

# 4IR Technology Adoption of Korean Manufacturing Firm

## 한국 제조기업의 4차 산업혁명기술 도입

Sung-Ho Rho<sup>1</sup>

노성호<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, School of International Studies, Sejong University, South Korea,  
[sunghorho@sejong.ac.kr](mailto:sunghorho@sejong.ac.kr)

**Abstract:** This study investigates the determinants of firm's 4th Industrial Revolution technology adoption and development. This study uses the "Survey of Business Activities" by the National Statistical Office of Korea, which surveys and publishes in-depth management activities of Korean firms. The firm level data includes 11,371 observations of 5,703 individual firms across manufacturing industry(industry classification C) from 2017 to 2018. Firms with data for both years were selected as a sample, and a balanced panel data was constructed and used for empirical estimation. The empirical model employs a panel tobit model to use the censored data as a dependent variable. Main finding is as follows. First of all, firm's labor productivity, size, internal R&D, and export have a significant positive effect on the firms' decision to adopt the 4th Industrial Revolution technology or develop 4IR technology internally. In addition, firms in a specific industry actively introduced and independently developed the 4th Industrial Revolution technology to be significantly different from other industries. Firms in industries such as manufacture of coke and refined petroleum products (19), manufacture of computer, electronic and optical products (26), manufacture of electrical equipment (28), manufacture of machinery and equipment n.e.c. (29) and manufacture of furniture (32) are actively adopting 4IR technology.

**Keywords:** Business Activity Survey, 4th Industrial Revolution technology, Korean Manufacturing Firms, Adoption, Development

**요약:** 본 연구는 통계청 국가지정통계 기업활동조사 2017년~2018년 제조업(산업대분류C, 산업중분류10~34)의 5,703기업(11,371관측표본) 데이터를 활용해서 4차 산업혁명기술의 도입을 결정하는 기업 특성요인을 실증분석한다. 2개 연도 데이터를 모두 가진 기업을 표본으로 정해서 균형 패널 자료를 구축해서 활용했다. 실증모형은 중단 자료 처리를 위해 패널 토빗모형을 이용한다. 일반최소자승 모형은 편의없는 일치추정량을 얻을 수 없다. 주요 연구결과는 다음과 같다. 우선 기업의 노동생산성, 규모, 내부 연구개발 여부, 수출 여부는 기업이 4차 산업 혁명기술을 도입하거나 자체적으로 개발을 결정하는데 유의미한 양의 영향을 가진다. 또한 특정 산업의 기업들은 유의미하게 4차 산업혁명 기술을 더 적극적으로 도입했는데 코크스, 연탄 및 석유정제품, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 가구 제조업 중사 기업들이 유의미한 차이를 보였다.

**핵심어:** 기업활동조사, 4차산업혁명 기술, 한국 제조기업, 도입, 개발

Received: December 04, 2022; 1<sup>st</sup> Review Result: January 18, 2023; 2<sup>nd</sup> Review Result: February 19, 2023  
Accepted: March 31, 2023

## 1. 서론

4차 산업혁명은 2016년 세계경제포럼에서 Klaus Schwab[1]에 의해 처음 본격적으로 논의되었다. 논의에 따르면 AI와 클라우드 컴퓨팅, IoT, 빅데이터, 모바일 기술을 중심으로 여러 분야의 기술이 군집적으로 동시 발전해서 세계 경제 전체의 생산성이 비약적으로 발전해서 세계의 사회와 문화 전반에 혁신적인 변화가 일어나리라 예측되고 있다. 이후 이와 관련한 기술 변화와 생산성 향상, 기업의 대응에 대해서 많은 연구가 이뤄지고 있다. 특히 기업의 4차산업혁명 기술(4th Industrial Revolution technology: 이후 ‘4IR 기술’로 지칭) 도입은 중요한 주제이다. 기업의 신기술 도입과 기술의 확산이 경제 전체의 생산성이 제고되는 속도와 관련되어 있고 세계 경제의 전환 양상이 이에 따라 결정되기 때문이다. 특히 한국은 정보통신기술이 발전되어 기업에 의한 신기술 도입이 매우 활발하게 일어나고 있으며 수출 중심의 제조업 기업들이 세계 시장에서 경쟁력 유지를 위해 끊임없는 생산성 향상 노력을 하고 있어서 이러한 변화를 관찰하는데 중요한 의미가 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 한국 제조 기업의 4IR 기술 도입을 결정하는 기업 특성 요인을 실증 분석한다. 본 연구의 목적은 가설 검증을 통해 이론의 시비를 가리기 보다는 4IR 기술 도입의 초기 특정 기간 기업 관측 표본에 대한 탐색적 연구를 통해서 향후 기업의 기술 도입에 관한 연구에 작은 근거를 더하는 것을 목표로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론 배경을 서술하고 이에 따라 검증 가설을 설정한다. 3장에서는 자료와 모형을 소개하고 회귀분석을 진행한 후 그 결과를 제시하고 분석한다. 4장 결론에서는 연구 결과를 정리한다.

## 2. 이론 배경

### 2.1 4차 산업혁명 기술과 경제 생산성 향상

최근 빅데이터와 AI, 클라우드 컴퓨팅 등 관련 기술의 발전이 매우 빠르고 여러 기술이 융합하면서 새로운 차원의 디지털화 스마트화 변화가 진행되고 있어 생산의 양식이 크게 변화하고 있다. 여러 산업현장에서 자동화 공정과 로봇이 도입되고 이미지 감지와 사물 인터넷을 통해 기존의 제조업이 업그레이드되고 있다. 이러한 배경에서 4차 산업혁명이 논의되고 있다[2]. 여러 학자들은 작금의 새로운 기술이 세계 인류의 삶을 획기적으로 바꿀 것이라고 주장한다. 하지만 어떤 특정한 기술이 얼마만큼의 생산성을 제고시키고 경제 발전에 어떤 영향을 줄 것인지 측정하거나 예측하기는 결코 쉬운 일이 아니다.

생산성과 신기술에 대한 가장 유명한 논의로 경제학자 Robert Solow[3]는 1987년 3차 산업혁명이라고 일컬어지는 컴퓨터 기술의 발전과 기술도입에 의한 경제 성장에 관해 논평하면서 “우리는 컴퓨터 시대에 살고 있어서 어느 곳에서나 컴퓨터를 볼 수 있다. 하지만 정작 생산성 통계에서는 컴퓨터의 영향을 전혀 볼 수가 없다.”라고 평가했다. 이후 새로운 기술의 발전과 경제 생산성 제고가 널리 연구되었으며 당시 대기업에서 생산성 향상이 우선 관찰되었다. 또한 2000년대에 들어서 인터넷과 컴퓨터가 거의 모든 기업에 보급되고 세계적으로 일상화되면서 기업의 조직과 업무 관행이 컴퓨터 도입이 가져오는 생산성을 저해하지 않는 방향으로 바뀐 이후에는 세계 경제 전체의 생산성 향상이 의심없이 확인되었다[4].

그러므로 새로운 기술의 발전이 진정한 4차 산업혁명이라 불릴만큼 경제 전체에

비약적인 생산성 향상을 가져올 수 있는지 논의하기 위해서는 먼저 기술의 도입과 확산에 대한 이해가 필요하다. Bresnahan and Trajtenberg[5]은 이러한 논의를 가장 먼저 시작한 주류 경제학 연구로 일반 목적 기술(*general purpose technology: GPT*)라는 개념을 도입해서 이를 경제 성장 연구에 반영하고자 했다. 이들은 각각의 산업혁명은 증기기관, 전기모터 혹은 반도체 기술의 발전에 의해 추동되었으며 이들 기술이 확산되어 얼마나 그 잠재력을 발휘했는지 일반 목적 기술과 그 보완 기술의 발전이 얼마나 잘 결합하였는지에 따라 한 시기 경제 전체의 생산성이 결정되고 신기술발전에 의한 경제 성장의 영향 또한 측정될 수 있다고 본다. 여러 연구에 의하면 일반 목적 기술의 발전과 도입은 처음 단계(*time to sow*)에는 생각보다 느리고 더디며 경제가 일정한 조건을 만족하는 특정한 국면에 들어가야(*time to reap*) 실질적인 생산성 제고로 귀결된다[6]. 기업은 변화하는 기술 경영환경에서 기술의 가능성과 수익에 영향을 미칠 수 있는 불확실성을 감안해서 기술 도입을 신중하게 결정하고 이러한 기업의 선택이 모여 전체 경제에서 새로운 기술의 확산 양상이 정해진다. 이러한 배경에서 본 연구는 기업의 새로운 기술 도입을 결정하는 요인에 대해서 연구한다.

## 2.2 가설 설정: 기업의 신기술 도입 결정 요인

기업의 새로운 기술 도입은 매우 리스크가 큰 혁신 활동이다[7]. 새로운 기술을 도입하거나 개발 활용한다고 해서 기업 실적이 반드시 좋아지거나 생산성이 개선된다고 확신할 수 없기 때문이다. 그러므로 기술도입의 기회를 정확하게 판단하고 기술 도입을 통해 높은 확률로 생산성을 높일 수 있는 기업, 기술 도입 후 난관과 불확실성을 더 효율적으로 극복할 수 있는 기업이 새로운 기술을 도입하고 기술 발전에 따르는 기회에 수혜자가 된다. 그러므로 현실에서 새로운 기술의 확산은 일부 산업에만 한정되는 경우가 많다. 그렇다면 기술 도입과 활용을 통해 4차 산업혁명과 같은 기술 전환의 기회에 경쟁력을 강화하는 기업은 어떤 기업들일까?

이 문제에 대해 기술 조직 환경(*technology, organization, environment*: 이후 ‘TOE’ 이론으로 지칭)이론에 따라서 많은 연구가 진행되어 있다[8]. TOE 이론은 기업이 신기술을 도입을 결정할 때 기업이 자체적으로 기술 역량을 갖추고 있어서 다른 기업에 비해 경쟁우위가 있는지, 새로운 기술을 흡수, 소화해서 생산성 향상으로 연결할 수 있는 역량이 있는지가 우선 중요한 기술(*technology*) 관련 변수가 된다고 개념화한다. 또한 기업의 조직적 특성 규모 혹은 의사결정 구조가 기업의 신기술 도입에 결정적인 영향을 미치며 이를 조직(*organization*) 관련 변수로 분류했다. 다음으로 기업이 처한 환경 대표적으로 산업의 경쟁 정도 혹은 연관 산업의 발전 정도 등 환경(*environment*) 관련 변수가 기업의 신기술 도입에 영향을 미친다고 주장하며 경쟁 압력에 처한 기업들이 다른 기업보다 먼저 신기술 도입을 통해 생산성 향상을 도모한다고 주장한다[9].

이러한 이론을 배경으로 다음과 같이 가설을 설정한다. ①우선 Brynjolfsson, Rock and Syverson[10]은 이미 생산성이 높은 기업들이 새로운 기술도입의 불확실성을 더 잘 해결하고 기술도입에 적극적일 수 있다고 밝혔다. 생산성이 높은 기업은 이미 새로운 기술의 도입과 활용에 유리한 경영 관행을 고수하고 구성원이 능동성을 갖추고 있고 4IR 연관 기술들을 이미 도입하고 있을 가능성이 크다. 그러므로 4IR 기술 도입에 더욱 적극적일 수 있다. 즉 새로운 기술을 도입할 준비가 잘 갖추어진 기업이 더 적극적으로 새로운 기술을 도입한다. Pan and Jang[11]은 기업의 ERP 기술 도입을 결정하는 요인으로

기술적 준비성(technology readiness)이 중요한 변수가 됨을 실증했다.

가설 1: 생산성이 높은 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.

② 또한 생산 단위가 여러 곳이어서 기술 도입 성공 시 더 큰 규모의 생산성 증대와 경제적 효과를 누릴 가능성이 있는 기업일수록 기술도입에 적극적일 수 있다. 새로운 기술도입의 효용이 더 큰 기업일수록 도입에 적극적일 것이라는 의미이다. Brynjolfsson and McElheran[12]은 멀티 생산시설 보유 기업이 새로운 기술 도입에 적극적임을 실증했다. 규모가 큰 조직(large organization)은 신기술 확산을 빠르게 달성해서 신기술 도입을 통한 생산성 향상의 수혜를 크게 누릴 수 있다.

가설 2: 규모가 큰 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.

③ 다음으로 연구개발을 활발히 하는 기업일수록 새로운 기술 도입에 적극적일 수 있다. 기업은 연구개발 활동을 통해 조직의 외부 지식에 대한 흡수, 소화 역량을 유지한다[13]. 새로운 지식과 기술의 경우 본질적으로 활용 시 정보 비대칭성 문제를 내재하고 있다. 기업은 내부 연구개발 활동을 통해 조직의 학습역량을 기르고 이러한 정보 비대칭성 문제를 효과적으로 관리한다[14][15]. Lee, Lee, Choi and Kim[8]은 기업의 연구개발 지출이 4차산업(industry 4.0 technology) 기술 도입의 결정 요인이 됨을 실증했다. 기업의 연구개발 활동 여부는 기술과 조직 모두 관련된 변수로 규정할 수 있다.

가설 3: 연구개발 활동을 하는 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.

④ 마지막으로 수출 기업이 새로운 기술을 더 적극적으로 도입할 수 있다. 수출 시장에 참여하는 기업은 이미 국내 시장의 생산성 경쟁에서 승리한 기업으로 해외 비용을 감내하고 세계 수준의 가격과 품질 경쟁력을 갖춘 기업이다[16]. 이러한 기업은 지속적인 경쟁력 유지를 위해 새로운 기술을 적극적으로 도입한다. Frank, Dalenogare and Ayala[17]는 기업이 직면한 경쟁 압력(competition pressure)이 신기술 도입의 주요한 결정 요인이 됨을 증명했다.

가설 4: 수출을 하는 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.

### 3. 실증 분석

#### 3.1 자료와 모형

다음으로 본 연구에서 활용한 자료를 소개한다. 기업활동조사는 통계청에서 매해 발표하는 국가지정통계(승인번호 10166)이다. 2006년부터 연단위로 발표하며 정규직 종사자 50인 이상 자본금 3억원 이상 기업을 대상으로 전수 조사하기 때문에 한국의 모든 중기업, 대기업을 표본으로 포함하고 있다. 설문조사 방식으로 정보를 취합해서 발표한다. 특히 기업의 모든 매출과 비용, 공과금 정보를 담고 있어서 재무 관련 변수를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 특허와 연구개발, 외부 협력 관련 기업 정보도 담고 있어서 그 활용가치가 매우 크다. 게다가 2018년 기업활동조사(2017년 설문)부터는 4IR 기술 관련 설문이 새로 도입되어 정보를 활용할 수 있다. 해당 항목은 4IR 기술을 도입하고 있는지, 각 기업의 가치사슬에서 도입 단계는 어떤 단계인지, 4IR 기술을 자체개발하고 있는지 등 정보를 담고 있다. 본 연구는 기술도입 여부와 자체기술개발 여부 항목 자료를 종속변수로 활용한다. 기술도입은 외부 아웃소싱과 내부 자체 연구개발의 두가지 방법이 있을 수 있으며 기술도입 여부를 두 변수를 통해 조작적으로 정의함으로써 실증모형의 강건성을 확보한다.

이와 같이 4IR 기술 도입과 자체개발 여부를 종속변수로 활용하려면 일반적인

최소제곱 추정 모형(ordinary least square: 이후 ‘OLS’ 모형으로 지칭)을 채택할 수 없다. 검증하고자 하는 모형의 종속변수가 중단자료(censored data)이기 때문이다. 즉 4IR 기술을 도입하지 않은 해당 변수가 0인 기업이 다수 존재하기 때문이다. 이러한 종속변수에 대해 OLS 모형을 활용하면 편의가 발생하고 일치추정량을 얻을 수 없다.

이와 같은 이유에서 본 연구에서는 패널 자료의 특성을 살려서 패널 토빗(panel tobit) 모형을 활용한다. 패널 토빗 모형은 통합 토빗(pooled tobit) 모형에 비해 개체의 반복관찰 정보를 반영할 수 있어서 패널 개체의 이질적 특성을 반영할 수 있고 더 효율적인 추정량을 얻는 것이 가능하다. 패널 개체의 특성을 나타내는 확률변수를 고정효과와 확률효과로 처리하는 방식이 있는데 토빗 모형에서는 확률효과로 처리할 때에만 불편추정량을 얻을 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 확률효과 모형을 활용한다. 또한 25개 제조업 중분류 산업 더미를 모형에 포함시킨다. 이를 통해 특정 제조업의 기업에서 4IR 기술을 더 적극적으로 도입하거나 자체개발하는지 여부를 확인할 수 있을 것이다. 가설을 검증하기 위한 실증식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$4IR\ adop/4IR\ dev = \alpha_0 + \alpha_1 * Internal\ R\&D\ dummy + \alpha_2 * Export\ dummy + \alpha_3 * Labor\ Productivity + \alpha_4 * Scale + \alpha_5 * Industry\ dummy + \varepsilon \dots\dots\dots(1)$$

여기서 주요 변수에 대한 정의는 [표 1]과 같다. 기본 실증식의 주요 종속 변수인 4IR 기술도입은 두가지 더미 변수로 조작적으로 정의했다. 우선 4IR 기술도입은 외부 아웃소싱 혹은 자체 개발에 상관없이 4IR 기술을 도입해서 활용하는 여부를 의미한다. 4IR 기술은 기업활동조사의 정의를 그대로 따라서 IoT, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일, AI, 블록체인, 3D프린팅, 로봇틱스, AR/VR를 모두 포함했다. 다음으로 4IR 기술 자체개발은 기업이 신기술을 자체개발해서 도입하는지 여부를 의미한다. 더 적극적인 의미의 신기술 도입 변수로 해석할 수 있다.

다음으로 주요 독립변수인 노동생산성은 기업활동조사의 기업 재무자료를 활용해서 구축했다. 노동생산성은 정규직 종사자 1인당 생산하는 부가가치로 정의한다. 기업의 매출에서 매출원가와 판매비와 관리비를 제하고 얻은 영업이익에 인건비와 각종 비용을 더한 값인 부가가치를 계산하고 이를 정규직 고용인원으로 나누어 얻었다. 연구개발 더미는 기업의 내부 연구개발 지출이 있는 경우 1로 없는 경우 0으로 정의한다. 기업이 내부 연구 조직을 유지하고 자체적인 연구개발 프로젝트를 수행하는 것은 연구개발 활동을 아웃소싱하는 것과는 완전히 다른 의미를 가진다. 외부 연구개발 지출 활동을 제외함으로써 당초 가설에 부합하도록 변수를 조작적으로 정의했다. 수출 더미 또한 기업이 수출 실적이 있는 경우 1로 없는 경우 0으로 정의한다. 제조업 기업의 경우 산업 특성상 수출 실적이 있는 기업 비율이 높으며 국제 거래가 활발하게 이뤄지는 특정 세부 산업은 대부분의 기업이 수출 활동을 한다.

[표 1] 주요 변수 정의

[Table 1] Variable Definition

변수	정의
4IR 기술 도입	더미 변수: 4IR 기술을 사용하고 있는 기업은 1, 아니면 0 (4IR 기술 목록: IoT, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일, AI, 블록체인, 3D프린팅, 로봇틱스, AR/VR)
4IR 기술 개발	더미 변수: 4IR 기술을 자체 개발하고 있는 기업은 1, 아니면 0 (4IR 기술 목록: IoT, 클라우드

	컴퓨팅, 빅데이터, 모바일, AI, 블록체인, 3D프린팅, 로봇틱스, AR/VR)
노동생산성	기업재무 자료: {매출액- (매출원가+판매비와 일반관리비-인건비-임차료-감가상각비-세금과공과금-대손상각비)} / 정규직직원
정규직 직원	조사시점 정규직 직원종사자수 (임시 및 일용근로자 제외)
연구 개발 더미	더미 변수: 당해 연도 내부 연구개발 지출이 있는 기업은 1, 아니면 0
수출 더미	수출 더미: 당해 연도 수출 실적이 있는 기업은 1, 아니면 0

주요 변수의 기초통계량은 [표 2]와 같다. 관측표본수는 2년에 걸친 11,379개 기업 표본이다. 확인할 수 있는 바와 같이 적자 기업은 음의 노동생산성을 가지게 된다. 기업활동조사 자체가 50인 이상 기업에 대해서만 설문조사를 진행하기 때문에 정규직 직원의 최소값은 50이다.

[표 2] 기초 통계량

[Table 2] Descriptive Statistics

변수	관측수	평균	표준편차	최소최대
4IR 기술도입	11,379	0.0843659	0.277948	[0 1]
4IR 기술개발	11,379	0.0609017	0.2391604	[0 1]
노동생산성	11,379	103.0299	100.5363	[-652.7956 2741.817]
정규직직원	11,379	308.1927	1977.348	[50 102356]
연구개발더미	11,379	0.7713332	0.4199926	[0 1]
수출더미	11,379	0.8112312	0.391342	[0 1]

산업별 4IR 기술을 도입하는 기업수와 비율은 [표 3]과 같다. 제조업 전체 기업 표본 중 2017년과 2018년에 걸쳐 4IR 기술을 도입하는 기업 비율은 8.43%였다. 2017년은 기술도입률이 이보다 다소 낮고 2018년은 이보다 다소 높다. 또한 4IR 기술을 자체개발해서 활용하는 기업 비율은 6.09%였다. 4IR 기술이 분석기간 동안에는 아직 일반목적 기술로 널리 활용될 정도로 보급 확산되어 있지는 않은 것으로 확인되었다.

코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업은 55%의 기업이 4IR 기술을 도입하고 50%의 기업이 이를 자체 개발해서 활용하고 있었다. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업, 가구 제조업 등은 기술도입률이 10%를 넘어갈 정도로 높았고 자체 개발 비율도 상당히 높았다.

[표 3] 산업별 4IR 기술 도입/자체개발 활용 기업

[Table 3] 4IR Technology Adopting/Developing Firms by Industry

산업	기업수	기술도입활용		기술자체개발활용	
10 식료품 제조업	772	41	5.31%	28	3.62%
11 음료 제조업	52	1	1.92%	0	0%
12 담배 제조업	1	0	0%	0	0%
13 섬유제품 제조업; 의복제외	353	11	3.11%	7	1.98%
14 의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업	268	19	7.08%	12	4.47%
15 가죽, 가방 및 신발 제조업	70	6	8.57%	2	2.85%
16 목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외	20	1	5%	0	0%
17 펄프, 종이 및 종이제품 제조업	236	8	3.38%	7	2.96%
18 인쇄 및 기록매체 복제업	118	8	6.77%	6	5.08%
19 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	20	11	55%	10	50%

20 화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	808	54	6.68%	30	3.71%
21 의료용 물질 및 의약품 제조업	340	31	9.11%	22	6.47%
22 고무 및 플라스틱제품 제조업	837	54	6.45%	28	3.34%
23 비금속 광물제품 제조업	323	20	6.19%	10	3.09%
24 1차 금속 제조업	697	38	5.45%	27	3.87%
25 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	779	43	5.51%	29	3.72%
26 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	1,241	202	16.27%	170	13.69%
27 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	480	79	16.45%	64	13.33%
28 전기장비 제조업	699	63	9.01%	53	7.58%
29 기타 기계 및 장비 제조업	1,466	139	9.48%	103	7.02%
30 자동차 및 트레일러 제조업	1,434	96	6.69%	60	4.18%
31 기타 운송장비 제조업	189	11	5.82%	8	4.23%
32 가구 제조업	56	13	23.21%	10	17.85%
33 기타 제품 제조업	107	11	10.28%	7	6.54%
34 산업용 기계 및 장비 수리업	14	0	0	0	0%
C 제조업(10~34)	11,379	960	8.43%	693	6.09%

자료출처: 기업활동조사 2017년 2018년 제조업 균형 패널 기업

### 3.2 분석 결과

실증식에 대한 회귀분석 추정 결과는 [표 4]와 같이 정리했다. 첫번째 열의 회귀분석 결과(1)는 종속변수를 기술도입 여부로 활용했다. 지면의 제약으로 인해 산업 중분류를 더미 변수로 활용한 결과는 모두 제시하지 않고 10% 범위내에서 유의미한 산업의 결과만을 제시했다.

모형의 적합성부터 확인한다.  $\sigma_\epsilon$ 의 값이 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며 이는 본 연구의 토빗 모형이 OLS 추정 모형보다 유의미하게 더 적합하다는 의미이다.  $\sigma_v$  유의 값도 통계적으로 유의미한 것으로 나타났는데 패널 토빗 모형이 합동 토빗 모형보다 유의미하게 적합한 것으로 해석할 수 있다. 총11,371개 관측표본 중 기술도입을 한 기업 표본은 모두 960개 였다. 전반적으로 주요 변수의 계수 부호와 유의성은 모두 예상한 바와 같이 나타났다. 기업의 노동생산성은 4IR 기술 도입의 유의미한 결정요인으로 작용하는 것으로 나타났고 정규직 직원 수로 대변한 기업의 규모도 4IR 기술 도입의 유의미한 결정요인이었다. 연구개발 활동을 하는 기업은 4IR 기술도입에 유의미하게 적극적인 것으로 나타났는데 연구개발을 통해 기업의 학습역량이 발전하고 외부 지식의 적용 흡수 역량이 제고되기 때문으로 추정된다. 수출 기업은 유의미하게 4IR 기술 도입에 적극적인 것으로 나타났다. 수출 시장에서 더욱 심한 정도의 경쟁에 참여하고 있는 수출제조 기업은 생산성 향상을 위한 4IR 기술 도입에 적극적인 것으로 나타났다. 설정한 가설이 모두 유의미한 것으로 나타났다. 제조업 내에서도 4IR 기술 도입이 유의미하게 두드러지는 산업도 있고 유의미하게 도입이 적은 산업도 있었다. 전자는 코크스, 연탄 및 석유정제품, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 가구 제조업 이었고 후자는 섬유제품 제조업; 의복제외였다.

[표 4] 패널토빗모형 회귀분석결과

[Table 4] Regression Result of Panel Tobit Model

	(1) 기술도입 계수 (P> z )	(2) 기술자체개발 계수 (P> z )
노동 생산성	0.0008***	0.0008**

	(0.009)		(0.025)	
연구개발 더미	0.6449*** (0.000)		0.8592*** (0.000)	
수출 더미	0.3273*** (0.000)		0.3069** (0.017)	
종업원 규모	0.00006*** (0.000)		0.00006*** (0.000)	
산업더미	13 섬유제품 제조업; 의복제외	-0.5201* (0.098)	19 코크스, 연탄 및 석유정제품	2.4618*** (0.000)
	19 코크스, 연탄 및 석유정제품	2.2168*** (0.000)	26 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	1.0384*** (0.000)
	26 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	0.8688*** (0.000)	27 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	1.0255*** (0.000)
	27 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	0.8623*** (0.000)	28 전기장비 제조업	0.4735* (0.054)
	29 기타 기계 및 장비 제조업	0.3569** (0.054)	29 기타 기계 및 장비 제조업	0.4176* (0.057)
	32 가구 제조업	1.3217*** (0.002)	32 가구 제조업	1.4887*** (0.002)
상수항	-3.6503*** (0.000)		-4.3212*** (0.000)	
$\sigma_\epsilon$	0.9720*** (0.000)		0.9946*** (0.000)	
$\sigma_v$	1.5362*** (0.000)		1.6313*** (0.000)	
$\rho$	0.7140834		0.7290089	
Wald $\chi^2(27)$	209.81 (0.000)		199.03 (0.000)	
관측수(절단/비절단)	11,371 (10,412/959)		11,371 (10,679/692)	
관측수 (그룹수)	11,371 (5,703)		11,371 (5,703)	

주: \* 0.1, \*\* 0.05, \*\*\* 0.01 의 수준에서 유의미함을 의미

다음으로 두번째 열의 회귀분석 결과(2)는 종속변수를 4IR 기술의 자체개발 여부로 활용한 회귀분석 계수 추정 결과를 제시한다. 마찬가지로 모형의 적합성을 확인하면  $\sigma_\epsilon$ ,  $\sigma_v$  통계량은 높은 수준에서 유의미한 것으로 나타났다. 패널 토빗의 모형 선택이 OLS 모형이나 통합 토빗 모형보다 적합함을 의미한다. 총 11,371개 관측표본 중 자체적으로 4IR 기술을 자체적으로 개발하는 기업은 692개 기업으로 나타났다. 마찬가지로 기업의 노동생산성과 기업의 규모, 연구개발, 수출은 한국 제조기업이 4IR 기술을 자체적으로 개발 활용하는지 여부를 결정하는 중요한 요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 제조업 중 4IR 기술을 자체개발하는 기업이 유의미하게 많은 산업분야는 첫번째 열(1) 모형의 추정결과와 마찬가지로 코크스, 연탄 및 석유정제품과 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 가구 제조업이 두드러졌고 첫번째 열(1) 모형과는 다르게 전기장비 제조업도 유의미하게 4IR 기술을 자체 개발하는 기업이 많았다.

### 3.3 토론

실증 분석에 따라 설정한 가설의 검정 결과는 [표 5]와 같이 정리할 수 있다.

[표 5] 가설 검정 결과

[Table 5] Hypothesis Test Results



가설	검정
가설1: 생산성이 높은 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.	채택
가설2: 규모가 큰 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.	채택
가설3: 연구개발 활동을 하는 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.	채택
가설4: 수출을 하는 기업은 4IR 기술을 더 적극적으로 도입할 것이다.	채택

가설을 채택할 수 있는데 가설들의 귀무가설 즉 생산성, 규모, 연구개발, 수출과 4IR 기술의 도입과 자체개발과는 아무 연관성이 없다는 가설을 통계적으로 기각할 수 있었기 때문이다.

가설 검정 결과는 기존의 연구 결과와 대체로 일치하며 기존의 주장을 다시 확인하는 의미가 있었다. Lee, Lee, Choi and Kim[8]는 2018년 기업활동조사 자료를 활용해서 전체 산업군의 기업에 대해서 비슷한 회귀분석을 했다. 그 결과는 우선 전체 한국 기업 중에서 4차 산업(industry 4.0) 관련 기술(IoT, 클라우드, 빅데이터, AI의 4개 기술만을 대상으로 분석)을 도입한 기업 비율은 9.06%로 아직 확산이 널리 이뤄지지 않은 상황으로 4차 산업 관련 기술이 일반목적 기술로 자리잡지는 않았다고 보이고 있다. 산업 중에서 4차 산업 관련 기술이 가장 널리 확산 보급된 산업은 정보통신업(산업대분류J, 산업중분류 58~63)과 금융 및 보험업(산업대분류K, 산업중분류 64~66)였으며 기술도입률은 각각 33.9%, 19.2%에 달했다. 이들 새로운 기술을 도입하는 기업들의 특징을 살펴보면 우선 연구개발지출이 많은 기업이나 특허를 많이 보유하고 있는 기업이 새로운 기술을 적극적으로 도입하는 것으로 나타났는데 이는 본 연구에서 확인한 바와 일치한다. 또한 이 연구는 경쟁이 심한 산업에 종사하는 기업일수록 새로운 기술 도입에 적극적인 점을 실증했는데 이는 본 연구의 수출 기업이 4IR 기술을 더 적극적으로 도입하고 자체개발한다는 가설을 채택할 수 있다는 점과 비슷했다.

4IR 기술의 도입에 관해 기업이 종사하는 산업 요인은 매우 중요하다. Jensen[18]에 의하면 새로운 기술의 도입과 확산 패턴은 상당히 비슷한 양상을 띄어서(예를 들면 S 모양의 누적도입곡선) 기업의 신기술 도입 문제는 궁극적으로 어떤 요인이 기업이 일반적으로 널리 활용될 신기술 도입을 지연할 것인가? 하는 문제로 볼 수 있다고 주장한다. 이 때 신기술의 수익성(profitability)이 높으면 높을수록 기업은 이를 도입하지 않을 수 없는데 이는 같은 산업에 종사하는 기업들이 시간이 갈수록 신기술을 도입해서 생산성을 높여 경쟁에서 더 우위에 서기 때문이다. 산업 전체의 도입률은 기업의 신기술 도입 결정과 노력 혹은 경영 관행의 전환 속도에 결정적인 영향을 미친다. 경제학 모형 분석에 의하면 기업은 도입할 기술이 기업 경영에 좋은건지 아닌건지 알 수 없기 때문에 도입을 주저하게 되는데 본 연구의 실증결과에서 알 수 있는 바와 같이 이러한 불확실성을 더 잘 극복하고 신기술 도입의 부정적인 비용을 더 잘 관리할 수 있는 기업들이 적극적으로 새로운 기술을 도입하고 자체개발해서 활용한다. 이미 생산성이 높거나 규모가 크거나 내부 연구개발 활동을 하고 있는 기업이라면 새로운 기술을 가능한 빨리 도입해보고 필요하지 않으면 포기하는 경영 전략 판단도 빠를 것이다. 그 반대 기업들은 새로운 기술이 충분히 생산성 향상에 긍정적이라는 신호들이 쌓인 후에 이를 도입하고자 할 것이다. 그리고 수출 활동을 하는 기업의 경우도 새로운 기술 도입의 수익성 기회 즉 시장 접근 기회가 다른 기업보다 크다면 새로운 기술 도입을 지체하지 않고 그 리스크를 다른 기업보다 더 빨리 가늠해보고자 할 것이다. 본 연구는 이러한 기업의 선택에 대한 결정요인으로 기업 특성과 산업 특성을 실증분석을 통해 확인했다.

#### 4. 결론

본 연구는 통계청의 기업활동조사 자료를 활용해서 한국 제조업 기업의 4IR 기술 도입 혹은 자체 기술 개발을 결정하는 기업 특성 요인을 분석했다. 표본 기업의 정보량을 충분히 활용하면서 절단 자료인 종속변수에 대해 회귀분석을 진행하기 위해 패널 토빗 모형을 사용했다. 2017년과 2018년 현재 아직 약 10% 정도에 못미치는 기업만이 4IR 기술을 도입해서 활용하고 있는 것으로 나타났고 기술을 자체개발하고 있는 기업은 그보다 더 적었다. 4IR 기술이 분석기간 동안에는 아직 일반목적 기술로 널리 활용되고 있지는 않은 것으로 확인되었다.

연구에서 확인한 바는 다음과 같다. 우선 기업의 노동생산성, 규모, 내부 연구개발 여부, 수출 여부는 기업이 4IR 기술을 도입하고 직접 개발을 결정하는데 유의미한 양의 영향을 가진다. 생산성이 높아서 높은 실적을 올리는 기업이 더 적극적으로 새로운 기술을 도입하고 있었고 내부 연구개발을 진행할 정도로 인적 자원이 풍부하고 조직 학습 역량이 큰 기업이 4IR 기술을 더 적극적으로 도입하고 기술을 자체개발하고 있는 것으로 나타났다. 이는 이러한 기업이 4IR 기술 도입과 개발로 더 많은 성과를 낼 가능성이 높기 때문이다. 4IR 기술은 또한 직원의 규모가 커서 특정 업무 부담을 해결할 때 그 기회비용절감 효과가 큰 기업에서 적극적으로 도입되고 개발되고 있었다. 기업의 수출 여부도 중요한 결정요인이었는데 수출 제조업일수록 해외수출시장에서의 경쟁이 치열하고 독과점 구조로 혁신역량이 집중되고 있는 이유에서이다. 또한 특정 산업의 기업들은 유의미하게 4IR 기술을 더 적극적으로 도입하고 자체 개발했다. 한국 제조업에서 중요한 부분을 차지하고 있는 석유화학 산업과 반도체를 포함하는 전자부품 산업, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업 에서 4IR 기술이 적극적으로 도입되고 자체 개발되고 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 제조업 분야의 기업들에 대해서 패널 자료를 가지고 연구를 진행한 점이 기존 연구에 비해 차이점을 가질 수 있고 제조업 세부 산업 안에서 더욱 적극적으로 4IR 기술을 도입하고 자체개발하는 기업 비율이 높은 산업을 특정할 수 있었다. 세부 제조업 분야에서의 구체적인 기술 확산 현황을 파악할 수 있고 특정 산업 소속 기업의 4IR 기술 도입과 자체개발 결정요인을 파악할 수 있었다. 이로써 정부 차원에서 기술 확산 보급과 정책 지원에 있어서 좀 더 구체적인 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 노동생산성과 기업의 규모, 연구개발과 수출 이력 변수를 활용해서 의미있는 결정요인 실증 모형을 만들어냈는데 이는 학술적으로 기존의 연구를 뒷받침한다. 제조업 강국인 한국이 4IR 기술 도입을 통해 지속적인 생산성 향상을 도모할 수 있도록 하기 위해서 기업의 규모 확장 지원과 연구개발 지원, 수출 지원 정책은 실질적 의미를 가진다고 할 수 있다. 급변하는 경영환경에서 기업 간 생산성 격차가 커질 것으로 예측되는데 산업 구조조정이나 기업과 경쟁 협력 기제 설계에 시사점을 가질 수 있을 것이다.

하지만 다음과 같은 점에서 한계점을 가지고 있다. 실증분석에 활용한 기업 표본은 정규직 고용인원이 50인 이상의 OECD 기준 중등 규모 이상의 기업이다. 그러므로 소규모 기업이나 새로운 창업기업의 경우 분석에서 누락되었을 수 있다. 새로운 기술은 연구기관이나 대기업에서 분사되어 나온 새로운 기업에 의해 개발되는 경우도 많으며 이러한 새로 설립한 제조기업은 분석에서 제외되었으므로 연구 결과는 제한적인 의미만을 가진다. 또한 분석을 위해서 2017년, 2018년의 자료가 모두 있는 기업들만을 분석 표본으로 활용했는데 이 과정에서 영업 중단 기업들도 분석에서 제외되었다.

향후 후속 연구방향은 다음과 같다. 한국 경제가 COVID-19의 영향에서 점차 벗어나고 있으며 2022년 이후의 기업의 4IR 기술 도입 양상과 생산성 데이터는 COVID-19 이전의 그것과 크게 달라져 있을 것이다. 패널 데이터의 시계열을 늘려서 분석을 진행하고 기간간 차이와 추세 변화에 초점을 맞춰서 연구를 발전시킬 수 있다.

## References

- [1] K. Schwab, *The fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, (2016)  
Available from: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- [2] A. Nuvolari, *Understanding successive industrial revolutions: A “development block” approach*, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (2019), Vol.32, pp.33-44.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.11.002>
- [3] R. Solow, *We’d better watch out*, *New York Times Book Review*, (1987)
- [4] E. Brynjolfsson, D. Rock, C. Syverson, *Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics*, in: *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, Chicago: University of Chicago Press, (2019), pp.23-60.
- [5] T. F. Bresnahan, M. Trajtenberg, *General purpose technologies ‘Engines of growth’?*, *Journal of Econometrics*, (1995), Vol.65, No.1, pp.83-108.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- [6] E. Helpman, M. Trajtenberg, *Diffusion of general purpose technologies*, *General purpose technologies and economic growth*, MIT Press, pp.85-120, (1998)
- [7] A. Coad, R. Rao, *Innovation and firm growth in high-tech sectors: A quantile regression approach*, *Research Policy*, (2008), Vol.37, No.4, pp.633-648.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.003>
- [8] G. W. Lee, C. K. Lee, J. H. Choi, Y. R. Kim, *Who Adopts Industry 4.0 Technology?*, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, (2022), Vol.24, No.6, pp.2065-2083.  
DOI: <https://doi.org/10.37727/jkdas.2022.24.6.2065>
- [9] T. Oliveira, M. F. Martins, *Literature Review of Information Technology Adoption Models at Firm Level*, *The Electronic Journal Information Systems Evaluation*, (2011), Vol.14, No.1, pp.110-121.  
Available from: [www.ejise.com](http://www.ejise.com)
- [10] E. Brynjolfsson, D. Rock, C. Syverson, *The productivity J-curve: How intangibles complement general purpose technologies*, *American Economic Journal: Macroeconomics*, (2021), Vol.13, No.1, pp.333-372.  
DOI: <https://doi.org/10.1257/mac.20180386>
- [11] M. J. Pan, W. Y. Jang, *Determinants of the Adoption of Enterprise Resource Planning within the Technology-Organization-Environment Framework: Taiwan's Communications Industry*, *Journal of Computer Information Systems*, (2008), Vol.48, No.3, pp.94-102.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/08874417.2008.11646025>
- [12] E. Brynjolfsson, K. McElheran, *The rapid adoption of data-driven decision-making*, *American Economic Review*, (2016), Vol.106, No.5, pp.133-139.  
DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.p20161016>
- [13] A. Coad, *Persistent heterogeneity of R&D intensities within sectors: Evidence and policy implications*, *Research Policy*, (2019), Vol.48, No.1, pp.37-50.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.018>
- [14] P. Beneito, *The innovative performance of in-house and contracted R&D in terms of patents and utility models*,

Research Policy, (2006), Vol.35, No.4, pp.502-517.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.01.007>

- [15] B. Lokshin, R. Belderbos, M. Carree, The productivity effects of internal and external R&D: Evidence from a dynamic panel data model, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, (2008), Vol.70, No.3, pp.399-413.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00503.x>
- [16] M. J. Melitz, The Impact of Trade on Intra-industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity, *Econometrica*, (2003), Vol.71, No.6, pp.1695-1725.  
DOI: <https://www.jstor.org/stable/1555536>
- [17] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, N. F. Ayala, Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, (2019), vol.210, pp.15-26.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- [18] R. Jensen, Adoption and diffusion of an innovation of uncertain profitability, *Journal of Economic Theory*, (1982), Vol.27, No.1, pp.182-193.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(82\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0022-0531(82)90021-7)