

# 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 매출액 간 상관관계 평가

구한민\*, 황의현\*\*, 김갑성\*\*\*

연세대학교 도시공학과 석박사통합과정, 연세대학교 도시공학과 석사\*, 연세대학교 도시공학과 교수\*\*

## Assessing the Relationship Between Core Technologies of the Fourth Industrial Revolution and Company Sales

Hanmin Gu\*, Uihyun Hwang\*\*, Kabsung Kim\*\*\*

Ph.D. Student, Dept. of Urban Planning and Engineering, Yonsei University\*

Master, Dept. of Urban Planning and Engineering, Yonsei University\*\*

Professor, Dept. of Urban Planning and Engineering, Yonsei University\*\*\*

**요약** 본 연구는 4차 산업혁명 관련 연구에 존재하는 간극을 메우고자, 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 경제적 성과 간 상관관계를 탐색적으로 살펴본다. 실증분석 결과, 각 4차 산업혁명 핵심기술의 도입 여부는 기업의 매출액과 통계적으로 유의미한 양(+)의 상관관계가 존재했다. 상관관계의 크기는 3D 프린팅(139%), 빅데이터(129%), 클라우드 컴퓨팅(127%), 인공지능(78%), 사물인터넷(70%) 순으로 나타났다. 이들 4차 산업혁명 핵심기술 도입이 기업의 매출액에 미치는 상호작용효과를 검정한 결과, 사물인터넷과 3D 프린팅, 클라우드 컴퓨팅과 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 3D 프린팅 간에는 통계적으로 유의미한 음(-)의 상호작용효과가 나타났다. 본 연구는 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 경제적 성과 간 상관관계를 살피는 초기적 시도로 향후 이와 관련한 실증연구의 기초로 활용할 수 있다.

**주제어** 4차 산업혁명 핵심기술, 기업의 매출액, 기술혁신, 상호작용효과, 정보화통계조사

**Abstract** To bridge the research gap in the area of the Fourth Industrial Revolution, we explore the correlation between the core technologies of the Fourth Industrial Revolution and the economic performance of companies. The results show that the technologies have a statistically significant positive (+) correlation with company sales. The size of the correlation is highest for 3D printing (139%), followed by big data (129%), cloud computing (127%), artificial intelligence (78%), and the internet of things (70%). We also found a statistically significant negative (-) interaction effect between the internet of things and 3D printing, cloud computing and big data, and cloud computing and 3D printing when examining the interaction effect of introducing core technologies of the Fourth Industrial Revolution on company sales. This paper represents an early attempt to examine the correlation between the core technologies of the Fourth Industrial Revolution and the economic performance of companies and may serve as a basis for further empirical research.

**Key Words** Core Technologies of the Fourth Industrial Revolution, Company Sales, Technological Innovation, Interaction Effect, Survey on the Information Society

\* 이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었음. 이 논문은 2019년 대한민국토·도시계획학회 춘계학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완한 것으로, 당시 유익한 논평을 해주신 홍익대학교 윤주선 교수님과 중앙대학교 김승남 교수님께 깊이 감사드립니다. 초고의 교열에 도움을 준 연세대학교 도시공학과 석박사통합과정 이상원 님께 사의를 표함.

Received 13 Mar 2023, Revised 07 Apr 2023

Accepted 11 Apr 2023

Corresponding Author: Kabsung Kim (Yonsei University)

Email: kabsung@yonsei.ac.kr

ISSN: 2466-1139(Print)

ISSN: 2714-013X(Online)

© Industrial Promotion Institute. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

경제학자 조지프 슈페터(Joseph Schumpeter)는 경제 구조의 변화가 불연속적으로 이루어지는 혁신적인 과정이며, 이러한 변화는 소비가 아닌 생산의 측면에서 오는 것이라 주장했다. 그는 이러한 생산 혁신의 과정을 창조적 파괴(creative destruction)로 정의하였다[1]. 창조적 파괴는 오늘날까지 꾸준히 이어지고 있다. 18세기 증기 기관에 의한 기계화 혁명을 시작으로 19세기 전기 에너지 기반의 대량생산 혁명 그리고 20세기 후반 컴퓨터 시스템에 의한 지식정보 혁명에 이르기까지 파괴적 혁신(disruptive innovation)은 지속되어 왔다. 이른바 3차 산업혁명이라 불리는 지식정보 혁명이 시작된 지 불과 20여 년만인 2016년, 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)에서는 4차 산업혁명(the Fourth Industrial Revolution, 4IR)의 개념이 처음 등장하였다. 클라우스 슈밥(Klaus Schwab)에 따르면 4차 산업혁명은 “디지털 혁명의 성과에 기반하여 이루어지는 융합기술 혁명, 초지능 혁명, 초연결 혁명”이다. 이는 변화의 속도와 성장의 규모 측면에서 기하급수적으로 전개되고 있다[2].

우리 정부 역시 4차 산업혁명 시대에 발맞추어 혁신성장(innovative growth)을 주요 산업정책으로 추진하고 있다. 여기서 혁신성장이란 “우리 경제·사회의 구조와 체질을 근본적으로 바꾸고, 사람 중심 경제를 실현하기 위한 성장전략”, 구체적으로 “민간주도로 기술·자본·인력 등 생산요소의 원활한 연결을 통해 경제 전반의 생산성을 제고하고 효율적인 자원 배분을 도모하는 것”을 의미한다[3].

4차 산업혁명의 생태계 조성이 정부의 역할이라면, 혁신은 일선 기업의 몫이다. 90년대 우리나라 기업들은 급속한 성장을 위하여 선진기술을 도입, 모방, 개량하여 생산성을 향상하는 패스트팔로어(fast follower) 비즈니스 모델을 택하였다. 하지만 이는 기하급수적 혁신이 일어나는 현시점에서는 한계가 뚜렷하다. 바야흐로 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 글로벌 시장의 주도권(initiative)을 쥐기 위하여서는 선도자(first mover) 또는 트렌드세터(trendsetter)로 거듭나기 위한 혁신을 끊임없이 수행해야 하는 것이다.

기업은 어떻게 혁신하는가? 답은 바로 그 시대를 지배하는 범용기술(general-purpose technology, GPT)에 있다. 범용기술이란 경제 전반에 영향을 미치는 기술로 [4, 5], 널리 사용되고 다양한 용도가 있으며 큰 파급효과

를 유발한다는 특징이 있다[6]. 역사적으로 증기기관, 전기, 정보통신기술(information and communication technology, ICT) 등이 대표적인 범용기술이었다[7].

한편 그간 신기술은 단순히 기업혁신의 동인(動因)으로 기능했으나[8], 범용기술로서 기능하는 4차 산업혁명 핵심기술은 인간이 수행하던 많은 업무를 대체함으로써 기업의 생산성을 획기적으로 향상시킬 것으로 예측된다[9]. 이는 디지털 트랜스포메이션(digital transformation, DX)이라는 사회변동과 맞물려 더욱 가속화할 것이다. 따라서 현재 기업에게는 이들 기술을 도입하고 활용하는 이른바 기술혁신(technological innovation)[10]이 시급한 상황이다.

세계적으로 4차 산업혁명의 최선단(最先端)에 있는 것으로 평가되는 우리나라 기업의 기술혁신 현황은 어떠한가? 구체적으로 우리나라에서 4차 산업혁명 핵심기술은 기업의 경제적 성과와 어떠한 관계를 보이는가? 본 연구는 이러한 물음에 답하고자 2017년과 2018년 정보화통계조사에 응답을 활용하여 4차 산업혁명 핵심기술 도입과 기업의 매출액 간 상관관계를 실증적으로 분석하였다. 저자들이 인지하는 한 본 연구는 개별적인 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 경제적 성과 간 상관관계를 살피는 초기적 시도에 해당하므로 탐색적인 접근법으로 수행되었다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 4차 산업혁명 핵심기술의 도입이 기업의 경제적 성과와 갖는 상관관계를 이론적으로 검토함으로써 연구의 출발점이 되는 연구질문을 도출하였다. 3장에서는 본 연구에서 활용한 자료를 소개하고, 이어 실증분석을 위한 변수와 연구모형을 설정하였다. 4장에서는 위계적 회귀분석(hierarchical regression analysis)을 활용하여 4차 산업혁명 핵심기술 도입과 기업의 매출액 간 상관관계를 추정하였다. 마지막으로 5장에서는 실증분석의 결과를 간략히 정리하고 이들이 갖는 함의를 논하였다.

## 2. 이론적 배경

기업혁신(corporate innovation)은 기업가가 주도하는 것으로서 경제발전의 원동력이 될 뿐만 아니라 경기변동의 요인으로 작용한다. 따라서 기업이 지속적으로 성장하기 위해서 끊임없는 혁신이 필수적이다. 기업혁신은 새로운 재화 생산, 새로운 생산방법 도입, 새로운 판로 개척, 새로운 원료 공급원 획득 및 새로운 조직 형성과 같은 다양한 혁신 활동을 통하여 달성할 수 있다[11]. 기술

혁신 역시 기업혁신의 중요한 수단이다. 기술혁신이란 “기업이 새로운 기술을 도입하여 제품, 서비스 또는 공정을 개선함으로써 생산성을 향상하는 과정 또는 그 과정의 결과”를 의미한다. 슈페터가 저서 「경제발전의 이론(The Theory of Economic Development)」에서 기술혁신이 사회와 경제의 발전을 견인한다고 시사한 이래[1], 기업의 생존과 성장에 기술혁신은 필수적인 요인으로 인식되고 있다[12]. 특히 최근 우리나라에서는 노동집약적 산업의 쇠퇴와 지식기반사회로의 전이(轉移)라는 산업구조의 재편 양상이 뚜렷해지며 기술혁신의 중요성이 한층 더 커졌다[13]. 게다가 최근 예상치 못한 코로나19 팬데믹으로 디지털 트랜스포메이션이 가속화하자[14] 기업의 기술혁신은 필수불가결한 요소가 되었다.

4차 산업혁명 시대의 산업생태계 발전은 신기술의 도입, 디지털 기반 산업플랫폼 구축, 기존산업 혁신, 신산업 출현 및 새로운 산업생태계의 형성 등의 과정으로 이루어진다[15]. 4차 산업혁명에서 역시 범용기술의 도입[7]이 기업혁신과 발전의 촉발 요인으로 작용하는 것이다. 그간 4차 산업혁명에 관한 선행연구[16, 17]는 주로 기업의 정보화 수준이 매출액, 이익률, 시장점유율 등 경제적·재무적 성과에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 최근에는 이승민 외(2022)가 4차 산업혁명 관련 기술의 도입이 기업의 생산성 수준 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인한 바 있다[18]. 그러나 전자는 4차 산업혁명 핵심기술 도입을 기업의 주요한 변수로 다루지 않았다는 점, 후자는 기업의 경제적 성과를 확인하지 않았다는 점에서 이를 종합적으로 고려한 연구의 필요성이 존재한다.

한편 ‘4차 산업혁명기업’을 조작적으로 정의하고, 기술혁신과 관련한 역량이 경영성과에 미치는 영향을 실증하고자 하는 시도[19, 20] 역시 일부 있었으나 개별적인 핵심기술의 효과에는 주목하지 않아 아쉬움이 남는다. 이에 본 연구는 기존 선행연구에 존재하는 간극을 바탕으로 다음과 같은 연구질문을 도출하였다.

- RQ: 기업의 4차 산업혁명 핵심기술 도입은 경제적 성과와 어떠한 연관성이 있는가?

일반적으로 4차 산업혁명 핵심기술은 그 파급력으로 말미암아 ‘ICBM’이라 불린다[21], 여기서 ‘ICBM’은 사물인터넷(internet of things, IoT), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing, CC), 빅데이터(big data, BD), 모바일

(mobile) 등을 가리킨다. 본 연구에서는 자료의 구득성을 고려하여 모바일 대신 3D 프린팅(3D printing)을 4차 산업혁명 핵심기술로 포함하였다. 또한 인공지능(artificial intelligence, AI)이 디지털 트랜스포메이션에 따른 핵심적인 범용기술로 부상하고 있다는 점을 고려하여 이 역시 포함하였다. 본 연구에서 정의한 4차 산업혁명 핵심기술의 개요는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> 4차 산업혁명 핵심기술의 개요

구분	정의
사물인터넷 (internet of things, IoT)	인터넷을 기반으로 사람과 사물, 사물과 사물, 사물과 시스템 간 통신을 연결하여 정보를 소통하게 하는 기술
클라우드 컴퓨팅 (cloud computing, CC)	소프트웨어, 스토리지, 데이터베이스, 서버 등과 같은 정보통신기술 자원을 개별적으로 구매하지 않고, 인터넷과 연결된 데이터 센터 등에 저장해놓고 필요할 때마다 할당받아 이용하게 하는 기술
빅데이터 (big data, BD)	방대한 양(volume), 빠른 데이터 생성 속도(velocity), 데이터 다양성(variety) 등 3V를 특징으로 하는 전자적 데이터로서 기존의 방식으로는 저장·관리·분석이 어렵다는 특성을 가진 기술
인공지능 (artificial intelligence, AI)	기계로부터 만들어진 인공적인 지능을 말하며, 인간의 학습능력과 추론능력, 지각능력, 자연언어의 이해능력 등을 컴퓨터로 구현한 기술
3D 프린팅 (3D printing, 3DP)	디지털화된 디자인 데이터로 3차원의 입체물을 만들어내는 기술

주: 과학기술정보통신부·한국정보화진흥원(2018)을 바탕으로 재구성

앞서 도출한 연구질문과 4차 산업혁명 핵심기술의 정의에 바탕하여, 다음의 연구가설을 도출하였다.

- $H_1$ : 4차 산업혁명 핵심기술 도입은 기업의 매출액과 유의한 양(+)의 상관관계가 있다.
- $H_{1a}$ : 사물인터넷 도입은 기업의 매출액과 유의한 양(+)의 상관관계가 있다.
- $H_{1b}$ : 클라우드 컴퓨팅 도입은 기업의 매출액과 유의한 양(+)의 상관관계가 있다.
- $H_{1c}$ : 빅데이터 도입은 기업의 매출액과 유의한 양(+)의 상관관계가 있다.
- $H_{1d}$ : 인공지능 도입은 기업의 매출액과 유의한 양

(+)의 상관관계가 있다.

-  $H_{1c}$ : 3D 프린팅 도입은 기업의 매출액과 유의한 양

(+)의 상관관계가 있다.

-  $H_{1j}$ : 4차 산업혁명 핵심기술 도입은 집합적으로 기

업의 매출액과 유의한 상관관계가 있다.

연구가설  $H_{1a}$ ,  $H_{1b}$ ,  $H_{1c}$ ,  $H_{1d}$ ,  $H_{1e}$ 는 연구가설  $H_1$ 을 통계적으로 검정하고자 4차 산업혁명 핵심기술을 조작적으로 정의하여 설정한 하위 연구가설이다. 이들은 각 기술의 도입이 개별적으로 기업의 매출액과 유의한 양(+)의 상관관계를 갖는지에 관하여 서술하고 있다. 연구가설  $H_{1j}$ 는 4차 산업혁명 핵심기술 도입이 기업의 매출액과 집합적으로 유의한 상관관계를 갖는지 살펴보고자 설정하였다.

한편 4차 산업혁명 핵심기술은 상호연결성과 융합성이라는 특징을 갖는다[22]. 따라서 복수의 핵심기술을 도입하는 경우, 매출액에 미치는 상호작용효과가 있을 것으로 예상된다. 이에 아래와 같이 연구가설  $H_2$ 를 설정하고 이를 추가로 검정하였다.

-  $H_2$ : 4차 산업혁명 핵심기술이 기업의 매출액과 갖는 상관관계에서 각 기술 간 유의한 양(+)의 상호작용효과가 존재한다.

본 연구에서 정의한 4차 산업혁명 핵심기술은 5개이므로 오원상호작용까지 고려할 수 있다. 하지만 모형의 복잡성과 해석의 용이성을 고려하여 각 기술을 두 개씩 짝지은 조합 10개(=  $_5C_2$ )의 이원상호작용만 검정하였다. 이에 대한 개별적인 연구가설은 생략한다.

### 3. 연구방법

#### 3.1 자료

본 연구는 과학기술정보통신부와 한국정보화진흥원이 조사한 2017년 및 2018년 정보화통계조사의 응답을 연구자료로 활용하였다. 정보화통계조사는 급변하는 정보화 환경과 신규 정보화 정책 수요에 따라 우리나라 사업체의 정보화 현황을 다양한 측면에서 포괄할 수 있는 지표를 개발하기 위하여 실시하고 있다[23].

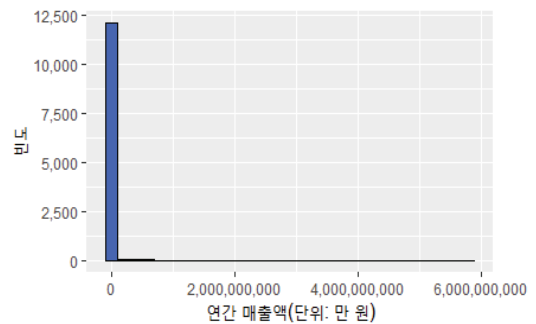
정보화통계조사의 원시자료는 전국의 1인 이상 사업

체를 모집단으로 하여 업종·규모·지역에 따른 다단계층화계통추출법(multi-stage stratified and systematic sampling)으로 추출한 사업체 1만 3천여 개의 응답을 담고 있다. 정보화통계조사는 패널조사가 아니므로 경향만을 파악할 수 있어 2개년도 자료를 풀링하였다. 본 연구에서는 총 25,572개의 응답 중 4차 산업혁명 핵심기술의 도입으로 인하여 직접적인 영향을 받는 제조업과 서비스업[24]의 총 12,285개 응답만을 추출하여 실증분석에 활용하였다.

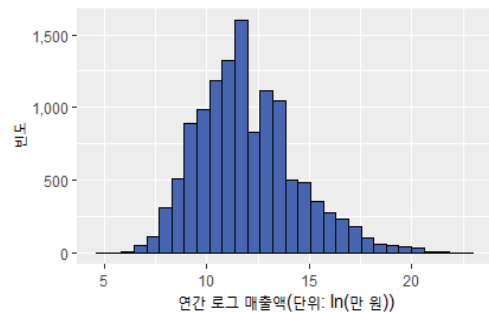
### 3.2 변수설정 및 측정

#### 3.2.1 종속변수

종속변수는 만 원 단위로 조사한 각 기업의 연간 매출액을 로그변환한 연간 로그 매출액(SALE)이다. 로그변환을 통하여 기존 매출액의 극단적인 우측 편포를 정규 분포에 가깝게 교정할 수 있었다([Fig. 1], [Fig. 2]).



[Fig. 1] 연간 매출액 히스토그램



[Fig. 2] 연간 로그 매출액 히스토그램

### 3.2.2 독립변수

독립변수는 앞선 연구가설을 검증하기 위한 핵심설명 변수와 통제변수로 구성하였다. 핵심설명변수는 각각 기업의 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(CC), 빅데이터(BD), 인공지능(AI), 3D 프린팅(3DP) 등 4차 산업혁명 핵심기술의 도입 여부이다. 이들은 1=도입, 0=미도입 등 이항형 명목척도로 측정되었다.

4차 산업혁명 핵심기술 도입이 기업의 매출액과 갖는 상관관계를 타당하게 확인하기 위하여, 통제변수로는 “기업의 규모가 클수록 혁신적”이라는 슈페터 가설(Schumpeterian hypothesis)[25]에 따른 기업의 규모(SIZE), 혁신 성과는 제조업과 서비스업 간에 상이하게 나타난다는 주장[25]에 따라 제조업과 서비스업으로 구분한 산업 분류(TYPE), 시간적 효과를 통제하기 위한 풀링(pooling) 전 응답의 조사시점(YEAR) 등을 변수로 포함하였다. 종속변수를 포함한 전체 변수의 개요는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> 변수의 개요

변수		정의	측정(단위)
종속변수	SALE	연간 로그 매출액	비율척도 (ln(만 원))
독립 변수	핵심 설명 변수	IoT	사물인터넷 도입 여부 (1=도입, 0=미도입)
		CC	클라우드 컴퓨팅 도입 여부 (1=도입, 0=미도입)
		BD	빅데이터 도입 여부 (1=도입, 0=미도입)
		AI	인공지능 도입 여부 (1=도입, 0=미도입)
		3DP	3D 프린팅 도입 여부 (1=도입, 0=미도입)
	통제 변수	SIZE	고용자 수 (1=250인 이상, 0=250인 미만)
		TYPE	산업 분류 (1=제조업, 0=서비스업)
		YEAR	조사시점 (1=2018년, 0=2017년)

### 3.3 실증분석모형

본 연구는 여러 번의 다중회귀분석을 실시하며 추가적인 변수의 기여를 살펴보는 위계적 회귀분석을 수행하기 위하여 각 모형을 내재적(nested) 형태로 구성하였다.

첫 번째 모형(식 (1))은 기존에 알려진 통제변수의 효과를 확인하기 위한 기초모형이다. 두 번째 모형(식 (2))은 본 연구의 핵심적인 모형으로 4차 산업혁명 핵심기술 도입 여부에 대한 변수를 투입한 것이다. 세 번째 모형(식 (3))은 4차 산업혁명 핵심기술 간 상호작용효과를 검증하기 위하여 각 기술을 짝지는 상호작용항을 추가한 것이다.

$$SALE = \beta_0 + \beta_1(SIZE) + \beta_2(TYPE) + \beta_3(YEAR) + e$$

식 (1)

$$SALE = \beta_0 + \beta_1(SIZE) + \beta_2(TYPE) + \beta_3(YEAR) + \beta_4(IoT) + \beta_5(CC) + \beta_6(BD) + \beta_7(AI) + \beta_8(3DP) + e$$

식 (2)

$$SALE = \beta_0 + \beta_1(SIZE) + \beta_2(TYPE) + \beta_3(YEAR) + \beta_4(IoT) + \beta_5(CC) + \beta_6(BD) + \beta_7(AI) + \beta_8(3DP) + \beta_9(IoT \times CC) + \beta_{10}(IoT \times BD) + \beta_{11}(IoT \times AI) + \beta_{12}(IoT \times 3DP) + \beta_{13}(CC \times BD) + \beta_{14}(CC \times AI) + \beta_{15}(CC \times 3DP) + \beta_{16}(BD \times AI) + \beta_{17}(BD \times 3DP) + \beta_{18}(AI \times 3DP) + e$$

식 (3)

이들 모형은 대수-선형 모형(log-linear model; 또는 준 로그 모형, semi-log model)이므로 계수 β가 충분히 작은 경우, 독립변수가 한 단위 증가할 때 종속변수는 근사적으로 100×β% 변화한다고 해석할 수 있다[26]. 하지만 정확한 변화율은 100×(e<sup>β</sup> - 1)%라는 역변환 식이 있으므로 [27] 이를 활용하여 효과의 크기를 정확하게 도출하였다.

## 4. 실증분석결과

### 4.1 기술통계량

종속변수인 연간 매출액은 로그변환 전인 만 원 단위로 살펴보았다. 기업의 연간 매출액은 평균 약 890억 원(8,894,687만 원), 중위수는 11억 원(110,000만 원)으로 나타나 앞서 살펴본 것과 같이 우측 편포가 심하다는 것을 재차 확인할 수 있었다. 또한 최솟값은 105만 원, 최댓값은 58조 원(5,800,000,000만 원), 표준편차는 약 1조 원

(101,079,672만 원)이었다.

독립변수는 모두 명목척도 또는 서열척도와 같은 범주형으로 측정되었으므로 빈도분석을 실시하였다(<Table 3>). 본 연구의 표본에 해당하는 전체 제조업, 서비스업 기업 중 3.52%가 사물인터넷, 14.55%가 클라우드 컴퓨팅, 4.55%가 빅데이터, 1.10%가 인공지능, 2.00%가 3D 프린팅을 도입하고 있었다.

<Table 3> 빈도분석 결과

변수		항목(값)	N	구성비(%)	누적비(%)	
독립 변수	핵심 설명 변수	IoT	도입(1)	433	3.52	3.52
			미도입(0)	11,852	96.48	100.00
		CC	도입(1)	1,787	14.55	14.55
			미도입(0)	10,498	85.45	100.00
		BD	도입(1)	559	4.55	4.55
			미도입(0)	11,726	95.45	100.00
		AI	도입(1)	135	1.10	1.10
			미도입(0)	12,150	98.90	100.00
		3DP	도입(1)	246	2.00	2.00
			미도입(0)	12,039	98.00	100.00
	통제 변수	SIZE	250인~(1)	1,305	10.62	10.62
			~250인(0)	10,980	89.38	100.00
		TYPE	제조업(1)	6,445	52.46	52.46
			서비스업(0)	5,840	47.54	100.00
YEAR		2018년(1)	6,201	50.48	50.48	
		2017년(0)	6,084	49.52	100.00	

4.2 다중회귀분석 결과

분석을 수행한 결과는 <Table 4>와 같다. 우선 모형 1을 살펴보면 기업의 규모가 큰 경우, 구체적으로 고용자가 250명 이상인 기업은 250명 미만인 기업과 비교하여 매출이 높은 것으로 나타났다. 또한 제조업은 서비스업보다 매출이 높은 것으로 분석되었다.

모형 2를 살펴보면 첫 번째 모형과 비교하여 잔차 감소 또는 설명력( $R^2$ ) 증가분이 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다( $F=139.17, p<.001$ ). 이는 4차 산업혁명 핵심기술 도입이 기업의 매출액과 집합적으로 유의한 상관관계가 있다는 것을 의미한다. 개별적인 기술 도입 여부에 대한 계수는 사물인터넷 0.53( $p<.001$ ), 클라우드 컴퓨팅

0.82( $p<.001$ ), 빅데이터 0.83( $p<.001$ ), 인공지능 0.58( $p<.01$ ), 3D 프린팅 0.87( $p<.001$ ) 등으로 추정되었다. 계수를 변환하면 사물인터넷을 도입한 기업은 그렇지 않은 기업과 비교하여 매출액이 약 70%, 클라우드 컴퓨팅은 약 127%, 빅데이터는 약 129%, 인공지능은 약 78%, 3D 프린팅은 약 139% 높은 것으로 해석할 수 있다. 통제변수 업종과 조사시점은 통계적인 통제 이상의 실제적 의미를 갖지 않으므로 별도로 해석하지 않는다.

모형 3은 모형 2와 비교하여 잔차 감소분 또는 설명력의 증가분이 통계적으로 유의하였다( $F=4.58, p<.001$ ). 이는 앞서 설정한 10개의 상호작용항이 기업의 매출액과 집합적으로 유의한 상관관계가 있음을 의미한다. 이들 상호작용항 중에서 개별적으로는 IoT×3DP( $b=-1.01, p<.01$ ), CC×BD( $b=-0.91, p<.001$ ), CC×3DP( $b=-0.64, p<.01$ )가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 즉, 사물인터넷과 3D 프린팅, 클라우드 컴퓨팅과 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 3D 프린팅의 조합은 기업의 매출액에 유의한 음(-)의 상호작용효과를 미치는 것으로 나타났다. 만약 주효과와 상호작용효과가 모두 통계적으로 유의하다면, 상호작용효과는 주효과와 함께 해석하여야 한다[28]. 이에 따르면 각각 사물인터넷과 3D 프린팅을 함께 도입한 기업은 이들 기술을 도입하지 않은 기업보다 약 129%, 클라우드 컴퓨팅과 빅데이터는 약 271%, 클라우드 컴퓨팅과 3D 프린팅은 약 362% 매출액이 높았다. 한편 상호작용효과를 통제하는 경우, 인공지능은 기업의 매출액에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다( $b=0.63, p=.109$ ).

<Table 4> 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 매출액 간 관계 분석 결과

종속변수: 연간 로그 매출액(SALE)						
변수	모형 1		모형 2		모형 3	
	b	SE	b	SE	b	SE
SIZE	4.54***	0.06	4.19***	0.06	4.19***	0.06
TYPE	0.27***	0.04	0.37***	0.04	0.38***	0.04
YEAR	-0.02	0.04	-0.14***	0.04	-0.14***	0.04
IoT			0.53***	0.10	0.56***	0.17
CC			0.82***	0.05	0.89***	0.06
BD			0.83***	0.09	1.33***	0.15
AI			0.58**	0.18	0.63	0.39

<i>3DP</i>			0.87***	0.13	1.28***	0.17
<i>IoT×CC</i>					0.24	0.22
<i>IoT×BD</i>					-0.04	0.24
<i>IoT×AI</i>					-0.21	0.39
<i>IoT×3DP</i>					-1.01**	0.35
<i>CC×BD</i>					-0.91***	0.19
<i>CC×AI</i>					0.26	0.41
<i>CC×3DP</i>					-0.64**	0.28
<i>BD×AI</i>					0.13	0.37
<i>BD×3DP</i>					0.56	0.38
<i>AI×3DP</i>					-0.67	0.47
절편	11.35***	0.03	11.19***	0.03	11.17***	0.03
$R^2$	0.33		0.37		0.37	
adjusted $R^2$	0.33		0.37		0.37	
$F$ -통계량	139.17***			-		
	-			4.58***		

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

### 5. 결론

본 연구에서는 4차 산업혁명 핵심기술과 기업의 경제적 성과 간 상관관계를 실증하였다. 구체적으로 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 인공지능, 3D 프린팅 등 4차 산업혁명 핵심기술을 도입한 기업이 그렇지 않은 기업과 비교하여 어떠한 경제적 성과의 차이를 보이는지 규명하였다.

슈퍼컴퓨터 가설에 따른 기업의 규모를 통제하였을 때, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 인공지능, 3D 프린팅 등 각 4차 산업혁명 핵심기술의 도입은 각각 개별적으로 기업의 매출액과 통계적으로 유의미한 양(+)의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 상관관계의 크기는 3D 프린팅, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 인공지능, 사물인터넷 순으로 밝혀졌다. 세부적인 업종에 따른 차이는 있겠으나 제조업, 서비스업 부문의 기업들은 이들 기술을 도입하여 경제적 성과를 효과적으로 제고할 수 있다. 이는 생산성 증대를 통해 이루어질 수 있다[18]. 다만 저자들이 활용한 연구자료의 조사시점 이후, 4차 산업혁명 핵심기술의 획기적인 발전이 이루어지고 있으므로 이들 기술의 개별적인 효과는 주기적으로 재검토되어야 한다.

4차 산업혁명 핵심기술의 도입이 기업의 매출액과 갖는 상관관계에서의 상호작용효과를 확인한 결과, 사물인터넷과 3D 프린팅, 클라우드 컴퓨팅과 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 3D 프린팅 간에는 통계적으로 유의미한 음(-)의 상호작용효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 4차 산업혁명 핵심기술이 기업의 매출액과 갖는 상관관계에서 각 기술 간 유의한 양(+)의 상호작용효과가 존재할 것이라는 저자들의 연구가설에 반하는 결과이다. 따라서 복수의 4차 산업혁명 핵심기술 도입이 서로 상승작용(synergistic effect)을 한다고 볼 수는 없으나, 이것만으로 이들 기술의 융합적 활용을 부정적으로 평가할 수는 없다. 저자들이 활용한 연구자료는 4차 산업혁명의 초기 단계에 해당하는 시점에 수집되었기 때문에 최근 4차 산업혁명 연관 기술의 융합 강도와 범위가 증가하는 현상[29]을 반영하여 이들의 연결 특성을 면밀하게 검토할 필요가 있다.

본 연구는 4차 산업혁명 핵심기술의 도입과 기업의 경제적 성과 간에 존재하는 상관관계 그리고 개별 기술의 상호작용효과에 초점을 맞춘 초기적 접근이라는 점에서 시의성을 갖는다. 하지만 몇 가지 뚜렷한 한계점을 인정하고 있다. 첫째, 비교적 단순한 실증분석모형을 활용하였기 때문에 독립변수와 종속변수 간 존재할 수 있는 역 인과성(reverse causality)의 문제를 적절히 통제할 수 없었다. 이에 저자들은 분석결과를 인과관계가 아닌 상관관계 수준에서 극히 제한적으로 해석하였다. 향후에는 성향점수분석(propensity score analysis) 등 진일보한 방법론의 적용을 고려할 필요가 있다. 둘째, 거의 동일한 모집단에서 매년 각기 다른 표본을 추출한 자료를 활용하였으므로 패널분석에서 확인할 수 있는 기업의 고정효과(fixed effect)를 통제할 수 없었다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 풀링으로 극복하고자 하였으나 완전한 해법이 될 수는 없었다. 향후 패널자료를 분석하면 더욱 풍부한 결과의 해석과 시사점의 도출이 가능할 것으로 판단된다. 셋째, 제조업과 서비스업의 구분이 모호해지는 최근 산업생태계를 변수에 충분히 고려하지 못하였다. 제조업, 서비스업의 연계성이 높아지고 있다는 산업 현황[14, 30]을 반영한 연구가 후속적으로 수행되기를 기대한다.

## References

- [1] Schumpeter, J. (1934), *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press.
- [2] Schwab, K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*, Crown Business.
- [3] 기획재정부 (n.d.), 혁신성장이란, 2022년 7월 16일, Retrieved from <https://www.mof.go.kr/pa/archive/mvGrowthNdNcssty.do>
- [4] Bresnahan, T. F. and M. Trajtenberg (1995), "General Purpose Technologies 'Engines of Growth'?" *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108.
- [5] Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press.
- [6] Carlaw, K. I. and C. T. Bekar (2005), *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long-Term Economic Growth*, Oxford University Press.
- [7] Crafts, N. (2021), "Artificial Intelligence as a General-Purpose Technology: An Historical Perspective," *Oxford Review of Economic Policy*, 37(3), 521-536.
- [8] Prajogo, D. I. and P. K. Ahmed (2006), "Relationships Between Innovation Stimulus, Innovation Capacity, and Innovation Performance," *R&D Management*, 36(5), 499-515.
- [9] World Economic Forum (2018), *The Future of Jobs Report 2018*.
- [10] Diaconu, M. (2011), "Technological Innovation: Concept, Process, Typology and Implications in the Economy," *Theoretical & Applied Economics*, 18(10), 127-144.
- [11] 신민식·김수은 (2009), "기업혁신과 기업가치간의 관계," 『경영연구』, 24(4), 89-120.
- [12] 성태경·김진석 (2009), "기업의 기술혁신성과 결정요인: 전북소재기업에 대한 실증분석," 『대한경영학회지』, 22(4), 2017-2036.
- [13] 김찬용·최예술·임업 (2015), "기업의 공동연구개발활동이 제품혁신 및 공정혁신에 미치는 영향: 음이항회귀모형을 활용하여," 『지역연구』, 31(4), 107-128.
- [14] 구한민·김갑성 (2021), "코로나19가 가속화한 스마트 시티로의 전환에 대한 고찰: 유토피아인가 디스토피아인가?" 『사단법인 스마트도시·건축학회 논문집』, 2(1), 18-24.
- [15] 박문수·이동희 (2017), 『4차 산업혁명 시대 주요국 제조업과 서비스업 연계성 현황과 시사점』, 산업연구원.
- [16] 김문선·황순환 (2005), "중소기업의 정보화 수준 평가 및 기업성과지표와의 관계 분석," 『경영학연구』, 34(2), 549-568.
- [17] 유세준 (2007), "정보화 수준 평가 요인이 중소기업의 경영성과에 미치는 영향," 『e-비즈니스연구』, 8(3), 79-105.
- [18] 이승민·신기윤·이정동 (2022), "기업의 4차 산업혁명 기술 도입과 생산성 간 관계 연구: 절대적 수준과 상대적 위치," 『한국혁신학회지』, 17(3), 251-280.
- [19] 윤선중·서종현 (2021), "4차 산업혁명기업의 기술혁신 역량이 경영성과에 미치는 영향," 『중소기업연구』, 43(1), 51-83.
- [20] 윤선중·서종현 (2021), "기술 중소기업의 경영 특성에 대한 고성장 기업 결정 영향 요인 분석: 4차 산업혁명 기업과 일반 중소기업을 중심으로," 『벤처창업연구』, 16(6), 157-175.
- [21] Lee, M., Kim, H. and H. Yoe (2018), ICBM-Based Smart Farm Environment Management System. In R. Lee (Ed.) *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing* (pp. 42-56). Springer Cham.
- [22] Cho, J., DeStefano, T., Kim, H., Kim, I. and J. H. Paik (2022), "What's Driving the Diffusion of Next-Generation Digital Technologies?" *Technovation*, 102477.
- [23] 과학기술정보통신부·한국정보화진흥원 (2018), 『2018 정보화통계집』, 한국정보화진흥원.
- [24] 양울민·장군·김성훈 (2017), "R&D 활동과 기술혁신이 경영성과에 미치는 영향: 국내 제조업과 서비스업의 비교연구," 『대한경영학회지』, 30(7), 1139-1157.
- [25] Fisher, F. M. and P. Temin (1973), "Returns to Scale in Research and Development: What Does the Schumpeterian Hypothesis Imply?" *Journal of Political Economy*, 81(1), 56-70.
- [26] Hill, R. C., Griffiths, W. E. and G. C. Lim (2018), *Principles of Econometrics*, John Wiley & Sons.
- [27] Halvorsen, R. and R. Palmquist (1980), "The



Interpretation of Dummy Variables in Semilogarithmic Equations,” *American Economic Review*, 70(3), 474-475.

- [28] Hayes, A. F. (2017), *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach*, Guilford Publications.
- [29] 김상훈·김승민·황원식 (2020), 『4차 산업혁명 연관 기술 도입 효과와 관계성 분석』, 산업연구원.
- [30] 장석인 (2017), “제4차 산업혁명 시대의 산업구조 변화 방향과 정책과제,” 『국토』, (424), 22-30.

### 구 한 민(Hanmin Gu)



- 2019년 03월~현재: 연세대학교 도시공학과 석박사통합과정
- 2010년 03월~2019년 02월: 연세대학교 도시공학과 학사
- E-Mail: ghm21@yonsei.ac.kr

### 황 의 현(Uihyun Hwang)



- 2018년 03월~2020년 02월: 연세대학교 도시공학과 석사
- 2014년 03월~2018년 02월: 연세대학교 도시공학과 학사
- E-Mail: uihyun.hwang96@gmail.com

### 김 갑 성(Kabsung Kim)



- 1991년 08월~1995년 05월: 美 펜실베이니아대학교 지역경제학 박사
- 1989년 08월~1992년 05월: 美 펜실베이니아대학교 도시및지역계획학 석사
- 1983년 03월~1987년 02월: 연세대학교 건축공학과 학사
- E-Mail: kabsung@yonsei.ac.kr