable is value added per capita. The results of this study indicate that smart technology does not affect positively value added per capita. The results of estimating moderating effects indicate that process standardization(+), mass production(+), the number of prime contractors(-), the proportion of skilled production workers(+) and training hours(+) have statistically positive moderating effects on the firm performance of smart technology as expected by this study. The results also indicate that employee-involved innovation practice has a weakly positive moderating effect on the firm performance of smart technology. Finally the results are summarized, and their implications are discussed.

Keywords: Smart Factory, Firm Performance, Labor Productivity, Workplace Innovation Practices Contingent Factors, Small-medium-sized Firms

* Professor, Dept. of Business Administration, Seoul National University of Science and Technology
** Research Fellow , Korea Labor Institute