
4차 산업혁명 기술 활용이 수출성과에 미친 영향

오세환

경북대학교 경영학부 부교수

The Effect of the Use of 4th Industrial Revolution Technology on Export Performance

Sehwan Oh^a

^aSchool of Business Administration, Kyungpook National University, South Korea

Received 00 April 2021, Revised 00 April 2021, Accepted 00 April 2021

Abstract

With the advent of the 4th Industrial Revolution, there is a rising interest in the impact of these changes on Korea's trade. While the previous studies related to the 4th Industrial Revolution are very limited in the field of trade research, this study attempts an empirical analysis regarding the effect of the use of the 4th Industrial Revolution technology on the performance of exporters, based on the data of the Survey of Business Activities during 2017-2019 by the Korean government statistical office. Through the empirical analysis in combination with the propensity score matching (PSM) and the difference-in-difference (DID) analysis, this research confirms that the use of the 4th Industrial Revolution technology has a positive effect on the export performance of Korean exporters.

Keywords: 4th Industrial Revolution, Export Performance, Difference-in-Difference, Propensity Score Matching

JEL Classifications: M0, M1, M2

^a First & Corresponding Author, E-mail: sehwan@knu.ac.kr

© 2021 The Korea Trade Research Institute. All rights reserved.

I. 서론

2016년 세계경제포럼(World Economic Forum)을 통해 전세계적인 화두로 등장한 4차 산업혁명(4th Industrial Revolution)은 일반적인 기술 발전을 넘어 경제, 사회 전반에 걸쳐 혁신적인 변화를 불러올 것으로 기대되고 있다. 특히 4차 산업혁명을 주도하는 핵심 기술인 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일 등을 활용한 기업들이 경영성과 측면에서 긍정적인 성과를 달성하고 있는 것으로 나타나면서 관련 분야에 대한 연구도 꾸준히 증가하는 추세에 있다(Aydiner et al., 2019; Garrison, Wakefield and Kim, 2015; Pan et al., 2020; Tang, Huang and Wang, 2018).

무역학 분야에서도 정보통신기술(ICT)의 융합으로 이뤄지는 차세대 산업혁명인 4차 산업혁명 시대의 도래와 더불어 이러한 변화가 한국무역에 미칠 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근 국내외 무역학 관련 선행연구들은 전략적 관점에서 4차 산업혁명의 도래와 대응 방안에 대한 연구뿐만 아니라 4차 산업혁명 기술 관련 수출상품 경쟁력, 도입 영향요인, 활용 성과 등 다양한 주제로 실증연구를 수행하고 있다(Chung Hyuk, 2021; Kim Chang-Beom, 2018; Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019).

그러나, 상대적으로 최근 등장하기 시작한 4차 산업혁명과 관련 데이터 확보의 제약으로 인해 실증연구는 아직까지 매우 제한적인 상황이다. 국내에서는 통계청이 2017년도부터 '기업활동조사' 항목에 4차 산업혁명 관련 지표를 포함하여 발표하기 시작하면서 이를 활용한 연구들이 시도되고 있다(Chung Hyuk, 2021; Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019).

그동안 정보시스템 관련 연구자들은 정보기술 역량과 기업 성과 간 관계에 대해 다양한 연구를 시도해 왔다. 일부 연구자들은 IT 역량과 기업 성과 간의 사이에 긍정적인 관계가 있다고 주장하기도 했으나(Bharadwaj, 2000; Hitt, Wu and Zhou, 2002; Santhanam and Hartono, 2003), 또 다른 연구자들은 이미 상용

화되고 보편화된 IT 기술 활용이 성과에 미치는 영향은 제한적이라고 주장하기도 했다(Chae Ho-Chang, Koh Chang-E and Prybutok, 2014; Hendricks, Singhai and Stratman, 2007; Shin Il-Soon, 2006).

4차 산업혁명 기술의 활용이 수출성과에 미치는 영향과 관련 해서도 실증분석 결과는 일반적인 기대와는 상이하게 나타나기도 한다. 선행연구에 따르면 기술혁신역량의 관점에서 4차 산업혁명 기술 활용과 수출성과 간 관계를 분석한 결과, 4차 산업혁명 기술 활용이 단기적으로는 수출성과에 오히려 부정적이라고 밝힌 바도 있다(Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019).

그러나 앞선 연구들은 데이터의 제약으로 인해 4차 산업혁명 기술의 영향에 대한 실증분석을 시도하기에 다소 제한적인 측면이 있다. 이에 본 연구에서는 2017년~2019년 3개년 동안 축적된 통계청의 기업활동조사를 활용하여 4차 산업혁명 기술 활용과 수출성과 간 관계에 대해 실증분석을 수행하고자 한다.

특히 본 연구는 신규 정책이나 정보시스템 도입 효과 등의 분석에 활용되는 성향점수매칭(propensity score matching, PSM)과 이중차이(difference-in-difference, DID) 분석 방법을 결합하여 수출기업의 4차 산업혁명 기술 활용 이전과 이후의 수출성과 차이에 대해 분석하고자 한다. 이를 위해 먼저 성향점수매칭(PSM) 기법을 활용하여 분석 대상인 4차 산업혁명 기술 활용 기업과 비교 대상인 비활용 기업의 통계적 동질성을 확보하고 이를 바탕으로 이중차이(DID) 분석을 수행하여 활용 전과 후 두 기업 집단의 수출성과를 비교한다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 4차 산업혁명 기반 기술과 경영성과에 대한 이론적 배경을 살펴보고 3장에서는 데이터 수집, 성향점수매칭 및 이중차이분석 등 구체적인 연구방법론에 대해 논의한다. 이어지는 4장에서 실증분석 결과를 제시하고 이를 바탕으로 5장에서 결론 및 시사점에 대해 논의한다.

II. 이론적 배경

1. 4차 산업혁명과 기반 기술

세계경제포럼을 통해 4차 산업혁명을 주창했던 Schwab (2017)은 이전의 산업혁명들과는 달리 정보통신기술의 융합으로 이루어지는 4차 산업혁명은 ‘모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로의 진화’라고 강조한다. 또한, 한국의 대통령직속 4차산업혁명위원회는 4차 산업혁명을 인공지능, 빅데이터, 모바일 등 정보기술의 발전에 의해 촉발되는 초연결, 지능화 혁명으로 정의하며 경제, 사회 전반에 근본적인 변화를 불러일으키고 있다고 진단하고 있다(The Presidential Committee on the 4th industrial revolution, 2018).

한편, 4차 산업혁명을 주도하는 기술에 대해서는 관련 기관 및 연구자에 따라 다양한 견해가 존재하고 있다. Schwab (2017)은 4차 산업혁명의 주요 기술적 동인(technological drivers)으로 물리적(physical), 디지털(digital), 생물학적(biological) 메가트렌드를 언급하고 있다. 먼저 물리적 메가트렌드로 자율주행차(autonomous vehicles), 3D 프린팅(3D printing), 로봇공학(advanced robotics), 그래핀과 같은 신소재(new materials) 등이 있으며 디지털 메가트렌드로 사물인터넷(IoT)과 블록체인(blockchain), 생물학적 메가트렌드로 유전학(genetics), 합성생물학(synthetic biology), 유전자편집(genetic editing) 등을 나열하고 있다.

글로벌 컨설팅 업체인 PwC는 4차 산업혁명을 주도하며 지금의 비즈니스 환경에서 가장 중요한 8대 핵심기술로 인공지능(artificial intelligence), 가상현실(virtual reality), 증강현실(augmented reality), 블록체인(blockchain), 드론(drones), 사물인터넷(IoT), 로봇공학(robotics), 3D 프린팅(3D printing) 등을 강조하고 있다(PricewaterhouseCoopers, 2021).

국내에서는 대통령직속 4차산업혁명위원회가 인공지능(AI) 기술과 AI의 성능 향상 및 보급에 핵심적인 역할을 하는 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 빅데이터

(big data), 모바일(mobile) 등 소위 ‘ICBM’이라고 불리는 데이터 활용 기술을 4차 산업혁명의 핵심기술로 소개하고 있다(The Presidential Committee on the 4th industrial revolution, 2018).

또한, 한국 통계청의 경우 4차 산업혁명 기술로 인공지능과 ICBM 기술뿐만 아니라 블록체인, 3D 프린팅, 로봇공학, 가상현실, 증강현실 등을 관련 기술로 규정하고 있으며 2017년부터 ‘기업활동조사’를 통해 일정 규모 이상의 국내 기업들을 대상으로 매년 4차 산업혁명 기술 활용 및 개발 수준에 대한 조사를 수행하고 있다(Statistics Korea, 2019).

이와 같이 4차 산업혁명 시대를 주도하는 핵심기술에 대한 다양한 견해도 불구하고 관련 기술들이 경제, 사회 전반에 걸쳐 혁신적인 변화를 불러오고 있다는 점에서는 논란의 여지가 없다. 4차 산업혁명 기반 기술들이 전 산업 영역의 경쟁력 제고를 위해 활용될 수 있다는 점에서 기대를 모으고 있는 가운데 일례로 제조업 분야의 경우 생산계획에서부터 자원조달, 생산/운영관리, 유통, 판매 등에 이르는 가치사슬 전반에 걸쳐 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 5G 등의 4차 산업혁명 기술 활용이 산업경쟁력 확보에 중요한 요인으로 작용하고 있다고 평가된다.

물류 분야에서도 지능화된 유연 물류체계를 구축하는데 있어 물류로봇, 자율주행화물차, 자율주행선박, 스마트 패키징 등 4차 산업혁명 기술을 물류 부문에 도입한 물류 4.0 기술이 활용되고 있을 뿐만 아니라 4차 산업혁명 관련 기술이 외부 공급사슬 혁신을 통해 수출성장에 긍정적인 영향을 미치고 있다는 선행연구도 있다(Chung Jae-Eun and Moon Hee-Cheol, 2019; Kim Young-Min, 2020).

2. 4차 산업혁명 기술 활용의 경영성과

무역학 분야의 선행연구들은 최근 주목받고 있는 4차 산업혁명이 무역에 미칠 영향과 관련된 다양한 관점의 연구를 시도하고 있다. 국내 무

Table 1. Technologies of the 4th Industrial Revolution

Source	Technology
Schwab (2017)	(Physical) Autonomous vehicles, 3D printing, Advanced robotics, New materials(graphene) (Digital) Internet of things(IoT), Blockchain (Biological) Genetics, Synthetic biology, Genetic editing
PricewaterhouseCoopers (2021)	Artificial intelligence, Virtual reality, Augmented reality, Blockchain, Drones, IoT, Robotics, 3D printing
The Presidential Committee on the 4th industrial revolution (2018)	Artificial intelligence, IoT, Cloud computing, Big data, Mobile
Statistics Korea (2019)	Artificial intelligence, IoT, Cloud computing, Big data, Mobile, Blockchain, 3D printing, Robotics, VR/AR

역학 분야에서 체계적 문헌연구를 시도한 선행 연구에 따르면 최근 국제물류 및 블록체인 기술을 활용한 스마트 무역계약이 활발히 연구되고 있는 가운데 관세행정, 빅데이터, 전문인력 양성 등에 대한 연구와 인공지능 및 디지털 무역에 대한 사례연구들도 수행되었다(Lee Ho-Hyung, 2020).

4차 산업혁명 기술에 대한 전략적 관점의 선행 연구들은 4차 산업혁명 기술의 융복합을 통해 무역의 대상, 주체, 시장, 형태 및 방식 등에서 근본적인 변화를 만들어 내고 있다고 진단하고 이에 대응하는 수출촉진 전략을 제시하는 한편 4차 산업혁명 시대의 융복합 무역 인력양성의 중요성을 강조하기도 했다(Lee Byung-Moon, Park Kwang-So and Jeong Hee-Jin, 2017; Cho Won-Gil, 2019).

무역인력 양성 및 교육과정 개편 등과 관련 Park Se-Hun (2019)은 4차 산업혁명 시대 도래에 따른 서비스, 융복합무역, 전자상거래 분야의 확대와 더불어 무역업체 실무인력에 대한 조사를 통해 무역실무 교과과정 개편 방안을 제시하기도 했으며, Lee Ho-Gun (2018)은 급변하는 무역구조 변화에 따라 대학의 무역교육 내용 및 과정 개편이 시급하다고 주장하면서 교과과정 개설 유연화, 교육방법론 도입 지원, 산학협력 기반 제공 등의 필요성을 역설하기도 했다.

또한, Yu Kwang-Hyun and Doh Joong-Kwon (2017)은 4차 산업혁명 시대에 대응하여 중소기업 지원방안에 대한 중요성을 강조하고 서비스업의 수출 산업화 지원, 장기적 구조변화, 국가적 컨트론타워 구축 등의 필요성을 제안하기도 했으며 Kim Pang-Ryong (2018)은 일본의 4차 산업혁명 관련 주요 전략을 소개하면서 기술협력을 전략적으로 활용하는 인프라 수출확대 방안 사례를 언급하기도 했다.

이와 같이 4차 산업혁명 시대에 대응한 수출 전략 개발 및 인력양성과 관련한 연구뿐만 아니라 최근에는 4차 산업혁명 관련 기술 활용이 수출성과에 미치는 영향에 대한 연구도 등장하고 있다. 이러한 배경에는 빅데이터, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 블록체인 등 4차 산업혁명 기반 기술 활용이 실제 비즈니스 및 경영성과에 긍정적으로 작용하고 있다는 선행연구들이 있다.

Aydiner et al. (2019)는 빅데이터에 기반한 비즈니스 애널리틱스가 비즈니스 프로세스 성과에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 밝혔으며 Tang, Huang and Wang (2018)은 사물인터넷 기술 구현이 토빈의 q(Tobin's q)와 기업 성과 측면에서 긍정적인 영향을 미치고 특히 총자산 이익률(return on assets: ROA) 향상에 기여한다고 주장한 바 있다.

또한, Garrison, Wakefield and Kim Sang-

Hyun (2015)는 관리적, 기술적, 관계적 정보기술 역량이 클라우드 컴퓨팅 성공에서 중요한 역할을 담당하며 이를 통해 기업 성과에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 보였다. Pan et al. (2020)은 중국의 상장기업을 대상으로 한 연구에서 블록체인 기술 구현이 자산회전을 제고 및 판매비용 감소 측면에서 긍정적인 영향을 미치고 있다는 것을 실증하기도 했다.

이와 같은 맥락으로 무역학 분야에서도 4차 산업혁명 관련 기술 활용의 영향과 관련 수출상품 경쟁력, 수출성과 등을 주제로 데이터 기반의 실증분석 연구가 시도된 바 있다. Kim Chang-Beom (2018)은 지능형로봇, 시스템반도체, 전기자동차, 항공·우주, 첨단의료기기, 첨단신소재, 에너지저장장치 등 4차 산업혁명 기술 관련 수출상품을 선정하여 한국, 중국, 일본의 수출경쟁력과 비교우위를 무역특화지수(trade specialization index), 현시비교우위지수(revealed comparative advantage), 불변시장점유율(constant market share) 등을 이용하여 분석하기도 했다.

한편, 4차 산업혁명 기술 활용의 수출 영향에 대한 실증분석 연구는 다소 상이한 연구결과를 제시하고 있다. Chung Jae-Eun and Moon Hee-Cheol (2019)은 중소 수출입기업의 4차 산업혁명 중점기술인 스마트기술 수용과의 글로벌 공급사슬 혁신성과를 실증적으로 고찰하여 외부 공급사슬 혁신이 수출성장에 유의한 영향을 미친다는 것을 밝혀냈다. Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun (2019)은 기술혁신역량의 관점에서 4차 산업혁명 기술 활용의 수출에 대한 영향을 분석한 결과, 4차 산업혁명 기술 활용이 단기적으로는 수출성장에 오히려 부정적인 영향이 있다는 연구결과를 제시하기도 했다.

그러나 통계청의 '2017년도 기업활동조사'를 활용한 선행연구는 2017년 4차 산업혁명 기술을 활용한 기업 통계를 활용하여 시차를 두고 발생할 수 있는 실제 활용 효과 측정에서 제한적일 수 있다는 한계를 갖고 있다(Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019). 2017년 이후 통계청의 4차 산업혁명 기술 활용에 대한 설문조사가 2018-19년까지

속됨에 따라 실제 4차 산업혁명 기술 활용이 시차를 갖고 수출기업 성과에 미친 영향에 대한 후속 실증분석이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 기존 선행연구의 제한사항인 분석기간을 확장하는 한편 4차 산업혁명 기술 활용 기업과 비활용 기업을 구분하여 4차 산업혁명 기술 활용 이전과 이후의 수출성과 차이에 대해 실증분석해 보고자 한다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 데이터

본 연구에서는 통계청(www.kostat.go.kr)에서 기업 수준의 경영활동에 대한 종합적인 통계를 제공하고 있는 '기업활동조사(Survey of Business Activities)'를 사용한다. 통계청은 매년 국내 회사법인 중 상용근로자 50인 이상, 자본금 3억원 이상인 기업들을 대상으로 기업활동조사를 발표하고 있는데 2017년부터 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 블록체인, 3D 프린팅 등 4차 산업혁명 관련 기술의 활용 및 개발 현황에 대한 통계를 추가적으로 집계하여 발표하고 있다.

기업활동조사에 4차 산업혁명 관련 지표가 추가되면서 이를 활용한 연구도 점차 활발해지고 있다(Chung Hyuk, 2021; Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019). 2021년 3월 기준으로 통계청 기업활동조사의 4차 산업혁명 관련 지표는 2017년~2019년까지 3개년의 자료가 활용 가능하며 회원 가입을 통해 통계청의 마이크로데이터 통합서비스(Microdata Integrated Service, MDIS)에서 직접 다운로드 받을 수 있다.

본 연구는 2018년에 4차 산업혁명 기술을 신규 도입한 기업들의 2018-2019년 간 성과 차이를 분석하기 위해 2017년 기준 4차 산업혁명 기술을 활용하고 있지 않다고 응답한 기업 중 2018년 4차 산업혁명 기술을 신규로 도입한 수출기업들을 대상으로 2018-2019년 간의 기업활동에 대한 데이터셋을 구축하였다. 통계청의 2017년 설문 결과를 통해서만 개별 기업이 4차

Table 2. Descriptive Statistics

(Unit: Mil.KRW/No.)

Group	Variable	N	Mean	Min	Max
Adopters	Exports	384	252,013	1	35,456,900
	Sales	384	755,711	2,839	40,324,651
	Asset	384	903,831	1,440	60,980,608
	Employee	384	850	15	38,735
	Cost	384	668,093	3,487	29,505,602
Non-adopters	Exports	4,534	36,390	1	12,554,830
	Sales	4,534	162,501	619	28,653,512
	Asset	4,534	168,747	1,890	47,162,963
	Employee	4,534	235	6	25,604
	Cost	4,534	155,242	1,393	27,692,091

산업혁명 관련 기술을 정확히 언제 도입했는지 여부를 확인할 수는 없기 때문에 2018년에 신규로 도입한 수출기업만을 대상으로 분석에 활용한다.

2018년 기준으로 기업활동조사의 최소 수출액 기준인 1백만원 이상을 수출한 기업으로 4차 산업혁명 기술 활용 기업과 비활용 기업의 수출액, 매출액(영업이익), 자산규모, 종업원수, 비용규모 등에 대한 기술통계는 <Table 2>와 같다. 4차 산업혁명 기술을 활용한 기업들(adopters)은 활용하지 않은 기업(non-adopters)에 비해 평균적으로 수출액을 비롯한 매출액, 자산규모, 종업원수 등에서 상대적으로 규모가 큰 기업들이므로 나타나고 있다.

2. 분석방법

정보기술역량 및 기술혁신 관련 선행연구들은 리더 기업과 비교 대상 기업을 매칭하여 분석하는 방법론을 채택하기도 한다(Bharadwaj, 2000; Chae Ho-Chang, Koh Chang-E and Prybutok, 2014). 본 연구도 이러한 방법론을 참고하여 4차 산업혁명 기술의 도입이 수출에 미치는 영향을 살펴보고자 4차 산업혁명 활용

수출기업과 비활용 기업을 매칭하여 수출성과를 비교하고자 한다. 분석방법과 관련 본 연구는 성향점수매칭(PSM) 방법과 이중차이(DID) 분석 기법을 결합하여 적용한다.

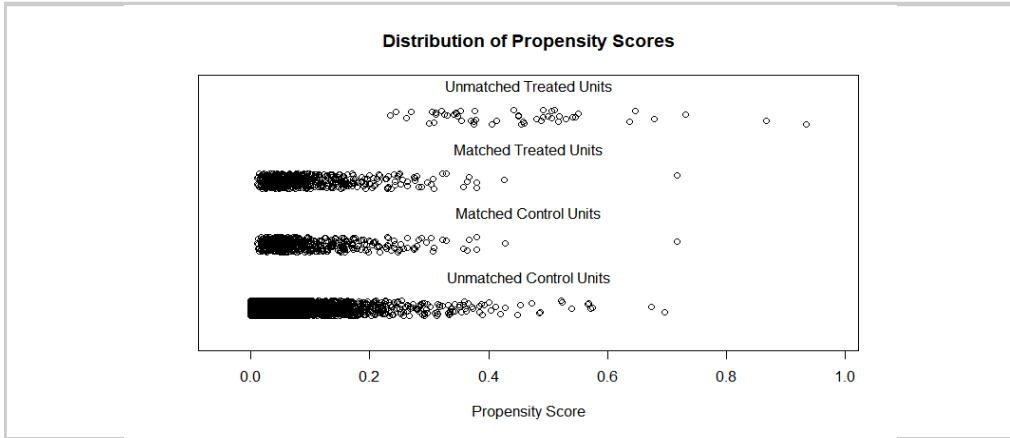
성향점수매칭에서는 수출기업들의 특성을 기반으로 성향점수를 산출한 후 이를 활용하여 4차 산업혁명 활용 기업과 비활용 기업 간 매칭을 수행하고 이중차이분석을 실시하였다. 성향점수매칭 방법과 이중차이분석 방법을 연계하여 활용함으로써 자기선택(self-selection)에 의한 내생성(endogeneity) 문제를 효과적으로 대처할 수 있을 뿐만 아니라 횡단면 분석에서의 단순한 매칭 샘플 비교와 달리 시간 흐름에 따른 영향을 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

1) 성향점수 추정

이중차이분석에 앞서 먼저 4차 산업혁명 활용 수출기업과 비활용 기업을 매칭하기 위해 성향점수를 추정한다. 성향점수분석을 통해 관찰가능한 변수들을 활용하여 처리집단과 비교집단의 성향점수를 계산하고 이를 매칭함으로써 두 집단을 동질적으로 구성하여 표본의 균형을 맞출 수 있다(Rosenbaum and Rubin, 1983).

Table 3. Balance for Data

Group	Means Treated	Means Control	Std. Mean Diff.
Distance for All Data	0.1217	0.0539	0.5176
Distance for Matched Data	0.0905	0.0905	0.0002

Fig. 1. The Distribution of Propensity Scores

본 연구에서는 통계분석 언어인 R을 기반으로 Ho et al. (2007)의 성향점수 매칭 기법 권장 사항들을 구현한 MatchIt 패키지를 활용하여 성향점수 매칭을 수행한다. 성향점수 추정에는 이항 로지스틱 모형을 사용했으며 추정에 활용된 식은 (1)과 같다. 개별 기업들의 특성을 대표하는 변인으로는 선행연구를 참고하여 매출액, 자산, 상용 근로자수, 비용, 대기업 여부 등을 활용하였다(Oh Se-Hwan, Baek Hyun-Mi and Lee Sae-Rom, 2016; Chae Ho-Chang, Koh Chang-E and Prybutok, 2014).

$$\begin{aligned}
 ir4_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 * lnsales_{i,t} + \beta_2 * lnasset_{i,t} \\
 & + \beta_3 * lnemp_{i,t} + \beta_4 * lncost_{i,t} + \beta_5 * size_{i,t} \quad (1) \\
 & + \beta_6 * year_{i,t} + \sum \gamma_n * industry_{i,t}
 \end{aligned}$$

($ir4_{i,t}$: 4차 산업혁명 기술 활용 여부(활용=1, 비활용=0), $lnsales_{i,t}$: log(매출액), $lnasset_{i,t}$: log(자산규모), $lnemp_{i,t}$: log(종업원수), $lncost_{i,t}$: log(비용), $size_{i,t}$: 기업규모(대기업=1, 비대기업=0), $year_{i,t}$: 연도(2018=0, 2019=1), $industry_{i,t}$: 산업더미(한국표준산업분류))

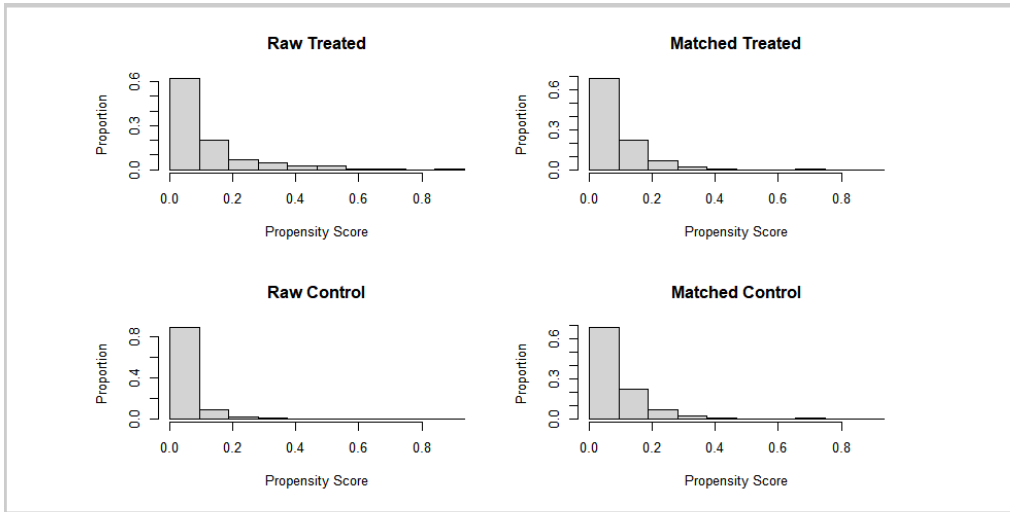
2) 매칭 방법 선택

매칭 방법으로는 일반매칭, 그리디(greedy) 매칭, 최적(optimal) 매칭 등 다양한 방법이 활용되고 있다. 본 연구에서는 그리디 매칭의 한 종류인 최근접이웃매칭(nearest neighbor matching)에 최대 성향점수 거리(caliper)를 추가하여 적용한다. 일반적으로 추천되고 있는 표본의 추정 성향점수 표준편차의 0.25 수준의 캘리퍼(Rosenbaum and Rubin, 1985)를 사용한 1:1 최근 거리 매칭을 사용한다. 매칭 과정에서 공통지지영역(common support region)에 포함되지 않은 표본에 대해서는 처리집단과 통제집단에서 모두 관련 표본을 삭제하였다.

3) 매칭 품질 확인

두 집단 간 차이 비교 연구에서는 집단 간 유사성이 중요한 요건이라 할 수 있는데 매칭의 품질을 평가하기 위해 매칭 후 공변량 불균형 검사를 시행하였으며 시간적으로 공통지지영역을 확인하였다. <Table 3>과 같이 매칭 전

Fig. 2. The Histograms of Propensity Scores before and after Matching



과 후의 평균편차가 0.5176에서 0.0002로 크게 줄어든 것을 확인했으며 카이제곱 차이 검정 (chi-square test)을 수행해 보고된 p-값을 통해서도 매칭 후 처리집단과 통제집단이 통계적으로 다르지 않다는 것을 확인했다.

이와 병행하여 매칭 품질을 시각적으로 검토하기 위해 성향점수의 분포를 시각화하면 <Fig. 1>에서 보는 바와 같다. 각각의 원들은 개별 사례들의 성향점수를 보여주고 있는데 매칭이 되지 않은 사례들과 매칭된 사례들의 분포에서 매칭이 적절히 이루어진 것을 확인할 수 있다.

또한, <Fig. 2>는 매칭 전과 후의 성향점수 히스토그램을 보여주고 있는데 왼쪽 열의 매칭 전 히스토그램에서는 4차 산업혁명 기술 활용 기업과 비활용 기업 간에 성향점수 분포에서 차이가 보이나 오른쪽 열의 매칭 후 분포에서는 두 그룹의 분포가 유사하다는 것을 확인할 수 있다.

4) 이중차이분석

신규 정책 효과나 정보시스템 도입 효과 등을 추정하는데 활용되는 이중차이분석은 처리 집단(treatment group)과 비교집단(control

group)을 구분하여 준실험 상태를 구성함으로써 집단 간 실험 시행 전후의 상태를 비교하는 연구에 이용된다(Kim Heung-Kyu, 2013; Oh Se-Hwan, Baek Hyun-Mi and Lee Sae-Rom, 2016). 본 연구에서의 이중차이분석(DID)은 4차 산업혁명 기술 활용의 효과를 추정하며 활용 기업과 비활용 기업을 성향점수를 기준으로 매칭하여 적용하게 된다.

시간 변화에 따른 영향을 실증분석하기 위해 식 (2)와 같이 4차 산업혁명 기술 활용 여부, 연도와 이 두 변수 간의 상호작용 변수를 독립 변수로 활용한 기본 회귀모형과 더불어 식 (3)과 같이 기업들의 다른 특성들을 추가적인 공변량으로 고려한 회귀모형을 활용하여 기타 다른 특성들을 통제하고자 한다. 수출성과와 관련해서는 선행연구를 참고하여 매출액 대비 수출액 비율(exp/sales)과 수출액의 로그변환($\log(\text{exp})$)을 종속변수로 이용한다(Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019).

특히 본 연구에서는 4차 산업혁명 기술 활용이 수출성과에 미치는 유의성을 검증하고 있는 이중차이 추정량(β_3)의 통계적 유의성을 중심으로 살펴본다.

Table 4. Difference-in-Difference Parameter

	Adoption	Post-adoption	Difference
Non-adopters	β_0	$\beta_0 + \beta_2$	β_2
Adopters	$\beta_0 + \beta_1$	$\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$	$\beta_2 + \beta_3$
Difference	β_1	$\beta_1 + \beta_3$	β_3

Table 5. Results of Difference-in-Difference Estimation

Variable	Dependent variable:			
	Model 1: exp/sales		Model 2: Inexp	
	coef.	S.E	coef	S.E
ir4	0.060***	0.017	0.531**	0.216
year	-0.058*	0.032	-1.058***	0.407
ir4*year	0.074*	0.039	1.013**	0.494
constant	0.158***	0.011	7.870***	0.142
obs.	1056		1056	
R2	0.026		0.017	
Adj. R2	0.023		0.015	
Residual S.E	0.240 (df = 1052)		3.050 (df = 1052)	
F statistic	9.274*** (df = 3; 1052)		6.179*** (df = 3; 1052)	

Notes: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 * ir4_{i,t} + \beta_2 * year_{i,t} + \beta_3 * (ir4_{i,t} * year_{i,t}) + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 * ir4_{i,t} + \beta_2 * year_{i,t} + \beta_3 * (ir4_{i,t} * year_{i,t}) + \lambda X_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

($Y_{i,t}$: 수출성과, $ir4_{i,t}$: 4차 산업혁명 기술 활용 여부(활용=1, 비활용=0), $year_{i,t}$: 연도 더미 (2018=0, 2019=1), $X_{i,t}$: 성향점수 추정 활용 기타 공변량, $\epsilon_{i,t}$: 오차항)

위 식 (2)와 (3)의 이중차이 추정량(β_3)의 의미를 요약하면 <Table 4>와 같다.

IV. 분석결과

<Table 5>는 식 (2)에 대한 회귀분석 결과이다. 종속변수를 매출액 대비 수출액 비율(exp/sales)을 활용한 모형 1과 로그변환 수출

액을 활용한 모형 2는 F statistic에서 각각 통계적으로 유의한 가운데 시간의 흐름과 4차 산업혁명 기술 도입의 이중차이 추정계수도 유의한 것으로 확인되고 있다. 4차 산업혁명 기술 도입은 모형 1의 추정계수(coef: 0.074, $p < 0.1$)와 모형 2의 추정계수(coef: 1.013, $p < 0.05$) 모두에서 수출성장에 유의한 차이가 확인되고 있다.

이러한 결과는 2017년 기업활동조사 자료를 활용하여 4차 산업혁명 기술 활용이 수출성장에 오히려 부정적인 영향을 미치고 있다고 주장한 선행연구와는 상반되는 결과이다(Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019). 본 연구의 분석 결과에 따르면 실제 4차 산업혁명 기술을 도입한 수출기업들은 시차를 두고 수출성장에서 긍정적인 차이를 만들어내고 있는 것으로 나타나고 있다.

<Table 6>은 추가적인 공변량을 투입한 식 (3)에 대한 회귀분석 결과이다. 위 <Table 5>의 분석결과와 마찬가지로 종속변수를 매출액 대

Table 6. Results of Difference-in-Difference Estimation with Covariates

Variable	Dependent variable:			
	Model 1: exp/sales		Model 2: Inexp	
	coef.	S.E	coef	S.E
ir4	0.052***	0.016	0.404**	0.165
year	-0.044	0.031	-0.966***	0.311
ir4*year	0.065*	0.037	0.894**	0.374
lnsales	-0.047	0.066	0.314	0.677
lnasset	0.056***	0.012	0.615***	0.125
lnemp	0.0001	0.013	-0.099	0.133
lncost	-0.004	0.067	0.229	0.681
size_dum	0.036	0.033	-0.242	0.338
ind_dum	Yes		Yes	
constant	-0.108	0.132	-9.834***	1.343
obs.	1056		1056	
R2	0.151		0.451	
Adj. R2	0.135		0.441	
Residual S.E	0.225 (df = 1036)		2.297 (df = 1036)	
F statistic	9.697*** (df = 19; 1036)		44.861*** (df = 19; 1036)	

Notes: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

비 수출액 비율(exp/sales)을 활용한 모형 1과 로그변환 수출액을 활용한 모형 2는 F statistic에서 각각 통계적으로 유의한 것으로 나타나고 있다. 또한, 4차 산업혁명 기술 도입의 수출성과에 대한 영향에 있어서도 모형 1의 추정계수(coef: 0.065, $p < 0.1$)와 모형 2의 추정계수(coef: 0.894, $p < 0.05$) 모두에서 긍정적으로 나타나고 있어 <Table 5>와 일관된 결과를 제시하고 있다.

위의 분석결과를 종합해 보면 수출기업들의 4차 산업혁명 기술 도입 이전과 이후의 수출성과에서 유의하게 긍정적인 차이가 있는 것으로 나타난다. 즉, 통계청의 기업활동조사에서 규정하고 있는 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일, 블록체인, 3D 프린팅, 로봇틱스, 가상/증강현실 등 4차 산업혁명 관련 주요 기술을 활용하고 있는 수출기업과 비활용 수출기업 간에는 기술 도입 전과 후의 수출성과에서 유의한 차이가 확인되고 있다.

V. 결론 및 시사점

최근 4차 산업혁명 관련 기술을 활용하는 기업들이 경영성과 측면에서 긍정적인 성과를 달성하고 있다는 연구들이 증가하고 있으나 (Aydiner et al., 2019; Garrison, Wakefield and Kim Sang-Hyun, 2015; Pan et al., 2020; Tang, Huang and Wang, 2018) 상대적으로 무역학 관련 분야에서 4차 산업혁명 기술 활용의 수출성과에 대한 연구는 매우 제한적인 상황이다.

더욱이 4차 산업혁명 기술 활용의 수출성과에 대한 선행연구는 다소 상반된 연구결과를 제시하고 있는데 4차 산업혁명 중점기술인 스마트기술 수용과 외부 공급사슬 혁신이 수출성과에 유의한 영향을 미친다는 것을 밝히기도 했으나 한편으론 우리 수출기업들의 4차 산업혁명 기술 활용이 국제경쟁력 제고 수준에는 이르지 못한채 단기적으로 수출성과에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 분석한 바 있다 (Chung Jae-Eun and Moon Hee-Cheol, 2019;

Kim Sung-Hwan, Do Yeon-Woo and Hong Jin-Geun, 2019).

이러한 선행연구에서의 제약을 극복하기 위해 본 연구는 4차 산업혁명 기술 활용 수출기업과 비활용 수출기업을 대상으로 관련 기술 도입 이전과 이후의 수출성과 차이에 대한 실증 분석을 시도하였다. 본 연구를 통해 통계청의 기업활동조사를 기준으로 2017~2019년 간 4차 산업혁명 기술 활용의 수출성장에 대한 영향을 성향점수매칭(PSM)과 이중차이(DID) 분석 방법의 결합을 통해 살펴본 결과, 4차 산업혁명 기술을 활용한 기업과 그렇지 않은 기업 간에 수출성장에서 유의한 차이가 있다는 것이 확인되었다. 이는 추가적인 데이터 확보를 통해 4차 산업혁명 관련 기술 활용이 수출성장에 미치는 긍정적인 효과를 포착할 수 있었다는 점에서 기존 연구와 차별화된다.

한편, 본 연구는 4차 산업혁명의 수출 영향에 대한 실증분석을 시도했는데 연구 의의가 있으나 향후 연구에서는 다음과 같은 부분을 추가적으로 고려하거나 보완할 필요가 있다. 먼저 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅 등 세부 4차 산업혁명 기술별로 각각의 영향을 구분하여 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 샘플 데이터의 제약으로 인해 세부 기술 수준의 영향까지는 분석하지 못했으나 향후 관련

데이터가 축적된다면 이에 대한 연구가 추가될 필요가 있다.

유사한 맥락에서 4차 산업혁명 기술의 활용 단계별 영향에 대한 분석을 수행하지 못했다는 점도 아쉬운 부분이다. 기업활동조사에서는 세부 4차 산업혁명 기술별로 제품(서비스) 개발, 마케팅 전략, 생산공정, 조직관리, 판매목적 등을 구분하여 집계하고 있는데 세부 항목에 대한 데이터는 아직까지 매우 부족한 상황이다. 향후 관련 데이터가 추가적으로 확보된다면 세부 활용 단계별 영향에 대한 실증분석도 가능할 것으로 기대된다.

또한, 4차 산업혁명 기술의 도입 효과를 엄밀히 측정하기 위해 수출성장에 미치는 영향요인과 관련, 보다 다양한 변수들을 통제할 필요가 있다. 무역학 분야의 선행연구에 따르면 수출기업이 보유하고 있는 유무형의 자원뿐만 아니라 혁신역량, 정보기술 활용역량 등의 내부적 요인과 시장환경, 정책적 규제 등 외부적 요인과 같은 다양한 요인들이 수출성장에 영향을 미친다고 밝힌 바 있다(Kim Hag-Min and Zhang, 2012). 후속 연구에서는 보다 다양한 수출성과 결정요인에 대한 통제를 통해 4차 산업혁명 기술의 도입 효과에 대한 보다 세밀한 분석이 수행될 수 있기를 기대한다.

References

- Aydiner, A. S., E. Tatoglu, E. Bayraktar, S. Zaim and D. Delen (2019), "Business Analytics and Firm Performance: The Mediating Role of Business Process Performance", *Journal of Business Research*, 96, 228-237.
- Bharadwaj, A. S. (2000), "A Resource-based Perspective on Information Technology Capability and Firm Performance: An Empirical Investigation", *MIS Quarterly*, 169-196.
- Chae, Ho-Chang, Chang-E Koh and V. R. Prybutok (2014), "Information Technology Capability and Firm Performance: Contradictory Findings and Their Possible Causes", *MIS Quarterly*, 38(1), 305-326.
- Cho, Won-Gil (2019), "The Direction & Strategy of Human Resources Development in Global Business Practise in the 4th Industrial Revolution", *Korea Trade Review*, 44(4), 67-85.

- Chung, Hyuk (2021), "Adoption and Development of the Fourth Industrial Revolution Technology: Features and Determinants", *Sustainability*, 13(2), 871.
- Chung, Jae-Eun and Hee-Cheol Moon, (2019), "An Empirical Study on the Smart Technology Acceptance and Global Supply Chain Innovation in Korean Small and Medium Trading Companies - Focusing on the Key Technologies of 4th Industrial Revolution -", *Korea Trade Review*, 44(4), 169-188.
- Garrison, G., R. L. Wakefield and Sang-Hyun Kim (2015), "The Effects of IT Capabilities and Delivery Model on Cloud Computing Success and Firm Performance for Cloud Supported Processes and Operations", *International Journal of Information Management*, 35(4), 377-393.
- Hendricks, K. B., V. R. Singhal and J. K. Stratman (2007), "The Impact of Enterprise Systems on Corporate Performance: A Study of ERP, SCM, and CRM System Implementations", *Journal of Operations Management*, 25(1), 65-82.
- Hitt, L. M., D. Wu and X. Zhou (2002), "Investment in Enterprise Resource Planning: Business Impact and Productivity Measures", *Journal of Management Information Systems*, 19(1), 71-98.
- Ho, D. E., K. Imai, G. King and E. A. Stuart (2007), "Matching as Nonparametric Preprocessing for Reducing Model Dependence in Parametric Causal Inference", *Political Analysis*, 15(3), 199-236.
- Kim, Chang-Beom (2018), "Export Competitiveness and Dynamic Competition Relationship of Korea, China, and Japan for Commodities Related to Fourth Industry Revolution in USA and EU Markets", *The E-Business Studies*, 19(4), 85-100.
- Kim, Hag-Min and Jing Zhang (2012), "The Impact of Innovation Types and Activities on Export Performance : Focused on Korean Firms", *Korea Trade Review*, 37(4), 15-137.
- Kim, Heung-Kyu (2013), "Evaluating Effectiveness of a Government's Supporting Program through Sequential Applications of PSM and DID", *Information Systems Review*, 15(3), 141-149.
- Kim, Pang-Ryong (2018), "Fourth Industrial Revolution Strategy: Japan's Case and Implications", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 22(2), 314-322.
- Kim, Sung-Hwan, Yeon-Woo Do and Jin-Geun Hong (2019), "The Influences of Innovative Technology Competence in 4th Industrial Revolution on Exports of Korean Firms: Applying Gravity Factor Model in Firm-level OFDI", *Journal of International Trade & Commerce*, 15(4), 443-463.
- Kim, Young-Min (2020), "Perception Difference about the Necessity of Logistics 4.0 Technology in Logistics Companies", *Korea International Commerce Review*, 35(4), 159-179.
- Lee, Byung-Mun, Kwang-So Park and Hee-Jin Jeong (2017), "An Influence of the Fourth Industrial Revolution on International Trade and Countermeasure Strategies to Promote Export in Korea", *Korea Trade Review*, 42(3), 1-24.
- Lee, Ho-Gun (2018), "A Study on the Confrontation Plan of Trade Education in Universities against Paradigm Shift by the 4th Industrial Revolution", *The E-Business Studies*, 19(1), 187-202.
- Lee, Ho-Hyung (2020), "Systematic Literature Review and Case Study of the 4th Industrial Revolution-Related Trade Research", *International Commerce and Information Review*, 22(2), 23-41.
- Oh, Se-Hwan, Hyun-Mi Baek and Sae-Rom Lee (2016), "Revisiting the Relationship between Information Technology Capability and Firm Performance: Focusing on the Impact of the Adoption of Enterprise Resource Planning Systems", *The Journal of Information Systems*, 25(1), 49-73.
- Pan, X., X. Pan, M. Song, B. Ai and Y. Ming (2020), "Blockchain Technology and Enterprise Operational Capabilities: An Empirical Test". *International Journal of Information Management*, 52, 101946.

- Park, Se-Hun (2019), “A Study on the Development and Application of Trade Practice Curriculum Reflecting the Demand of Trading Companies in the 4th Industrial Revolution”, *The International Commerce & Law Review*, 84, 275-291.
- PricewaterhouseCoopers (2021), *The Essential Eight* (Webpage). Available from <https://www.pwc.com/gx/en/issues/technology/essential-eight-technologies.html>
- Rosenbaum, P. R. and D. B. Rubin (1983), “The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects”, *Biometrika*, 70(1), 41-55.
- 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), 33-38.
- Santhanam, R. and E. Hartono (2003), “Issues in Linking Information Technology Capability to Firm Performance”, *MIS Quarterly*, 125-153.
- Schwab, K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*, New York: Currency.
- Shin, Il-Soon (2006), “Adoption of Enterprise Application Software and Firm Performance”, *Small Business Economics*, 26(3), 241-256.
- Statistics Korea (2019), *Preliminary Results of the Survey of Business Activities in 2019*. Available from <http://kostat.go.kr/portal/eng/pressReleases/1/index.board?bmode=read&aSeq=387845>
- Tang, Chia-Pei, Tony Cheng-Kui Huang and Szu-Ting Wang (2018), “The Impact of Internet of Things Implementation on Firm Performance”, *Telematics and Informatics*, 35(7), 2038-2053.
- The Presidential Committee on the 4th industrial revolution (2018, June 14), *Technology and the 4th Industrial Revolution*, Seoul: Author. Available from <https://www.4th-ir.go.kr/4ir/detail/8?boardName=code1>
- Yu, Kwang-Hyun and Joong-Kwon Doh (2017), “A Study on the Efficient Export Support Policy in Response to the Fourth Industrial Revolution”, *The E-Business Studies*, 18(2), 273-286.