
한국기술혁신학회 창립 20주년 기념
제4차 산업혁명과 미래혁신 기획과제

제4차 산업혁명의 기술혁신 전략

- I. 산업혁명 시대별 기술혁명 특징 및 파급효과
- II. 국내외 4차 산업혁명 주요 기술수준 현황
- III. 기술혁신 패러다임의 변화와 새로운 기술혁신 전략
- IV. 기술혁신의 미래이슈와 과제

고영주, 심진보, 임은정, 김대건, 오길환, 이동현

I. 산업혁명 시대별 기술혁신의 특징 및 파급효과

‘산업혁명(Industrial Revolution)’이라는 용어를 최초로 사용한 학자는 아놀드 토인비(Arnold Toynbee; 1852년~1883년)¹⁾로, 그가 사망한 후에 동료였던 벤자민 조윳(Benjamin Jowett; 1817년~1893년)이 토인비의 강의내용을 정리해서 1884년에 발간한 “18세기 영국 산업혁명 강의”이라는 저서를 통해 알려지게 되었다.

이후 1906년에 프랑스의 역사학자 폴 망투(Paul Mantoux; 1877년~1956년)가 “18세기의 산업혁명-영국의 근대공업 시원론”이라는 저서를 출판하면서부터 산업혁명은 보편적 용어로 활용되기 시작했다²⁾.

물론, 여기서 말하는 산업혁명은 18세기 중엽에서 19세기 중엽에 걸쳐 영국에서부터 시작되었던 제1차 산업혁명을 가리키는 것이다.

전문가마다 이견(異見)이 존재하기는 하지만, 1차 산업혁명 이후 두 번의 산업혁명이 더 일어난 것으로 식별되기 때문에 ‘산업혁명’이라는 용어 자체가 일반명사화되었고, 현 시점은 새로운 산업혁명, 즉 제4차 산업혁명 시대로 불리고 있다.

한 마디로, 산업혁명은 ‘과학기술혁신과 경제·사회의 혁명적 발전을 통해 인류사에 지대한 영향을 미친 일련의 사건들을 기술혁신 중심으로 분류한 시기’라고 말할 수 있다. 즉, 시대적 상황이 혁신적인 과학기술의 등장을 야기하고 이를 통해 산업이 급변하며 그로 인한 조직과 제도의 변화, 경제시스템의 변화, 사회의 변화 등을 총괄하는 개념이다.

그래서 우리는 제4차 산업혁명이 어떤 과학기술의 혁신에 의해 일어나고 있는가와 더불어 그로 인해 어떤 경제·사회상의 변화가 일어날지에 촉각을 곤두세우고 있는 것이다.

본 장에서는 과거 세 차례 산업혁명의 특징과 그로 인한 파급효과를 기술혁신 중심으로 살펴보고, 현재 벌어지고 있는 4번째 산업혁명의 기술혁신 특징과 파급효과를 전망해봄으로써 새로운 시대에 대해 통찰해보고자 한다.

제1절 제1차 산업혁명 시대

1. 제1차 산업혁명의 기술혁신 전개과정

영국은 지경학적으로 유럽대륙에서 떨어진 작은 규모의 섬나라인데다가, 토양 또한 대륙의 경쟁국인 프랑스나 아시아 지역의 농경국가들에 비해 척박한 편이다 보니 단위면적당 농업 생산량에서 경쟁력을 얻기 어려운 구조였다.

게다가 영국은 대륙의 경쟁국들에 비해 노동력이 귀해서(인구수의 부족) 18세기

1) 여기서 언급된 아놀드 토인비는 ‘로마제국 흥망사’로 유명한 역사가 아놀드 J. 토인비가 아닌 그의 친척

2) 김종현(2006), “영국 산업혁명의 제조명”, 서울대학교출판부. 中 일부내용 차용

중반의 런던 노동자들이 받는 실질임금 수준은 파리 노동자들의 2배 정도, 밀라노 노동자들의 4배 수준에 달했는데, 이는 공산품의 원가경쟁력 확보에도 치명적인 단점으로 작용하고 있었다.

반면에 영국은 석탄이 풍부하다는 장점을 가지고 있었고, 우수한 해군력과 해상운송능력을 보유하고 있어서 외부로부터 철광석 등의 원료를 효과적으로 확보할 수 있다는 강점도 가지고 있었다. 이러한 단점과 강점들이 어우러지면서 석탄과 기계를 사용하여 생산의 효율성을 증대시키는 기술혁신이 일어나는 중요한 원동력으로 작용하게 되었고, 결국 1차 산업혁명을 태동시키게 된 배경이 된다.

17~18세기의 영국은 주식인 밀을 생산하는 농경지 대신에 양을 방목하는 목초지를 늘리는 선택을 하게 된다. 앞서 설명한 대로 농업생산력의 약점을 보완하기 위한 전략이었던 것이다. 이에 따라 대규모로 생산되는 양모를 기반으로 하는 면방직(spinning)과 면방직(weaving) 산업이 중요한 국가성장동력으로 성장하게 되는데, 기존의 재래식 베틀을 이용하는 방직·방직기술로는 생산성을 향상시킬 수 없었다.

이러한 상황은 방직기와 방직기의 기계화라는 필요성을 낳았다. 제임스 하그리브스(James Hargreaves; 1745년~1778년)는 1766년에 ‘다축방직기’를 발명했고, 리처드 아크 라이트(Richard Arkwright; 1732년~1792년)가 1769년에 ‘수력방직기’를 발명했으며, 사무엘 크롭프턴(Samuel Crompton; 1753년~1827년)은 1779년에 ‘물정방기’를 발명했다. 이후로도 기계화가 가속화되면서 에드먼드 카트라이트(Edmund Cartwright; 1743년~1823년)가 생산력을 비약적으로 증대시킨 ‘증기베틀’을 발명하게 된다(1787년). 다수의 경제사학자들이 증기베틀이 탄생한 1787년을 1차 산업혁명의 원년으로 해석하는 것은 증기기관과 방직기의 결합이 그만큼 중요한 사건이었다는 것을 의미한다.

이어서 리처드 로버츠(Richard Roberts; 1789년~1864년)가 1830년에 ‘자동 물정방기’를 발명하는 등의 기술혁신이 이어지면서, 영국의 면 생산원가는 1790년에서 1830년 사이에 약 90퍼센트 낮아지는 결과를 낳았다. 물론 원가의 하락은 가격경쟁력의 상승으로 이어져 영국의 섬유산업이 세계를 제패하는 가장 중요한 배경이 되었다.

방직·방직기의 기계화는 철강 생산량의 증대와 증기기관의 발전과도 밀접하게 연결된다. 기계화된 공장을 기존의 목제기계로 운영하는 것은 내구성과 효율성에 문제가 많았기 때문에 철공업과 기계공업이 함께 발전하게 된 것이다.

철강업의 발전상을 살펴보자면, 에브라함 다비(Abraham Darby; 1711년~1763년)가 1709년에 ‘코크스제련법’을 개발했고, 벤자민 헌츠먼(Benjamin Huntsman; 1704년~1776년)이 1742년에 ‘도가니제강법’을 개발했으며, 헨리 코트(Henry Cort; 1740년~1800년)가 1784년에 ‘교반법’을 개발하면서 철 생산량의 증대가 지속적으로 이루어졌다. 이후 제임스 닐슨(James Neilson; 1792년~1865년)이 1828년에 ‘제철용 열풍로(熱風爐)’의 특허를 받으면서 철 생산량이 비약적으로 증가하게 되었는데, 그 일례로 영국의 콜브룩 데일 지방에 설치된 다비의 용광로(최초엔 코크스용광로)에서 생산한 철의 양을 보면, 1709년에 연간 80여 톤 규모에서 1850년에는 4,600여 톤으로 급증했음을 확인할 수 있다.

이렇게 철의 생산력이 비약적으로 증대되면서 철을 원료로 하는 기계공업도 발전하게 되는데, 존 윌킨슨(John Wilkinson; 1728년~1808년)이 1774년에 ‘천공기’를 개발했고, 헨리 모즐리(Henry Maudslay; 1771년~1831년)가 1797년에 ‘나사절삭용 선반’을 개발했으며, ‘자동 물 방적기’의 발명가이기도 한 리처드 로버츠(Richard Robert; 1789년~1864년)는 1817년에 ‘평삭반’을 개발하여 기계와 공구의 발전을 이끌게 된다.

한편, 대규모의 공장과 용광로, 기계류를 운용하기 위해서는 그만큼 에너지원이 필요하게 된다. 우리가 1차 산업혁명의 핵심기술로 알고 있는 증기기관의 발명과 개량이 바로 이런 이유에서 중요성을 가지게 되는 것이다.

많은 이들이 제임스 와트(James Watt; 1736년~1819년)가 증기기관을 발명한 것으로 잘못 알고 있는데, 사실 와트의 특허보다 훨씬 앞선 1712년에 토마스 뉴커먼(Thomas Newcomen; 1663년~1729년)이 ‘대기압식기관(뉴커먼기관)’을 실용화하여 탄광의 양수용으로 활용하고 있었다. 제임스 와트는 기존의 뉴커먼기관에 개별 액화장치를 추가함으로써 증기기관의 효율성을 크게 개선한 것이다. 또한, 그는 ‘분리용축기’(1769년), ‘복동식 증기기관’(1781년), ‘회전식 증기기관’(1783년) 등의 지속적 개량을 통해 석탄과 증기를 이용하는 에너지원을 보다 효율적으로 활용할 수 있는 길을 열었다.

이후에도 증기기관의 개량은 꾸준히 진행되어서, 리처드 트레비식(Richard Trevithick; 1771년~1833년)이 ‘고압 증기기관’을 개발하여 1801년에 최초로 증기력을 이용한 기관차를 만들었고, 1804년에 최초의 철로용 기관차인 ‘페니다렌호(Pennydaren)’를 내놓게 된다. 즉, 증기기관의 발전으로 인해 운송수단에서의 혁명적 변화가 나타나게 된 것이다.

트레비식의 증기기관차 이후 조지 스티븐슨(George Stephenson; 1781년~1848년)이 1829년에 시속 14마일로 달릴 수 있는 증기기관차를 제작하면서 영국 전역에서는 철도 건설 붐이 일어났고, 기존의 풍력과 풍향에 의존하던 범선에서 벗어나 자체 동력을 가진 증기선이 등장하면서 1차 산업혁명의 지리적 범위가 비약적으로 넓어지게 되었다.

2. 제1차 산업혁명의 기술혁신 특징

1차 산업혁명 시대에 발생한 기술혁신의 특징을 살펴보자면 다음과 같다.

첫째, 산업혁명은 기본적으로 과학기술의 혁신에 기반을 둔 대변혁이라는 점이다.

하버드대학의 경제사학자인 니얼 퍼거슨(Niall Ferguson; 1964년~)은 1차 산업혁명을 ‘기계의 물결’로 특징지으면서, 토지, 노동, 자본이라는 생산 3요소의 생산성이 기술적 혁신에 의해 획기적으로 증대되었다고 설명하고 있다. 여기서 더욱 중요한 사실은 총산출량이 노동자와 방적공장의 증가분을 합친 것을 넘어서는 기술혁신이었다는 점이다³⁾. 즉, 토지·노동·자본의 투입량이 늘어난 것 이상의 생산성 향상이 벌어

3) 니얼 퍼거슨(2011), “시빌라이제이션; 서양과 나머지 세계”, 21세기북스.

진 것은 결국 과학기술의 발전에 의한 혁신이 있었기 때문이며 2차, 3차 산업혁명 역시 과학기술의 혁신에 기반을 둔 산업구조의 변화가 그 본질이라고 하겠다.

둘째, 산업혁명은 단순히 파괴적·혁신적인 단일 기술의 등장에 의해 발생하는 것이 아니라, 그러한 기술들이 상호연관성을 가지면서 연속적으로 출현함으로써 나타난다는 점이다. 면 방적기·방직기의 발달은 기계공업과 제철산업의 혁신과 연결되고, 또 에너지원으로서의 석탄산업 성장과 증기기관의 발전을 가져왔으며, 교통수단의 혁신을 이끌게 된다. 그리고 이러한 발전들 간에 상호연관성이 점점 강화되는데, 증기기관이 방직기에 접목되면서 점점 기계화된 공장들이 늘어나게 되어 증기기관에 대한 수요와 혁신을 요구하게 되었다는 사실이 바로 그 예이다. 또한, 철도가 대규모로 건설되면서 석탄과 철광석의 수송비가 낮아지게 되고, 그로 인해 철도를 적은 비용으로 건설할 수 있게 되면서 또 수송비를 낮추는 발전이 가능해진 것도 그런 맥락에서 이해할 수 있다. 즉, 여러 혁신적인 기술들이 상호연관성을 가지고 상생발전하고, 그로 인해 산업상의 시너지를 창출하면서 경제·사회시스템 전반을 혁신하는 형태로 이루어지는 산업혁명의 전형적인 패턴이 1차 산업혁명 시대부터 나타난 것이다.

셋째, 축적된 과학기술의 기반 위에서 과학자와 엔지니어들을 우대하는 문화가 있었기에 발생한 대변혁이라는 점이다. 시카고대학의 역사학자인 케네스 포메란츠(Kenneth Pomeranz; 1958년~)는 ‘영국에서는 산업혁명이 일어났는데, 왜 같은 시기에 중국에서는 산업혁명이 일어나지 못했는가?’라는 질문에 대한 답을 찾아서 ‘대분기(大分岐; Great-Divergence) 이론’을 정립했다. 이 이론에서는 ‘내생적 잠재력’, ‘우연에 의한 분리’, ‘내재적 발전’으로 인해 산업혁명이라는 인류사의 대변혁이 초래될 수 있었다고 해석하고 있는데, 이 가운데 내생적 잠재력을 축적된 과학기술과 과학기술인에 대한 우대 문화로 이해할 수 있다. 1차 산업혁명이 태동하기 한 세기 전에 영국에서는 제임스2세의 왕명으로 ‘자연과학 진흥을 위한 런던왕립학회(The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge)’가 설립(1660년)되어 과학자와 기술자들이 새로운 과학과 기술을 경쟁적으로 제안하고, 공유와 토론을 통해 그 아이디어를 발전시키는 시스템, 즉 축적의 시스템이 구축되어 있었다. 근대물리학의 아버지로 불리는 아이작 뉴턴(Isaac Newton; 1642년~1727년)이 바로 이 왕립학회의 멤버이자 회장직을 역임하기도 했다. 뉴턴은 1687년에 “자연철학의 수학적 원리(프린키피아; Principia)”라는 대작을 출간해서 그 유명한 만유인력, 관성의 법칙, 운동의 법칙, 작용-반작용의 법칙을 설명했다. 뉴턴은 자신의 업적을 칭송하는 출판업자에게 자신은 거인의 어깨 위에 올라선 난쟁이에 불과하다는 말을 남긴 것으로도 유명한데, 여기서 거인이 바로 과학기술의 축적시스템인 런던왕립학회이며, 뉴턴 본인은 그 축적의 토대 위에서 조금 더 멀리 바라본 난쟁이라고 비유한 것이다. 또한, 영국에는 이러한 과학기술의 축적 위에서 새로운 아이디어를 내놓고 구체화하는 사람들

을 우대하고, 그런 사람들이 경제적·사회적으로 성공할 수 있는 문화가 있었다. 그래서 일개 수학교수인 뉴턴의 장례식에서 그의 관을 운구한 여섯 사람의 신분이 공작 두 명, 백작 세 명, 대법관 한 명이었다고 하니, 과학자에 대한 우대문화의 절정을 볼 수 있다.

3. 제1차 산업혁명의 파급효과

첫째, 이러한 과학기술의 발전과 산업적 변화로 인해 영국은 세계 최초로 ‘공업국가’의 시대를 열었다. 1700년경에 영국의 국가총생산(GDP)에서 농업은 약 40%, 공업은 약 20%의 비중이었는데, 제1차 산업혁명 이후 1841년에는 농업의 비중이 26.1%로 줄어들고, 공업의 비중은 31.9%로 증가한다.⁴⁾ 산업별 종사자의 수도 달라졌다. 1850년경이 되면 영국에서 농업에 종사하는 인구는 전체 경제활동 인구의 20% 수준에 불과해졌다. 같은 시기에 네덜란드, 벨기에 같은 국가들의 농업종사자가 여전히 45% 수준에 달했던 것과 비교하면 큰 변화가 일어난 것을 알 수 있다. 이러한 산업 구조의 변화(공업화)로 인해 영국산 제품, 특히 공산품의 생산성이 높아지면서 국제무역에서 영국이 다른 국가들을 압도하는 현상이 벌어지게 되었고, 영국은 전 세계에 걸쳐 거대한 식민지를 건설함으로써 ‘해가지지 않는 대영제국(British Empire)’ 시대를 열게 되었다.

둘째, 생산시스템이 ‘공장제(Factory System)’로 전환되는 계기가 마련되었다. 1769년에 리처드 아크라이트가 개발한 ‘수력방직기’가 1770년대에 실용화되면서부터 근대적 공장이 등장하기 시작했고, 1830년대에 에드먼드 카트라이트의 ‘역직기’가 널리 보급되면서 공장제도가 보편화되기에 이른다. 이러한 공장제의 성립은 단순히 생산의 효율성을 높여 대량생산의 시대를 열었다는 의미만 가지는 것이 아니다. 공장제는 기존의 소규모 도제식 생산시스템에서 보편적이었던 고용주-노동자 간의 온정주의적 관계를 계약에 기초한 금전적 관계로 바꾸는 계기도 만든 것이다. 그래서 공장제의 도입에 따라 경제적·사회적 지위가 흔들리게 된 일부 노동자들이 기업가·기술자들을 위협하거나 기계와 공장을 파괴하는 ‘러다이트운동(Luddism)’을 일으키기도 했던 것이다. 결국 공장제라는 새로운 생산시스템은 산업의 혁신을 넘어 사회구조와 인간관계 변화라는 파급력을 발휘하게 되었고, 자본주의의 등장에 있어 기반으로 작동하게 된다.

셋째, 세계 경제시스템을 ‘자본주의 시스템’으로 전환시키는 계기가 되었다. 1차 산업혁명 이전의 전통적인 경제시스템에서는 생산성이 낮았을 뿐만 아니라 ‘수확체감의 법칙(Law of Diminishing Returns)’이 작용되면서 확대재생산이 지속적으로 이루어지지 못하는 한계가 있었다. 이로 인해 생산성의 향상에 따라 인구가 증가하

4) 과학기술정책연구원(2017), “역사에서 배우는 산업혁명론: 제4차 산업혁명과 관련하여”.

다가도 어느 시점에 이르면 다시 인구가 감소하는 패턴이 반복적으로 나타났던 것이다. 그러나 1차 산업혁명에 의해 촉발된 자본주의 경제시스템에서는 공장제를 기반으로 지속적인 확대재생산이 이루어질 수 있었으며, 이로 인해 인구나 1인당 GDP가 지속적으로 증가하는 현상이 나타날 수 있었다. 영국에서 1인당 GDP 증가율은 1760년부터 1800년 사이에 0.2% 수준이었다가, 1800년에서 1830년 사이에 0.52%로 증가했으며, 1830년에서 1870년 사이에는 약 2% 수준으로 상승했다⁵⁾. 지금의 시각으로 보면 낮은 성장률로 인식될 수도 있지만, 그 이전의 세계역사 속에서 이런 지속적인 GDP 성장세가 이어진 사례는 없었기에 상당한 의의를 가지는 성장의 시대로 해석되는 것이다.

제2절 제2차 산업혁명 시대

1. 제2차 산업혁명의 기술혁신 전개과정

제2차 산업혁명이라는 용어를 최초로 사용한 사람은 영국의 석학이었던 패트릭 게데스(Patrick Geddes; 1854년~1932년)로 알려져 있다. 게데스는 생물학자, 사회학자, 지리학자, 도시계획 이론가 등 다양한 분야에서 전문가로 활동한 인물로, 그는 1913년에 발간한 “진화하는 도시(Cities in Evolution)”에서 2차 산업혁명이라는 용어를 사용했다. 이후 미국의 경제사학자인 데이비드 랜디스(David Landes; 1924년~2013년)가 1969년에 “자유의 몸이 된 프로메테우스(The Unbound Prometheus)”를 발간하면서 2차 산업혁명은 학술적으로 공인된 용어로 자리 잡게 되었다⁶⁾.

19세기 후반부터 20세기 초(1870년경~1920년경)까지 전개되었던 2차 산업혁명시기에는 다양한 과학기술들이 연달아 등장하면서 기존의 산업구조를 크게 변화시키게 되는데, 그 대표적인 예로는 내연기관, 강철, 인공염료, 백열등, 전화, 무선전신기 등을 꼽을 수 있다. 또한, 1차 산업혁명을 이끌었던 영국 대신에 미국, 독일, 이탈리아, 일본 등의 신흥국들이 선도한 산업혁명이었고, 이로 인해 ‘제국주의 시대’가 정점에 달하게 된 것으로 이해되기도 한다.

2차 산업혁명 시대에는 1차 산업혁명에 비해 더욱 다양한 과학기술의 혁신이 복잡하게 얽혀서 진행되게 된다.

먼저, 재료 분야에서의 혁신을 살펴보자면, 기계 및 건설에 있어서 내구성을 더욱 강화시킨 강철(Steel)의 등장과 인공염료의 발전이 두드러진 시기였다. 영국의 헨리 베세머(Henry Bessemer; 1813년~1898년)는 1855년에 ‘베서머 제강법’으로 알려진 ‘전로제강법(轉爐製鋼法)’을 발명하여 1860년에 셰필드에 있는 제강공장에서 최초로 조업을

5) Crafts, N. E. R.(1983), “British Economic Growth, 1700~1831; A Review of the Evidence”, *Economic History Review*, Vol.36, No.2, pp.177-199.

6) Landes, David. S.(1969). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge, New York: Press Syndicate of the University of Cambridge.

시작했다. 이어 빌헬름 지멘스(William Siemens; 1823년~1883년)와 피에르 마르탱(Pierre-Émile Martin; 1824년~1915년)이 ‘제강용 평로(平爐)’를 개발했으며, 시드니 토머스(Sidney Thomas; 1850년~1885년)는 그의 사촌동생인 퍼시 크라이스트(Percy Gilchrist; 1851년~1935년)와 함께 1877년에 ‘염기성 제강법’의 특허를 받았다. 이렇게 강철을 대규모로 저렴하게 생산하는 길이 열리면서 증기기관의 재료였던 선철(Pig Iron)보다 내구성 있는 내연기관의 등장 가능성이 가능해졌으며, 이후 ‘강철의 시대’가 개막될 수 있었다.

한편 인공염료는 경제적으로 하층민에 속하는 사람들도 다양한 색상의 의류를 착용할 수 있는 시대를 열었다. 영국의 화학자인 윌리엄 퍼킨(William Perkin; 1838년~1907년)은 1856년에 세계 최초의 인공염료인 합성 아닐린 ‘모브(모베인 또는 아닐린 바이올렛)’를 개발했고, 이어서 적자색의 염기성 염료인 ‘마젠타(Magenta)’, ‘알리자린 레드(Alizarin Red)’, ‘인디고 블루(Indigo Blue)’ 등의 인공염료가 속속 등장하기 시작했다.

이와 더불어 2차 산업혁명 시대에는 증기기관을 대체하는 새로운 동력원들이 등장하였다. 바로 전기와 내연기관이다. 토머스 에디슨(Thomas Edison; 1847년~1931년)이 1879년에 ‘백열등’을 개발하여 ‘전기의 시대’를 개막시켰고, 니콜라 테슬라(Nikola Tesla; 1856년~1943년)는 1888년에 세계 최초의 ‘교류유도전동기’를 발명했으며, 1891년에는 ‘테슬라 변압기’를 개발했다. 현재 통용되고 있는 자기력선속밀도의 단위인 테슬라(T)는 바로 그의 업적을 기려서 그의 이름에서 유래된 것이다. 이후 전기는 증기를 대체하는 동력원으로 자리매김하여 현재에까지 이르고 있다. 1900년에 증기와 전기가 동력원에서 차지하는 비율이 각각 80%와 5% 수준이었지만, 1930년이 되면 그 비율이 15%와 75%로 역전되어 전기의 비중이 훨씬 높아졌다는 사실이 이를 뒷받침 한다⁷⁾.

전기와 더불어 2차 산업혁명을 촉발했던 대표적 기술이 바로 ‘내연기관’이다. 19세기 후반의 많은 발명가들이 증기기관 등의 외연기관에 비해 열효율을 크게 향상시킬 수 있는 내연기관을 개발하기 위해 경쟁을 벌였는데, 독일의 고틀리프 다임러(Gottlieb Daimler; 1834년~1900년)가 1883년에 ‘가솔린 내연기관’을 발명했고, 칼 벤츠(Karl Benz; 1844년~1929년)도 1885년에 바퀴가 3개 달린 최초의 ‘가솔린 내연기관 자동차’를 개발했다. 이후, 루돌프 디젤(Rudolf Diesel; 1858년~1913년)이 1897년에 최초의 실용적 ‘디젤기관’을 발명하여 자동차 시대를 이끄는 동력원이 등장하게 되었다. 이러한 내연기관의 발달로 인해 기존의 석탄을 대신하여 석유의 활용도가 급격하게 확대되었고, 가벼운 가솔린기관을 탑재한 인류 최초의 유인동력 비행기인 ‘플라이어 1호’가 1903년에 라이트 형제에 의해 등장하게 되면서 인류의 활동영역이 지상과 바다를 넘어 하늘로 확대되게 되는 계기가 된다.

한편, 1차 산업혁명 시대를 거치면서 교통수단이 비약적으로 발전한데 이어 2차 산업혁명 시대에는 통신수단의 발전이 급격하게 이루어졌다. 즉, 전신, 전화, 라디오 등의 통신 관련 신기술들이 대거 등장한 것이다. 1837년에 사무엘 모스(Samuel

7) 과학기술정책연구원(2017), “역사에서 배우는 산업혁명론: 제4차 산업혁명과 관련하여”

Morse; 1791년~1872년)가 ‘전신기’와 ‘모스 부호체계’를 고안하여 1844년에 모스 전신망의 개통식이 거행되었으며, 1861년에는 미국 대륙을 횡단하는 전신망이 설치되었고, 1866년에는 대서양 횡단 전신망이 구축되기에 이른다. 이후 1876년에는 알렉산더 벨(Alexander Bell; 1847년~1922년)이 ‘유선전화’를 발명하고, 1896년에 굴리엘모 마르코니(Guglielmo Marconi; 1874년~1937년)가 ‘무선전신’을 발명했으며, 리 드 포레스트(Lee De Forest; 1873년~1961년)가 1906년에 ‘진공관 오디오(Audion)’을 발명했고, 이 기술을 기반으로 에드윈 암스트롱(Edwin Armstrong; 1890년~1954년)이 1918년에 ‘FM 라디오’ 특허를 받게 된다.

이러한 교통과 통신의 발달로 인해 전 세계적으로 정보 교환 속도가 빨라지게 되었고, 이로 인해 산업혁명의 추진범위가 넓어지고 새로운 산업과 과학기술의 발전이 가속화되는 현상을 낳게 되었다.

2. 제2차 산업혁명의 기술혁신 특징

2차 산업혁명 시대에 발생한 기술혁신의 특징을 살펴보자면 다음과 같다.

첫째, 일련의 기술과 사회가 공생적으로 발전하는 ‘기술시스템(technological system)’ 시대가 열리게 되었다. ‘기술시스템 접근론’은 토머스 휴즈(Thomas Hughes) 등이 주창한 이론으로⁸⁾, 기술적 인공물과 더불어 다양한 사회적 요소를 포괄하는 시스템 관점에서 기술을 바라보는 이론이다. 다양하고 이질적인 요소들을 시스템으로 통합하는 주체는 결국 시스템공학자(System builder)들과 그 조력자들인데, 대표적인 시스템공학자로는 에디슨이나 포드 등을 꼽을 수 있다. 즉, 시스템공학자들은 중요한 기술을 개발하는 것은 물론 그 기술이 활용될 수 있는 사회적 조건을 만드는 데도 크게 기여함으로써 점차 기술시스템을 진화시켜 나간다는 것이 이론의 핵심적인 내용이다. 결국, 2차 산업혁명 시대를 거치면서 기술과 사회의 결합이 일상화되었고, 이를 통해 기술시스템이 진화할 수 있었던 것이다.

둘째, 과학과 기술의 연관성이 강화되면서 ‘공학(Engineering)’이라는 새로운 영역이 등장하게 되었다. 2차 산업혁명 시대의 가장 큰 특징 가운데 하나는 과학분야에서 발명 또는 발견된 결과물들이 기술혁신으로 연결되는 사례가 크게 증가했다는 점이다. 앞서 설명했던, 세계 최초의 인공염료인 합성 아닐린 ‘모브’는 유기화학 분야에서 우연하게 발견된 염료로 염료산업의 발전을 견인했고, 전자기학 분야에서의 발명과 발견 내용들은 전기산업과 통신산업의 발전에 크게 기여하게 된다.

이에 따라 기술혁신을 주도하던 대기업들이 과학과 기술을 연구하는 자체 연구소들을 설립하여 산업적 연구를 수행하기 시작했으며, 과학에 기반을 둔 기술지식을

8) Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes, & Trevor Pinch(1987), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge.

체계화하는 학문영역인 ‘공학’이 등장함으로써 과학-기술의 연관성은 더욱 강화되기에 이르렀다.

3. 제2차 산업혁명의 파급효과

첫째, 기업의 경영방식에서 혁신적인 변화들이 나타나고, ‘대기업’ 집단이 경제성장을 주도하기 시작했다. 경영방식에서는 ‘과학적 관리’ 개념이 적용되면서 ‘테일러리즘(Taylorism)’과 ‘포디즘(Fordism)’ 등의 경영방식이 등장하게 되었다. 테일러리즘은 미국의 경영학자인 프레드릭 테일러(Frederick Taylor; 1856년~1915년)가 창시한 과학적 관리기법을 말한다. 2차 산업혁명 시대는 기술혁신과 생산성 향상의 시대였다. 따라서 이 시대에는 능률성을 최고의 가치로 생각하는 ‘능률의 복음(Gospel of Efficiency)’이 유행하게 되었는데, 이러한 생각들을 체계적으로 정리한 사람이 바로 테일러다. 그는 노동자의 움직임, 동선, 작업 범위, 작업 속도 등 노동을 세분화하고 표준화해서 생산의 효율성을 높이는 체계를 주창했다. 즉, 노동의 관리는 작업과정에 대한 세밀한 관찰과 연구를 통해 개별 작업들에 소요되는 명확한 시간을 부여하고, 조직화되고 단순화된 조작으로 세분화함으로써 이루어진다는 개념이다.

한편, 포드자동차의 창업자인 헨리 포드(Henry Ford; 1863년~1947년)는 조립 생산 체계(assembly system of production)와 컨베이어벨트의 도입을 통해 대량생산 시스템을 만들어냈고, 이를 체계적으로 발전시켜 포디즘으로 구체화하기에 이른다.

이러한 테일러리즘과 포디즘을 통해 대량생산과 대중소비의 결합이 이루어지게 되었고, 대기업이 성장의 주역으로 등장하기 시작했다. 미국과 유럽은 1870년대~1890년대 중엽에 걸쳐 ‘대불황(Great Depression)’을 겪고 있었는데, 이 시기에 기업들 간의 합병과 통합이 빈번하게 발생하면서 거대 기업들이 등장하게 되었다. 이 대기업들은 규모의 경제 및 범위의 경제를 달성할 수 있는 자본력을 갖추고 있었기 때문에 다른 기업들에 비해 생산효율성과 가격경쟁력을 높일 수 있었고, 이후 세계 경제는 이러한 대기업들의 선도에 의해 성장을 하는 양상을 보이게 된 것이다.

둘째, 영국 주도의 공업화에서 벗어나 여러 선진국들이 본격적으로 ‘산업화’의 길을 걷게 되었다. 2차 산업혁명을 선도한 국가들은 영국 이외에도 미국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 일본 등이었고, 산업혁명을 통해 산업국의 지위를 획득하여 오늘날에도 그 영향력을 미치고 있다. 또한, 이러한 산업화를 통해 강력한 경제력과 군사력을 지니게 된 국가들은 경쟁적으로 해외 식민지 확보에 열을 올리는 ‘제국주의 시대’를 열게 되었다.

셋째, 인류의 삶이 기술에 상당부분 의존하게 되면서 기술과 사회의 연관성이 강화되었다. 본래 ‘기술(technology)’이라는 용어는 고대 그리스어인 ‘테크네(techne)’라는 단어에서 유래하는 것으로 알려져 있다. 테크네는 인간 삶의 가치나 목적 그 자

체가 아니라 인간의 목적을 달성하는 데 필요한 도구를 생산해 내는 것을 일컫는다⁹⁾.

그러나 삶에 필요하고 유용한 도구였던 기술이 점차 복잡해지고 세밀해지면서 인간이 기술의 세계에서 빠져나와 삶을 영위하는 것은 매우 어려워지기 시작했다. 이러한 현상은 전기, 통신, 의류, 자동차 등이 발전하게 된 2차 산업혁명 시대로부터 비롯된 큰 변화라 하겠다.

제3절 제3차 산업혁명 시대

1. 제3차 산업혁명의 기술혁신 전개과정

사실 제3차 산업혁명이라는 용어가 아직까지 학술계에서 완전하게 공인받거나 정착된 것은 아니다.

저명한 미래학자인 앨빈 토플러(Alvin Toffler; 1928년~2016년)는 1980년에 출간한 “제3의 물결(The Third Waves)”에서 미래사회를 ‘정보화사회’라고 규정한 바 있다. 즉, 제1의 물결은 농업혁명으로 과거 수천 년에 걸쳐 진행되었고, 제2의 물결인 산업혁명은 300년 정도에 걸쳐 진행되었으며, 제3의 물결인 정보화혁명이 20~30년 내에 진행될 것이라고 주장했던 것이다. 그래서 많은 전문가들이 이러한 제3의 물결(정보화혁명)을 바로 3차 산업혁명으로 바라보고 있다.

정보화혁명 대신에 제3차 산업혁명이라는 용어를 학술적으로 처음 사용한 사람은 제레미 리프킨(Jeremy Rifkin; 1945년~)으로 알려져 있는데, 그가 2011년에 출간한 “제3차 산업혁명(The Third Industrial Revolution)”에서 인터넷과 재생에너지기술의 융합을 통해 새로운 산업혁명, 즉 제3차 산업혁명이 도래하고 있다는 주장하였다.

현재 다수의 전문가들이 제3차 산업혁명을 ‘정보화혁명’ 또는 ‘디지털혁명’이라고 설명하고 있으며, 일부 전문가들은 ‘지식혁명’이나 ‘네트워크혁명’과 같은 용어를 사용하여 설명하기도 한다. 2010년대에 들어서면서 3차 산업혁명이 완전하게 끝났다고 단정지을 수 있는 상황은 아니지만, 현재까지 3차 산업혁명과 관련된 핵심기술과 그 발전상을 간단하게 요약하자면 다음과 같다.

대다수의 전문가들은 제3차 산업혁명의 핵심기술로 ‘컴퓨터’와 ‘인터넷’을 꼽는데 주저하지 않는다.

컴퓨터는 2차 세계대전에서 탄도표를 계산할 목적으로 연구되기 시작하여 1946년에 세계 최초의 컴퓨터인 ‘에니악(ENIAC)’이 등장하면서부터 그 역사가 시작되었다.

초기 컴퓨터의 발전에 큰 기여를 미국의 존 폰 노이만(John von Neumann; 1903년~

9) [네이버 지식백과] 휴먼 컴퓨테이션 - 인간과 컴퓨터가 함께 그리는 미래 (인간과 컴퓨터의 어울림, 2014. 4. 15., 커뮤니케이션북스.

1957년)은 1945년에 “전자계산기의 이론 설계 서론”이라는 논문을 발표했었는데, 이 논문이 담고 있는 아이디어가 오늘날 사용되는 컴퓨터와 같이 주기억장치에 프로그램을 내장시켜 놓고 명령어를 하나씩 불러 실행시키는 개념이었기에 당시로서는 상당히 획기적인 아이디어였다.

이후 스티브 잡스(Steven Jobs; 1955년~2011년)와 스테판 워즈니악(Stephen Wozniak; 1950년~)이 1976년에 ‘애플 I’을, 1977년에 ‘애플 II’를 개발하고, 1981년부터는 IBM이 본격적으로 개인용 컴퓨터(PC) 시장을 열기 시작하면서부터 급속도로 대중화가 이루어지게 된다.

한편, 인터넷의 기원은 일반적으로 ‘아르파넷(ARPAnet)’으로 알려져 있다. 1969년에 빈트 서프(Vint Cerf; 1943년~) 등의 연구진이 개발한 아르파넷은 연구소와 대학교의 컴퓨터를 연결한 대규모 패킷 교환망으로 이후 인터넷(Internet)으로 발전하는 모태가 되었다.

이후, 1972년에 ‘이메일(e-mail)’이 등장하고, 1973년에 미국의 아르파넷과 유럽을 연결하는 대서양 횡단 컴퓨터네트워크가 연결되었으며, 1974년에는 다수의 컴퓨터를 연결하는 개념인 ‘TCP/IP 프로토콜’이 개발되고, 1980년대에 이르르면 ‘인터넷도메인시스템’이 개발되어 현재에까지 이르고 있다.

이어서 1989년에 ‘HTTP’와 ‘HTML’이 등장했고, 1989년에 팀 버너스-리(Tim Berners-Lee; 1955년~)가 ‘월드와이드웹(WWW; World Wide Web)’을 제안하여 인터넷이 보편화되는데 크게 기여하기에 이른다.

이러한 기술의 발전과 급속한 보급에 따라 인터넷에 연결된 컴퓨터 수는 1990년에 약 30만대 수준에서 2000년에는 약 1억 대로 증가하게 되었고, 인터넷이 만든 ‘사이버공간(Cyber Space)’이 매개장터가 되어 다양하고 새로운 비즈니스 모델들이 등장하여 글로벌 산업구조를 바꿔놓게 되었다.

즉, 현재 글로벌 기업들인 ‘야후(YaHoo)’, ‘아마존(Amazon)’, ‘이베이(eBay)’, ‘구글(Google)’ 등의 ICT 서비스 기업들이 급성장하여 글로벌 산업구조를 재편하게 된 배경이 바로 3차 산업혁명의 결과로 해석되는 것이다.

한편 3차 산업혁명 시대의 획기적인 기술혁신의 변화 방향은 산업의 화학화와 산업간 연계 및 융합의 확산이다. IT 분야를 가능하게 하는 핵심기술인 이차전지와 디스플레이 기술은 화학기술과 소재의 발전으로 가능해졌다. 친환경 자동차를 위한 초경량화 소재와 내장재, 외장재의 화학의 역할은 더욱 커지고 있다. 에너지산업의 혁신을 몰고온 원자력발전과 신재생에너지 분야도 화학기술과 신소재가 기반이 되고 있다. 기술혁신 선진국인 미국, 독일, 일본은 IT, 자동차, 에너지 산업과 화학산업, 바이오산업의 연계와 협력에 의한 발전을 통해 경쟁력을 강화해왔다.

이밖에도 생명공학, 뇌과학, 자원개발, 우주기술, 자동화기술, 로봇기술, 무선기술 등의 다양한 과학기술과 이를 결합하는 융합기술들이 대거 등장하면서, 인류 삶의 무대였던 지구는 ‘물리적 행성’으로부터 ‘사이버 행성’으로 변모하게 되고 새로운 기술융합과 산업융합의 혁신이 싹트고 있다.

2. 제3차 산업혁명의 기술혁신 특징

3차 산업혁명 시대에 발생한 기술혁신의 특징을 살펴보자면 다음과 같다.

첫째, 과학과 기술의 연관성이 점차 강화되고, 그 연관성의 범위가 크게 확대되면서 ‘융합의 시대(Age of Convergence)’가 열리게 되었다. 과학과 기술의 상호작용은 20세기 중반 이후에 더욱 심화되었는데, 과학이 기술로 현실화(상용화)되는 시간이 지속적으로 단축되고, 과학에 기반한 새로운 산업들이 출현하는 사례도 2차 산업혁명 시대에 비해 빈번해졌다. 그래서 최근에는 과학과 기술을 따로 떼어서 바라보지 않고 ‘과학기술’이라는 용어로 묶어서 사용하기에 이르렀다.

또한, 과학과 기술, 기술과 기술, 과학기술과 산업 간의 융합현상이 눈에 띄게 증가하였다. 특히, 정보통신기술(ICT) 중심의 디지털 기술이 타산업 분야와 다른 과학 기술 분야에 접목되는 사례가 빈번해졌기 때문에 ‘디지털 융합(Digital Convergence)’이라는 개념이 보편화되기에 이른다.

둘째, 기술혁신의 주체가 대기업뿐만 아니라 ‘다양한 혁신주체’들로 확장되었다. 특히 소규모 벤처기업들이 중요한 혁신의 주체로 부상했다는 특징이 나타난다. 벤처기업은 창의적 아이디어/기술과 기업가 정신을 기반으로 위험부담을 감수하면서도 높은 기대이익을 추구하는 형태의 작은 기업으로, 소규모 자본으로 창업하여 글로벌 대기업으로 성장한 벤처기업의 사례들이 빈번하게 등장한 것이 3차 산업혁명 시대의 두드러진 특징이기도 하다. 더불어 새로운 금융투자시스템(엔젤투자 등)이 등장하면서 신기술이나 사업아이디어에 대한 투자가 증가하였고, 이로 인해 기업이 아닌 개인 또는 소규모 집단이 기술혁신을 추구하는 사례도 급증하게 되었다.

3. 제3차 산업혁명의 기술혁신 파급효과

첫째, 디지털기술이 인류의 삶과 산업/사회 전반에 내재화(Embedded)되기 시작하며 ‘DX(Digital Transformation)’ 현상이 발생했다. 3차 산업혁명 시대 내내, 정보통신 관련 기술의 빠른 발달에 힘입어, 디지털융합은 최초 디지털기술 간의 융복합을 뛰어넘어 타 영역과의 융복합으로 빠르게 전이되기 시작했다. 그리고 단순한 물리적 결합을 넘어 해당 영역의 운영에 필수적인 기반기술로 자리잡는 내재화의 단계까지 발전하게 된다. DX는 인간 사회의 모든 분야에서 디지털기술의 적용과 관련된 변화로 정의할 수 있다¹⁰⁾. 또한, 기업 측면에서 DX는 디지털 기술을 활용해 기업·조직의 운영효율성 및 서비스 품질을 향상시키는 것을 의미한다.

3차 산업혁명이 시작된 1970년대 이후 디지털 역량 기반의 비즈니스 모델 혁신을 통해 완전히 새로운 고객가치와 생태계 가치를 창출하는 사례들이 DX(Digital

10) Stolterman, E., & Fors, A.C.(2004), *Information Technology and the Good Life*, in: "Information systems research: relevant theory and informed practice".

Transformation)라는 용어와 함께 부각되었는데, DX는 기업이 디지털 비즈니스, 물리적 비즈니스, 그리고 고객 경험을 이음매 없이 결합할 수 있도록 하며, 궁극적으로 운영효율과 조직성과를 향상시켜온 것으로 분석되고 있다¹¹⁾. 그래서 4차 산업혁명 시대에 접어든 유럽에서는 아직까지도 DX라는 개념을 새로운 대변혁기의 핵심 패러다임으로 인식하는 경향이 강하다.

둘째, 2차 산업(제조업) 중심에서 ‘3차 산업(서비스업) 중심’으로 산업의 중심이 이동하였다. 1~2차 산업혁명을 통해 형성된 산업사회에서는 제조업이 산업의 핵심이었지만, 3차 산업혁명을 통해 형성된 정보사회에서는 3차 산업인 서비스업의 성장이 가파르게 나타났다. 이에 따라, 미국과 EU 등 선진국 집단에서는 1990년대부터 서비스 부문의 취업자가 차지하는 비중이 60%를 넘어서기 시작했고, 대다수의 개발도상국들도 2000년대에 접어들면서 서비스업의 비중이 제조업 비중을 넘어서기 시작했다.

셋째, 기술간, 산업간 융합으로 인해 산업간 영역의 파괴와 이합집산, 개방형혁신이 뚜렷한 특징으로 자리 잡았다. 기술혁신의 확산과 경계의 파괴는 기존 기업 내부, 산업별 혁신, 단일기술 혁신에서 기업간 협력, 산업간 협력, 융합공동연구의 개방형 혁신을 통해 기업경쟁력을 유지하거나 경계와 융합의 지점에서 새로운 기업과 비즈니스 모델이 만들어지는 양상이 나타나기 시작했다. 이러한 기술혁신의 양상이 최근 급속히 동시다발적으로 가속화되면서 기존 3차 산업혁명과는 다른 4차 산업혁명의 기술혁신으로 구별하기 시작한 것이다.

11) IDC(2015), “Digital transformation(DX): An opportunity and an imperative”.

제4절 제4차 산업혁명의 특징과 파급효과

1. 제4차 산업혁명의 기술혁신 특징

지금까지 3차례의 산업혁명들을 돌이켜보면, 그 진행속도가 점차 빨라지고, 그 파급력 또한 점차 넓어졌음을 알 수 있다. 그래서 21세기부터 시작된 제4차 산업혁명이 기존 산업혁명들에 비해 더 짧은 기간에 더 큰 파급력을 발휘할 것으로 전망되고 있는 것이다.

또한, 4차 산업혁명의 기반기술이라 할 수 있는 디지털기술이 가지는 특성이 데이터를 보다 값싸게 생산·유통시키고, 보다 빠르게 전달하는 것이다 보니, 이러한 디지털기술이 더욱 고도화되면서 발행하는 제4차 산업혁명의 속도와 파급력은 예측불허의 수준으로 전개될 가능성이 높다.

현재 제4차 산업혁명을 추동하는 핵심 기반기술로 주목받고 있는 기술들로는 네트워크기술인 IoT, 클라우드, 유비쿼터스 모바일 인터넷 등과 지능정보기술인 인공지능, 기계학습, 빅데이터 컴퓨팅, 그리고 실감화 기술인 CPS(Cyber -Physical System), 오감센싱, 홀로그램, 가상현실(VR), 증강현실(AR) 등의 디지털기술 및 로봇기술 등이 꼽히고 있다.

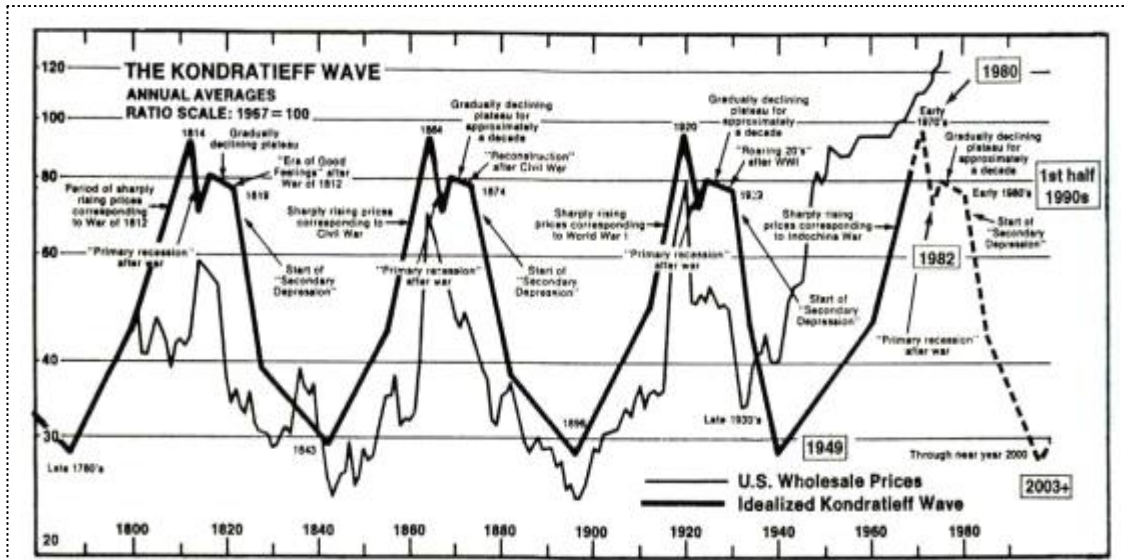
세계경제포럼 의장인 클라우스 슈밥도 제4차 산업혁명 시대에는 정보통신기술, 전자 조작기술, 나노기술, 신소재기술, 재생가능에너지, 퀀텀컴퓨팅, 로봇 등 다양한 기술이 융합하여 물리학·디지털·생물학 분야가 상호 교류하여 발전하는 양상을 보일 것으로 예상한 바 있다¹²⁾.

하지만, 4차 산업혁명이 실제로 존재하는가, 본격적으로 시작하였는가에 대한 물음에 대해서는 선불리 대답하기가 어려운 상황이다.

니콜라이 콘드라티에프(Nikolai D. Kondratiev; 1892년~1938년)의 ‘장기파동론(Kondratieff Cycle or Long Wave Cycle)’에서는 자본주의 경제시스템이 약 40~60년을 주기로 호황(prosperity) → 침체(recession) → 불황(depression) → 회복(recovery) 형태의 파동을 경험해 왔다고 설명한 바 있는데, 이 이론은 새로운 과학기술의 등장과 글로벌 산업구조의 재편이 맞물려서 발전해왔다는 사실을 잘 설명하고 있는 것으로 평가받는다.

이러한 장기파동론의 맥락에서 보면, 1차 장기파동은 제1차 산업혁명과, 3차 장기파동은 제2차 산업혁명과, 5차 장기파동은 제3차 산업혁명과 연관된 것으로 이해된다. 이처럼 홀수 차의 장기파동을 과거의 산업혁명에 대응시키고, 짝수 차의 장기파동을 산업혁명의 확산·연장의 시기로 본다면, 제4차 산업혁명은 별개의 산업혁명이라기보다는 제3차 산업혁명의 확산 또는 연장의 시기로도 이해할 수 있다.

12) 클라우스 슈밥(2016), “클라우스 슈밥의 제4차 산업혁명”, 새로운 현재.



(출처) http://blogfiles.naver.net/20140723_291/justalive_1406089820644wJJdY_JPEG/jubilee-page77image.jpg

< 콘드라티에프의 장기파동(Kondratieff Cycle) >

반면에 장기파동론이 주장한 주기(40~60년)를 입증할만한 통계적 근거가 빈약하다는 반론 또한 만만찮은 상황이기 때문에 제4차 산업혁명이 실재하지 않는다고 주장하는 것도 쉽게 납득하기 어렵다.

앞서 살펴본 대로, 과거 세 차례의 산업혁명사를 돌이켜보면, 산업혁명이라고 정의되기 위해서는 크게 두 가지 조건이 충족되어야 함을 알 수 있다.

첫 번째 조건은 산업혁명을 선도할 정도의 혁신적이고 파괴적인 과학기술들이 등장하되, 다른 기술혁신과 연결되면서 포괄적인 연쇄반응을 일으켜야 한다는 것이다. 즉, 꼬리에 꼬리를 무는 기술혁신이 발생해야 한다는 것이 조건이다.

두 번째 조건은 그러한 파괴적·연속적 기술혁신에 의해 글로벌 산업구조와 사회시스템에 큰 변화가 발생해야 한다는 점이다.

현재 벌어지고 있는 지능정보기술 중심의 연쇄적인 과학기술 혁신이 첫 번째 조건을 충족시키고 있다면, 문제는 두 번째 조건이 된다. 아직까지 글로벌 산업구조와 사회시스템의 변화가 확연하게 입증되지는 않았다는 것이 문제인 것이다.

즉, 21세기 초까지 글로벌 산업을 이끌었던 ICT 서비스 기업들(제3차 산업혁명 시대의 기업들)의 위상과 순위가 아직까지 유효하고, 새로운 비즈니스모델을 가지고 글로벌 기업으로 부상하는 기업들이 그 자리를 대체하지 못한 상황이기 때문에 제4차 산업혁명을 학술적으로 인정하기 어렵다는 것이다.

하지만 과거의 산업혁명들과 마찬가지로, 제4차 산업혁명의 학술적 입증은 아마도 산업혁명의 끝부분 또는 완전히 끝난 후에나 가능할 것이다.

따라서 현재의 우리 입장에서는 제4차 산업혁명을 학술적으로 정의내리는 데 초

점을 맞추기 보다는 대한민국의 경제·사회를 혁신하는 계기로 삼는 지혜가 필요할 것이다.

그렇다면 제4차 산업혁명 시대가 가지는 특징이 무엇인가를 요약해보자면 다음과 같이 정리 가능하다.

1) 초연결사회의 도래

‘초연결사회(Hyper-Connected Society)’는 사람과 사람, 사람과 기기, 기기와 기기가 디지털 네트워크를 통해 촘촘하게 연결되어 실시간으로 정보를 주고받고 의사소통 할 수 있는 사회를 의미한다.

김대호 등이 2015년에 발간한 “인간, 초연결 사회를 살다”라는 저서에서는 초연결 사회의 도래에 따라 정보의 개방과 공유가 극대화되고, 패러다임이 전화되며, 삶의 방식이 바뀔 것이라고 전망하고 있다¹³⁾.

스티브 사마티노(Steve Sammartino)가 2015년에 발간한 “The Great Fragmentation (위대한 해체)”에서도 초연결을 통해 다른 사람들과의 연결이 자유자재로 가능해지는 변화상을 설명하고 있다¹⁴⁾.

2020년경이 되면, 약 50억의 인류가 인터넷을 사용하고, 500억 개가 넘는 스마트 디바이스가 서로 연결되며, 수 조개의 사물에 센서와 네트워크가 장착될 것으로 예측되는데, 이렇게 많은 사람·기기·사물이 디지털 네트워크로 연결되면서 지금까지와는 전혀 다른 유기체적인 세상이 펼쳐질 수 있다.

즉, 더 높은 수준의 편리성이 제공되고, 실시간으로 커뮤니케이션이 이루어지고, 그 와중에 엄청난 빅데이터가 생겨나면서 그 빅데이터를 학습하는 인공지능에 의해 편리성과 정보교환의 효율성이 점점 더 높아지는 미래가 가능해지는 것이다.

초연결사회를 구현하는 핵심기술들로는 유선 네트워크 기술, 이동통신기술들(2G, 3G, 4G, 5G 등), 사물인터넷(IoT : internet of things), 만물인터넷(IoE : internet of everything), 클라우드 기술 등의 네트워크 기술들을 꼽을 수 있다.

향후 초연결기술의 진화 방향에 대해서도 다양한 전망들이 나오고 있는데, 공통적인 전망은 사람, 사물, 기기 간의 연결이 촘촘해질 것이라는 ‘유기체화’와 지능정보 기술과의 결합을 통해 스스로 진화하는 네트워크가 될 것이라는 ‘지능형 인프라화’로 압축할 수 있겠다¹⁵⁾.

2) 초증강현실사회의 도래

‘증강현실(AR; Augmented Reality)’은 현실 속의 이미지나 배경에 3차원 가상

13) 김대호 외(2015), “인간, 초연결 사회를 살다”, 커뮤니케이션북스.

14) 스티브 사마티노(2015), “위대한 해체(The Great Fragmentation)”, 인사이트앤뷰.

15) 심진보 외(2016), “대한민국 제4차 산업혁명”, 콘텐츠즈하다.

미지를 겹쳐서 하나의 영상으로 시각화해주는 기술을 말하는데, 혼합현실(Mixed Reality, MR)이라는 용어로 불리기도 한다.

많은 사람들이 증강현실과 잘 구분하지 못하는 기술로 ‘가상현실(VR; Virtual Reality)’이 있다. 가상현실은 증강현실과 달리 배경, 환경, 객체(이용자 자신 포함) 모두가 현실이 아닌 가상이미지로 구현되어 시각화해주는 기술을 말한다. 한 마디로, 현실 속의 이미지가 가상이미지와 혼합되서 나타나는 것이 증강현실인데 반해, 모든 이미지가 가상인 것이 가상현실인 것이다.

이 밖에 실감적으로 디지털세상을 보여주는 대표적 기술로는 ‘홀로그램(Hologram)’을 꼽을 수 있다. 홀로그램은 2차원의 화면을 벗어나 실제 인간이 보는 것처럼 360도 전 방향에서 입체 영상을 구현하는 기술이다.

또한, ‘CPS(Cyber-Physical System; 사이버 물리 시스템)’ 기술이 있다. CPS는 현실 세계의 다양한 물리, 화학 및 기계공학적 시스템(physical systems)을 컴퓨터와 네트워크(cyber systems)를 통해 자율적, 지능적으로 제어하는 시스템 기술을 의미한다¹⁶⁾. 즉, 가상으로 만들어진 사이버세계와 현실세계를 긴밀하게 연결해서, 사이버공간에서 어떤 작업을 하면 현실공간에서도 같은 일이 일어나도록 만들어주는 기술이 바로 CPS다.

이상의 실감 디지털 기술들의 발전 속도가 가속화되면서 새로운 미래가 펼쳐질 것으로 예상된다. 즉, 향후 인류사회는 물질세계와 가상세계가 서로 구분할 수 없을 정도로 밀접해지는 ‘초증강현실사회’에 진입하게 될 것으로 예견되며, 이러한 변화를 이끄는 시대가 바로 제4차 산업혁명 시대일 것으로 전망된다.

3) 지능정보사회의 도래

‘지능정보사회(Intelligent Information Society)’란 고도화된 정보통신기술 인프라를 통해 생성, 수집, 축적된 데이터와 인공지능(AI)이 결합한 지능정보기술이 경제, 사회, 삶 모든 분야에 보편적으로 활용됨으로써 새로운 가치가 창출되고 발전하는 사회를 의미한다¹⁷⁾.

현재, 데이터와 지식이 토지·노동·자본 등의 기존 생산요소보다 중요해지고, 다양한 제품·서비스 융합으로 산업간 경계가 붕괴되며, 지능화된 기계를 통한 자동화가 지적노동 영역까지 확장되는 등 경제와 사회 전반에 걸쳐 혁신적인 변화가 발생하면서 지능정보사회가 도래하고 있는 중이다.

이러한 지능정보사회의 도래를 추동하는 핵심적인 기술들이 바로 ‘인공지능 기술’과 ‘데이터 활용기술’인데, 우리나라에서는 이러한 기술들을 합쳐서 ‘지능정보기술’이라고 부르고 있다. 즉, 지능정보기술은 인공지능 기술과 데이터 활용기술을 융합하여 기계에 인간의 고차원적 정보처리 능력(인지, 학습, 추론)을 구현하는 기술을 말

16) 네이버 지식백과; <http://terms.naver.com>

17) 위키백과, <https://ko.wikipedia.org/>

한다.

지능정보기술은 다양한 분야에 활용될 수 있는 범용기술의 특성을 가지고 있기 때문에 적용 분야가 지속적으로 확대되어 가는 추세다. 즉, 데이터가 축적되면 될수록, 인공지능이 더 많은 데이터를 학습하면 할수록 그 역량이 향상되는 특성이 있기 때문에 향후 지능정보기술의 활용도가 현재보다 훨씬 넓게 확장될 것이 분명하다.

2. 제4차 산업혁명의 파급효과

1) 디지털 행성으로의 진화

앞서 살펴본 초연결사회의 도래, 초증강현실사회의 도래, 지능정보사회의 도래로 인해 우리 삶의 터전인 지구는 ‘디지털 행성(Digital Planet)’으로 진화할 것으로 예상된다.

디지털 행성에서는 스마트 정보통신기술을 활용할 수 있는 역량을 가진 스마트즌(Smart-Citizen), 5세대 이동통신(5G) 네트워크와 가입자, 스마트 디바이스와 스마트 센서들의 범위와 수가 폭발적으로 증가하여 초거대 디지털 생태계를 구성할 것으로 예상된다¹⁸⁾.

그리고 이러한 ‘디지털 생태계(Digital Ecosystem)’에서는 기술적으로 진화한 무한대의 CPU, 무한대의 메모리, 무한대의 네트워크, 무한대의 클라우드가 상승작용을 일으켜 인류 발전의 모든 영역으로 확장해가는 ‘수확가속의 법칙(Law of Accelerating Returns)’이 작동할 전망이다.

여기서 수확가속의 법칙은 레이 커즈와일(Ray Kurzweil; 1948년~)이 1999년에 출간한 “The Age of Spiritual Machines”에서 기술의 기하급수적 성장을 설명하기 위해 도입한 개념으로, 기존의 토지·노동·자본 같은 요소들로 경제적인 수확을 얻을 때는 어느 시점에 이르러서 그 수확이 정체되거나 감소하는 현상(수확체감의 법칙)을 겪게 되는데 반해, 디지털 기술이 적용되는 경우에는 오히려 그 수확이 지속적으로 늘어난다는 것을 설명하는 것이다.

또한, 수확가속의 법칙이 작동하는 디지털 생태계에서는 지능·연결·실감 기술 분야 등에서 ‘기술적 특이점(Technological Singularity)’이 나타나게 되면서, 기술적 창조 능력이 기하급수적으로 빨라져 인간의 인지 능력을 벗어날 것으로 예상된다.

여기서 기술적 특이점(Technological Singularity)이란 기술변화의 속도가 급변함으로써 그 영향이 넓어져 인간의 생활이 되돌릴 수 없도록 변화되는 기점을 의미한다. 즉, 수확가속의 법칙에 의해 기술이 급속하게 발전하게 되면서 기존의 기준이나 해석이 적용되지 않는 지점에 도달하게 된다는 뜻인데, 향후 인공지능, 유전공학 기

18) 하원규·최남희(2015), “제4차 산업혁명”, 콘텐츠하다.

술 등의 발전에 의해 출현할 것으로 기대되고 있다.

2) 정치·경제·사회·문화에 걸친 광범위한 변혁

제4차 산업혁명 시대를 거치면서 디지털 행성으로 진화하는 지구 속에서, 우리 인류의 삶의 모습, 일하는 방식, 정치·사회시스템도 크게 변화될 것으로 전망된다.

즉, 지금까지의 산업혁명들이 주로 제조업 혁신(1~2차 산업혁명)과 서비스업 혁신(3차 산업혁명)을 통해 인류의 경제·사회시스템을 변화시켜왔다면, 제4차 산업혁명은 제조·서비스업에서의 혁신뿐만 아니라 글로벌 사회, 문화, 고용, 노동시스템 등 인류 삶의 전반에 걸쳐 대변혁을 초래할 것으로 보인다.

2016년에 1월에 개최되었던 다보스포럼에서는 4차 산업혁명이 속도·범위·영향력 측면에서 기존의 산업혁명들과 차별화할 것으로 전망했는데, 속도(Velocity) 측면에서는 인류가 전혀 경험해보지 못한 속도로 빠르게 변화할 것이고, 범위(Scope) 측면에서는 제조·서비스업뿐만 아니라 소산업 분야에 걸쳐 와해적 기술(Disruptive Technology)에 의한 대대적 재편이 예상되며, 시스템 영향(System Impact) 측면에서는 생산, 관리, 노동, 지배구조 등을 포함한 전체 경제·사회시스템에서의 변화를 초래할 것으로 예상했다.

보다 구체적으로 4차 산업혁명으로 인한 파급효과를 전망해보자면 다음과 같다.

첫째, ‘플랫폼경제’와 ‘공유경제’가 확산되어 소유 중심의 경제패러다임을 변화시킬 것으로 전망된다. 플랫폼 경제는 두 개 또는 그 이상의 고객군을 상호 연계하여 거래 상대를 찾고, 고객군 사이에 가치를 교환할 수 있는 상품을 제공해 부가가치를 창출하는 형태의 경제를 말한다. 특히, 디지털 플랫폼 기술이 발전하면서, 플랫폼은 참여자들의 연결을 통해 이전에 없었던 새로운 형태의 상품, 서비스, 시장을 창출하고 있다. 또한, 플랫폼을 통해 소비자인 동시에 생산의 주체가 되는 ‘프로슈머(Prosumer)’ 개념이 등장했으며, 플랫폼에서 활동하는 다양한 직업들이 창출되고, 소셜커머스와 크라우드펀딩 등의 새로운 비즈니스가 등장하게 되었다.

더불어 많은 사용자들이 자신이 알고 있는 정보를 등록하고 교환함으로써 의미 있는 해결책을 제시하는 방식인 ‘집단지성’ 활용의 장으로도 활용되고 있다.

한편, 공유경제는 소유 중심의 산업 경제에서 벗어나 공유와 경험의 소비를 추구하는 시민 중심의 경제시스템을 의미한다.

공유경제는 실물이나 서비스를 소유하지 않고도 필요한 만큼 공유해서 사용하는 개념이다. 실물 상품(운송수단, 숙박 등)과 자산 활용(자동차, 숙소 등)의 극대화를 통해 고객 경험을 확대하고, 공유경제를 위한 플랫폼 기업은 자산을 소유하지 않고도 비즈니스를 운영할 수 있는 특징을 가진다.

2015년 회계컨설팅 회사 프라이스워터하우스쿠퍼스(PWC)의 발표에 따르면, 미국 소비자의 44퍼센트가 공유경제를 친숙하게 느끼고 있으며, 2025년에는 시장 규모가

2014년의 약 150억 달러 대비 20배 이상 증가한 3,350억 달러에 이를 것으로 전망되고 있다¹⁹⁾

둘째, 디지털 플랫폼 기술과 보안기술의 발전에 힘입어 시민들의 정치 참여가 확대되고, 이에 따라 ‘디지털 민주주의(Digitalcracy)’ 시대가 도래할 것으로 전망된다.

모바일인터넷의 확산, SNS의 활성화, 블록체인과 양자암호 등 보안기술의 발전 등 과학기술의 혁신이 전통적인 투표 방식과 결합하여 시민이 속한 공동체에 영향을 끼치는 의사결정 과정에서 시민이 더욱 직접적인 영향력을 행사할 수 있는 기회를 제공하게 되었다.

향후 정치시스템에 빅데이터와 인공지능(AI) 등 디지털기술들이 더해진다면 정치시스템이 더욱 빠른 속도로 변혁될 것이라는 전망도 우세하다.

정치의 미래는 빅데이터에 의한 ‘소셜 의지의 정치’, ‘집단지성의 정치’, ‘개방된 연결 공동체의 정치’가 될 것이며²⁰⁾, 더 나아가 정밀하게 고안된 인공지능이 정치인의 역할을 대신 수행하게 될 가능성도 제기되고 있다.

셋째, 생활, 의료, 교육, 교통, 안전, 복지 등 다방면에서 인간의 삶이 ‘스마트라이프’ 형태로 변화할 전망이다.

빅데이터의 활용과 인공지능의 분석·예측력이 향상되면서 질병 진단 및 치료의 정확도가 제고되고, 이로 인해 의료비용 절감과 의료 품질·접근성의 향상이 기대된다. 또한, 고도화된 언어인지 및 자동번역 기술의 발달로 국내외 서비스 이용이 편리해지고 우리의 약점인 언어장벽으로 인한 불편도 크게 감소할 것으로 기대된다.

인류의 생활환경도 더욱 안전해질 것으로 전망된다. 경계 감시 및 위험임무 수행에 무인시스템과 로봇·드론 기술이 도입되고, 빅데이터를 활용한 범죄예측 모델이 활용되는 등 안전한 생활을 보장하는 시스템이 확산될 것으로 기대된다.

각종 센서와 IoT 기술이 실시간으로 교통정보를 획득하고, 인공지능 기술로 이런 교통 빅데이터를 분석·예측하게 되면 교통정보의 실시간 공유와 교통흐름의 지능적 제어를 통해 교통 혼잡을 줄이고 교통사고 발생률도 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 교통으로 인해 발생하는 오염의 양도 줄어들 것이다.

교육 분야에서도 개인 맞춤형 서비스 제공이 확대될 것으로 전망된다. 자신의 수준에 맞는 맞춤형 학습이 보편화됨에 따라 학원, 과외 등 사교육 부담이 줄어들게 되고, 보다 효율적이고 창의적인 교육환경이 구축될 것으로 기대된다.

점차 증가하는 복지 수요에 대한 효율적인 대응도 가능해지리라 본다. 노인, 장애인, 아동 등 전통적인 취약 계층과 저숙련 노동자 등의 빈곤계층에 대한 복지사각지대 예측을 강화하여 복지행정이 내실화되고, 복지에 소요되는 예산의 효율적 지출도 가능해질 것으로 기대된다.

19) 이민화(2016), “4차 산업혁명으로 가는 길”, 창조경제연구회.

20) 예병일(2014), “정치의 미래와 인터넷 소셜 의지”, 21세기북스.

반면에, 제4차 산업혁명 시대의 인류는 새로운 역기능에 직면할 가능성도 높다. 승자독식 구조로 인한 경제적 양극화가 심화되고, 지능정보 신기술이 기존의 법 제도에서 수용되지 못하여 관련 분쟁이 증가할 우려도 높다. 또한, 실시간으로 수집되는 데이터의 양이 확대됨에 따라 사생활 침해가 우려되고, 정보기술의 활용역량이 개인·기업·국가 수준에서 차등화되면서 빈익빈 부익부 현상도 심화될 가능성이 높다.

넷째, 인류가 ‘일하는 방식’에서도 극적인 변화가 전망된다.

인공지능과 로봇으로 대체됨으로써 일자리의 양이 줄어들 것이라는 비관적 전망과 기술혁신에 따라 새로운 일자리가 양산될 것이라는 낙관적 전망이 공존하고 있지만, 그 결과는 아무도 장담하지 못하는 상황이다. 즉, 단순한 반복업무뿐만 아니라 지적노동, 중급 사무업무, 정밀한 육체노동까지 자동화되어 고용구조의 양극화가 우려되는 반면, 지능정보기술 분야에서의 산업 인력수요가 증가하여 새로운 직업들이 창출될 것으로 예상되기도 한다.

고용형태도 달라질 전망이다. 물류·제조·마케팅 등 기업의 기능이 디지털플랫폼을 통해 산업간 경계 없이 적용되면서 고용도 산업 전문성보다 기능 전문성 중심으로 전환될 가능성이 높아졌다. 또한 깃이코노미(Gig Economy)나 휴먼 클라우드(Human Cloud) 등 단기 고용형태가 증가하면서 계약 또는 프로젝트 기반으로 지식노동을 제공하는 방식으로 전환되는 속도가 빨라질 것으로 예측된다. 즉, 정규직이라는 개념이 모호해지고, 대부분의 일자리가 (단기)계약직 형태로 변화할 가능성이 높고, 1인 자영업자나 전문직 프리랜서들이 대세가 될 것으로 보인다.

일자리 질도 고부가가치를 지향하는 창의적 직무 중심으로 업무가 재편성되면서 인간의 역할은 점점 창의성을 발휘하거나, 감성적인 대응을 하는 위주로 바뀔 것으로 예상된다. 향후 기계로 대체되기 쉬운 정형적인 지적노동 및 육체노동에서 인간과 기계 간의 일자리 경쟁이 치열해지면서 업무의 질에 따라 급여나 대우가 차등화될 것으로 전망된다.

II. 국내외 4차 산업혁명 주요 기술수준 현황

제1절 4차 산업혁명을 선도하는 혁신기술

1. 국내 기술수준 및 현황

4차 산업혁명은 인공지능, 사물인터넷(IoT), 빅데이터(Big data), 클라우드 컴퓨팅(Cloud), 모바일(Mobile) 등 지능정보기술인 핵심 기반기술이 소재, 바이오, 자율자동차, 로봇, 에너지, 배터리 등 여러 분야의 혁신기술과 결합되어 초지능(superintelligence) 기술혁신이 나타나는 것을 특징으로 한다. 4차 산업혁명의 핵심 기반 기술은 인공지능과 ICBMS(Internet of Things, Cloud, Big data, Mobile, Security) 기술이고 신소재와 바이오 기술을 중심으로 자율자동차, 의료, 에너지 등 다양한 응용분야에서 파급력을 갖는다. 국내 외 주요 기관의 혁신 기술 전망과 논문 특허 동향 분석에 기초하여 10대 혁신기술 분야를 선정했고 이의 현황과 전망은 다음과 같다.

사물인터넷(IoT, Internet of Things)

1) 정의

IoT(Internet of Things)란 사물과 사물이 인터넷으로 연결되어 정보를 주고받는다는 뜻으로 지능적 관계를 형성하는 사물 공간 연결망이다. 센서나 네트워크, 무선 통신이 사물인터넷의 작동에 돕는다. 네트워크로 연결된 센서를 통해 빅데이터를 생성, 수집하고 분석하는 인공지능과 직접적으로 연계되어 운영되고 있다. 네트워크에 인간, 차량, 전자장비, 문화재를 비롯하여 자연 환경을 구성하는 물리적 사물 등이 포함된다. 현실과 가상세계의 모든 데이터와 상호작용하는 의미로 발전하고 있다. 통신망을 이용한 구글글래스가 대표적인 IoT이다. 이를 위한 인프라 기술로는 근거리 통신기술과 이동통신기술 등 유무선 통신 네트워크가 있다. 사물인터넷은 4차 산업혁명의 핵심기술로 빅데이터와 인공지능 알고리즘과 연계되어 급성장하고 있다.



<그림> 사물인터넷 응용분야²¹⁾

2) 해외 기술현황

미국은 사물인터넷 기술을 빅데이터에 기반을 둔 인공지능 기술과 함께 활발히 추진 중이다. 센서가 부착된 쓰레기의 이동 경로를 추적하는 것으로부터 교통사고 시 에어백이 터지면 센서가 중앙관제센터로 신호를 보내고 클라우드 시스템에 의해 분석된 사고 유형을 분석하여 병원에 구급차를 보내라는 명령을 전송하는 시스템까지 활용 범위가 광범위하다.

미국의 샌프란시스코는 센서네트워크와 스마트폰을 이용하여 주차공간 상황알림과 수요량 파악은 물론 가변적 요금책정 등에 이르기까지 다양한 주차 서비스를 제공하고 있다. 시카고에서는 도시 환경과 인프라, 시민들의 생활 데이터를 실시간으로 수집, 공유하여 각종 편의를 제공하고 있다. 영국 런던에서는 도시 길찾기나 여행계획을 위하여 사용 가능한 고속 무료 WiFi를 전시회나 박물관에 설치하여 시민은 물론 관광객을 위한 사물인터넷을 갖추고 있다.

3) 국내 기술수준

정부 주도하에서 주로 공공부분에서 자동차, 에너지, 의료 등 핵심 분야에 사업을 추진하고 있다. 국내 공공부분에서의 사물인터넷 활용 사례로는 IoT 기반의 도시형 서비스 발굴과 국가보안기술연구소에서 스마트그리드 보안 취약 부분 분석과 검증으로 개인정보 안전성과 신뢰성 확보에 스마트그리드 보안 지원을 하고 있다. 서울시는 차량 및 보행자 이동 유무에 따라 조명의 밝기를 자동조절하는 LED 도로 조명 제어시스템으로 경제적 효과를 창출하고 있다.

21) 소프트웨어 정책연구소, 2016

4) R&D 전망

IoT 플래그쉽 토탈 솔루션, 플랫폼, 서비스 지향 네트워크, 디바이스, 프라이버시 보호를 위한 보안 기술, 표준 맵 기반, IoT 표준화 분야의 과제를 2020년까지 추진 중에 있다. 국내를 비롯한 전세계 정보통신 인프라를 갖춘 대부분의 국가에서 사물인터넷 연구개발에 막대한 자본을 투자하고 있으며 앞으로 더 투자할 것이다.

5) 융합기술

○ 데이터 보안 관리

사물인터넷 시장 증폭과 관련하여 방대한 데이터 관리를 위한 보안 분야이다. 특히 개인정보보호에 대한 소비자들의 인식도 변화하고 있다.

○ 헬스케어

사물인터넷 기술과 의학이 결합되어 중증 질환자 사후 관리시스템을 개발하여 애프터케어 기술 개발이 진행 중이다.

○ 관광산업 분야

국민생활 체감형 ICBM (IoT, Cloud, BigData, Mobile) 융합 신서비스를 제공함으로써 관광산업 활성화를 목적으로 추진되고 있다. 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 센서가 수집한 데이터를 클라우드(Cloud)에 저장하고, 빅데이터(Big data) 분석 기술로 분석, 적합한 서비스를 모바일 서비스(Mobile) 형태로 운영되는 것이다.

인공지능(AI, Artificial Intelligence)

1) 정의

인공지능(Artificial Intelligence, AI)이란 기억과 지각 뿐 아니라 학습에 이르기까지 인간이 지닌 지적 능력을 인공적으로 구현 가능한 것이다. 인공지능은 인간의 추론, 학습능력 등 컴퓨터 기술로 4차 산업혁명의 핵심기술이다. 처음 등장한 것은 1956년 존 매카시(John McCarthy)가 처음 인공지능(Artificial Intelligence)이라는 용어를 사용하면서 부터다. 컴퓨터 프로그램 체스 게임에서 시작되었다. 이후 1980년대 원시적인 인공지능인 비디오 게임이 유행했다. 단순한 컴퓨터를 기반으로 한 것을 약한 인공지능(Weak AI), 학습하고 해결하는 프로그램을 기반으로 설계된 것을 강한 인공지능(Strong AI)이라 한다. 이세돌 9단과의 대국에서 승리한 구글 알파고와 IBM 인공지능 왓슨이 대표적인 강한 인공지능이다. IBM의 슈퍼컴퓨터 의

사 왓슨은 동산병원, 길병원 등 국내 의료계에서 이용되고 있다. MRI 판독 정확도 80%로 빠르고 효율적이며 비용효과성까지 갖추었다. 가령 의사가 하면 일주일 이 걸리는 유전자데이터 분석을 왓슨은 15분 만에 해결한다.

2) 해외 기술현황

미국은 2013년부터 10년 동안 브레인 이니셔티브(BRAIN Initiative)를 추진하는 등 인공지능 관련 R&D 정책을 범정부 차원에서 지원하고 있다. 이착륙은 물론 자동 항해가 가능한 자율 항공기로 대체하기 위한 프로젝트와 스텐포드 대학에서 추진중인 인공지능 자율주행 자동차 개발이 대표적이다. 맥킨지, 지멘스 등은 세계 인공지능 시장이 급속도로 증가할 것으로 전망하고 있다.

3) 국내 기술수준

국내 인공지능 시장은 금융과 유통, 운송, 제조와 미디어 등으로 확산되고 있다. 빅데이터를 분석하기 위해 인공지능 시스템은 필수다. 기술 개발에 자금과 인력이 필요하기 때문에 국내 기술 수준은 걸음마 단계다. 인공지능 기술은 세계 기술 대비 약 70% 수준으로 4년 정도의 격차가 있다. 인공지능 기술별 분석결과, 격차가 높은 분야는 뉴로모픽, 뇌과학, 인지컴퓨팅 등이다. 반면, 언어와 공간, 학습, 고성능 컴퓨팅, 센서 등은 기술 격차가 낮은 편으로 나타났다. 의료, 금융, 교육, 교통, 도시, 스마트홈, 문화관광, 농업, 에너지, 전통산업 등의 10대 융합산업을 대상으로 한 산업분야의 기술을 발표하였다. 빠른 출시가 가능한 주요 10대 융합산업 분야 중 인공지능 선제작용이 가능한 산업 분야는 의료, 교통, 도시, 금융, 스마트홈 순으로 제시되었다(ETRI, 2015).

4) R&D 전망

미래창조과학부는 언어를 이해하고 지식을 학습하여 인간과의 소통이 가능한 엑소브레인(Exobrain) 개발형 R&D 과제를 추진하고 있다. 교육, 법률, 특허 등 전문 지식 상담이 가능하고 지식 기반의 질의응답을 통한 지식서비스 제공이 목적이다. 즉, 빅데이터로부터 새로운 지식의 학습 및 생산을 진행하는 기술이다.



5) 융합기술

① 인공지능 융합 드론기술

인공지능 융합기술의 대표적인 분야가 드론 개발 분야다. KAIST는 인공지능 융합기술 기반 드론 개발을 10대 연구혁신 추진 과제 중 하나로 선정하여 연구하고 있다. 드론의 이동 능력에 인공지능 융합 기술을 더하여 수집정보를 학습하여 산불 감시 등의 활동을 하게 된다.

빅데이터(Big Data)

1) 정의

알리바바 마윈 회장은 “세상은 IT시대에서 DT시대로 옮겨가고 있다” 라는 표현으로 빅데이터 기술의 중요성을 강조하고 있다. 가트너는 “미래 경쟁력을 좌우하는 21세기 원유”라고 표현하며 정보화시대의 중요한 자산으로 표현하고 있다. 빅데이터는 인공지능, 자율주행, 사물인터넷, 로봇산업 등 4차 산업혁명의 필수 기술로 크기(Volume), 다양성(Variety), 속도(Velocity)를 특징으로 한다. 빅데이터 기술은 정형, 비정형의 방대한 크기의 데이터로부터 필요한 가치를 추출할 수 있는 차세대 기술이다. 빅데이터 활용으로 정부는 데이터 기반 국정운영을 통해 과학적 행정을 구현하고 미래예측을 통해 선제적인 사회현안해결이 가능하며, 기업은 운영효율성의 증가와 더불어 새로운 시장, 신상품 및 서비스의 개발을 할 수 있으며, 개인은 수준 높은 서비스를 제공받고 주어진 정보자원을 효과적으로 활용할 수 있어 삶의 질 제고가 가능하다(한국정보화진흥원, 2015).

2) 해외 기술현황

시장조사업체인 Ovum은 전세계 빅데이터 시장이 2020년에 94억 달러까지 성장할 것이라고 전망했다. 미국의 대통령실 과학기술정책국(OSTP)이 2012년 빅데이터 연구개발계획을 발표로 빅데이터 분야 R&D 투자에 박차를 가하고 있다. 마이크로소프트사와 의류 업체 자라(ZARA), 아마존 등 세계 10대 부자에 속하는 기업이 빅데이터를 활용하여 거부가 되었다고 해도 과언이 아니다. 아마존은 빅데이터 분석을 이용한 고객 서비스와 예측 배송이 대표적이다. 의류업체인 자라(ZARA)는 빅데이터 분석으로 전 세계 매장의 판매 현황을 실시간 분석, 효율적인 물류 배송망을 구축함으로써 매출을 극대화하는 성과를 거두었다. 구글은 방대한 운영데이터를 분석하여 에너지 사용 최적화 및 최적의 운영 상태를 유지하고 있다.

3) 국내 기술수준

카드사와 통신사가 주축이 되어 빅데이터를 구축, 분석, 운영하고 있지만 고객관리에 그치는 등 규모나 고도화 측면에서 해외 기술 수준에는 미치지 못하고 있다. 인공지능과 더불어 4차 산업혁명의 핵심기술이지만 국내 빅데이터는 인프라 구축 단계에 그치고 있다. 국내 빅데이터 기술은 미국 대비 78%로 기술격차가 3년 뒤쳐져있다(산은조사월보, 2016). 국내 기업들의 빅데이터 도입률은 글로벌 기업의 도입률에 비해 현저히 저조하다. 금융과 통신 등의 업종에만 국한되어 있다. 빅데이터 도입에 대한 인식 부족과 규제 중심의 개인정보 관련법, 전문인력 부족 등이 그 원인이다.

4) R&D 전망

미국 행정관리에예산국과 과학기술정책국은 빅데이터 혁신과 관련한 투자에 우선 지원하고 빅데이터를 위한 핵심 기반기술력 확보에 막대한 예산을 투자하고 있다. 유럽은 빅데이터 인프라 통합 관리 시스템 개발을 목표로 인프라 비전 정책에 투자를 확대하고 있다. <그림>과 같이 빅데이터 시장은 점차 증가하고 있으며 이러한 추세는 매년 가중될 것이다.



<그림> 국내의 빅데이터 기술 시장 규모

5) 융합기술

① IoT, 클라우드와 빅데이터의 융합

IoT(사물인터넷)는 대량의 데이터를 생성하고 클라우드 서비스에 제공하는 시스템 활용이 증가하고 있다.

3D 프린팅(Three-Dimensional Printing)

1) 정의

중국의 3D 프린팅 건축기업이 6일 만에 3D프린터로 5층 아파트를 완공했다. 3D프린팅(Three-Dimensional Printing)은 종이에 글자를 인쇄하듯이 입체 형태의 물체를 뽑아내는 기술을 말한다. 종이를 인쇄할 때는 잉크를 사용하지만 3D프린터는 경화성 소재를 주로 사용한다. 제조업의 혁신이라고도 하는 3D프린팅기술은 1983년 평면을 쌓아올려 입체감을 살려 완성한 것이 3D프린팅의 시작이었다.

2) 해외 기술현황

기계와 항공분야에서 선두를 달리는 미국이 38%로 세계 시장 점유율 1위이고 우리나라는 4%로 8위 수준이다. 3D프린팅시장은 장비와 소재 등 제품과 서비스로 나뉘는데 서비스 분야 비중이 더 높아지고 있다. 전 세계적 기업인 GE(General Electronic), 구글, 아마존 등이 3D분야에 진출함으로써 앞으로 더 성장할 가능성이 높아지고 있다. 앞으로 가장 큰 성장이 기대되는 분야는 의료와 바이오 분야, 항공, 소재, 자동차, 국방 등이다.

<표> 3D프린팅 해외 정책 동향

국 가	주 요 정 책
미 국	세계 최고 수준의 기술력을 기반으로 국방, 항공, 자동차 등 다양한 제조 분야에서 원가 절감 추구
일 본	금속 분말 3D프린팅 기술 개발 프로젝트를 추진하고 있으며 경쟁우위의 콘텐츠 산업과 연계하여 지원
독 일	3D프린터를 통한 인공혈관 제작에 성공하였고 인공장기용 젤라틴 형태의 바이오 잉크를 공개, 인공피부 제작을 위한 나노 수준의 기술개발 프로젝트 추진 중
중 국	베이징 항공항천대학은 세계 최초로 티타늄합금을 이용하여 복합 구조물 인쇄 기술개발 성공
영 국	산업디자인 분야에 정부 지원을 확대하고, 헬스케어, 에너지 등 산업별로 특수화된 솔루션 개발

3) 국내 기술수준

최근 급격하게 성장하고 있지만, 국내 업체의 시장 점유율이 저조하며 해외 기술에 의존적인 것이 현실적이다. 선진국 대비 기술력이 부족하지만, 잠재 성장력이 있다. 특히 3D프린팅 기술을 의료분야에 접목시키기 위하여 산학연 기술개발이 적극적으로 추진되고 있다. 산업별 활용분야로는 기계, 항공, 자동차 순이다.

4) R&D 전망

성장 잠재력이 높은 3D프린팅 기술 유망분야의 기술경쟁력 강화로 제조업 혁신 견인차 역할을 할 것이다. 치과용 의료기기와 스마트 금형, 발전용 부품 등 수출로 세계시장을 선점할 수 있을 것으로 전망한다. 그리고 국내 환경에 적합한 산업 육성을 위한 기술개발 방향을 제시하고 있다. 다음 표는 미래창조과학부에서 제시한 3D 핵심기술 분야 로드맵이다.

항 목	중기(2018~2020) 상업화 기술 확보			장기(2021~2024) 선도기술 확보				
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
장비	Photo Polymerization	특수용도/의료용 3D 프린터			폴리머 대량 생산용 3D 프린터			
	Material Extrusion	하이브리드(기존+3D)이종소재 프린팅			일체형 생산 시스템 구축(건축/인공장기)			
	Binder Jetting	기능성 소재 인쇄용 부품/소재/후처리 기술			기능성 소재용 장비/장비기술 고도화(감도/대형화)			
	Material Jetting	3D회로/cell 인쇄 기반 기술			3D회로/cell 인쇄 장비 상업화			
	Powder Bed Fusion	하이브리드형 PBF 시스템			마이크로-이종소재 PBF 시스템			
	DED	대형 고속 전막금속 소재 프린팅 시스템			초고속/정밀 3D 전막금속 프린팅 시스템 플랫폼 구축			
	스캐너	보급형 멀티모달 스캐너 / 의료용 인체 스캐너			대형 실물 스캔 및 디자인 응용 기술 / 초소형 스캐너 기술			
소재	금속	고온점 금속소재			응용분야별 맞춤형 금속소재			
	세라믹	세라믹 소재 성능향상 및 표준화			능동형 세라믹 소재			
	고분자	지속성장형 고내구성 소재			용도맞춤형 고내구성, 환경친화, 인쇄친화형 고분자 소재			
	창의소재	고전도성, 고이동도 소재			응용분야별 고기능 창의소재			
소프트웨어	획득	실시간 다시점 3D 콘텐츠 획득 솔루션			레고타입 스캐어러블 3D 콘텐츠 획득 솔루션			
	제작	엔터프라이즈급 3D프린팅 저작도구			대량생산 제품(Mass Product) 제작용 4D프린팅 저작도구			
	활용	3D 콘텐츠 불법 유통 방지 시스템			Secured 3D 콘텐츠 유통 플랫폼			

<그림> 3D 핵심기술 분야 로드맵²²⁾

22) 3D프린팅 전략기술 로드맵, 미래창조과학부, 2015.

5) 융합기술

○ 생체조직프린팅

3D프린터로 생체조직과 흡사한 세포와 단백질, 혈관이 포함된 뼈 조직을 제조했다. 중기세포나 화학물질 등을 이용해 손상된 인체조직을 복원, 재생할 수 있는 분야에 더 활발히 활용될 것이다. 한편, 고분자 생체재료를 이식하는 경우, 분해여부에 따라 분해성고분자와 비분해성 고분자로 분류된다. 조직공학용 지지체의 경우 체내 부위에 맞게 맞춤형 3D프린팅 기술이 활용된다.

로봇

1) 정의

1959년 세계 최초의 산업용 로봇인 유니메이트(Unimate)가 GM에 도입되었다. 4천 파운드나 되는 팔로 자동차 조립 라인에서 부품을 옮기는 일을 했다. 로봇은 휴가도 안가고 불평불만도 없고 파업도 안한다. 무엇보다 24시간 365일 일해도 피곤해하지 않고 시키는 일만 열심히 한다.²³⁾ 로봇산업은 산업전반을 변화시키고 있다. 대부분의 제조업이 로봇시스템화로 전환되고 있다. 앞으로 제조 산업의 절반에 가까운 부분을 로봇운용으로 교체될 전망이다. 뿐만 아니라 의료산업부문에서도 로봇수술이 증가하고 있다.

협업 로봇인 코봇(Collaborative robot, CoBot)은 인간과 상호 협력하여 작업할 수 있는 로봇을 뜻한다. 2008년 덴마크의 유니버설 로봇은 세계 최초로 코봇을 개발, 덴마크 공장에서 활용되고 있다. 작업을 프로그래밍 하지 않고 가르친 것을 실행하는 코봇으로 진화하고 있다. 코봇은 근로자와의 상호 협력으로 정신적 스트레스를 감소시킨다.

2) 해외 기술현황

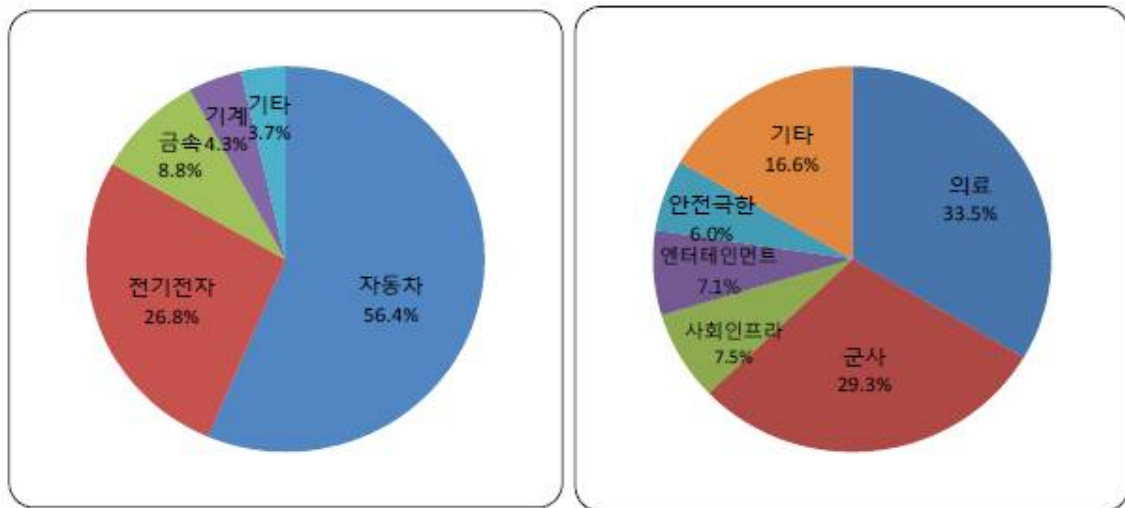
국제로봇협회에서 현재 전 세계 산업로봇이 130만 대 가량 운영되고 있다고 발표했다. 일본은 고령화 문제를 해결하기 위해 로봇을 적극 활용하고 있다. 홀로 살고 있는 노인들을 도와주는 심리치료용 로봇과 말벗용 로봇, 헬스케어 로봇 개발로 고령화 문제 해결책으로 삼고 있다. 미국과 프랑스도 로봇 개발이 활발히 진행 중이다. 미국의 자폐아 치료를 위한 휴머노이드 로봇과 프랑스의 치매 도우미 로봇 마리오가 대표적이다. 특히 독일은 사물인터넷으로 기계와 제품 사이의 정보교환이 되는 자동 생산 프로세스를 구축하기 위한 정책과 코봇을 적극 도입하여 효율성을 극대화하였다.

23) 박한구, 4차 산업혁명, 새로운 제조업의 시대, 호이테북스, 2017.

3) 국내 기술수준

우리나라는 세계 최대의 로봇 제조 시스템이 운영되고 있다. 자동차와 전기 전자분야에서 60% 이상 사용되고 있다. 앞으로 반도체도 로봇이 제조할 것으로 전망한다. 2017년 3월 개최된 국제공장자동화전에서 4차 산업혁명 시대에 로봇기술의 필요성에 대하여 강조했다. 중소기업까지 로봇이용으로 자동화되고 코봇 확대, 서비스 산업에서부터 가정용 로봇까지 다양하게 진단하고 있다.

연평균 20%의 국내 로봇시장의 급성장과 관련, 로봇기구개발기사 등의 관련 국가기술자격증을 신설했다. 로봇기구개발기사는 제조와 안전로봇 등과 관련된 부품개발 증력을 평가한다. 산업통상부, 한국산업기술평가관리원의 산업기술수준 조사 보고서에 의하면 로봇 기술은 미국과 유럽, 일본 대비 80% 수준이다.



[그림] 제조용 로봇과 전문서비스용 로봇 산업 구성²⁴⁾

4) R&D 전망

전 세계 로봇시장의 규모는 매년 10%이상의 성장세를 보이고 있다. 특히 서비스분야 로봇은 급속도로 성장하고 있다. 개인서비스용 로봇시장 성장은 연평균 22% 성장을 전망하고 있으며 제조용 로봇시장은 15% 성장을 전망하고 있다.²⁵⁾ 미국은 첨단제조파트너십(Advanced Manufacturing Partnership) 계획에 의해 제조업 부흥을 추진하고 있다. 로봇과 첨단소재에 R&D 투자를 강화하고 있다. 일본 아베 총리는 로봇혁명을 발표함으로써 저출산과 고령화 상황에서 안전하고 편리한 환경을 조성하기 위한 지능형 로봇산업을 육성 중이다. 중국 시진핑 주석은 로봇 산업이야말로

24) 한국로봇산업협회, 2015

25) 산업은행, 로봇산업의 국내외 동향 및 전망, 2016.

국가의 경쟁력이라며 세계1위 로봇 강국으로 거듭나기 위해 2020년까지 세계 로봇 시장 점유율 45%를 달성하고자 매진하고 있다.

5) 융합기술

○ 수술 로봇 다빈치

2000년 초부터 수술로봇이 미국과 유럽을 중심으로 의료계에서 사용되고 있다. 국내에는 2005년 도입되어 현재 20대로 아시아에서 가장 많이 보유하고 있다. 로봇 수술의 경우, 사람이 수술용 마스크를 사용하는 것보다 상처가 작고 회복이 빠르다.

○ 무인비행 로봇

군사목적의 정찰과 감시, 관측과 탐사, 전투를 위해 개발되었지만 배달, 방재, 산불 감시 등 일상생활에 널리 이용되고 있다. 산불 및 원전 지역 감시용 드론은 고해상도 화상카메라, 열감지 센서 등을 장착한 무인 비행 로봇으로 이용되고 있다. 국토교통부는 드론 실용화를 위한 10년 계획을 발표, 주로 운송, 수색구조, 농약살포 등 다양한 분야에서 활용하고자 추진하고 있다.

자율주행 자동차(Self-driving Car)

1) 정의

WHO보고서에 의하면 교통사고의 90%가 전방주시 태만, 졸음운전, 안전거리 미확보 등 운전자의 부주의로 발생, 매년 약 5,000만 명의 사상자가 발생한다고 한다. 자율주행자동차의 도입으로 운전자의 부주의로 인한 교통사고를 줄일 수 있다. 자율주행자동차(Driverless Car)는 주변 환경을 판단과 제어로 운전자의 주행 조작을 최소화 하거나 대체함으로 차량 스스로 주행하는 상태를 의미한다. 무인자동차와 혼재되어 사용되기도 하지만 운전석에 사람을 앉힘으로써 여러 가지 법적 제약을 피할 수 있다.

2) 해외 기술현황

각국에서 자율주행자동차 연구개발이 가속화되는 가운데, 미국은 2025년 까지 79억 달러를 투자해 자율주행 자동차의 연구개발과 제도개선 및 인프라 구축을 하고 있다. 유럽은 기술개발 과정을 기술개발, 실증, 규제, 상용화의 단계로 기술 로드맵을 수립하였다. 유럽연합을 중심의 대규모 연구개발 프로젝트를 비롯해서 각 국가별 사회 기반시설 구축 뿐 만 아니라 도로 주행을 위한 인프라를 구축하고 있다.

<표> 유럽 자율주행자동차 발전단계별 분류²⁶⁾

Level		발전 단계	
Level 0	No Automation	운전자가 인지, 판단, 제어의 과정 모두 참여하는 경우	운전자의 제어에 의해 운행
Level 1	Driver Assistance	운전자가 선택적 능동제어 등 일부 기능을 제외한 자동차의 제어권을 행사하는 경우	선택적 능동 제어
Level 2	Partial Automation	특정 상황에서 분석, 판단, 제어의 상당 부분을 자동차가 운행하는 통합 능동 제어 단계	운전대 및 페달 자동제어
Level 3	Conditional Automation	자동차가 모든 기능을 제어하며 운전자의 조작성이 요구되는 경우 경보 신호가 울리는 제한적 자율 주행단계	자동차 전용도로 등에서의 자율주행
Level 4	High Automation	특정 상황에서 운전자 개입 없이 자동차 스스로 주행이 가능한 자율주행 단계	운전석에 앉을 필요 없이 목적지만 입력
Level 5	Full Automation	운전자 개입 없이 자동차 스스로 주행이 가능한 완전 자율주행 단계	운전석에 앉을 필요 없이 목적지만 입력

3) 국내 기술수준

네이버가 2017 서울모터쇼에서 자율주행자동차를 공개했다. 인공지능으로 스스로 학습하는 기술로 도로 위의 사물과 위치를 파악하여 경로를 파악하고 차선 변경 등을 판단한다. 카메라와 센서가 GPS로 위치를 파악한다. 네이버 자율주행자동차는 자율주행은 가능하지만 비상 상황에 사람이 운전 개입해야 하는 완전자율자동차가 5단계라면 3단계 기술수준에 해당한다.

2035년경에 완전 자율주행자동차 시대가 열릴 것으로 전망되고 있다. 자율자동차의 상용화를 위해 법제도 및 규제 정비가 필요하다. 뿐만 아니라 사고가 발생할 경우 보험과 배상 책임 기준을 마련하는 것이 필요하다.



<그림> 네이버 자율주행자동차와 Volvo 내부

26) SAE International, Business Insider

4) R&D 전망

자율자동차 시장은 2025년 476만 달러에서 2035년 9544만 달러로 급증할 것으로 예상된다. 유럽연합을 중심으로 대규모 연구개발 프로젝트가 지속적으로 진행되고 있다. 대표적인 프로젝트로 SARTRE (SAfe Road TRains for the Environment)는 영국, 스웨덴, 독일, 스페인이 참가한 대형 R&D로 주행도로와 자율주행자동차 개발을 목표로 진행되었다. 자율주행자동차 확산을 위하여 상용화를 위한 가격 조정과 법제도 개선 및 안전과 개인정보보안 등에 대한 연구가 선행되어야만 한다.

<표> 자율주행 시스템 장착재수 전망²⁷⁾

*단위 : Millions

자율주행 서비스	2015	2020	2025	2030	2035	CAGR
Adaptive Speed Control	4.43	41.48	93.87	111.45	124.4	18.1
Automatic Emergency Braking	2.45	53.88	100.84	112.31	124.46	21.7
Automatic Lane Maintain	0.37	22.75	82.04	113.62	125.46	33.8
Freeway Driving Mode	0.02	9.7	68.46	105.57	119.49	55.2
Traffic Jam Mode	0.23	33.11	92.53	108.19	121.2	36.9
Autonomous Parking System	0.02	11.12	66.37	95.4	110.84	56.1
Self-Driving Mode	0	1.42	27.44	76.8	109	82.3
Autonomous Driving	0	0.01	4.76	47.11	95.44	88.1

5) 융합기술

○ 차량용 인포테인먼트

차량용 인포테인먼트(IVI.in-vehicle infotainment)는 오락기능과 네비게이션, 스마트폰 연동 기능 등을 제공하는 서비스로 지도와 연계된 네비게이션을 통해 음성 인식으로 목적지 검색이 가능하다.

○ 실내지도 제작 로봇

스스로 실내를 주행하며 카메라와 레이저 센서를 통해 주변 지도를 작성한다. 극장, 공연장, 부동산 정보, 게임, 광고 등의 서비스가 가능하다.

27) Autonomous Vehicles, NAVIGANT RESEARCH, Published 3Q, 2013.

증강현실(AR, Augmented Reality)

1) 정의

현실에 3차원 가상 이미지를 겹쳐 보여줌으로 가상 정보가 부가되는, 즉 3차원 가상의 컴퓨터그래픽을 실존하는 것처럼 띄워서 보여주는 기술인 증강현실(AR, Augmented Reality)과 특수 제작된 헤드셋으로 100% 가상의 이미지를 경험할 수 있는 가상현실(VR, Virtual Reality), 그리고 현실과 가상을 융합시키는 공간의 혼합현실(MR, Mixed Reality)로 차세대 정보처리기술이다. 현실과 가상세계가 혼합된 상태로 현실과 가상세계를 넘나드는 혼합현실은 소리, 냄새 등을 사용하여 사용자와 상호작용하는 기술이다. 마이크로소프트, 구글, 애플, 페이스북 등 세계 최대의 기업이 개발에 주력을 다하고 있다. 가상현실은 현실에 가까운 가상 환경을 제공하기 위해 실감형 콘텐츠에 사용하고 현실세계에 다양한 정보를 제공하는 정보전달형 콘텐츠에 주로 이용한다.

2) 해외 기술현황

구글, 페이스북, 소니, MS 등의 세계적 기업이 가상현실을 미래성장동력으로 인식하여 연구개발로 기술 선점에 주력하고 있다. 구글맵스와 GPS, 증강현실을 결합시켜 제작된 모바일 게임 ‘포켓몬GO’가 2016년 미국, 호주, 뉴질랜드를 비롯한 우리나라에 까지 출시되어 미국에서만 1,500만회 이상 다운로드 되었다. 골드만삭스, 가상현실(VR) 세계시장은 2025년 800억불 규모로 성장할 것으로 전망하고 있다. 미국은 2000년대 중반 혼합현실 기술을 10대 미래 핵심전략 기술로 지정하고 교통과 국방, 의학 등 공공 분야에 적용하고 투자하고 있다. 유럽은 가상현실(VR)로 구현된 가상 투어를 통해 유럽 문화유산을 소개하는 프로젝트를 수행 중이다. 뿐만 아니라 중국 공업신식화부는 2016년 가상현실 산업발전을 제정하고 독자적 기술개발 표준안 마련을 위한 ‘가상현실산업발전백서 5.0’을 발표했다.

<표> 2016년 가상현실 디바이스 업계 현황

구분	투자 및 개발 현황
페이스북	오큘러스 VR 23억 달러 인수, 오큘러스 리프트 상용버전 출시
구글	매직리프社에 5억 4천만 달러 투자, VR플랫폼 ‘DayDream’ 발표
소니	PS4용 PSVR 발표, 전용 VR게임 제공 예정
MS	홀로렌즈 개발자 버전 공급, 윈도우10에서 홀로렌즈 지원 예정



<그림> 증강현실 앱²⁸⁾과 Microsoft Hololens²⁹⁾

3) 국내 기술수준

2016년 증강현실을 기반으로 제작된 ‘포켓몬GO’ 게임이 국내에서 열풍을 일으키고 있지만, 연구개발 생산성은 미국의 30% 수준이다. 스페인 바르셀로나에서 개최된 ‘모바일 월드 콩그레스 2017’에서 SK텔레콤이 가상현실(VR) 기반의 텔레프레즌스(Tele-presence)를 소개했다. 텔레프레즌스는 홀로그래픽 통화 솔루션으로 다른 장소에 있는 사람들이 같은 회의실에서 아바타와 실시간 소통할 수 있는 기술이다. 이 기술을 활용하여 원격으로 환자의 심장이나 기관 등 복잡한 인체 기관을 3D로 보면서 가이드나 논의가 가능하다.

<표> 가상현실 기술을 활용하는 분야³⁰⁾

분 야	내 용
의료, 헬스케어	영상진단, 원격수술, 재활훈련, 심리치료에 가상현실 활용
엔터테인먼트	가상현실의 영향을 최초로 받은 분야로 게임 가상현실 기술 이용
광고업계	브랜드 광고 VR 체험 형태가 다양화되고 가상현실 체험 전시
교육	의사, 정비사 등 여러 직종 체험에 이용됨
관광산업	가상현실(VR) 관광체험 프로그램 제작으로 관광객 유치에 활용

28) <https://pie.med.utoronto.ca/TEE/>

29) <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>

30) <http://www.techrepublic.com/>

4) R&D 전망

가상현실은 국방과 제조 분야를 중심으로 발달하여왔지만 디스플레이, SW 등의 발전으로 대규모의 새로운 시장이 창출될 전망이다. 특히, 가상현실은 방송, 게임, 테마파크 등의 사업에 적용되어 다양한 부가가치를 창출할 것이다. 특히 증강현실(AR)은 방송과 교육 분야와의 융합을 통해 콘텐츠 활용 확대를 가져올 것이다. 골드만삭스에 따르면 2025년까지 세계 증강현실은 약 90조4000억원 규모로 성장할 것으로 예상하고 있다. 그리고 국내 KT경제경영연구소에 따르면 혼합현실(MR) 시장은 2021년 1조980억 원으로 성장할 것으로 전망하고 있다. 주로 교육 분야에서의 활용이 두드러질 것으로 예측하고 있다. SK텔레콤은 방대한 교육 콘텐츠를 보유한 EBS와 함께 혼합현실 기술을 활용한 실감형 교육 서비스 개발을 추진 중이다. AR, VR, MR 기술이 교육 전반에 걸쳐 적용될 경우 TV나 PC의 2차원적인 교육에서 벗어나 3차원 체험형 교육으로 패러다임 대전환을 기대할 수 있다.

미래창조과학부는 디지털콘텐츠(AR/VR/MR)를 기반으로 다양한 산업 영역 간 융합형 비즈니스 모델 활성화를 위한 동반성장 프로젝트를 추진하고 있다. 디지털 콘텐츠 핵심기술개발과 해외진출 지원 사업과 동반성장을 위한 오프라인 유통망 구축과 사업화를 위한 마케팅 비용을 지원하고 있다.

5) 융합기술

○ 의료용 수술로봇 개발

인공지능이 빅데이터 분석으로 환자 진단분야라면, 증강현실은 수술분야에서 활용되고 있다. 환자의 환부 크기와 상태를 예측하여 시뮬레이션이 가능하다. 증강현실 프로그램이 설치된 태블릿을 수술 부위에 대면 정확한 위치와 크기 정보가 화면에 표시된다. 수술계획, 영상진단, 원격수술, 재활훈련, 심리치료 등 다양한 분야에 디지털콘텐츠(AR/VR/MR) 기술 도입을 추진 중이다. 진료 음성인식 시스템 연구개발로 인공지능기반 음성인식 시스템을 이용해 차트 자동기록이 가능하고 인공지능과 증강현실 기술을 융합하여 각 분야 전문의들이 시간적 공간적 제약 없이 협진을 통해 환자를 진단하고 치료할 수 있다.

바이오인포매틱스(Bioinformatics)

1) 정의

알파고의 수익모델인 유전자 가위기술은 증폭적으로 발전하고 있다. 유전체에 담겨 있는 생명정보를 분석하는 생명정보학(바이오인포매틱스, Bioinformatics)이

급성장함으로서 획기적인 치료기술로 발전할 것이라는 기대를 가지고 있다. 바이오인포매틱스는 컴퓨터로 바이오 정보를 처리하고 다루는 학문으로 1990년대 생긴 용어로 생물학과 정보학의 결합이란 의미이다. 방대한 유전자 정보를 분석하기 위한 학문으로 첨단 반도체인 바이오칩 개발 등이 이에 해당한다. 인체 정보가 저장된 칩은 수천 가지의 유전자 특성을 판독하고 질병의 조기진단과 치료가 가능해진다.

2) 해외 기술현황

수많은 세계적 기업들이 바이오 칩 기술 개발을 위해 데이터베이스를 구축하고 있으며 유전자 정보를 이용한 관련 산업으로 대규모 매출을 성과를 내는 기업도 다수다. 특히 미국 샌디에이고는 대형 제약사와 일루미나로 대표되는 혁신적인 바이오테크가 인접해 시너지 효과를 창출하고 있다. 이 지역 생명공학 분야 벤처캐피털 투자가 22억 달러로 이는 중국과 영국 두 나라 투자 금액 합계 20억 달러를 초월한다. 1100개 이상의 바이오 기업과 80 여개의 대학 부속 연구소가 연간 300억 달러의 경제적 효과를 내고 있다.



<그림> 글로벌 바이오 업종 지수 추이³¹⁾

3) 국내 기술수준

빅데이터 구축으로 바이오분야 4차 산업혁명이 본격적으로 추진되고 있다. 산업부는 바이오헬스 분야의 4차 산업혁명 기술을 선점하기 위해 분산형 바이오 빅데이터 구축과 비즈니스모델 개발, 신약개발 및 생태계 조성, 융합 의료기기 개발과 국내외 시장진출 지원 등의 정책 방향을 제시했다(산업부, 「4차 산업혁명 대비 바

31) Bloombeng, Quantiwise, NH투자증권 리서치센터

이오헬스 산업 발전전략」 발표, 2017.04.17).

<표> 보건산업 관련 산업혁명의 발생 기술³²⁾

기 술	사 례
웨어러블 인터넷	스마트 셔츠로 심박, 호흡, 근전도 등을 측정하는 의류 출시
이식기술	비만환자의 지방 수준을 모니터링하고 '배부름'을 느끼는 물질을 생성시키는 캡슐형 비만감시 기술
새로운 시각인터페이스	수술시 환자 정보를 즉각적으로 확인하는 구글글래스
주머니 속의 슈퍼컴퓨터	보건의료콜센터, 무료응급전화서비스, 응급상황, 모바일 원격진료
커넥티드 홈	치매환자의 가정 내 모니터링 등
인공지능과 의사결정	IBM Watson의 암 진단과 치료
로봇과 서비스	제약에 사용되는 로봇과 노인 돌봄 로봇
3D프린팅과 인간건강	인체의 뼈 조직 대체, 모의 수술 용도로 다양한 기술

4) R&D 전망

여러 가지 규제에 의해 미국과 유럽 등 선진국의 바이오산업 발전 속도에 미치지 못하지만, ICT기술과 융합된 헬스케어 분야가 크게 확대되고 있다. 글로벌 기업을 중심으로 웨어러블 디바이스, 스마트 밴드 등을 통한 건강 상태 측정과 관리 형태의 개인 건강관리 서비스 분야가 각광받고 있다.

5) 융합기술 (유전자 가위기술)

○ 생체조직프린팅

3D프린팅과 바이오공학 기술이 융합되어 새로운 기술이 창출될 것을 기대하고 있다.

○ 유전자 가위기술

특히 유전자 가위는 손상된 DNA를 잘라내고 정상DNA로 교체하는 유전자 편집(Genome Editing) 기술을 뜻한다. 유전질환의 원인이 되는 돌연변이, 항암세포 치료 등 다양한 의료분야에서 활용될 전망이다.

○ 웨어러블 인터넷

32) 보건산업진흥원 참조

애플워치와 연계하여 심박수와 호흡, 근전도 등을 측정하는 의류를 개발하여 판매하고 있다. 자기 관리 의료가 실현됨으로 건강에 도움이 되지만 개인정보보호 유출에 대한 우려도 있다.

○ 인체삽입형 이동전화

미국방위고등연구계획국(DARPA)은 뇌에서 컴퓨터를 조종하는 기술 개발을 진행 중이다. 뇌가 컴퓨터와 통신 가능하도록 피부 삽입형 신경장치개발 프로그램이 대표적이다. 앞으로 10년 내에 스마트폰을 체내에 내장하여 사용할 수 있는 시대가 도래 할 것이다.



<그림> 인체 삽입형 이동전화와 인체 삽입형 태양전지

융복합 소재

1) 정의

제조 산업의 주요 재료로 각 산업 분야별 발전을 위해서는 소재기술력이 주요 관건이다. 자율자동차, 로봇, IoT, 인공지능, 신재생에너지, IT 기기, 우주항공 산업 등 4차 산업혁명을 선도하는 산업혁신은 신소재혁신없이 불가능하다.³³⁾ 다양한 분야에 응용되는 융복합소재는 화학, 금속, 세라믹 등의 분야기술의 융합과 나노 스케일에서 바이오와 IT, 인지과학과 융복합되며 만들어지는 다양한 소재이다.

2) 해외 기술현황

국제적 기업은 4차 산업혁명의 기반기술과 관련된 첨단 소재기술에 핵심역량을 집중하고 있다. 미국과 독일, 일본 등의 선진국은 4차 산업혁명과 더불어 제조업 강화정책을 추진하고 있다. 특히 융복합 소재 개발에 적극적이다.

33) 고영주, 미래화학융합포럼, 2016.11.

3) 국내 기술수준

미국, 유럽 등 선진국 대비 70%의 기술 수준에 머물러 있다. 소재 부품 산업은 부가가치의 원천이므로 핵심 기술 개발을 성공할 경우, 장기적인 시장지배가 가능한 고부가 산업이므로 국가적 차원에서 적극 추진 중이다. 특히 4차 산업혁명과 관련하여 신산업 육성에 있어 주력 산업으로 소재산업의 경쟁력이 전제 조건 시 되어야 한다. 산업부에서 미래 첨단 신소재 부품 100대 유망기술을 2025년까지 기술개발 로드맵을 수립, 추진 중이다. 소재 기술 50개 및 주력산업 고도화 기술 50가지는 다음 표와 같다.

[표] 4차 산업혁명 대응 100대 소재 부품 기술³⁴⁾

	주요 분야	4차 산업혁명 대응 100대 소재 부품 기술
4차 산업혁명 대응	IoT(21개)	5G 이동통신 모뎀, 전자센서용 마이크로 광원부품
	Big data(3개)	클라우드 컴퓨터용 고분자 소재
	AI(3개)	항공기용 고성능 항법장치, 드론용 충돌회피 시스템
	Robot(18개)	고강도·고성형 알루미늄, 고효율 모터부품 등
	3D printing(5개)	임플란트 바이오세라믹 소재 등
주력산업 고도화	산업공통(14개)	센서부품, 리튬이온전지 에너지고밀도화 기술
	자동차·선박(14개)	마그네슘판재 제조기술, 친환경 평형수 처리기술
	철도·항공(8개)	동력용 배터리팩 모듈, 차세대 고품고무제조기술
	반도체 디스플레이(8개)	파워반도체 기술, OLED 엔진기술
	바이오(6개)	바이오의약품 기반기술, 뷰티케어 세라믹 소재

4) R&D 전망

소재 분야 정부 R&D예산은 5.3% 수준으로 개발 분야에 집중 투자할 전망이다.³⁵⁾ 산업통상자원부는 유망 5대 부품분야인 자동차, 조선기자재, 항공, 휴대폰, 건설 기계를 대상으로 글로벌 기업과 해외진출 기업을 발굴, 적극 육성하고 있다. 미국과 유럽 등 주요 선진국은 4차 산업혁명 대응을 위한 융복합 및 첨단 소재 개발에 국가 총력을 기울이고 있다.

34) 산업통상자원부, 제4차 소재 부품발전 기본계획, 2016, 12.

35) 미래창조과학부, '18년도 정부 R&D 투자방향, 기술분야별 투자전략, 소재분야, 2017년.



[그림] 4차 산업혁명, 첨단 신소재 부품 기술개발³⁶⁾

5) 융합기술

○ 나노융합

과기정통부와 산업부가 ‘나노융합산업핵심기술개발사업’, 나노융합2020사업을 추진 중이다. 항암 나노의약품 개발, 나노전자기술, 나노분말소재, 탄소나노복합소재 등 다양한 분야에서 융합연구가 이루어지고 있다.

○ 소재부품 융합 얼라이언스

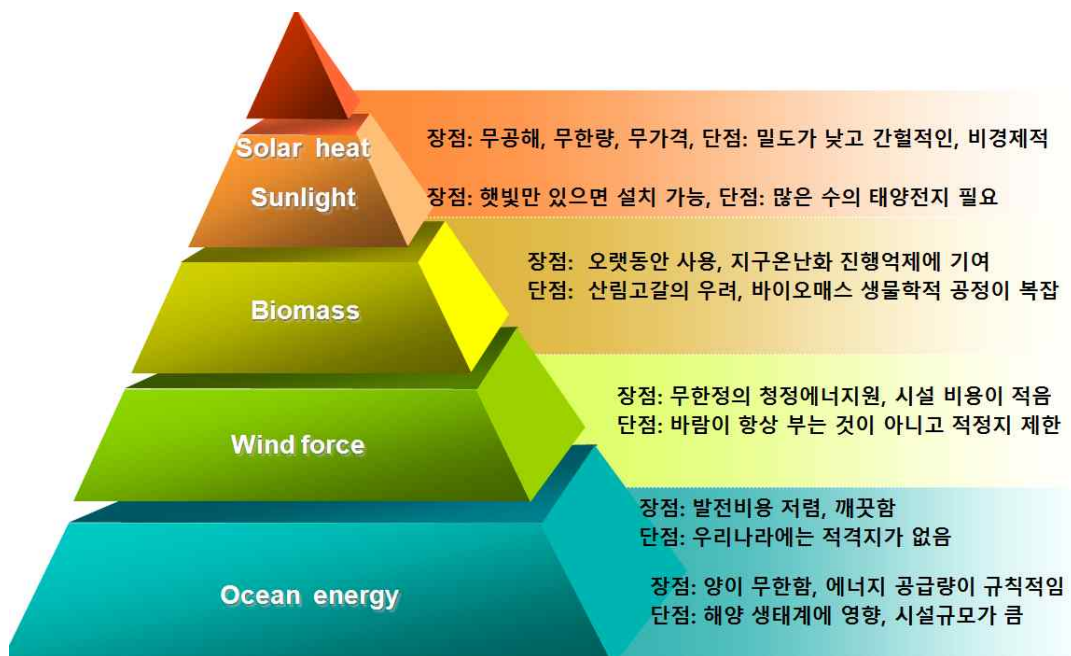
화학, 금속, 석유, 세라믹전자, 기계자동차 5대 융합 얼라이언스 체계로 개편하여 융복합 기술 지원 체계로 서비스를 제공함으로써, 4차 산업혁명 시대의 융복합 기술 흐름에 대응하기 위한 것이다.

신재생에너지(New Renewable Energy)

1) 정의

36) 산업통상자원부, 소재 부품산업 정책, 전주기 기업활동에 있어 4차 산업혁명 지원형으로 전환, 2016, 12.

4차 산업혁명은 신재생에너지(New Renewable Energy) 활용에서 스마트한 에너지 생산과 사용이 가능해진 에너지의 디지털화를 촉진하는 ‘에너지 4.0’시대로 진입 중이다. 석유 이전시대를 Energy 1.0, 석유 사용시대 Energy 2.0, 신재생에너지 사용시대를 Energy 3.0 이라고 부른다. 에너지를 석유와 신재생에너지로 구분하여 명명하고 있다. 신재생에너지란 새로운 신에너지와 재생에너지 모두를 뜻한다. 연료전지와 수소에너지 등이 신에너지에 속하고 태양광, 태양열, 바이오와 풍력, 수력 등이 재생에너지에 속한다. 아래 그림은 재생에너지의 장단점을 설명하고 있다.



<그림> 신재생에너지 장단점

2) 해외 기술현황

파리협정(Paris Agreement)은 전 세계 195개 정부들이 온실가스배출을 자발적으로 줄여 지구 온도 상승을 2도, 더 나아가 1.5도 이하로 막기 위한 최초의 전지구적 협정이다. 미국도 온실가스를 2050년까지 2005년 대비 28%까지 감축하기로 하였다. 트럼프 대통령이 파리협정 탈퇴를 공언하였지만 주정부마다 정책이 달라 부분적으로 추진될 것이고 2017년 8월 G20 정상들이 모여 미국 입장과 무관하게 파리협정 준수를 약속함으로써 신기후체제와 이에 대응하는 신재생에너지 기술 혁신은 가속화할 전망이다.

3) 국내 기술수준

전력부문은 차세대 지능형 전력망과 사물인터넷 인프라 구축 등 4차 산업혁명

시대에 공공기관을 비롯하여 투자를 확대해나가고 있다. 특히 고리 원자력발전소 건설 중단과 맞물려 어느 때보다 연구자들에게 회자되는 분야가 신재생에너지 부분이다. 에너지 정책방향이 원전을 비롯한 시설에 대한 안정수준을 강화하고 친환경 경적에너지 수급기반을 구축함으로써 에너지 복지를 확대해나가야만 한다.

<표> 신재생에너지 연평균 증가율³⁷⁾

	2012년	2014년	2020년	2025년	2030년	2035년	연평균 증가율
태양열	0.3	0.5	1.4	3.7	5.6	7.9	21.2
태양광	2.7	4.9	11.7	12.9	13.7	14.1	11.7
풍력	2.2	2.6	6.3	15.6	18.7	18.2	16.5
바이오	15.2	13.3	18.8	19.0	18.5	18.0	7.7
수력	9.3	9.7	6.6	4.1	3.3	2.9	0.3
지열	0.7	0.9	2.7	4.4	6.4	8.5	18.0
해양	1.1	1.1	2.5	1.6	1.4	1.3	6.7
폐기물	68.4	67.0	49.8	38.8	32.4	29.2	2.0

4) R&D 전망

세계 재생에너지 연구개발을 주도하고 있는 나라는 중국이다. 중국은 세계 재생에너지 투자의 1/3을 차지하고 있다. 수력과 풍력, 태양광과 태양열 등 재생에너지 전반에 걸쳐 선두를 달리고 있다. 미국은 바이오연료, 일본은 태양광, 독일은 풍력 분야에 투자를 확대하고 있다.

대기오염 개선과 기후변화 대응, 에너지 자체 생산력 확대 등 다양한 분야의 미래지향적인 발전을 위해 신재생에너지 개발 관련 투자가 증폭될 것으로 전망한다. 특히 원자력발전소 공사를 중단함으로써 탈핵 정책을 추진 중인 현 정권에서 가장 주목받는 R&D 분야가 될 것이다. ‘세계에너지전망’에 따르면 재생에너지의 비중이 2040년에 19%로 증가할 것으로 전망하고 있다.

<표> 세계 재생에너지 상위 투자국³⁸⁾

재생에너지	1	2	3
지열 발전용량	터키	미국	멕시코
수력 발전용량	중국	브라질	터키
태양광용량	중국	일본	미국

37) 4차 산업혁명 시대의 에너지정책, 산업연구원, 2017

태양열 발전용량	모로코	남아공	미국
풍력용량	중국	미국	독일
태양열 온수용량	중국	터키	브라질
바이오디젤생산	미국	브라질	독일
연료에탄올생산	미국	브라질	중국

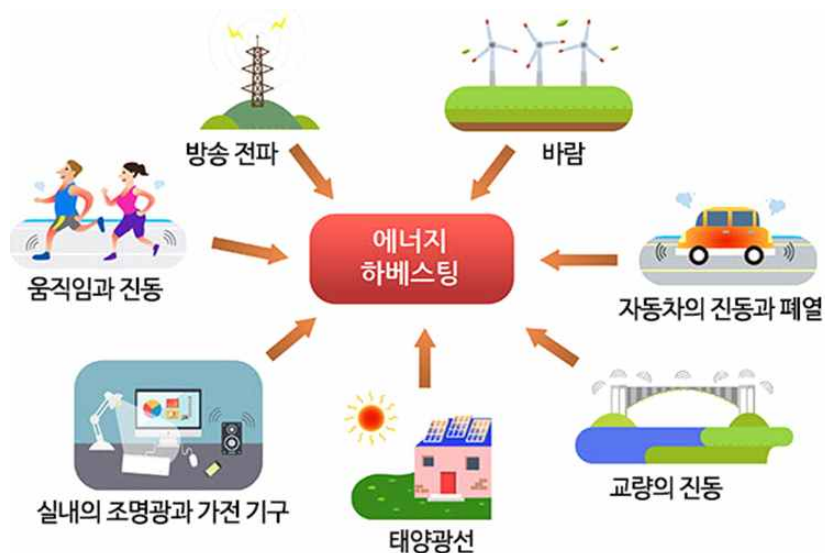
5) 융합기술

○ 인공지능 신재생에너지 수요관리

ICT를 기반으로 한 에너지 수요관리로 매뉴얼 방식에서 전자적 방법으로 체계적 관리로 패러다임의 변화를 나타낸다. ICT를 기반으로 함으로서 시스템 효율성 향상과 신산업 육성과 고용 창출의 효과가 있다. 대표적인 것으로 EMS(Energy Management System)으로 에너지 사용의 시각화와 효율 최적화를 위한 에너지관리 솔루션으로 자정, 빌딩, 공장, 도시 등 전반에 적용 가능하다.

○ 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting)

일상생활에서 사용하지 않고 버려지는 에너지를 모아서 사용가능한 전기에너지로 변환해주는 기술을 뜻한다. 압전효과, 열전효과, 광전효과 그리고 무선주파수 활용을 원리로 하는 센서를 이용하여 이루어질 전망이다.



<그림> 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting) 모식도³⁹⁾

38) Global Status Report, 2016.

39) 4차 산업혁명 시대의 에너지 정책, 산업연구원, 2017.

융합기술(Convergence Technology)

1) 정의

융합연구에 대한 개념 차이는 국내외 융합연구 관련 정책 및 전략에서의 융합기술에 대한 정의 차이로 이어진다. 미국의 경우, NBIC(NT, BT, IT, CS) 기술 간 또는 기술 내 상승적 결합을 통한 산출물로서 인간의 수행능력과 사회적 부가가치를 향상시킬 수 있는 기술이라고 정의한 반면, 유럽의 경우, 공통 목표 추구를 위한 기반기술 및 지식체계로서 NT, BT, IT 이외에 인문사회 영역 간 융합을 포괄한 폭넓은 개념의 기술이라 정의하였다. 우리나라는 「국가융합기술 발전 기본계획(2009~2013)」에서는 융합기술에 대한 정의를 “NT, BT, IT 등의 신기술간 또는 이들과 기존 산업·학문간의 상승적인 결합을 통해 새로운 창조적 가치를 창출함으로써 미래 경제와 사회, 문화의 변화를 주도하는 기술”로 명시하였고, 2014년 수립된 「창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략(2014~2018년)」에서는 “NT·BT·IT·CS(인지과학) 기술간의 융합, NBIC 기술과 기존 산업·학문 간 융합을 통해 창출되는 새로운 기술”로 정정되었다. 이를 통해 인지과학 분야가 NT, BT, IT 분야만큼 부상하는 등 시대의 흐름과 함께 융합연구의 개념이 변화하고 연구현장이 발전하고 있음을 알 수 있다.

- 융합기술은 단일 기술의 한계를 극복하고, 이종 기술의 효용성을 융합하는 기술들이 다양한 형태로 발전하면서 새로운 제품 및 서비스 시장의 창출영역(Blue Ocean)으로 인식되고 있음

2) 해외 기술현황

미국, 유럽, 일본 등 선진국*들은 이미 국가주도로 미래 국가경쟁력 확보를 위한 융합기술 및 시장 선점을 위한 투자를 가속화하고 있다. 주요국가의 융합기술전략으로는 미국은 2000년대 이후 나노융합 기술 투자에 이어 2003년 이후는 NBIC (나노, 바이오, 정보기술, 인지과학) 융합기술에 집중하였으며 2013년 이후는 CKTS(convergence of Knowledge and Technology for the benefit of Society) 융합을 통해 문제해결을 위한 융합기술혁신과 이를 통한 산업혁신, 사회혁신에 주력하고 있다.

EU(2004년 유럽지식사회 건설을 위한 융합기술전략, 보건/바이오/IT기술/나노 및 소재/에너지/환경 및 기후/운송 및 항공기술/사회경제학 및 인문학/우주 및 보안기술 등 9개 중점분야 연구진행), 일본(2004년 신산업창조전략으로 NT, BT, IT, ET 등 4대 전략분야 및 융합기술 분야에 집중 투자, 히다치/후지쓰/도시바 등 헬스케어 및 신약개발에 집중투자)도 국가정부의 주도로 정부출연기관과 민간 기업에서 다각적으로 융합기술을 개발 및 지원하고 있다.

3) 국내 기술수준

국내 융합기술은 전반적으로 초기단계로 선진국 대비 50%~80% 수준으로 낮은 편이다. 주요 융합기술 개발현황으로 나노일렉트로닉스, 바이오메트릭스, 바이오인포메틱스 등은 선진국 대비 80%수준으로 타 분야에 비해 가장 높은 수준이며, 양자정보 처리는 선진국대비 50%로 가장 열악한 수준이다. 또한, 기업연구소의 융합기술개발 현황은 현재 태동단계로 일부 대기업과 벤처기업에서 융합기술을 이용한 제품 개발 및 상용화를 추진하고 있어 국내기업의 융합기술에의 투자는 선진국에 비해 규모가 작으며, 최근 바이오칩, 헬스케어 등 융합기술 개발 및 서비스 기술, 나노구조의 메모리 소자, 디스플레이 개발 등의 융합기술에 집중하고 있다. 정부 출연 연구기관 및 대학 등의 융합기술 개발 추진동향은 다음과 같다.

- 정부 출연(연)은 융합기술 관련 연구조직의 구성을 통해 강점이 있는 분야를 기반으로 한 융합기술 연구를 추진
- 대학은 융합관련 대학원 및 연구소 설립 등을 통해 융합기술 인력 양성 및 다학제 연구를 진행

4) R&D 전망

융합연구에 대한 국내외 정부의 연구지원은 지속적으로 활발해지고 있다. 융합연구 및 융합기술을 전략적 육성 대상으로 정하고 적극적으로 지원함으로써 경제성장의 새로운 돌파구를 마련하는 신성장동력 창출을 도모하기 위함이다. 미국의 경우 NBIC보고서(Roco et al., 2002)와 CKTS보고서(Roco et al, 2013)를 통해 NT, BT, IT, CS의 주요 융합기술을 중심으로 문제해결형 융합연구의 촉진을 강력히 권하고 있고, 유럽의 경우 CTEKS 전략(Nordmann, 2004)을 수립하여 과학기술뿐만 아니라 인문사회과학 분야를 대상으로 광범위한 융합연구를 대상으로 투자하고 있다. 우리나라 정부에서도 2008년 국가융합기술 발전계획을 수립하고, 지난 2009년부터 2013년까지 5년간 총 8조 8,111억원을 지원하는 등 다양한 부처에서 적극적으로 융합 R&D의 투자를 아끼지 않고 있다(「창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략」, 2014.2.).

5) 융합기술

<표> 국내 출연(연) 및 대학의 융합기술 개발 추진현황

구분	기관명	추진현황
출연(연)	표준과학(연)	○ 나노바이오융합연구단을 통해 실시간 생체 현미경 등 나노 수준의 바이오 측정 연구개발 등을 수행
	생명공학(연)	○ 바이오나노연구단을 통해 단백질칩, 나노입자 및 생체소재, 나노바이오분야 등의 연구개발에 집중

	전자통신(연)	○ 융합기술연구부문을 통해 IT-NT, IT-BT, NIT 등의 분야에서 IT 중심의 융합기술 연구개발 수행
	KIST	○ 미래융합기술연구소를 설치·운영
	화학(연)	○ 융합연구본부, 탄소자원화연구소를 통해 문제해결형 융합연구를 확대하고 있음
대학	KAIST	○ 학제간 교육연구과정을 운영하고 있으며, 나노·바이오·IT융합연구소를 각각 설치·운영
	서울대	○ 경기도에서 광고 테크노밸리 내 설립('08.3)한 차세대 융합기술연구원 내에 '융합기술전문대학원' 설립 추진 ○ 5개학과(나노바이오융합기술, 디지털융합문화, 지능형융합시스템, 환경 및 인프라융합기술, 뇌융합기술)를 '09년 개설 추진
	기타	○ 일부 대학*에서 융합기술관련 학과를 설치·운영 중이며 최근 대학원** 석·박사 학위과정에서 융합관련 학과가 늘어나고 있는 추세 * 디스플레이·반도체물리학과(고려대), 휴대폰학과(성균관대) 등 ** 나노반도체공학과(한양대), 냉동공조에너지학과(부산대), 바이오융합기술학과(서강대), 신기술융합학과(건국대) 등

<표> 국내 민간기업의 융합기술 추진현황

기업명	추진현황
삼성전자	○ 미래 신사업으로 바이오칩(랩온어칩)을 선정, DNA칩 관련 정보 분석기술, 바이오 정보단말기의 ASICs 기술 개발 ○ 나노구조의 ITO(In, Sn), 소결체, TB(테라비트)급 탄소나노튜브 메모리소자, 초고집적·초저소비전력 고속단전자 메모리 개발 ○ u-헬스사업을 씨앗사업으로 지정
삼성종합기술원	○ 바이오칩, u-헬스, 랩온어칩 분야 IT·BT 융합기술 연구 ○ 탄소나노튜브를 이용한 64GB 대용량플래시 메모리, PRAM 개발
삼성 SDS	○ u-시티사업의 일환으로 u-헬스케어사업 진행 ○ 인터넷으로 환자상태를 기록하고 본인에게 알려주는 모델 구축
LG전자	○ 나노데이터 저장시스템(NDSS), TB급 정보저장장치, TB급 탄소 나노튜브, 하이브리드 나노입자, 탄소나노튜브 디스플레이 기술 개발 ○ 바이오 정보단말기의 ASICs 기술 개발
LG화학	○ 차세대 신약개발을 위해 바이오인포메틱스 등 IT·BT 융합기술 연구 ○ 인간성장호르몬(유트로핀) 등 6개 유전공학의약품 세계시장 진출
LG CNS	○ u-헬스 사업을 신성장모델로 지정, 병원 정보화 시장 진출 ○ RFID, 의료스마트카드, 원격진료서비스 개발을 통한 u-병원 사업
SK	○ DNA칩, 바이오인포메틱스를 통한 항암제 및 중추신경계 신약후보 발굴
SK	○ 암진단 시스템 및 치료제 개발 중

기업명	추진 현황
케미컬	○ 나노기술로 PET Nanocomposite, CMP용 나노재료, 담배필터, 화장품 개발
KT	○ u-헬스 서비스 개발, u-병원 환경 구축 등
KTF	○ 모바일 혈당측정기를 휴대폰에 연결하여 관리하는 u-헬스 서비스 제공
SI업체	○ 현대정보기술, 코오롱정보통신 등이 u-헬스케어, u-병원사업 제공

III. 기술혁신 패러다임의 변화

제 1절 4차 산업혁명의 담론적 판단 기준과 새로운 기술혁신 모델

4차 산업혁명은 다양한 기술분야의 동시다발적인 혁명적 진화를 기반으로 제조혁신, 에너지전환, 사회혁신, 정책전환 등이 총체적으로 이루어지는 패러다임적 변화와 진화의 개념이다. 3차 산업혁명까지가 지난 시기를 규정하는 개념이라면 4차 산업혁명은 앞으로 다가올 변화를 개념화하고 미래를 상정하여 그렇게 바꾸어 나가고자 하는 전략적 개념이자 기술혁신 모델이다.

앞에서 우리는 기술혁명, 제조혁신, 정책변동의 사례들을 볼 수 있었다. 또한 신기후체제와 함께 새로운 에너지 대안이 전 세계적 이슈가 되고 있고 기술혁신이 산업혁신을 넘어 사회혁신과 상호작용하는 조짐들이 보이고 있다. 때문에 이러한 총체적인 변화를 지금까지와의 산업혁명 양상과 구별하여 4차 산업혁명이라고 부를 수 있는 근거가 발생하고 있다.



한편 대한민국의 성장을 이끌어왔던 재벌중심의 수출주도형 경제, 대량전력 시스템에 기반한 투입 중심 성장, 온실가스를 내뿜는 산업을 기반으로 하는 중대형산업 모델, 고용 없는 양극화 성장, 저비용 기반 성장, 생존의 한계적 상황에 직면한 중소기업의 구조적 위기 등과 함께 사회문제를 등한시해온 대한민국의 과학기술혁신은 이제 그 한계를 드러내며 저성장과 고령화의 위협에 그 민낯을 드러내고 있다.

작금의 상황이 4차 산업혁명이 아니고 3차 산업혁명의 연장선이며 4차 산업혁명은 불확실한 정치적 구호라거나 4차 산업혁명을 기술과 제조업 경쟁력 강화라는 측면에서만 접근하는 것은 이제 지속가능성이 불확실한 기존의 한국식 성장모델을 지속하자는 이야기가 될 수도 있다. 물론 4차 산업혁명 담론이 연구개발 정책이나 스마트 팩토리, IT 기술개발 수준을 넘어 다양한 기술혁신을 기반으로 산업과 사회혁신을 추동하는 새로운 기술혁신모델이 될 수 있느냐하는 것은 아직 미지수다. 문재인정부의 과학기술정책과 거버넌스, 프로그램도 현재로서는 어떤 가치와 방향을 지향하고 어떤 담론과 모델로 새로운 패러다임의 시대를 열어갈지 아직은 불확실하다.

그러나 4차 산업혁명 패러다임이 한국사회의 성장모델을 재구축하고 지속가능한 포용적 성장을 위한 총체적 전환 기반이자 전략적 정책으로 이어질 수 있도록 기술혁신의 새로운 개념과 모델을 고안하고 확산하는 것은 과학기술혁신 연구자들의 몫이기도 하다.

일단 새로운 기술혁신의 이론과 모델을 구축하기 위해서는 기술혁신의 패러다임적 변화를 읽고 제대로 된 대응을 해야 할 것이다.

1. 과학기술혁신 가치와 분야의 확장

그동안 대한민국의 과학기술혁신의 가치는 단일기술의 개발과 사업화, 제품개발과 기업경쟁력 강화를 위한 기술개발, 경제성장을 위한 기여 중심으로 진화해왔다. 기존의 기술혁신 이론이나 모델도 과학기술과 기업혁신, 산업혁신에 중점을 두고 발전해왔다.

그러나 포용적 성장, 지속가능한 성장, 삶의 질 제고 등이 기술혁신을 기반으로 이루어져야 한다는 인식과 정책적 전환이 전 세계적으로 확산되고 있고 더 나아가 지역혁신, 사회혁신, 지구문제 해결 등의 이슈를 과학기술혁신을 기반으로 해결하려는 노력이 확산되고 있다. 기술혁신과 산업혁신, 사회혁신을 연결하는 새로운 개방형 혁신 모델의 필요성이 증대하고 있는 것이다. 사회문제 해결을 위한 과학기술혁

신이 사회적 경제조직을 통한 지속적 문제해결로 이어지고 이것이 사회서비스 혁신과 더불어 새로운 시장과 신산업을 창출하는 가능성과 기회가 확장되고 있는 것이다. 기술-산업-사회의 새로운 트로이카 혁신과 함께 각 혁신의 내용이 빅데이터와 인공지능에 기반을 둔 플랫폼을 통해 상호 연결되면서 혁신의 통합과 통합적 혁신이 상승작용을 일으키면서 혁신의 폭과 깊이가 더해지고 있다.

대한민국은 기존의 경제성장, 경제정책의 하위수단으로서의 과학기술혁신 프레임을 전환해야 하는 시점이다. 기존의 성장모델은 저성장과 저출산, 신기후체제와 확산되는 사회문제 앞에 무너지고 있다. 새 정부의 고용, 성장, 복지 비전은 기존의 성장모델을 뛰어넘어 새로운 기술혁신 패러다임을 기반으로 할 때 현실화 할 것이다. 기존의 국가 중심이나 시장중심이나 하는 이분법적 접근이 아니라 국가적, 산업적, 사회적, 지역적 차원의 지속가능한 지능형 기술혁신시스템이 중요해지고 있고 기존의 과학기술혁신의 가치를 확장하여 기술혁신, 산업혁신, 사회혁신을 통합적으로 추진할 때 대한민국 성장 모델과 혁신경로의 새로운 전환이 가능하다. 그리고 그것은 새로운 기술혁신 모델의 창출과 확산으로 이어지는 과정이 될 것이다.

2. 문제해결형 융합기술혁신과 산업혁신 통합 전략의 확산

기존 한국의 기술혁신은 단일기술 개발과 기술이전 사업화를 중심으로 이루어져 왔다. 국가연구개발 예산은 PBS체제하에서 단일기술 개발 중심으로 5만개의 과제 로 쪼개어 논문, 특허를 양산해왔다. 그러나 작금의 기술혁신은 학문간, 기술간 영역을 허물면서 기술융합적 혁신을 가속화하고 있고 이것이 새로운 산업을 창출하며 기존 산업의 경계를 허물고 있다. 신기후체제와 미세먼지, 대형사고, 지진, 메르스, 조류독감, 녹조, 화학안전 등 국민의 삶에 불안감을 안기는 사회문제가 확대되면서 문제해결형 융합혁신기술에 대한 수요가 크게 늘어하고 있고 혁신의 기회가 커지고 있다. 현재의 PBS 기반 연구개발투자는 새로운 기술혁신 환경에 적합하지 않은 구조적 한계를 가지고 있으며 새로운 형태의 연구개발환경이 요구된다.

한편 사회문제 해결형 연구개발은 전체 국가연구개발 투자비의 10% 수준에 머물러있고 2000년대 이후 추진해온 과기정통부 중심의 융합기술발전 전략과 산업부 중심의 산업융합 전략은 상호 연계성과 통합성이 떨어지면서 투자효과를 떨어뜨리고 있다.

2001.7	 제 1기 나노기술 종합발전 계획 (~4기, 2016.4 대한민국 나노혁신 2025) <ul style="list-style-type: none"> • 2001~2014년까지 10개 부처·청에서 총 3조 9,831억 원 투자
2007.4	 국가융합기술발전 기본 방침 <ul style="list-style-type: none"> • 국가과학기술위원회, 과학기술부 등 8개 부처 합동 • 기본방향과 방침 설정
2008.11	 국가융합기술발전 기본 계획 (2009~2013) <ul style="list-style-type: none"> • 교육과학기술부 등 7개 부처 합동, 최초의 종합적인 융합기술 국가계획 • 융합기술을 통한 신성장 동력 창출, 5년간 5조 8,900억 원 투자
2010.9	 NBIC 국가융합기술 지도 <ul style="list-style-type: none"> • 바이오, 의료, 에너지·환경, 정보통신 등 3대 분야 15개 우선 추진 과제 • 70개 원천융합기술 도출
2014.2	 창조경제실현을 위한 융합기술 발전 전략(2014~2018) <ul style="list-style-type: none"> • 미래창조과학부 등 12개 부처 합동, 국가과학기술심의회 운영위원회 • 15대 국가전략 융합기술 선정 (경제성장 7개, 국민행복 8개)

[그림] 정부의 융합기술발전 정책의 변화

2009.3	 나노 융합산업 발전 전략(2009~2013) <ul style="list-style-type: none"> • 교과부와 지경부 공동 • 2015년까지 나노융합산업 3대 강국 비전, 15개 세부 추진과제, 부처별 분담(안)
2010.7	 IT 융합확산전략 (2010~2015) <ul style="list-style-type: none"> • IT 융합 시장 선점과 산업경쟁력 강화, 2015년 5대 IT 융합 강국 도약 • 4대 정책 과제 제시
2011.4	 산업융합촉진법 제정 <ul style="list-style-type: none"> • 산업융합을 위한 법, 제도상의 한계 보완 • 5년마다 산업융합 발전 기본계획 수립
2012.8	 제 1차 산업융합 발전 기본계획(2013~2017) <ul style="list-style-type: none"> • 지식경제부 등 12개 부처 합동 • 3대 목표, 4대 추진전략, 34개 과제, 매년 실행계획 수립
2013.8 2014.5	 정보통신진흥 및 융합활성화 등에 관한 특별법 <ul style="list-style-type: none"> • 정보통신산업 융합을 위한 법과 제도 개선 • 정보통신 진흥 및 융합활성화 기본 계획 수립(2014.5)

[그림] 정부의 산업융합진흥정책의 변화

따라서 새정부의 과학기술혁신정책은 소규모 과제관리 중심의 PBS를 폐지하고 그동안 부처별로 추진해왔던 융합기술전략과 산업혁신 전략을 통합한 새로운 설계가 필요하며 사회문제해결형 연구개발은 문제해결과 혁신의 기회로 활용하여 대폭 확대해야 한다.

4차산업혁명위원회에 융합위원회를 구성하고 과학기술혁신본부와 연계하여

국가과학기술자문회의의 실행체계를 갖추어 국가기술혁신시스템을 혁신하는 노력을 지속적으로 추진할 필요가 있다.

그 과정에서 기술융합의 목표를 융합신산업 창출, 고용확대, 사회문제 해결, 환경문제 및 재난재해 대응, 4차 산업혁명 대응 등으로 구체화하고 관련 규제 혁신을 통해 실질적인 기술혁신으로 발현되도록 해야 할 것이다.

3. 연구의 자율성에 기반을 둔 개방형 혁신 플랫폼 전략 강화

작금의 기술혁신은 관료문화 중심의 추격형 전략으로는 대응할 수 없다. 세계적으로 기술혁신은 기초연구의 bottom-up 연구, 자율적 융합연구, 개방형혁신플랫폼의 확산, 글로벌 네트워크 전략 등이 다양한 방식으로 이루어지고 방향으로 전개되고 있다.

연구자 중심의 기초원천연구 투자 확대, 문제해결형 융합연구, 개방형혁신 플랫폼 사업을 확산하고 연구 자율성을 전면적으로 부여하는 방향으로 국가과학기술혁신 정책기조를 전환해야 한다. 부처별 전담기관별 연구비관리 관련 규정과 가이드라인을 획기적으로 단일 표준화하고 자율성을 부여하되 발견된 문제에 대해서는 철저히 책임을 묻는 문화를 정착해야 할 것이다.

4차 산업혁명위원회와 과학기술자문위원회, 과학기술혁신본부의 거버넌스와 운영철학에 이것을 철저히 반영하고 연구회와 출연(연)의 경우 별도의 내부위원회를 구성하여 임무를 주되 연구 자체는 자율성을 보장하는 방식으로 연구시스템을 재구성해야 한다.

4. 지능형 연구혁신공유플랫폼의 진화

그동안 연구개발이 기술개발을 직접 연구실에서 구현하며 독자적인 연구를 해왔다면 향후 4차 산업혁명 시대 연구개발은 계산과학, 시뮬레이션, 빅데이터 분석, 인공지능 솔루션 등을 활용하며 비용을 줄이고 개발속도를 앞당기는 경쟁이 가속화 할 것이다.

연구개발 과정의 빅데이터 분석과 인공지능 활용을 직접적인 연구개발과 접목시키고 이를 혁신으로 연결하는 혁신플랫폼 구축 전략이 중요한 이슈로 부상하고 있는 것이다.

(표5-1) 연구개발 트렌드의 변화

구분	기존R&D	빅데이터R&D	IOT R&D	AI R&D
연구자료	논문, 특허, 세미나 (인간의 연구자료)	+ SNS 등 (인간자료)	+ 센서등 (사물자료)	+ AI수집.분석자료
연구방법	연구자 자료분석 ⇒ new idea	+ 빅데이터분석 ⇒ new idea	+ 인간,사물분석 ⇒ new idea	+ AI아이디어+인간 ⇒ new idea
비고	Mega	Tera	Hexa	∞?

정부의 연구개발 투자 분야 중 빅데이터와 연계하여 연구개발 속도를 당기거나 융합을 확산할 수 있는 분야를 발굴하고 연구와 교육, 기업의 혁신이 동시다발적으로 이루어지는 집적 플랫폼 방식의 투자를 늘리도록 해야 할 것이다.

5. 과학기술정책 영역의 확장

기술혁신이 혁명적으로 가속화 되면서 과학기술혁신정책의 영역이 대폭적으로 확장되고 있다. 기술개발 정책이나 사업화 확대 정책을 뛰어넘어 과학기술혁신이 산업혁신과 신산업창출, 일자리 확충, 삶의 질 제고, 사회의 합리적 지성 제고, 미래인재 양성, 혁신기반 확충, 정책의 과학화 중요성이 통합적으로 강조되고 있다. 지금처럼 부처별로 정책이 분산되고 과학기술혁신은 과학기술정보통신부의 연구개발과 기술이전사업화 중심으로 추진된다면 정책실패는 계속 반복되고 과학기술혁신의 효과를 누릴 수 없을 것이다.

새정부의 4차산업혁명위원회와 국가과학기술자문회의가 단순히 연구개발정책, 인력정책을 넘어 기술·산업·사회·문화의 융합적인 과학기술혁신정책, 부처간 과학기술혁신 관련 정책의 통합으로 과학기술정책의 프레임을 전환할 수 있도록 2개 위원회의 기능과 역할이 올바르게 구축되어야 한다.

IV. 기술혁신의 미래전략

1. 기술혁신의 이슈 및 전략

앞에서 살펴본 기술혁신패러다임 변화와 연계하여 기술혁신 이슈를 추출하면, 4차산업혁명을 추동하는 핵심기반기술 개발, 확보 및 기술과 신지식의 융복합 촉진을 위한 융합 R&D 확대를 위한 오픈 이노베이션 체제 강화, 기술/시장의 글로벌화 확산 대응, R&D방법 혁신, 공공 연구사업구조 개선 및 정부출연(연) 혁신, 중소벤처지원 혁신, 정책.제도 혁신 등을 열거할 수 있다.

1. 융합 R&D 확대를 위한 오픈 이노베이션 체제 강화

4차산업혁명 시대 핵심 기반기술로 양자컴퓨팅 등 컴퓨팅기술, 인공지능, IOT, 5G 통신, 빅데이터, SW, 로봇, 정보보호 및 보안, 그리고 신소재, 바이오 등이 거론되고 있다. 4차산업혁명은 이러한 핵심기술을 기반으로 기존 기술의 융합 및 업그레이드 개발이 중심되어 발전하여갈 것으로 전망된다. 이와 함께 공유경제 등 산업시스템 고도화, 사회 및 보건, 복지, 환경, 국가안전, 보안, 일자리 창출, 지역경제 활성화 등 국가적 중요과제 해결을 위한을 공동·협력 R&D의 확대·강화가 필요하다.

이를 위해 기존의 R&D 조직간 울타리 개방, 융복합 R&D 투자의 확대가 필요하다.

융합연구는 1990년대 미국에서 나노기술개발을 위해 바이오, 화학, 물리학, 소재과학, 전기공학 등 학제간 융합연구를 통해 기술개발 시너지를 창출하는 것에서 시작되어 인문사회학적 연구를 추가하여 사회적 문제해결, 인류와 지구문제 해결 등으로 목표개념이 확장되고 있다. 한편 미국은 최근 국립과학재단(NSF)이 1985년부터 설치 및 유지해온 67개의 공학연구센터(ERC ;Engineering Research Center)를 융복합공학연구센터(CERC; Convergent Engineering Research Center)로 새롭게 발전하는 방안을 제시하였다.⁴⁰⁾

(표5-2) 공학연구센터와 융복합공학연구센터의 차이점

공학연구센터	융복합공학연구센터(CERC)
기술혁신에 초점을 둔 다학제적 연구	다양한 학문의 기술적 수렴을 활용한 초학문적 연구
미국 혁신 생태계 향상 및 경제적 가치 창출	경제적 가치 창출을 수반하는 사회적 가치를 극대화
연구자와 학생이 정규 회의와 토론을 통해 협력	대면회의, 가상 기술 플랫폼, 협력 연구 우수 사례를 활용한 연구 협력
다양한 학과 교수와의 교류를 통한 경험 축적	융복합 공학 연구의 우수사례를 통한 경험 축적
산출물을 바탕으로 성과측정	산출물과 효과를 바탕으로 성과 측정
10년 후 지원은 소멸되나, 다른 지원을 받을 수 있을 것으로 기대	획기적인 성과를 거둘 경우, 10년 이후에도 다시 신청 가능

우리나라는 2001년 나노기술종합발전계획 이후 현재까지 융합연구 정책을 지속적으로 추진해 왔다. 이를 통해 국가사회적 현안 해결, 신성장동력 창출, 기계소재, 의료바이오, 전기전자, 에너지환경 분야 등에서 융합연구의 성과를 다수 실현하였다. 그리고 최근에는 산·학·연 융합협력문화조성, 융합협력생태계 구축을 위한 출연(연)간 융합 및 협력체계 고도화 및 산학연관민 융합연구혁신 플랫폼 구축 등을 추진하였다.

40) stepi, 해외정책동향, 2017.6.12

그러나, 융합기술발전계획은 미국, EU 등 선진국 따라잡기 기술개발과 신산업 창출에 치중되어 있고, 산업융합발전계획은 융합기술혁신과의 연계성이 부족하며, 단일 기술공급적 관점의 PBS기반 연구개발체제는 기술융합, 산업융합의 장애요인이 되고 있다.

앞에서 기술한 바와 같이, 4차산업혁명은 융합기술혁신 중심의 혁명이다. 그러므로 융합연구혁신정책의 패러다임 전환이 필요하다. 이를 위해, 기존의 국가융합기술발전기본계획, 융합기술발전전략, 산업융합발전기본계획, 대한민국나노융합2025 등 범정부차원 융합정책의 통합 또는 연계 강화, 기술융합의 목표를 융합신산업 창출, 고용확대, 사회문제 해결, 환경문제 및 재난재해대응, 4차산업혁명 대응 등으로 구체화 및 관련 규제 혁신 등이 필요하다.

이와 함께, 기술과 시장, 기술과 사회를 아우르는 기술-시장-사회의 통합적 정책이 필요하다. 이러한 국가 정책역량을 확보하기 위해서는 정부부처, 국가과학기술연구회 및 출연(연)의 융합과학기술정책 역량 강화, 출연(연) 정책역량의 통합적 운영과 인문사회 정책역량 결합이 필요하다. 이를 실행하기 위해서는 국가과학기술연구회 및 출연(연)의 정책인력 확대, 과학기술정책연구원 등 경제인문사회연구회 기관과의 정책연계 확대가 요구된다.

융합연구 활성화를 위해서는 융합연구 추진시 목적을 분명히 하고 융합을 통해 새로운 가치와 해결방안을 만드는 것에 중점을 두어야 한다. 아울러 장기적 융합연구와 연구 자율성, 연구그룹 구성의 유연성, 참여 연구원들의 연구 몰입도 강화가 전제되어야 한다.

연구문화의 혁신도 필요하다. 융합연구에 기관의 벽, 제도의 벽, 거리의 벽, 마음의 벽의 4가지 벽이 있다. 부처간, 기술분야간, 기술과 산업간, 연구단계 등에 따른 벽이 존재하며, 이 외에도 대학-출연(연)-기업의 경쟁문화, 대기업과 중소기업간 수직계열 문화 등이 융합연구 활성화를 저해하고 있다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 학제간, 기술분야간, 그룹간, 기관간에 조성되어 있는 칸막이 문화, 주도권 경재를 개방형 융합협력문화, 함께 도전하는 문화로 전환하는 노력이 필요하다. 이를 위해 대학과 출연(연)융합프로그램, 산학연융합프로그램, 출연(연)간 융합프로그램 등을 확충하고, 문제해결 성과중심 평가 및 보상을 위한 제도 개선, 개방형 소통 협력공간과 문화소통 프로그램 확충, 융합교육-연구-혁신인력 통합양성 등이 필요하다.

2. 기술, 시장의 글로벌화 확산 대응

4차산업혁명으로 기술과 시장의 글로벌화는 더 확산되어갈 전망이다. 현재 미국,

영국 등은 보호무역체제를 강화하려 하고 있다. 그러나 소비자는 인터넷 등을 통한 해외직구를 지속적으로 확대되고 있다. 세계 시장이 국경과 거리를 초월하여 상품의 기능과 디자인, 소비자 취향별로 글로벌화됨으로써 인기제품의 세계시장 급속 확산/소멸, 우후죽순식 다수 신제품/서비스의 탄생과 생명주기 급속 단축 현상이 보편화될 것이다. 이에 따라 첨단 기술제품도 국내개발 -> 국내이용-> 해외수출은 더 이상 기대하기 어려워지게 됨으로써 글로벌 공동·협력개발 또는 M&A, 구매에 의한 기술 확보가 보편화될 것으로 보인다.

(표5-3)에서 보는 바와 같이 주요국은 4차산업혁명 시대 대응을 위해 자국의 기술과 산업의 강점/약점 등을 고려하여 중점육성 산업을 선정하고, 다양한 글로벌전략을 통해 관련 기술 및 산업혁신 역량을 강화하고 있다.

(표5-3) 4차산업혁명 대응을 위한 주요국 중점 육성 산업 현황

국가 명	중점 육성산업
미국	첨단 제조업(센서 등), 정밀의학, 두뇌 이니셔티브, 첨단 자동차, 스마트시티, 청정에너지, 교육용 기술, 우주산업, 고성능 컴퓨터
일본	유통·소매, 자동주행, 금융, 의료·건강, 스마트 하우스, 교육, 농업, 관광, 미디어콘텐츠, 스마트 보안
독일	산업생산기술, 항공우주, 의료, 기후·환경, 에너지, 정보통신, 자율주행, 인공지능, 고령화 대응
중국	반도체, 정보통신, 고정밀 수치제어, 로봇, 항공우주, 해양장비, 교통설비, 에너지, 전력설비, 농업 기계, 신소재, 의료
영국	로봇 자동화, 빅데이터, 항공우주, 의료
네덜란드	계장산업, 스마트 팩토리, 스마트 낙농업, 스마트 원예
스위스	제약 및 화학, 핀테크, 미래형 자동차
호주	광업, 제조업, 의료
핀란드	IoT, 빅데이터, 5G
러시아	무인항공기, 인간-기계 통신, 스마트 에너지, 무인자동차, 스마트 해양기술, 의료, 보안 시스템, 식품 스마트 솔루션, 금융 시스템
싱가포르	첨단 제조 및 엔지니어링, 의료, 도시공학, 서비스, 디지털 경제
인도	바이오 헬스, 드론, 산업용 로봇

자료 : 4차산업혁명시대, 첨단제품개발 트렌드와 시사점, 2017.3., Kotra.

중국의 경우 세계 최대 M&A국으로 이를 통해 첨단 핵심기술을 확보하고 있으며, 일본, 유럽 등은 AI 등 첨단 기술인력 유치를 위한 외국인 취업비자제도 개선, 국제공동협력 연구 및 인력교류 확대 등 글로벌 개방정책을 적극적으로 추진하고 있다. 그리고 관련 국제표준 확보를 위한 협조와 경쟁이 물밑에서 치열하게 전개되고 있다.

우리나라의 R&D 활동 중 외국으로부터 받는 자금의 비중이나, 외국/한국 연구자들이 한국/외국에서 활동하고 있는 비율 등이 낮게 나타나 혁신 활동의 글로벌화가 진전 되지 못하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러므로 인터넷을 활용하는 전 세

계 24시간 R&D 추진체제 구축, 외국 R&D조직과 인력교류를 통한 개방형 혁신 확대, 해외 M&A를 통한 핵심기술 확보 장려, 나아가 신제품 개발에서 제조·유통·판매·사후관리의 가치사슬 전 과정으로 확대, 제조와 서비스 통합, 이 업종과 융합 및 M&A, 글로벌 표준화, 플랫폼 공동 개발, 구축 등 기술,산업 전분야의 글로벌화가 필요하다.

3. R&D방법의 혁신

사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터, 유전자 편집 등과 같은 신기술의 등장과 함께 기술이 혁신을 주도하던 시대에서 데이터가 혁신을 주도하는 시대로 변화하고 있다

불확실성이 높은 환경에서는 밀도 있는 실험과 시행착오에 비용을 치러야 한다. 개방형 혁신, 도전과 모험 추구, 실패경험의 축적과 활용이 4차 산업혁명과 함께 할 필수 방법론이 되는 것이다.

이러한 변화에 적극 대응하기 위해서는 기술개발 속도혁신을 위한 데이터기반, AI 기반 R&D플랫폼 개발, 구축하여 R&D를 위한 다양한 시험, 시뮬레이션, 분석, 평가, 시제품 제조 등 기술개발 과정은 물론 상용제품 제조까지 활용함으로써 R&D시간 단축은 물론 개발기술의 사업화 기간단축까지도 가능하게 할 수 있다.

미국은 2012년부터 첨단소재 개발 및 사업화 시간 단축을 위해 MGI(Material Genome Initiative)의 데이터기반 R&D플랫폼 구축, 활용을 추진하여 이미 많은 성과를 거두고 있으며, 일본은 이러한 미국의 전략에 자극과 위협을 느껴 2015년부터 정보통합형 물질·재료개발 이니셔티브 (Mi²i : Materials research by Information Integration Initiative)을 추진하고 있다. 이와 함께 최근 일본의 과학·기술·혁신 변화 트렌드도 ‘Open Science, Networked Science’로 변하고 있다. 즉, 연구자들이 소속 연구실 안에서만 일하는 방식이 아니라 연구데이터를 공유하고 다른 분야 연구자들과 함께 융합·협업연구가 확산되고 있다.

4. 공공 R&D 사업 구조혁신

4차산업혁명의 진행과 더불어 기술 및 산업간 융복합 확산, HW제품과 서비스의 통합화 및 서비스산업 비중 증대, SW, 서비스 R&D 확대 등으로 변화하고 있다. 이에 따라 공공부문의 R&D도 지금까지의 HW중심, 단위기술개발 위주의 PBS기반 R&D 사업구조에 대한 재검토가 필요해 지고 있다.

그리고, 융합신산업 창출, 일자리 창출, 사회문제 해결, 환경문제 및 재난재해대응 등 범 국가적 해결과제위한 융합 R&D 확대가 요구되고 있다. 이외에 첨단 R&D장비개발 등 신 유망사업 발굴, 원천기초연구(자율연구) 확대 등이 현안 과제로 등장되고 있다.

그러므로, 공공부문의 R&D사업 구조를 기업과 산업을 지원하는 비중을 축소하고 국가사회적 공공과제 해결을 위한 기술개발사업의 비중을 얼마나 확대할 것이며, 특히 그동안 국제경쟁력 강화를 위한 대기업 관련 중요핵심기술개발 지원사업에 대한 조정과 함께 중소벤처기업을 위한 첨단융합기술 개발, 지원에 대한 전략적 검토가 필요하다.

그리고, 이러한 공공R&D사업 구조 변화에 따라 논문, 특허 중심의 R&D평가제도 및 평가방법 등도 변경이 불가피해 질 것이다.

5. 정부출연(연) 혁신

정부 출연(연)의 역할과 임무, 거버넌스와 조직개편에 대한 논의가 2000년대부터 지속적으로 등장하고 있다. 현재의 출연(연)은 기술분야별 연구개발 조직으로서 선진국 추격형 기술개발에 큰 성과를 거두었으나 세계 선도의 원천기초기술 연구 그리고 융합연구에는 적합하지 않은 조직이라는 평가와 함께 창조적 파괴가 필요한 것으로 보는 시각도 있다.

4차산업혁명 시대 정부출연(연)은 국가적 해결과제 또는 어젠더를 책임 추진하는 기구, 글로벌 오픈이노베이션 창구로서 기능과 역할하기 적합한 조직이다. 그런데 이러한 역할을 수행하기 위해서는 현재의 기술 분야별 분담 조직으로는 한계가 있다. 2가지 역할이 모두 탁월한 융합연구 기능을 필요로 하고 있기 때문이다. 이러한 필요조건을 구비할 경우 출연(연)은 국민 삶의 질 향상, 국가사회적 중요과제 해결 R&D 책임 추진 조직으로서의 역할, 그리고 외국과의 공동,협력 연구 및 인적교류, 기술분야간 융합, 협력, 연계연구, 융복합, 첨단기술의 글로벌 표준개발, 중소벤처기업 등 산업체, 대학과의 공동협력 등의 기능을 수행하는 글로벌 오픈 이노베이션 허브로서 역할이 기대된다.

이와 같은 주장이 가능한 이유는 다음과 같다.

첫째, 4차산업혁명 시대의 새로운 개발 기술은 신제품 창출 및 경쟁력 강화, 산업 및 경제를 초월하여 국민생활과 국가사회 전반에 영향을 미치기 때문에 국가차원의 종합적, 전략적 판단에 따른 대응이 필요하다.

둘째, 데이터기반의 R&D, 인공지능을 활용한 R&D가 확산 됨으로써 기술혁신속도가 빨라지고 신기술의 제품화, 비즈니스화 시간이 단축되면서 R&D형 기업이 확산

될 전망이다. 이 경우 중소벤처기업이 단독으로 이러한 추세에 대응하여 신기술개발->신제품 및 신 비즈니스모델 개발을 지속하기 어려우며, 출연(연)의 지원을 필요로 하게 될 것이다. 특히, 정부출연(연)이 지역/산업 혁신 플랫폼 개발, 구축운용을 통해 클러스트 구축을 선도할 경우 플랫폼의 첨단성 유지, 글로벌 경쟁력 확보를 위한 지속적 SW 업데이터 및 업그레이드 기술개발이 가능하며, 나아가 첨단기술 전문 인력양성 및 교육용 실험 플랫폼 활용 확산, 플랫폼의 글로벌 진출 위한 표준화, 운영 효율성 제고, 경쟁력 보강 등 효과를 기대할 수 있다.

셋째, 신기술 제품의 서비스화, 통신망에 의한 네트워크화가 확대되면서 글로벌 표준 확보 및 대응이 국가적 중요과제가 될 것이다.

넷째, 신기술 제품 시장이 글로벌화 됨으로써 외국과의 공동협력연구가 확산되고 이를 위한 공신력 있는 Open Innovation 창구가 필요하다.

다섯째, 국민 복지형 첨단서비스 개발 등 돈이 되지 않는 신기술, 서비스개발을 전담하는 조직이 필요하게 될 것이다.

정부출연(연)이 이러한 역할을 제대로 수행하기 위해서는 여러 가지 해결해야 할 과제가 있다. 우선 정부출연(연) 연구인력의 고령화 문제점 개선 및 신진인력 수혈이 필요하다, 그리고 이와 관련성이 있는 비정규(계약직)연구원의 정규직화의 경우 효과성과 글로벌 개방형 R&D체제의 효율성을 고려하여 면밀하게 설계되어야 할 것이다.

국가적 사회, 환경, 재해/재난 등 중요과제 해결을 위한 R&D를 확대할 경우 융복합연구가 필수적으로 요구되는데 이를 위한 구체적 대안 마련, 특히 참여연구원들의 연구몰입도 향상을 위한 대안 마련이 필요하다.

6. 중소벤처기업지원 혁신

4차산업혁명의 진전과 더불어 기업가치와 경쟁력의 원천이 소비자 취향과 시장 환경 변화에 적시 대응할 수 있는 정보능력, 혁신기량, 조직역량 등 무형자산 중심으로 변화하면서 생산, 판매시설 등 물적자산 비중이 축소될 전망이다. 그리고 사회문제 해결형 비즈니스모델, 공유경제, R&D형 기업확산 등 새로운 산업시스템이 등장할 것이다. 그러므로 중소벤처기업 지원도 지금까지와는 다른 혁신적 방법이 필요하다.

주지하는 바와 같이 중소벤처기업은 투자재원 부족, 우수인력 부족으로 초기 첨단 시설 투자는 물론 기 보유 시설장비의 첨단성 유지를 위한 업그레이드, SW업데이터도 어렵다. 특히, 다양한 제품, 소량/변량, 적기, 맞춤형 생산, 공급이 필요한 4차 산업혁명 시대에는 기술의 급격한 발전과 제품/서비스 생명주기 단축으로 최신 시

설 유지, 확보 부담이 매우 크질 것이며, 특히 외국 선진 제조 시설과 경쟁할 경우 투자비 회수도 어려울 수 있다.

따라서 이런 환경을 고려한 새로운 중소벤처기업 지원이 필요하다. 예를 들면 웹리스 중소벤처기업 창업/육성지원 체제 구축이 그 해답이 될 수 있다.

웹리스 중소벤처기업 창업/육성지원 체제를 구축할 경우 아이디어 창안 ⇒ 제품개발 R&D투자 ⇒ 생산 시설투자 ⇒ 유통/판매의 프로세스 중 2단계를 제외시켜 창업 속도는 물론 창업기업이 겪는 초기 자금 투자 부담을 획기적으로 줄일 수 있게 함으로써 죽음의 계곡이 없는 벤처창업환경을 실현할 수 있다.

7. 정책 및 제도혁신

우리나라는 4차산업혁명의 성공적 추진을 위해 (가칭)4차산업혁명위원회를 구성할 계획이며, 2017년 8월 현재 입법예고 중이다. 동 위원회는 4차산업혁명의 최상층 정책 거버넌스 역할을 할 것이다.

2017년7월 현재 언론에 나타나 있는 위원회 주요 역할은 △4차 산업혁명에 대한 종합적 국가전략 수립 △ 부처별 실행계획 점검 및 정책 조율 △과학기술, 인공지능, 정보통신기술 성과창출 강화 △데이터 및 네트워크 인프라 구축 △신산업·신서비스 진입을 제약하는 규제 발굴·개선 및 창업 생태계 조성△교육 체계, 고용,복지 등 사회혁신 및 사회적 합의 도출 등을 심의·조정하는 것 등이다.(전자신문2017.7.21.)

일본의 경우도 위원회를 구성하여 국가적 중요 사항을 추진하고 있다. 일본은 경제정책의 최고 사령탑인 경제재정자문회의와 4차 산업혁명을 가속시키기 위해 출범한 미래투자전략회의에 의해 최근 Society 5.0 이라는 4차산업혁명 청사진을 제시한바 있다. 일본은 전통적으로 위원회 운영을 생산적, 성공적으로 하고 있다. 우리나라도 그동안 각종 위원회를 구성하여 많은 일 해왔다. 그러나 일본처럼 성공적인 효과를 별로 거두지 못했다.

우리나라 위원회는 정치적/정권적 영향이 강하게 작용하고 또 이를 그대로 추종하는 공무원이 주도함으로써 정치/정권에 중립적인 대안이 되지 못해 정권이 변경될 때마다 과거의 대안은 폐기처분하는 행태가 반복되고 있다. 이는 위원회 구성원들이 각자의 지식정보네트웍을 통해 심도있는 연구, 검토를 하고 이를 통해 자신의 의견과 대안을 제시하지 않고 공무원이 선택, 지정한 전담조직이 마련한 대안에 대한 의견 제시 위주로 위원회가 운영되었기 때문이다.

그러므로 과거와 같은 “ 강력한 대통령의 의지를 받드는 공무원이 주도하는 위원회

로 운영될 경우” 오히려 우리나라 4차산업혁명 추진에 문제점이 발생할 수 있다. 주지하는 바와 같이 4차산업혁명은 현재는 물론 미래 우리나라 경제사회, 국민생활 전 부문에 걸쳐 광범위하게 영향을 미칠 뿐만 아니라 초기 추진방향이 잘못될 경우 중대한 문제를 야기할 수 있기 때문이다. 특히 대통령 공약사항 또는 과거 또는 현재 추진 중인 정책과의 마찰, 정책수정 및 철회가 필요한 사항도 다수 있기 때문에 이러한 과제들을 정치 중립적인 차원에서 신속하게 해결하지 못할 경우 논란만 무성하게 시간만 보내는 위원회가 될 수도 있고, 졸속 결정으로 추후 문제점이 나타나 혼선을 초래할 경우도 있을 것으로 보인다. 그러므로 동 위원회의 구성에서부터 일의 분담 등 추진체계, 협의조정 및 대안 결정 등에 대한 세심한 검토와 배려가 필요하다.

4차산업혁명에 있어서 과학기술과 IT거버넌스의 중요성은 더욱 확대될 전망이다. 특히 과학기술 인력에 관련된 비정규직의 정규직화, 김영란법에 의한 대학교수, 출연연구원들의 외부활동 제약 등은 융복합R&D 활성화에 미치게 될 영향 등에 대한 재검토가 필요하다.

그리고 신기술 제품, 서비스 관련 규제 혁신, 정부 공공부문의 4차산업 혁신 제품 구매 우대 및 활용 확대, 그리고 지식재산권보호 강화와 신지식 및 아이디어 창출 장려정책 마련이 필요하다. 참고로 영국은 2013년부터 특허박스(patent box) 제도 도입하여 연구개발 및 아이디어 창출에 의한 지식재산권으로 수익을 낼 경우 일반 법인세보다 낮은 별도 세율을 적용하는 등 지식재산에 대한 조세 감면 혜택 제도를 시행하고 있다.

또한, 4차산업혁명 선도 인재 양성을 위한 소프트웨어 및 융복합 지식창의 인력양성 확대, 변화하는 기술 및 산업 적응을 위한 대중 교육 등을 위한 탈 학제적 교육시스템 혁신과 함께 첨단 교육프로그램 및 관련 콘텐츠 개발, 일과 지식의 미스매치 해결을 위한 직업재교육, 재훈련 프로그램 마련, 데이터, 사이버보안 등 필수 기반인력 양성 확대 등에 대한 정책 마련이 필요하다.

아래 (표 5-4)는 전체 내용의 요약 테이블이다.

(표5-4) 4차산업혁명 관련 기술혁신 이슈 및 과제

이슈	전략 및 과제
융합 R&D 확대 위한	○ 핵심기반기술 확보를 위한 융합R&D 확대

<p>오픈이노베이션 체제 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신산업플랫폼 및 비즈니스 개발을 위한 기술 및 지식 융복합 촉진 ○ 융복합기술 인력 및 추진조직 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 연구그룹 구성의 유연성, 참여 연구원들의 연구 몰입도 강화를 위한 환경조성 및 제도 마련 - 융합프로그램 확충, 융합교육-연구-혁신인력 통합양성 등
<p>기술,시장의 글로벌화 확산 대응</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국 등 첨단 신기술 개발 및 사업화 속도 향상 대응 <ul style="list-style-type: none"> - 외국 R&D조직과 인력교류 확대, 전 세계 24시간 R&D 추진 체제 구축 등 기술혁신 체제의 글로벌화 ○ 신기술 및 첨단 제품/서비스의 세계 시장 급속확산 및 수명 단축 대응 <ul style="list-style-type: none"> - 플랫폼 선 구축자, 선 진출자 시장 독과점 선제 대응 ○ 글로벌 표준개발 확대, 강화 ○ 지식재산권 보호 강화
<p>R & D 방법 혁신</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술개발 속도혁신을 위한 첨단 연구개발 플랫폼 개발, 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터기반, AI기반 R&D플랫폼 개발, 활용에 의한 기술개발 및 사업화 시간단축 구현 - R&D를 위한 다양한 시험, 시뮬레이션, 분석, 평가, 시제품 제조 등 기술개발 과정은 물론 상용제품 제조까지 가능한 첨단 연구장비와 시설을 갖춘 플랫폼 구축, 운용
<p>공공 R & D 구조 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ HW제품개발 및 경쟁력 강화 R&D 조정 ○ SW, 서비스 R&D 확대 ○ 단일 기술개발/PBS기반 R&D 조정 ○ 범 국가적 해결과제위한 융합 R&D 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 융합신산업 및 일자리 창출, 사회/환경문제, 재난재해대응 등 ○ 첨단 R&D장비개발 등 신 유망사업 발굴 ○ 원천기초연구(자율연구) 확대
<p>정부 출연 (연) 혁신</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융합기술개발 확대, 사회문제 해결형 R&D사업 확대 등 공공 R&D 구조개선에 적합한 출연(연) 구조확보 <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 기술분야별 공공 R&D 조직의 유지/개편 ○ 정부출연연 연구인력 고령화 문제점 개선 및 신진인력 수혈 ○ 비정규(계약직)연구원의 정규직화의 효과 VS 문제점 ○ 지역/산업 혁신 플랫폼 및 클러스트 구축 선도

	○ 출연연의 기술전문서비스사업 확대
중소벤처지원 혁신	<p>○ 펍리스 중소벤처기업 창업/육성지원 체제 구축</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>아이디어 창안 ⇒ 제품개발 R&D투자 ⇒ 생산 시설투자 ⇒ 유통/판매의 프로세스 중 2단계를 제외시켜 창업속도는 물론 창업기업이 겪는 초기 자금 투자 부담을 획기적으로 줄일 수 있게 함으로써 죽음의 계곡이 없는 벤처창업환경 실현</p> </div>
정책, 제도 혁신	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4차산업혁명 정책 거버넌스(위원회) ○ 과학기술 및 IT거버넌스 ○ 융복합R&D 활성화에 미치게될 영향 등에 대한 재검토 <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술 인력에 관련된 비정규직의 정규직화 - 김영란법에 의한 대학교수, 출연연구원들의 외부활동 제약 등 ○ 신기술 제품, 서비스 관련 규제 혁신 ○ 정부,공공부문의 4차산업 혁신 제품 구매 우대 및 활용 확대 ○ 지식재산권보호 및 신지식 및 아이디어 창출 장려정책 마련. ○ 탈학제적 교육시스템 혁신 및 교육프로그램, 콘텐츠 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어 및 융복합 지식창의 인력양성 확대 - 변화하는 기술 및 산업 적응을 위한 대중 교육 등 ○ 일과 지식의 미스매치 해결 재교육/훈련 프로그램 마련 ○ 데이터, 사이버보안 등 필수 기반인력 양성 확대 등