

## 4차 산업혁명에 대한 소고

오문균, 유대승

한국전자통신연구원 인공지능연구소 지능로보틱스연구본부 지능로보틱스울산연구실

[mkoh@etri.re.kr](mailto:mkoh@etri.re.kr), [ooseyds@etri.re.kr](mailto:ooseyds@etri.re.kr)

### A Small Talk with the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution

Moon-Kyun OH, Dae-Seung YOO

ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute)

#### 요 약

2016년 1월 스위스 다보스포럼에서 제기된 4차 산업혁명이 실체를 지니고 있는지 아닌지가 논의되고 있지만, 대부분의 사람들은 인공지능으로 대표되는 기술변화가 무언가를 변화시킬 수 있다는 인식이 확산되었다. 본 논문에서는 4차 산업혁명에 대하여 산업혁명이라 명명할 수 있는지, 산업혁명이란 얼마만큼의 사회, 경제적 파급력을 가져야 하는지 등에 대하여 가법게 생각해 보고자 하였다. 이를 위하여 미국의 사회학자이자 미래학자인 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin)의 기고, 미국의 경제사학자인 로버트 고든(Robert Gordon)의 주장, 과학기술정책연구원(STEPI)에서 제시한 논문 등을 살펴보았다. 학자들은 대부분 4차 산업혁명이라 명명하기에는 부족하다는 주장이 많으나, 우리의 입장에서는 3차 산업혁명이든 4차 산업혁명이든 변화에 대처하고 적응하는 방법이 더 중요하다고 여기고 있다. 1차 산업혁명, 2차 산업혁명은 시간이 지나고 역사학자들이 붙인 시대 구분인 것처럼, 3차 산업혁명의 연장인지 아니면 4차 산업혁명이 진행 중인지의 시간은 지나야 알 수 있을 것 같다.

#### I. 산업혁명 개요

우리가 보편적으로 사용하는 산업혁명이란 용어<sup>1)</sup>는 1845년 독일 라이프치히(Leipzig)에서 출간된 프리드리히 엥겔스(Friedrich Engels, 1820.11.28.~1895.8.5, 독일)의 책 '영국 노동계급의 조건(Die Lage der Arbeitenden Klasse in England)'에서 처음 사용하였고[1][2], 영국에서는 1892년에 'The Condition of the Working Class in England in 1844'라는 제목으로 출판되었다[3]. 또한 산업혁명이란 용어를 1884년 아놀드 토인비(Arnold Toynbee)<sup>2)</sup>의 유고집 '18세기 영국 산업혁명 강의(Lectures on the Industrial Revolution of the Eighteenth Century in England)'에서 찾을 수 있다[1][4]. '18세기 영국 산업혁명 강의'는 아놀드 토인비 사후 그의 동료인 벤자민 조렛(Benjamin Jowett)이 정리하여 발간했으며, 토인비는 산업혁명의 본질을 자유경쟁, 공장제, 부의 급속한 증가, 이로 인한 분배의 불평등으로 요약하고 있다.[4]

이어 1906년에 프랑스의 역사학자 폴 망뚜(Paul Mantoux 1877~1956)에 의해 '18세기의 산업혁명(La Revolution industrielle au XVIIIe siecle)'이 출간됨으로써 '산업혁명'이란 단어가 학술적 용어로 정착되기 시작했고[2][4], 이후 학자들에 의해 '2차 산업혁명(The Second Industrial Revolution)'이 정의되면서 기존의 산업혁명은 '1차 산업혁명(The First Industrial Revolution)'으로 재 정의되는 과정을 거쳐 산업혁

명이 고유명사에서 일반명사로 변경된 셈이다.

2차 산업혁명이란 용어는 1910년 영국 게데스(Patrick Geddes, 1854-1932)의 '도시의 진화(Cities in Evolution)'에서 처음 등장했고, 1969년 미국의 경제사학자 랜디스(David Landes, 1924-2013)의 '언바운드 프로메테우스(The Unbound Prometheus)'에서 학술 용어로 도입되었다[4]. 3차 산업혁명의 경우에는 '정보혁명'이나 '네트워크 혁명'과 같은 용어로 사용되고 있으며, 최근까지도 학술적 용어로 정착되지 않은 상태이나 미국의 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin)<sup>3)</sup>은 2011년 인터넷 기술과 재생가능에너지의 융합을 강조하는 '제3차 산업혁명(The third Industrial Revolution)'을 출간했다.

위키백과[1]에 따르면 산업혁명은 18세기 중반에서부터 19세기 초반까지, 약 1760년에서 1820년 사이에 영국에서 시작된 기술의 혁신과 새로운 제조공정(manufacturing process)으로의 전환, 이로 인해 일어난 사회, 경제 등의 큰 변화를 일컫는다. 나무위키[5]에서는 산업혁명은 18세기 영국에서 시작된 사회, 경제적 변화와 기술의 혁신, 그리고 이에 영향을 받아 크게 변한 인류 문명의 총체를 일컫는다.

이를 종합해보면 산업혁명은 18세기 영국에서 시작되었다는 점과 사회, 경제의 큰 변화를 가져왔다는 것으로, 산업혁명은 기술혁신으로 야기된 산업상의 큰 변화와 이에 따른 사회, 경제 구조의 큰 변혁을 의미하는 것으로 인식된다. 즉, 인류역사에서 기술혁신과 그에 수반해 일어난 사회, 경제구조의 변혁, 즉 어떤 기술이 일시적으로 관심을 받다가 사라지는 것이 아니라 관련 기술들이 연쇄적으로 발전해 경제 및 사회 구조를 바꾸는 변혁이 일어나는 것으로 정의할 수 있다[6].

1) 위키백과에서의 'Industrial Revolution' 항목([https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Revolution))에는 토인비 이전에 산업혁명이란 용어를 사용한 사람으로 프랑스 오토(Louis-Guillaume Otto) 1799년, 블랑키(Jerome-Adolphe Blanqui) 1837년, 독일 엥겔스(Friedrich Engels) 1844년 등이 거론됨  
2) 아놀드 토인비(Arnold Toynbee, 1852~1883)는 아널드 조지프 토인비(Arnold Joseph Toynbee, 1889~1975) 영국 역사학자의 백부로서 영국의 경제학자

3) 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin, 1945년 1월 26일 ~ )은 미국의 경제학자, 사회학자, 작가, 사회 운동가, 워싱턴 경제동향연구재단(Foundation on Economic Trends (FOET))의 설립자이자 이사장

본 고에서는 2016년 1월 스위스 다보스포럼을 통해 제기된 4차 산업혁명에 대하여 산업혁명이라 명명할 수 있는지, 산업혁명이란 얼마만큼의 사회, 경제적 파급력을 가져야 하는지 등을 가법게 살펴보기 위하여, I 장의 산업혁명에 대한 개요에 이어, II 장에서 4차 산업혁명에 대한 논의를 조사하고, III 장에서 산업혁명을 재구성한 논의들에 대하여 알아보았으며, IV 장에서 맺음말로 마무리 하였다.

## II. 4차 산업혁명에 대한 논의들

4차 산업혁명이란 용어는 2016년 1월에 스위스 다보스에서 개최된 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)에서 클라우스 슈밥(Klaus Schwab)이 '제4차 산업혁명의 이해 (Mastering the 4th Industrial Revolution)'를 발표하면서 사용되었다. 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 설립자이며 의장인 슈밥은 이에 앞선 2015년 12월에 미국 외교협회가 발간하는 '포린 어페어스(Foreign Affairs)'<sup>4)</sup>에 4차 산업혁명의 개요를 기고한바 있으며, 이어 2016년 4월에 4차 산업혁명에 대한 정의, 동인 기술, 영향력, 기술적, 사회적 이슈에 관한 설문조사 등을 '제4차 산업혁명(The Fourth Industrial Revolution)'이란 책자에 기술하였다<sup>6)</sup>. 그는 저서에서 4차 산업혁명은 디지털 혁명을 기반으로 현재 진행 중이라고 주장하며, 이를 뒷받침할 만한 근거로 기술발전 속도(velocity), 변화의 범위와 깊이(breadth and depth), 시스템 충격(system impact)을 주장하였다<sup>6)</sup>.

이러한 슈밥의 4차 산업혁명론에 대하여 과학기술정책연구원 김석관 연구위원은 두 가지 점을 지적하고 있다<sup>7)</sup>. 첫째 슈밥은 4차 산업혁명이 진행 중이라고 제시한 3가지 근거 중 기술발전 속도의 변화는 모호하고 부적절한 기준으로 보인다는 점이고, 둘째는 4차 산업혁명의 핵심적인 기술 동인이 무엇인지 분명하게 설명되지 않았다는 것이다<sup>7)</sup>. 슈밥은 저서에서 1차 산업혁명은 철도와 증기기관, 2차는 전기와 생산 조립 라인, 3차는 반도체, PC, 인터넷으로 산업혁명 시기의 변화를 추동한 핵심 기술 동인을 열거했다. 그러나 4차 산업혁명을 설명할 때는 모바일 인터넷, 센서, 인공지능을 그 특징으로 제시하고, 4차 산업혁명의 핵심적인 기술 동인에 대한 설명이 부족한 상태로 물리적 영역, 디지털 영역, 생물 영역의 융합을 언급하고 있다고 지적하고 있다.

또 다른 반론으로 슈밥의 4차 산업혁명론에 대하여 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin)은 인공지능을 강조하는 4차 산업혁명은 정보만 있고 기반시설과 관계없는 '가상의 마케팅 용어'라고 일축하고, 아직 3차 산업혁명이 진행 중이라고 하였다<sup>9)</sup>. 1970년대 이래로 디지털 기술은 기하급수적으로 발전하고 있어 갈수록 체감되는 변화의 속도는 지금보다 더 빨라질 것이므로, 5년이나 10년 뒤에는 다시 5차 산업혁명을 말해야 할 지도 모른다고 반론하고 있다. 또한 그는 2016년 1월 다보스 포럼이 개최되기 직전에 허핑턴 포스트에 기고한 논평에서 슈밥의 주장을 세가지 논점으로 반박했다(Rifkin, 2016).<sup>5)</sup>

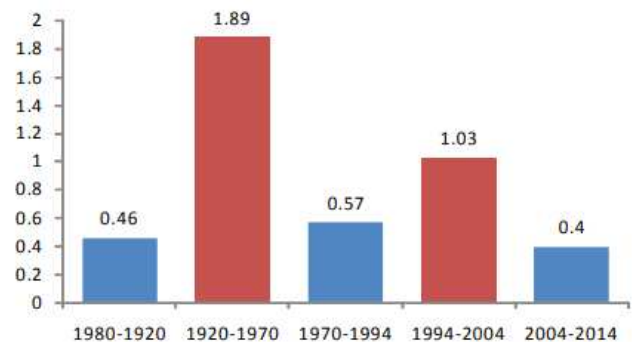
첫째, 슈밥이 주장한 4차 산업혁명의 특징으로 물리적 영역, 디지털 영역, 생물학적 영역의 경계가 모호해진다는 기술 융합은 디지털화가 지닌 기본적 속성으로 이는 디지털화의 자연스러운 귀결로 4차 산업혁명이

아닌 3차 산업혁명의 연장이라는 것이다.

둘째, 슈밥이 새로운 산업혁명의 기준으로 제시한 속도, 범위, 시스템 충격은 좋은 기준이 되지 못하고, 기하급수적 발전은 디지털 기술이 도입된 이후 계속 나타나는 현상으로 산업혁명을 규정하는 기술(Defining Technologies)의 변화가 중요한 기준이라는 것이다.

셋째, 규정 기술의 관점에서 통신 기술, 에너지원, 운송 수단을 새로운 산업혁명을 촉발하는 3대 규정 기술로 보고 산업혁명의 역사를 재구성하는 자신의 대안을 주장했다.

4차 산업혁명에 대하여 반론을 제기한 또 다른 학자로는 미국의 원로 경제사학자인 로버트 고든(Robert Gordon)을 들 수 있다. 고든은 2017년 7월 국내 한 일간지와 전화 인터뷰에 '4차 산업혁명은 3차 산업혁명의 연속에 불과하다'고 말했으며<sup>10)</sup>, 소위 4차 산업혁명의 핵심 기술이라고 하는 인공지능, 로봇 등의 기술은 3차 산업혁명 때부터 존재하던 기술이라는 것이다. 그는 '미국의 성장은 끝났는가(2017년)'라는 책에서 성장을 판단하는 기준 지표로 혁신과 기술 변화의 영향에 대한 표준화된 경제적 척도인 총요소생산성(TFP: Total Factor Productivity) 증가율을 제시하였다.



자료: 고든(2017), p. 813.

[그림 1] 미국의 총요소생산성 연평균 증가율 (1890년-2014년)

[그림 1]에서와 같이 미국의 총요소생산성 연평균 증가율은 1890~1920년 연0.46%에서 1920~1970년 연1.89%로 증가했다가, 1970~2014년 연0.64%로 감소했다. 1970년 이후에도 PC와 인터넷, 검색엔진, 전자상거래 등은 업무 관행과 절차를 근본적으로 바꿨지만, 생산성 향상에 미친 영향은 1994~2004년에 한정되어, 이 기간에 총요소생산성 연평균 증가율은 1.03%로 높아져 1970~1994년 0.57%와 2004~2014년 0.4%보다 빠른 속도를 보였다. 이를 근거로 고든은 '생산성 패러독스'<sup>6)</sup>가 여전히 유효함을 주장한다.

이러한 고든(2017)의 반론은 산업혁명이라는 단어에 어울릴 만큼 큰 폭의 생산성 향상이 나타나야 한다는 것이고, 다른 하나는 혁명을 추동하는 기술혁신의 내용에 있어서도 이전 시기와 뚜렷이 구별될 수 있는 점이 확인되어야 한다는 것이다. 산업혁명이라 명명하기 위해서는 결과와 과정 모두에서 이전 시기와 구분할 만한 차별성이 확인되어야 한다는 것을 의미한다<sup>7)</sup>.

## III. 산업혁명 재구성에 대한 논의들

6) '생산성 패러독스'는 1970년대 이후 정보혁명이 진행되고 있다지만, 이것이 생산성을 크게 향상시켰다는 증거가 없다는 점을 지적하는 용어로 노벨상 수상자인 로버트 솔로가 1987년에 '어디서나 컴퓨터 시대임을 실감하지만 생산성 통계에서만은 확인할 수 없다'고 말한 것에서 유래

4) 포린 어페어스(Foreign Affairs)는 미국외교협회가 격월간으로 발행하는 잡지로 1921년 미국외교협회가 설립되고, 1922년 9월 15일에 포린 어페어스(Foreign Affairs)가 창간됨

5) 이 비평은 슈밥이 2015년 12월 12일자 Foreign Affairs지에 기고한 글 Schwab(2015)에 대한 비평임

클라우스 슈밥(Klaus Schwab)의 4차 산업혁명에 대한 로버트 고든(Robert Gordon)과 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin)이 공통적으로 지적하는 것은 현재 일어나고 있는 현상이 4차 산업혁명이라고 부르기에는 무리가 있어 3차 산업혁명의 연장이라는 것과 슈밥에 제시한 4차 산업혁명의 판단기준이 잘못되었다는 것이다. 4차 산업혁명의 판단기준으로 슈밥은 변화의 속도, 범위와 깊이, 시스템적 충격을 제시한 반면에 고든은 큰 폭의 생산성 증가와 기술혁신 내용의 차별성을, 리프킨은 본인이 제시한 3대 규정 기술의 변화 및 이들이 결합한 범용기술 플랫폼(General Purpose Technology Platform)의 등장을 제시하고 있다.

표장에서 논의한 바와 같이 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin)은 슈밥의 4차 산업혁명에 대한 반론을 제기하고, 그가 제시한 3대 규정기술을 기준으로 <표 1>과 같이 1~3차 산업혁명을 재구성하였다[7]. 3대 규정기술로 통신기술, 에너지원, 운송수단을 새로운 산업혁명을 촉발하는 기술로 보고, 이 세 가지 부문에서 새로운 기술이 나타나고, 또한 기술들이 결합되어 범용기술 플랫폼을 형성할 때 새로운 산업혁명이 등장한다고 주장하였다.

<표 1> 리프킨의 3대 규정 기술과 산업혁명의 재구성

3대 규정기술	1차 산업혁명	2차 산업혁명	3차 산업혁명
통신기술	인쇄술과 전신	전화, 라디오, TV	인터넷
에너지원	석탄	석유	재생가능 에너지(스마트그리드)
운송수단	철도 시스템	내연기관 자동차, 도로시스템	무인자동차, 물류 인터넷

또한 미국의 경제사학자인 데이비드 랜디스(David Landes)<sup>7)</sup>는 2차 산업혁명을 소재(Material), 동력(Power), 경영(Management)의 3가지 특징으로 기술한 바 있다[11]. 소재(Material)의 특징으로 강철 및 화학물질과 같은 신소재의 등장, 동력(Power)의 특징으로는 전기와 내연기관을 비롯한 새로운 동력의 출현, 경영(Management)으로는 공장의 기계화와 분업의 진전을 들고 있으며[11], 국내 기술사학자인 송성수는 여기에 통신을 추가하여 4가지 요소로 2차 산업혁명을 서술하고 있다[12].

이러한 논의를 발전시켜 과학기술정책연구원(STEPI)에서는 소재, 동력 및 에너지원, 생산수단, 교통 및 통신수단을 '산업화의 4대 요소'로 제안하고, 이를 기준으로 1차, 2차, 3차, 4차 산업혁명을 <표 2>와 같이 재정리하였다[7]. <표 2>에서 볼 때 1차 산업혁명과 2차 산업혁명에 대해서는 산업화의 4대 요소에서 모두 뚜렷한 변화가 있었고, 이들의 변화가 서로 영향을 주어 이전 단계와 다른 새로운 산업 문명을 만들어 냈다. 여기에 새로운 기술시스템이 등장하면서 생성된 산업들은 대부분 지금까지도 현대 산업의 주류를 이루고 있으며, 전기시스템, 생산시스템, 철도시스템, 통신시스템과 같은 기술시스템은 현재까지도 우리 생활의 기반이 되고 있다.

이에 비해 3차 산업혁명 기에는 소재부문에서 철과 합성수지로 양분된 범용 소재에 근본적인 변화가 없고, 동력/에너지원 부문에서 원자력과 신재생에너지가 도입되기 시작했으나 미미하고, 아직도 석유 등 화석연료가 중요한 동력원의 자리를 지키고 있으며, 교통수단에서도 자동차와 비행기가 주류를 이루고 있다. 생산수단에서는 컴퓨터와 자동화의 진전

을 통해 혁신이 이루어졌다고 볼 수 있으며, 새로운 통신수단으로 인터넷이 전 세계를 하나로 연결시켜 주고 있다. 4차 산업혁명으로 분류한 에너지원의 신재생에너지(스마트그리드)는 3차 산업혁명기에 컴퓨터와, 인터넷을 통하여 이미 시작되었고, 인공지능, 모바일 및 사물인터넷도 3차 산업혁명기에 컴퓨터와 인터넷으로 시작되어 3차 산업혁명의 특징으로 보아도 큰 무리가 없어 보인다. 다만 자율주행차의 경우 어떠한 파급효과를 가져올 지는 지켜봐야 할 것 같다. 전반적으로 <표 2>의 산업혁명 재구성 내용으로 볼 때 4차 산업혁명이라 언급할 만한 특이 사항이 부족해 보인다.

<표 2> 산업화 4대 요소로 산업혁명의 재구성

산업화의 4대 요소	1차 산업혁명	2차 산업혁명	3차 산업혁명	4차 산업혁명
① 소재	철(선철)	철(강철), 인공염료, 합성수지		
② 동력	증기기관	전기, 내연기관		신재생에너지(스마트그리드)
에너지원	석탄	석유		
③ 생산수단	기계(방직기)	대량생산(컨베이어 벨트)	컴퓨터, 자동화	인공지능
④ 교통	철도	자동차, 비행기		자율주행차
통신		전화, 무선전신	인터넷	모바일, 사물인터넷

I 장에서 살펴본 바와 같이 산업혁명을 기술혁신과 관련 기술들이 연속적으로 발전해서 경제 및 사회구조를 바꾸는 변혁이 일어나는 것으로 정의할 때, 사실 새로운 산업혁명의 도래를 주장하기에는 다소 미흡해 보인다. 그러나 디지털 전환에는 과거 산업혁명을 구분하는 4대 요소와는 다른 성격의 요소들이 존재한다. 예를 들어 디지털 경제의 성격상 산업화 요소에 포함되어 있는 소재측면으로 산업혁명의 성과를 설명하기에는 미미해 보인다. 디지털화는 물리적 소재를 대상으로 하는 것이 아니라 디지털 정보를 대상으로 하기 때문에 역대 산업혁명이 가져온 눈부신 성과들(교통, 생산, 소득 등 각종 거시 지표)을 기준으로 디지털 경제를 바라보면 그 성격을 제대로 파악하기 어렵기 때문이다.

따라서 산업혁명은 기술의 변화가 얼마나 빨리 일어나느냐 보다 무엇이 변화를 추동하느냐, 그 결과가 사회, 경제적으로 얼마나 파급을 불러오느냐가 더 중요한 판단근거가 되어야 할 것으로 보인다. 또한 기술혁신과 관련 기술 변화를 어떻게 수치화 할 수 있는지, 사회 경제구조의 변혁을 수치화 할 수 있는지 고민해볼 필요가 있다. 만일 수치화가 가능하다면 산업혁명이라는 표현도 더욱 분명하게 정의할 수 있을 것이다. 그러나 지금까지 살펴본 바와 같이 구체적인 수치화로 제시하는 것은 쉽지 않아 보이고, 우리가 부자라고 하는 표현이 명확한 수치로 제시할 수 없는 것처럼 산업혁명에 관해서 마찬가지로 보인다.

#### IV. 맺음말

2016년 1월 스위스 다보스포럼을 통해 본격적으로 제기된 4차 산업혁명에 대하여 2016년 3월에 알파고와 이세돌의 대국으로 4차 산업혁명이 뭔지는 모르지만 인공지능으로 대표되는 기술변화가 무언가를 바꿀 수 있다는 인식이 확산되었다. 이를 계기로 모든 국가정책, 언론 등에서

7) David Saul Landes(1924.04.29.~2013.08.17.) 하버드 대학교 경제학과 역사학과 교수. 저서: 은행가와 파사, 시간 혁명, 언 바운드 프로메테우스, 국가의 부와 빈곤, 왕조

4차 산업혁명을 이야기하고 있어 이에 대한 논의를 간단히 살펴보았다.

산업혁명을 기술혁신과 관련 기술들이 연쇄적으로 발전해서 경제 및 사회구조를 바꾸는 변혁이 일어나는 것으로 정의할 때, 4차 산업혁명이 진행되고 있다고 설명하기에는 학술적으로 무리가 있어 보인다. 그러나 디지털 전환에는 디지털 정보를 대상으로 하기 때문에 역대 산업혁명이 가져온 눈부신 성과들(고용, 생산, 소득 등 각종 거시 지표)을 기준으로 디지털 경제를 바라보면 그 성격을 제대로 파악하기 어려운 점이 존재한다는 것도 사실이다.

분명 디지털 전환에는 물리적 소재를 대상으로 하는 것이 아니라 디지털 정보를 대상으로 하기 때문에 과거 산업혁명을 구분하는 요소와는 다른 성격의 요소들이 존재하지만, 3차 산업혁명이든 4차 산업혁명이든 학술적 용어보다는 어떻게 변화에 대처하고 적응해야 하는 지가 더 중요하다. 이전의 산업혁명을 겪었던 사람들이 1차 산업혁명인지 2차 산업혁명인지 인식하지 못하고 살았듯이, 1차 산업혁명, 2차 산업혁명은 역사학자들이 붙인 시대 구분으로 보인다. 3차 산업혁명의 연장인지 아니면 4차 산업혁명이 진행 중인지는 시간이 지나야 알 수 있을 것 같다.

산업혁명은 기술의 변화가 얼마나 빨리 일어나느냐 보다 무엇이 변화를 추동하느냐, 그 결과가 사회, 경제적으로 얼마나 파급을 불러오느냐가 더 중요한 판단근거가 되어야 한다고 생각된다. 또한 기술혁신과 관련된 기술 변화를 수치화 할 수 있는지, 사회 경제구조의 변혁을 수치화 할 수 있는지 고민해볼 필요가 있다. 만일 수치화가 가능하다면 산업혁명이 라는 표현도 더욱 분명하게 정의할 수 있을 것이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(2020-0-00869, 5G기반 조선해양 스마트 통신 플랫폼 및 융합서비스 개발)

#### [ 참 고 문 헌 ]

- [1] 위키백과,  
[https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%82%B0%EC%97%85\\_%ED%98%81%EB%AA%85](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%82%B0%EC%97%85_%ED%98%81%EB%AA%85)
- [2] 김성일, "4차 산업혁명의 명암( 明暗)2-혁명의 태동2," 2021.08.  
<https://www.koreaprimenews.com/news/articleView.html?idxno=295>
- [3] 노동자의 책,  
[http://www.laborsbook.org/dic/view.php?dic\\_part=dic03&idx=5752](http://www.laborsbook.org/dic/view.php?dic_part=dic03&idx=5752)
- [4] 송성수, "산업혁명의 역사적 전개와 4차 산업혁명론의 위상," 과학기술연구 제17권 제2호, 2017.
- [5] 나무위키,  
<https://namu.wiki/w/%EC%82%B0%EC%97%85%20%ED%98%81%EB%AA%85>
- [6] Klaus Schwab, 송경진 역, "제4차 산업혁명," 메가스터디(주) 출판, 2016.04.27. 초판
- [7] 김석관, "산업혁명을 어떤 기준으로 판단할 것인가.," 과학기술정책 1권 1호, 2018.
- [8] 임미진. "제레미 리프킨 단독 인터뷰 기사," 2017.  
<https://www.joongang.co.kr/article/21929695#home>
- [9] 김태규 기자. "제10회 아시아 미래포럼 강연 기사," 2019.10.  
<https://www.hani.co.kr/arti/science/future/914388.html>
- [10] 김영환 논설위원. "AI가 이끌 4차 산업혁명? 그런 건 없다," 2017.07. <https://www.joongang.co.kr/article/21789342#home>
- [11] 김석관, 최병삼, 양희태, 장필성, 손수정, 장병열, 이제영, 김승현, 이다은, 김단비, 송성수., "4차 산업혁명의 기술 동인과 산업 파급 전망," 과학기술정책연구원, 정책연구 2017-13
- [12] 송성수, "역사에서 배우는 산업혁명론: 제4차 산업혁명과 관련하여," 과학기술정책연구원, STEPI Insight 제207호, 2017.2.1.