

4th Industrial Revolution and Magnetics (1)

Hi-Jung Kim*

Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

(Received 8 June 2017, Received in final form 13 June 2017, Accepted 14 June 2017)

K. Suwab, a chairman of the World Economic Forum (WEF), reported the emerging of the 4th industrial revolution by the convergence of artificial intelligence and robot as well as the fusion of true and virtual reality in the WEF 2016. He suggested the 4th industrial revolution would change greatly the paradigm of industry and society in the future, and damage the security and quality of the human job severely. In this review the argument of terminology, the impacts on economics, industry technologies and jobs by the 4th industrial revolution have been discussed. And the role of magnetics on the 2-4th industrial revolutions was reviewed briefly.

Keywords : 4th industrial revolution, world economic forum, convergence, artificial intelligence, magnetics

4차 산업혁명과 자기학(1)

- 4차 산업혁명의 개황 -

김희중*

스핀융합연구단, 한국과학기술연구원, 서울시 성북구 화랑로 14길 5, 02792

(2017년 6월 8일 받음, 2017년 6월 13일 최종수정본 받음, 2017년 6월 14일 게재확정)

세계경제포럼(WEF)의 클라우스 슈밥회장은 2016년 포럼에서 인공지능과 로봇의 융합, 실제와 가상현실의 융합에 의해 4차 산업혁명이 도래하였다고 하였다. 그는 4차 산업혁명은 미래에 산업과 사회의 패러다임을 크게 변화하고, 인간 일자리의 안정성과 질을 크게 훼손할 것이라 주장하였다. 이 해설에서는 용어의 논란, 4차 산업혁명이 경제, 산업기술, 일자리에 미치는 영향이 논의되었다. 또한 2차부터 4차까지의 산업혁명에 미친 자기학의 역할이 간단히 다루어졌다.

주제어 : 4차 산업혁명, 세계경제포럼, 융합, 인공지능, 자기학

I. 서 론

2016년 클라우스 슈밥회장 등 다보스포럼(WEF)의 주최자들은 인공지능과 로봇과 같은 동체와의 결합, 실제와 가상 세계를 융합하는 기술들이 앞으로 산업과 사회의 패러다임을 바꾸면서 세상을 크게 변화시키는 4차 산업혁명으로 발전해 나갈 것이라고 주장하였다[1]. 그래서 2016년 다보스포럼의 주제도 ‘제4차 산업혁명의 이해(Mastering the Fourth Industrial Revolution)’으로 정하고 건설적인 논의와 파트너십을 유도하였다. 과거 증기기관의 등장, 전기와 전화 등의 발명, 디지털 정보기술의 혁신이 인류 사회의 많은 부분을 변모시켰었다. 그리고 우리는 지금 새로운 산업혁명이 막 시작되었거나 목

전에 두고 있다는 느낌을 받고 있다.

전자의 스핀현상에 기초한 자기학은 2차 산업혁명의 핵심인 전기의 발전과 변전 기계류와 모터 등 전기-동력 변환을 응용하는 수많은 제품들을 발명하는 기반이 되었다. 또한 자기학은 벨이 발명한 자석식 전화기 등 통신기계에도 핵심 역할을 하였다. 3차 산업혁명의 기반이 된 디지털 정보기술의 초기 발전도 자기학이 기반이 되었다. 메인프레임 컴퓨터의 정보처리장치(CPU)에 페라이트코어 메모리, PC 등의 정보저장장치에 테이프 및 HDD가 주도적 역할을 하였다. 그러나 무어의 법칙을 기반으로 한 반도체가 60년 동안 비약적으로 발전하면서 현재 컴퓨터 메인프레임의 CPU, PC의 정보저장장치, 오디오/비디오 기기들에서 자기부품은 대부분 반도체로 대체되었다. 하지만 현재 STT-MRAM을 비롯한 신개념의 자기메모리는 반도체산업계에서 중요성을 인정받아 여러 반도체 기업들에서 활발히 개발되고 있으므로 조만간 산업화가 될

가능성이 높다. 또한 차세대 전기자동차나 일반 자동차에도 다양한 기능의 자기부품들의 사용이 대폭 증가할 것으로 여겨지고 있다. 이러한 추세로 미루어 미래에는 자기학이 4차 산업혁명을 주도하는 로봇, 드론, 3D 프린터 등은 물론 미래에 등장할 혁신제품들에서 지금보다 더 다양하게 사용될 가능성이 있다. 4차 산업혁명은 매우 광범위한 기술이 관련되어 있고, 세계적으로 수많은 기업들에서 매우 다양한 형태로 전개되고 있다.

필자는 본고부터 시작하여 수회에 걸쳐 4차 산업혁명과 자기학의 관련성에 대해 소개하고자 한다. 4차 산업혁명의 전반적인 개황부터 시작하여 4차 산업혁명이 수반하는 가장 큰 임팩트인 미래직업의 변화, 4차 산업혁명시대에 필요할 것으로 예상되는 자기학의 응용, 그리고 4차 산업혁명시대를 이끌 창의적 과학기술을 창출할 주요 요소들에 대해 소개하고자 한다. 먼저 본고에서는 4차 산업혁명이 무엇이고, 어떤 파급력을 가지고 있는지 전반적인 개황에 대해 살펴보고자 한다.

II. 제4차 산업혁명에 대한 논란

1. 산업혁명 차수에 관한 논란

우선 본고에서 다루는 주제인 4차 산업혁명에서 4차는 어떤 유래를 가지고 있는가를 고찰해 보기로 하자.

4차 산업혁명에 대해서는 아직 오지 않았다는 시각과 이미 우리 앞에 와 있다는 상반된 시각이 존재한다. 전자의 시각은 주로 역사학자 진영, 후자의 시각은 산업과 기술을 전공하는 전문가들이 주도하고 있다. 1차, 2차, 3차 같은 산업혁명의 차수는 어떻게 붙게 된 것일까?

‘산업혁명’이라는 용어는 아놀드 토인비가 1884년에 쓴 책인 ‘영국 산업혁명 강의’에 처음으로 등장하였고, 이후 교과서에 수록되어 널리 사용되기 시작하였다. 토인비에 의하면 산업혁명은 영국이 주도하여 석탄이란 화석에너지를 이용해서 증기기관과 같은 기계동력을 발명함으로써 기존 가내수공업 중심의 생산체계에 획기적 전환을 가져왔다. 하지만 이 혁명이 어느 단기간에 급격한 변화가 있었던 것은 아니며 1760년경부터 1830년경까지 서서히 지속적으로 진행되었고, 영국 국민경제 전체로 보면 그 시기에 급격한 자본주의화가 일어났다고 기술하였다. 이후 석탄 대신 석유와 전기가 주된 에너지원으로 사용되면서 새로운 산업혁명(2차 산업혁명)이 일어났다. 이 2차 산업혁명은 전기도구, 전화, 무선통신으로부터 내연기관, 자동차의 대량생산방식까지 개발된, 대략 1870년경부터 1900년경까지 진행되었다.

1차와 2차 산업혁명은 시작과 끝을 제시할 수 있는 역사적 개념으로 대부분의 역사학자들도 동의하고 있다. 하지만 다수의 역사가들이 인정할만한 3차 이후의 산업혁명에 대해서는

아직 미정이라는 것이 역사학자들의 주장이다. ‘3’이라는 숫자에 기득권이 있다고 볼 수 있는 인물이 앨빈 토플러이다. 그는 1980년에 발간된 명저인 ‘제3의 물결’을 통해 산업화시대를 뛰어넘는, 정보화시대로 불리는 시대가 도래했다며 전 세계 지식인들의 미래 논쟁을 정리하였다. 많은 사람들이 동조하는 디지털혁신으로 정의할 수 있는 3차 산업혁명이 40여년 전부터 진행되어 왔는데 이 혁명이 현 시점에서 끝난 것인지 아직도 계속 진행되고 있는지가 3차, 4차 논쟁의 관건이다.

미국의 경제학자 로버트 고든[2, 3]은 생산성과 개인소득을 분석하여 인류 역사상 세 번의 산업혁명이 있었다고 정리하고, 각각의 산업혁명은 사회의 생산성을 획기적으로 높이는 기술혁신에 따라 일어났다고 설명하고 있다. 그는 1차 산업혁명은 증기기관, 철도의 발명과 다양한 적용의 기술혁신에 의해 일어났으며 1750년부터 1830년까지의 기간을 제시하였다. 2차 산업혁명은 전기, 내연기관, 상하수도, 통신, 오락, 석유 등이 주도하였으며 1870년부터 1900년까지의 기간을 제시하였다. 고든은 컴퓨터, 웹(인터넷), 무선전화가 주도한 3차 산업혁명의 경우 1960년부터 현재(2012년 기준)까지 진행되고 있다고 주장하였다.

‘인공지능(AI), 빅 데이터(Big Data), 사물인터넷(IoT)같은 정보통신기술(ICT)에 의한 초융합사회’라는 4차 산업혁명의 핵심정의도 3차 디지털혁명의 연장선 상에 있다는 의견을 무시하기 어렵다. 또한 ‘모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로의 변화’라는 다보스포럼의 4차 산업혁명 개념도 10년 이전부터 이미 전문가들에 의해 논의되어 온 개념이었다.

슈밥[1]은 증기기관의 발명(1차), 전기에 의한 대량생산과 자동화(2차), 컴퓨터에 의한 정보기술과 산업의 결합(3차) 등은 앞서 다룬 세 산업혁명과 거의 비슷하게 정의하였다. 하지만 슈밥은 인공지능 등에 의한 융합의 시대인 4차 산업혁명시대가 이미 도래했다면서 4차 산업혁명이란 용어를 사용하고 있다. 슈밥은 1-3차 산업혁명과 4차 산업혁명의 가장 큰 차이를 생산방식에서 찾고 있다. 1-3차 산업혁명에서는 공장자동화가 미리 입력된 프로그램에 따라 생산설비가 수동적으로 움직이는 것을 의미했다면 4차 산업혁명에서 생산설비는 상황에 따라 능동적으로 작업방식을 결정하게 된다는 것이다. 1, 2, 3차 산업혁명은 그 시대가 열린지 수십년, 길게는 백년 후에 그 시대의 본질이 정의되었다면 슈밥이 제기한 4차 산업혁명은 그 변화가 본격적으로 가시화되기 전에 한 개인과 단체에서 명명되고, 많은 사람들이 급속하게 추종하여 그 용어가 널리 사용되고 있는 것이 이전 혁명들과 다른 점이다.

4차 산업혁명이란 개념은 아직 학문적, 경제적, 사회적으로는 검증되지 않은 용어라고 역사학자나 관련 전문가들로부터

비판을 받고 있다[4]. 하지만 본고에서는 4차라는 차수문제에 대한 여러 비판들에도 불구하고 이미 여러 국가들 또는 개인들이 최근 산업동향의 변화를 보면서 새 시대의 도래를 인식하고 있다고 보고 ‘4차 산업혁명’ 용어를 긍정적으로 받아들여 사용하고자 한다.

2. 인공지능의 미래전망에 관한 논란

요즘에는 약화되기는 했지만 인공지능의 강력함과 급속한 발달로 인해 여러 세계적 석학이나 리더들이 인공지능에 대해 다양한 낙관론과 비판론을 제시하였다. Table I에는 그 낙관론과 비판론을 정리해 나타내었다. 미래학자 레이 커즈와일, 빌 게이츠, 마크 저커버그는 인공지능에 의해 미래의 생산성이 높아지고, 인간에게 시간적 여유가 생긴다면 인간이 창의력을 발휘하여 할 수 있는 것들이 많아질 것이라는 낙관론을 주장하였다. 반면 스티븐 호킹이나 엘론 머스크는 인공지능에 의해 인류가 상당한 위협에 처할 것이라는 비판론을 주장하였다. 이 논쟁은 앞으로도 계속 제기될 것이지만 부정적 요소가 강한 강인공지능은 제어하면서 인간이 제어가능한 약인공지능은 지속적으로 발전시키는 것이 좋겠다는 데는 어느 정도 많은 사람들의 공감대가 형성된 것으로 생각된다. 강인공지능은 인공지능이 더욱 발전할 경우 어느 시점에서 돌연변이처럼 급격한 변화가 일어나서 인간이 통제불가능하게 되고, 스스로 복제를 하는 능력까지 갖게 되는 위험한 인공지능을 의미한다. 반면 약인공지능은 현재 인공지능의 발전의 연장선상에 있으며 인간이 충분히 통제할 수 있어 유용하게 활용할 수 있는 인공지능을 의미한다.

다른 한 편으로 4차 산업혁명에 관한 여러 오해들도 있다. 4차 산업을 국가가 지정하고 집중육성하면 4차 산업혁명에 성공할 수 있다, 4차 산업혁명이 대량실업을 초래할 수도 있다, 4차 산업혁명의 부작용에 대해 대비책을 마련해야 한다는 등이 있으며 그 내용들은 차회에 검토해 보기로 한다.

III. 제4차 산업혁명 개요

1. 정의 및 특징

다보스포럼과 슈밥회장이 4차 산업혁명을 천명하고 난 이후 많은 사람들은 자신들의 편의에 따라 사전인수적으로 4차 산업을 정의하거나 해석한 경향이 있었다. 다음에 4차 산업혁명에 관한 각양각색의 정의를 열거해 보았다.

- 제조업에 디지털과 물리학, 생물학 등이 융합된 기술혁신형 산업혁명
- 인공지능과 초연결기술의 융합에 의한 혁명
- 정보통신기술의 융합으로 이루어지고 초연결, 초지능을 특징으로 하는 산업혁명
- 온라인 정보통신기술이 오프라인 산업현장에 적용되면서 일어난 혁신
- 기존 산업영역에 물리, 생명과학, 인공지능 등을 융합하여 생산에서 관리, 경영에 이르기까지 전반적인 변화를 일으키는 차세대 혁명
- 사물 인터넷에 기반을 둔 모든 사물들이 연결되어 데이터 수집, 분석 및 처리가 고도화하고, 기계 스스로 학습하면서 새로운 가치를 창출하는 혁신활동을 통칭
- 사물 인터넷으로 생산기기와 생산품 상호 소통체계를 구축하고, 전체 생산과정의 최적화를 구축하는 산업혁명 등

본고에서는 제4차 산업혁명을 제시한 슈밥의 정의[1]를 약간 수정 보완하여 ‘모든 기술이 인공지능과 융합하고, 디지털과 물리학 및 생물학 분야가 초연결되어 상호 교류하는 산업혁명’으로 정의하기로 한다.

4차 산업혁명의 큰 특징은 고속화, 스마트화, 서비스화, 친환경화, 플랫폼화 등으로 요약할 수 있다.

첫째로 4차 산업혁명은 1-3차 산업혁명과 달리 선형적 속도가 아닌 기하급수적인 속도로 빠르게 전개되는 고속화라는 특징이 있다. 스마트화는 사물과 사람, 제품과 서비스 등이

Table I. Optimistic and pessimistic views of the future prospect on artificial intelligence.

전 망	인 물	예 측 및 예 상
낙관론	레이 커즈와일 (미래학자)	인공지능이 발달하면 스스로 자신보다 더 똑똑한 인공지능을 만들어 지능이 탁월한 존재가 출현하게 된다. 이러한 특이점은 2030년이면 도래할 것이다. 특이점에 도달하면 우리는 생물학적 한계를 초월하여 창조성을 극대화할 수 있게 된다.
	빌 게이츠 (MS)	인공지능을 이용한 기술혁신으로 상품을 생산하는 소요시간이 줄어들면 우리 사회는 그 시간을 이용해 더 많은 일을 할 수 있는 선택권을 지니게 된다.
	마크 저커버그 (Facebook)	기계화가 진행되더라도 인간이 할 수 있는 일은 존재할 것이다.
비판론	스티븐 호킹 (물리학자)	완전한 인공지능 발달은 인류의 종말을 초래할 수 있다. 빠르면 100년 내에 인류는 인공지능에 의해 끝날 것이다. 기술만능주의의 디스토피아를 막는 대비가 필요하다.
	엘론 머스크 (Tesla)	인공지능을 도입하는 것은 악마를 소환하는 것이나 진배 없다. 인공지능이 핵무기보다 더 위험할 것이다.

파괴적기술과 접목하여 연결되고 지능화되는 것이다. 서비스화는 제품 단위에서 제품 + 서비스로 진화하고, 서비스 중심 비즈니스 모델로 전환 가속화되는 것이다. 친환경화는 온실가스 감축 및 환경 규제가 저탄소, 친환경 신산업을 창출하고, 4차 산업혁명 기술혁신이 친환경화를 가속한다는 것이다. 플랫폼화는 많은 제품들과 서비스를 서로 연결하고 통합하는 매개체로서 플랫폼 경쟁이 본격화된다는 것이다.

4차 산업혁명은 경제, 산업, 사회의 유례없는 패러다임 변화를 유도할 것이며, 결국 사회 전체 시스템의 변화를 수반할 것이라고 생각되고 있다.

2. 4차 산업혁명의 파급효과

1) 경제적 파급효과

4차 산업혁명은 범위를 정하는 것부터 쉽지 않고, 가상 및 사이버영역의 정량화나 예측도 무척 어려우므로 4차 산업혁명의 경제적 파급효과를 추정하기는 용이하지 않다. 따라서 로봇, 드론, 센서 등 단일 하드웨어에 관한 시장예측자료들은 많이 있지만 종합적으로 조사 정리한 자료는 별로 없다.

다음의 Table II에는 맥킨지 글로벌연구소(McKinsey Global Institute)에서 추정한 다섯 주요부문의 경제적 파급효과를 제시하였다. 이 부문들은 4차 산업혁명의 전체 중 80% 이상은 차지할 것으로 생각된다. 이 자료에서는 모바일 인터넷 3.7~10.8조 달러, 지식노동의 자동화 5.2~6.7조 달러, 사물 인터넷 2.7~6.2조 달러, 클라우드 컴퓨팅 1.7~6.2조 달러, 첨단 로봇산업 1.7~4.5조 달러의 파급효과를 제시하였다. 다섯 분야 중 단기적으로 가장 큰 파급효과는 지식노동의 자동화분야이며, 모바일 인터넷, 사물 인터넷, 클라우드 컴퓨팅과 로봇분야의 순이었다. 반면 최대 파급효과를 가져올 수 있는 분야는 모바일 인터넷이 가장 크고, 자동화, 사물 인터넷 및 클라우드 컴퓨팅, 로봇분야의 순이었다. 다섯 부문의 최소 파급효과는 15조 달러, 최대 파급효과는 34.4조 달러로서 막대한 파급효과를 예상하였다. 2015년 전세계의 총생산액이 약 70조 달러로 추정된다고 하는데 상기의 파급효과는 엄청나게 큰 규모라 할 수 있다. 보통 파급효과는 어떤 기술이나 제품이 개발되어 그 자체가 시장이 되는 1차적인 직접적 파급효과와 직접적 파급효과가 확산되어 2, 3차 이후로 파급되는 간접적 파급효과가 있다. 보통 간접적 파급효과가 직접 효과의 수 배가 된다.

Table II. Economic impacts of 4th industrial revolution.

주요 산업 및 기술	최소 파급효과 (조 달러)	최대 파급효과 (조 달러)
모바일 인터넷	3.7	10.8
지식노동 자동화	5.2	6.7
사물 인터넷	2.7	6.2
클라우드 컴퓨팅	1.7	6.2
첨단 로봇산업	1.7	4.5
계	15.0	34.4

2) 일자리 파급효과

2016년 1월 다보스 46차 세계경제포럼(WEF)에서 발표된 ‘일자리 미래(The Future of Jobs)’ 보고서는 전세계적 차원의 미래 일자리에 대해 매우 비관적 전망을 제시함으로써 세계를 놀라게 하였다. Table III에 WEF 보고서의 고용에 관한 핵심 내용을 정리하여 나타내었다[5]. 이 자료는 미국, 일본, 독일 등 15개국 370여명의 경영진을 설문조사한 결과이다. 이 표를 보면 2020년까지 총 710만개의 일자리가 줄고, 200만개의 일자리만 창출되어 총 510만개의 일자리가 감소될 것으로 추정하였다. 사무/행정직이 약 476만개로 일자리의 감소가 가장 많고, 제조/생산 약 161만개, 건설/채굴 약 50만개, 디자인/스포츠/미디어가 약 15만개, 법률 약 11만개 등의 순서로 감소가 심할 것으로 예상하였다. 특히 의사, 회계사, 세무사, 증권 애널리스트 등 현재 고소득 전문직들도 많이 사라지게 되므로 중산층이 위협하다는 경고도 하였다. 일자리가 증가할 분야는 비즈니스/금융분야가 약 49만개로 가장 많고, 경영 약 42만개, 컴퓨터/수학 약 41만개, 건축 엔지니어링 약 34만개, 영업 관리직이 약 30만개 등으로 예상하였다. 이 보고서에서는 2016년 초등학교 입학생의 약 65%는 현재 존재하지 않는 새로운 직업에서 일하게 될 것으로 전망하였다. 이 보고서는 미래의 직업 변화가 심할 것이므로 미래 노동시장을 활성화하기 위해서는 단기적으로 인간관계의 기능 재고, 데이터과학 활용, 인재 다양성 강화, 유연작업 배정 및 온라인 인재 플랫폼 활용이 필요하다고 하였다. 또 장기적으로는 교육 시스템 개선, 평생학습 인센티브 강화, 업종간 공공-민간간 협업을 활성화해야 할 것이라는 제안을 하였다. 맥킨지 연구는 2039년에 신기술로 인해 20억개의 일자리가 없어질 가능성이 있다는 예상을 내놓기도 하였다. 영국 옥스퍼드대학의 오스본 등[6]은 ‘고용의 미래’란 2013년의 보고서에서 인

Table III. Estimation of the enlargement and reduction of employment between 2015~2020 [5]

(단위: 천명)

	사무, 행정	제조, 생산	건설, 채굴	디자인, 스포츠, 미디어	법률	시설, 정비
순고용 감소	4,759	1,609	497	151	109	40
	비즈니스, 금융	경영	컴퓨터, 수학	건축, 엔지니어링	영업, 관리직	교육, 훈련
순고용 증가	492	416	405	339	303	66

Table IV. Ranking of the highly replacement jobs due to the development of artificial intelligence and robotics [7].

대체 확률 높은 직업 순위	1. 콘크리트공 3. 고무/플라스틱제품 조립원 5. 조세행정 사무원 7. 경리사무원 9. 세탁관련 기계조작원	2. 정육원 및 도축업 4. 청원경찰 6. 물품이동장비 조작원 8. 환경미화원/재활용품 수거원 10. 택배원
대체 확률 낮은 직업 순위	1. 화가 및 조각가 3. 작가 및 관련 전문가 5. 애니메이터 및 만화가 7. 가수 및 성악가 9. 공예원	2. 사진작가 및 사진사 4. 지휘자, 작곡가, 연주자 6. 무용가 및 안무가 8. 메이크업 아티스트 및 분장사 10. 예능강사

공지능 등의 기술 발달에 의해 현재 존재하는 직업의 47%가 사라질 위험에 처해 있으며, 사무원, 회계사, 은행원, 기자, 변호사, 의사, 교수 등 중간관리직과 전문직에도 큰 영향을 줄 것으로 보았다.

국내의 경우 정량적으로 일자리 변화를 예측한 자료는 별로 없다. Table IV에는 한국고용정보원이 국내의 400여개 직업들은 분석하여 인공지능과 로봇기술의 발전으로 대체되기 쉬운 직업 10개와 어려운 직업 10개를 제시한 결과를 제시하였다[7]. 국내에서 대체확률이 높은 직업들은 대부분 작업방식이 정해진 단순 노동이나 사무업무를 담당하는 직업이었다. 반면 대체확률이 낮은 직업은 대부분 예술가, 문학가, 연예인과 관련된 직업들이었다.

제4차 산업혁명이 직업에 미칠 변화에 대해서는 다음 회의 기고에서 상세히 다룰 예정이다.

3. 세계적 전자산업 전시회의 최근 대세

4차 산업혁명의 주도기술들이 현재 얼마나 산업에 영향을 미치는가를 인지하는 방법 중 하나는 세계 최고의 기업들이 참가하는 최근의 대형 첨단산업 전시회에서 그 기술들이 주도적 역할을 하고 있는가를 살펴보는 것이다.

세계적으로 가장 다양한 최신의 기술들이 대규모로 각축을 벌이고 있는 첨단산업 전시회로는 국제 전자제품 박람회(CES)와 세계 모바일 박람회(MWC), 국제가전박람회(IFA) 등 3대 IT 박람회를 들 수 있다. Table V에는 2017년 CES 2017

의 가장 중요한 핵심인 4대 트렌드를 정리하여 나타내었다. 이 박람회에서는 다양한 기기들이 ‘연결성(Connectivity)’을 강조하였다. 제품면에서는 자율주행차, 사물 인터넷, 그리고 QLED와 OLED가 기술경쟁하는 TV 등 세 제품들이 핵심 키워드였다. 2~3년 전에 등장한 자율주행, 사물 인터넷에 대한 아이디어들이 이번에 구체적으로 현실화되었다. 반도체기술과 완성차업체의 시현을 통해 자율주행차는 2020년에 레벨 4로 진화될 것으로 예상되었다. 그리고 인공지능과 스마트폰 기반의 IoT 생태계가 구축되었다. 또한 정보기술(IT)의 응용이 TV, PC, 모바일폰으로부터 자율주행차, 드론, 로봇, 가상현실, 웨어러블 등으로 다변화된 것도 큰 특징이었다.

10년 전인 2007년에 애플이 등장시킨 스마트폰(iPhone)으로 촉발된 모바일전쟁은 10년만에 새로운 국면으로 들어가는 듯하다. 최근 스마트폰의 기술개발은 기존 등장기술의 개선이나 확대 수준으로 지지부진하다는 비판이 많다. 그러면서 이제는 스마트폰시대의 종말이 온 것이 아니냐는 우려를 표하는 사람들이 많아졌다. 과거 1990년대 말부터 2005년경에 마이크로 소프트(MS)가 Post PC시대를 겨냥하여 야심차게 개발해서 발표한 Window OS가 소형 정보단말기 시장에서 환영받지 못하다가 2007년 iPhone 등장 이후 모바일시대에 부적용하다는 평을 받고 쇠퇴 일로를 걷는 경험이 있기 때문에 그런 우려가 등장하는 것이다.

2017년 열린 MWC 2017의 주제는 ‘Mobile - The Next Element’, 즉 ‘모바일 다음은 무엇이 주도할 것인가?’이었다.

Table V. Four trends of CES 2017.

1. 로봇(인공지능, 하드웨어)이 드디어 본격화 된다. - 인공지능 지원 (AI Assistant) 보급 확산 - 하드웨어 로봇과 로봇가전 부상 2. 융합현실(Mixed Reality, MR = AR + VR)은 궁극의 컴퓨팅이 된다. - 가상현실(VR)과 증강현실(AR)이 점차 융합되어 가격이 낮아지고 보급확산 - 소셜네트워크(SNS)와도 융합 3. 모빌리티(Mobility)는 넥스트 모바일이다. - 자율주행차 개발경쟁 가속, ‘타도 테슬라’ 기치로 전기차의 개발보급 확산 - 모바일 승합(우버 등) 서비스의 급속한 발전 4. 결국에는 생활 기술(Life Tech.)로 귀결된다. - 스마트홈 보급 확산, 헬스케어 서비스와 사물인터넷(IoT)의 보편화 시작

전년에 열린 MWC 2016년의 주제가 ‘모바일은 모든 것 (Mobile is Everything)’에 비하면 너무 급격한 주제 변화였다. MWC 2017 행사에는 2백여개국 2,200여개 기업들이 참가하였으며 핵심아이템은 5세대 통신과 더불어 사물인터넷, 인공지능, 가상현실, 증강현실이었다. MWC 2017의 전시로 볼 때 포스트 스마트폰시대의 주도 기술은 가상현실(VR) 및 증강현실(AR)과 위 둘을 혼합한 혼합현실(MR)이 차지할 가능성이 높다. 이 기술들 중 현재는 가상현실이 상업화의 선두를 달리고 있으며 삼성전자, Facebook, Google, MS, Sony, 퀄컴, Intel, Nvidia 등이 이 VR시장에 적극적으로 진입하고 있다. 초기 VR의 시장은 머리에 착용하는 디스플레이(HMD)와 게임 S/W가 주류 플랫폼과 콘텐츠가 될 가능성이 높다. 인공지능과 가상현실 S/W의 결합으로 다양한 게임 개발 (Starcraft)이 이루어지고 있으며, 의료계와 산업설계분야에서도 다양한 신제품들을 등장시키고 있다. ABI Research에 의하면 AR과 MR의 시장은 2021년에 약 950억불로 크게 성장할 것으로 전망하고 있다.

4. 국가별 정책동향

2000년대 들어 정보통신기술의 급속한 발전, 반도체 등 전자소자의 지속적 성능 향상, iPhone으로 촉발된 하드웨어 전자기와 소프트웨어의 연결 가속 등 다양한 기술 혁신이 이루어졌다. 또한 2008년 세계금융위기 발생으로 인해 선진국들은 경제 침체가 심해지자 불확실한 경제 상황을 극복하기 위하여 제조업혁신에 관한 국가정책들을 잇달아 수립하고 추진하기 시작하였으며, 우리나라 역시 선진국들을 벤치마킹하여 제조업 혁신정책을 수립, 추진하였다.

Table VI에는 독일, EU, 미국, 일본 등의 선진국들과 우리나라, 중국의 산업혁신정책을 나타내었다[8]. 선진국들 중 독일이 2011년 4월 ‘인더스트리(Industry) 4.0’이란 정책 기치를 내걸고 가장 먼저 첨단산업전략을 수립하고 추진하였다. 독일

은 이전에 이미 공장 자동화를 목표로 하는 스마트 팩토리 (Smart Factory) 정책을 체계적으로 추진해 왔기 때문에 그 정책을 산업 전반으로 확대한 것이었다. 독일의 첨단산업정책이 효과를 내자 일본(2013년), 미국 및 한국(2014년), 중국(2015년)이 정보통신기술(ICT)을 제조업에 융합하는 동일한 철학으로 국가정책을 수립하고 추진하였다. 유럽연합(EU)은 독일의 인더스트리 4.0에 기반을 두고 연합에 속한 국가들의 제조 혁신기술의 개발 정책을 2015년에 수립하여 추진하였다. 우리나라의 경우 2013년에 들어선 지난 정부에서 ‘창조경제’란 구호를 내걸고 시기적으로 늦지 않은 2014년에 정책을 수립하고 첨단산업에 대한 지원을 추진하였다. 그러나 창조경제는 초기부터 실체가 불분명한 상태에서 추진되어 정부 부처들에서 혼선을 야기하였다. 또한 시행주체들에서도 무늬만 입힌 상태에서 많은 사업들을 추진하여 예산의 불합리한 운용이 적지 않았고, 결국 전반적으로 우수한 실적을 창출하거나 효과를 제대로 보지 못하였다.

앞에서 기술한 바처럼 2016년 초 열린 다보스포럼에서 ‘4차 산업혁명’이란 용어를 사용하며 기술, 산업, 직업, 경제, 사회 등 전반에 걸쳐 빠른 변화가 일어나고 있다는 충격적인 발표와 논의들을 하자 각국 정부는 이 트렌드를 감안하여 기존의 산업혁신전략을 수정 보완하거나 새로운 정책을 수립하였다. Table VII에는 미국, 독일, 일본, 중국 등 4개국의 4차 산업혁명에 대응하는 정책들을 나타내었다[9]. 이 국가들의 민간과 정부 역할, 거버넌스를 보면 미국은 정부지원 하에 민간 민간컨소시엄을 만들어 민간 주도로 정책을 추진하고 있는 반면 중국은 국무원과 같은 정부기관의 주도 하에 민관이 실행하고 있다. 독일과 일본은 정부, 기업, 학계가 민관회의를 만들어서 국가정책을 공동 주도하고 공동실행하고 있다. 4차 산업혁명에 관한 국가 정책의 특징은 국가마다 처한 상황에 따라 다르며, 미국은 기술과 자금을 보유한 기업이 자율적으로 다양한 사업들을 만들어 추진하고 있고, 독일은 제

Table VI. Innovation policies of advanced industries in major countries [8].

국 가	발표연도	정책명	주요 내용
한 국	2014	제조업 혁신 3.0	- 제조업에 ICT를 융합한 신제조업 창출 - 2020년까지 중소기업 1만개 스마트공장 시스템 보급
독 일	2011	인더스트리 4.0	- 기계 및 장비를 초연결 네트워크로 연결 - 기계, 사람, 인터넷서비스가 상호 최적화된 스마트공장 구현
E U	2015	미래공장 프로젝트	- 독일 인더스트리 4.0에 기반을 둔 제조혁신 기술 개발
미 국	2014	메이킹 인 아메리카	- 제조업 발전 국가협의회 AMP 발족 - 디지털 디자인, 3D 프린팅, 첨단 제조업 추진을 위한 국가전략계획 수립
일 본	2013 2015	세계 최첨단 IT국가 창조 선언 일본 재흥전략	- 3D 프린팅, 신세대 환경보호 자동차, 로봇산업 강조 - 신산업구조부회 및 각종 협의회 설치, ICT 주요 기술 변혁 대응
중 국	2015	중국 제조 2025 인터넷 플러스	- ICT 및 첨단기술을 융합한 신제조업 창출 - 2025년까지 신경제 생태계 조성, 2050년까지 제조업 세계 1위 도약

Table VII. Comparison of the national policies on the 4th industrial revolution [9].

구분	미국	독일	일본	중국
민간과 정부 역할	민간주도, 정부지원 민간 컨소시움	민간 주도 → 민관 공동	민·관의 공동주도, 공동 실행	정부 주도, 민간 실행
거버넌스	민·관 파트너십	정부·기업·학계	민관회의 (정부·기업·학계)	국무원, 공업신식화부
핵심전략	AMP 2.0 (2013.9)	Industry 4.0 (2011.4)	4차산업혁명 선도 전략 (2016.4)	중국제조 2025 (2015.5) 인터넷플러스 (2015.7)
특징	기술, 자금을 보유한 기업 주도	제조업과 ICT의 융합	기술, 인재 육성	제조업 발전을 통한 경쟁 력제고
한계	- 제조업 중심 - 일자리, 소득분배 등 다양한 영향에 대한 종합적 대응	- 국제표준화 선도 - 프라운호퍼연구소 - 제조업중심에서 경제 전반으로 기술발전의 시너지제고 필요대응	- 금융, 고용, 지역 - 경제등 종합대응 - 사회구조적과제 해결근란, 정부 지원 지속의 한계	- 규모의 경제가 가능한 내수시장 - 빈곤, 지역격차, 노령화 동시대응 복잡한 상황

조업과 ICT의 융합에 방점이 찍혀 있다.

일본은 20년 이상의 장기 불황에서 벗어나기 위한 전략으로 아시아국가들 중 자국산업의 중심을 4차 산업으로 선택, 가장 신속하게 무게중심을 이동하고 있다. 전통적으로 로봇강국인 일본의 4차산업 대응은 2013년부터 진행되었으며 로봇이라는 트렌드에 부응하여 저출산, 고령화로 인한 생산노동력 감소 등 사회문제 극복방안으로 로봇 활용전략을 구사하고 있다. 또 일본정부 차원에서 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 등을 활용한 새로운 제조시스템 도입을 골자로 '과학기술 이노베이션 종합전략'도 수립하였다. 2016년 4월에는 4차산업을 통해 국가 경제 및 사회 전반을 변화시키는 '4차 산업혁신 선도전략'도 수립하였다.

중국은 2014년 총리가 '대중창업 만인혁신'이란 기치를 내걸고 국가적으로 창업열풍을 일으킨 후 지금은 4차 산업혁명 분야에서 가장 핵심적인 생태계를 갖춘 국가로 부상하였다. 4차산업의 핵심분야인 드론분야의 경우 중국이 세계 점유율에서 압도적으로 앞서고 있다. 중국정부는 드론과 관련하여 '선 허용, 후 보완'의 네거티브규제를 적용하는 등 기술수용적인 정책방향을 유지하며 민간 상업화를 선도하고 있다. 2015년에 수립된 중국의 인터넷 플러스전략도 순조롭게 진행되고 있다. 중국정부는 2018년까지 인터넷, ICT와 경제 사회 각 분야의 융합을 달성한다는 목표로 하고 있다. 이 목표 달성을 위해 인프라 구축, 혁신 촉진, 규제 완화, 국제협력, 인재 육성 등 다방면에서 적극적으로 정책지원 확대에 나서고 있다.

우리나라의 경우 과거 ICT에 대한 인프라 구축 및 단위기술들을 비교적 잘 개발해서 기술경쟁력을 확보한 분야가 적지 않기 때문에 4차산업에 대한 기본적인 토대는 양호한 편이다. 하지만 정부의 제대로 된 국가정책 부재, 융합산업 배양을 가로막고 있는 많은 제도와 규제로 인하여 갈수록 국제경쟁에서 뒤처지고 있다. 예를 들어 2013년 우리나라는 의사와 환자간 원격진료 허용을 골자로 한 의료법 개정안이 입법

예고 되었지만 국회에서 안전성과 개인정보 보호의 어려움을 이유로 폐기된 바 있다. 또한 인터넷을 연결하여 온/오프라인을 결합한 신규 서비스상품도 우리나라에서 먼저 기술 개발했지만 규제로 인해 산업화에 실패하였다. 우리나라에는 4차산업의 핵심기술들을 단위기술 차원에서는 이미 다수 보유하고 있고, 이 기술들을 응용하는 세계적인 전자통신 기업들도 이미 존재하고 있다. 따라서 앞으로 우리나라 정부가 4차산업에 관한 현명하고 효과적인 정책을 수립하고, 민관 공동의 협력체계를 구축하고, 융합기술 속성에 적합한 과제들을 선정해 인재들을 집결하여 집중 추진한다면 아직도 불확실성이 높은 4차 산업혁명의 주도기술들을 세계적으로 선도할 수 있는 기회가 있다고 생각된다.

5. 4차 산업혁명 기반기술의 국가경쟁력

다음의 Table VIII에는 3개 과학기술관련 평가기관들이 분석한 4차 산업혁명 기반기술의 경쟁력을 분석한 결과를 나타내었다. 미국을 100으로 보았을 때 한국의 기반기술 평균은 79.6에 불과하였으며, 유럽연합은 91.4, 일본은 85.7, 중국은

Table VIII. National competitiveness on the key technologies of 4th industrial revolution [10].

기반기술	한국	EU	일본	중국
빅데이터	77.9	88.9	87.7	66.4
인공지능	70.5	86.8	81.9	66.1
사물인터넷	80.9	85.6	82.9	70.6
가상현실	83.3	94.8	91.7	73.3
유전자치료	79.0	91.0	89.7	72.8
스마트그리드	90.3	94.6	93.5	70.7
3D 프린팅	73.1	88.0	85.1	72.0
스마트 카	78.8	98.9	95.3	58.4
20개 기술 평균	79.6	91.4	85.7	69.4

*미국을 100으로 보았을 때 상대적 기술수준.

*국가별 평균은 20개 기반기술 기준.

69.4의 순서로 나타났다. 부문별로 살펴보면 한국의 빅데이터 기술수준은 77.9로서 중국보다는 높지만 유럽연합(88.9), 일본(87.7)보다는 매우 낮다. 이미 다양한 산업에 빅데이터가 접목되어 새로운 제품들과 서비스가 출시되는 상황인데 한국은 주요 국가들에 비해 빅데이터의 경쟁력이 크게 떨어져 있다는 의미이다. 4차 산업혁명의 핵심이라는 인공지능(AI)기술의 경우 한국은 70.5로서 100인 미국은 물론 각각 86.8, 81.9인 유럽연합과 일본에 비해 10 이상 뒤지고 있으며, 오히려 66.1인 중국과 비슷한 수준에 불과하다. 이 표에는 상세자료를 제시하지 않았지만 생물 의약품(70.7), 나노센서(소자)(76.5), 바이오 인공장기(75.5)도 미흡하였다. 반면 중국의 기술추격은 갈수록 거세지고 있다. 3차원(3D) 프린팅기술은 한국이 73.1로서 중국(72.0)과 별 차이가 없고, 유전자치료도 큰 차이가 나지 않는다. 중국이 최근 4차산업 등 미래기술들에 대규모 전략투자를 하고 있다는 사실을 감안한다면 몇 년 안에 한국의 기술수준이 중국에 따라잡힐 가능성이 있으므로 앞으로 분발할 필요가 있다.

다음에는 다른 측면에서 국가별로 4차 산업혁명의 적응력을 비교해 보기로 한다. Table IX에는 스위스 금융그룹 UBS가 139개국을 대상으로 조사한 국가별 4차 산업혁명의 적응력 순위를 나타내었다. 이 표를 보면 상위권은 국가 규모가 비교적 작은 국가들이 차지하고 있다. 우리나라는 미국(5위), 일본(12위), 독일(13위) 등 선진국은 물론 대만(16위), 말레이

Table IX. Ranking of the adaptation capabilities of the 4th industrial revolution in major countries.

종합순위	기술 숙련도	교육 시스템	노동시장 유연성
1 (스위스)	4	1	1
2 (싱가포르)	1	9	2
3 (네델란드)	3	8	17
4 (핀란드)	2	2	26
5 (미국)	6	4	4
25 (한국)	23	19	83

시아(22위), 체코(24위)보다 낮은 수준이다. 이런 비교가 국내 경제전문가들이 경제, 산업정책의 기본방향으로 ‘4차 산업혁명 대응’을 중요하게 주장하는 배경이다. 4차 산업혁명의 핵심기술인 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 등의 우리나라 기술수준은 주요 선진국들에 비해 2년 정도 격차를 보이고 있다는 것이 일반적인 분석이다.

우리나라의 문제점으로는 핵심 부품 및 장비의 수입의존, 각종 규제와 수익모델의 부재, 미흡한 민간 역동성, 핵심인력 부족 등을 들고 있다[11]. 스마트공장 확산 노력이 경주되고 있지만 핵심 센서, 소프트웨어 등 부품들과 시스템 장비는 외국산에 의존하고 있다. 빅데이터 활용 사업화는 각종 규제와 수익모델 부재로 용이하지 않은 상태이다. 우리나라 기업의 연구개발투자는 양적으로는 세계 5위권이지만 일부 기업과 특정 분야에만 집중되고 미래투자는 아직 미흡하다. 상위 5

Table X. Forecast of the innovative tipping points in the future technologies [12].

예상연도	기술 및 현상
2018	인구의 90%가 무한 용량의 무료저장소를 보유한다
2021	미국 최초의 로봇악사가 등장한다
2022	1조개의 센서가 인터넷에 연결된다 인구의 10%가 인터넷에 연결된 의류를 입는다 3D프린터로 제작한 자동차가 최초로 생산된다
2023	최초로 상업화된 인체삽입형 모바일폰이 등장한다 인구조사를 위해 빅데이터를 활용하는 최초의 정부가 등장한다 10%의 인구가 인터넷이 연결된 안경을 쓴다 인구의 80%가 페이스북 등에서 디지털 정체성을 갖게 된다 블록체인을 통해 세금을 징수하는 최초의 정부가 등장한다
2024	인구의 90%가 언제 어디서나 인터넷접속이 가능하다 3D 프린터로 제작된 간이 최초로 이식된다 인터넷 트래픽 50% 이상이 가정용기기에 몰리게 된다
2025	소비자 제품 가운데 5%는 3D 프린터로 제작된다 인공지능이 기업회계 감사의 30%를 수행한다 자가용보다 공유차로 여행하는 수가 많아진다
2026	미국도도를 달리는 차들 가운데 10%가 자율주행자동차다 기업 이사회에 인공지능기계가 최초로 등장한다 신호등 하나 없는 인구 5만명의 도시가 탄생한다
2027	전 세계 GDP의 10%가 블록체인기술에 저장된다

*티핑포인트: 어떤 현상이 폭발적으로 일어나 확산되는 시점.

개사가 전체 투자의 70% 이상을 차지하고 있다. 업종도 전기 전자, 자동차에 편중되어 있지만 이들 업종의 미래경쟁력조차도 선진국에 비해 확실한 우위를 점하지 못하고 있다. 개념 설계, 소프트웨어 개발분야에서 창의적이고 도전적인 핵심 인력도 부족한데 교육시스템이 시장수요를 따라가지 못하기 때문이다. 우리나라는 대미와 대중 통상환경이 한동안 악화일로에 있었고, 내부의 정치상황도 만만치 않은 내우외환의 형국이라서 기업이 마음 놓고 투자할 수 있는 환경 자체가 되지 않는 문제도 있었다. 이제는 이러한 문제들이 서서히 풀려가는 여건에 있으므로 민관이 협력하여 4차 산업혁명에 대한 핵심 과제들을 수행해야 할 것이다.

2015년 9월에 출간된 세계경제포럼 보고서[12]는 과학기술이 이끌어 낸 변화가 주류사회를 강타해서 미래의 디지털 초연결사회를 구축하는 21가지 티핑 포인트를 제시하고 있다. 티핑포인트는 어떤 현상이 폭발적으로 일어나 확산되는 시점을 의미한다. Table X에는 2027년까지 예상되는 미래기술 및 현상의 혁신적인 티핑 포인트 들을 나타내었다. 이 표를 보면 지금까지 4차 산업혁명의 핵심기술로 언급하였던 인터넷 연결 기기, 사물인터넷, 로봇, 웨어러블 기기, 3D 프린터로 제작한 자동차 및 인공지능, 빅데이터 활용 정부, 인체 삽입형 모바일폰, 자율주행 자동차, 인공지능 휴머노이드기계 등이 향후 10년 내에 구체적인 형태로 등장하게 될 것이라는 시사를 준다. 또한 상기의 하드웨어제품들 뿐만 아니라 4차 산업혁명이 초래할 새로운 경제시스템에서 핵심적 역할을 할 것으로 예상되는 블록체인과 공유경제도 10년 이내에 구체적인

분야에 등장하게 될 것임을 볼 수 있다. 이 표로부터 우리는 4차 산업혁명이 기술만이 아닌 경제 사회 전반에 걸쳐 큰 파급을 가져올 것이라는 것을 유추할 수 있다.

IV. 자기학이 산업혁명에 미친 영향

1차 산업혁명 이전에 자기기술은 인류의 역사에 매우 중요한 역할을 하였는데 그 핵심에 나침반이 있다. 중국 송나라의 심팔(1031~1095년)은 명주실에 자침을 달아매어 물 위에 띄워 지구의 남북극을 가리키는 기구를 고안하였는데 원의 방향을 24방위로 분할하였다. 심팔 이후에 중국에서 항해용 나침반을 고안하여 항해에 사용하였다고 한다. 중국 명나라 때 백여 척의 대선단을 이끌고 동남아시아, 인도를 거쳐 아프리카까지 항해를 하였다는 정화가 나침반을 사용했을 것이라 설도 있다. 이후 중세기에 지중해를 주름잡았던 아랍선원들이 자침을 항해에 사용하는 기술을 유럽에 전달하였다고 하며, 콜럼버스의 항해를 비롯한 유럽의 대항해시대에 전세계에 보급되었을 것으로 추정된다.

Table XI에는 3차 산업혁명까지 자기학 및 기술이 주요 핵심제품에 미친 영향을 간단히 정리하였다. 자기학은 19세기 초부터 Oersted(1819), Ampere(1822), Faraday(1831) 등의 우수한 과학자들에 의해 급속하게 발전하기 시작하였으므로 18세기 후반에 전개된 1차 산업혁명과는 별로 연관이 없었다. 19세기 후반에 에디슨이 발명한 전구를 시작으로 다양한 전기용품제품들이 등장하자 전기를 생성, 보급하기 위한 발전기,

Table XI. Impact of the magnetics on the industrial revolutions.

혁명 차수	자기학 및 자기기술의 영향
1차	별로 없었음
2차	2차 산업혁명의 주도적 역할(전기의 생성 및 변화) - 자기학: Faraday 및 Fleming 법칙(전기-자기 변환) - 전기: 발전기(직류 및 교류 발전기, 연철 및 자석 사용) 모터(직류 및 교류모터, 연철 및 자석 사용) 변압기(연철) - 전화: 자석 및 연철 진동판 - 녹음기: 연철 코일 및 판재
3차	3차 산업혁명의 가교역할(디지털정보의 처리, 저장, 표시) - 컴퓨터: 메인프레임의 정보처리(페라이트코어 메모리) 정보저장(자기드럼, 자기테이프, HDD, FDD, 자기헤드) - 모니터(CRT형): 자석, 새도우마스크, 자기쉴드 - PC: Apple PC의 기술핵심(FDD 등)
4차	4차 산업혁명의 하드웨어 기반 - 자율주행 자동차: 다양한 자석(모터, 발전기, 액츄에이터) - 드론: 프로펠러 구동모터, 위치제어 센서 - 3D, 4D 프린터: 자성입자 등 - 인공지능 컴퓨터: Spintronics 전자칩 - 로봇: 액츄에이터 - IoT: 다양한 자기센서

송전 및 변전기구 등과 동력 변환을 위한 모터 등이 속속 개발되었으며 이 때 자기부품재료들이 많이 사용되었다. 현재 인류가 주로 사용하는 교류전기시스템은 직류시스템을 주장한 에디슨에 맞서서 핵심기술들을 개발한 테슬라(Tesla)의 공이 결정적이었다. 전구 발명과 비슷한 시기에 벨이 고안한 자석식 전화는 나중에 마르코니가 발명한 무선통신기와 더불어 인류의 통신기술 발전의 선구적 역할을 하였는데 그 전화의 자석과 진동판에는 자성재료가 사용되었다.

자기학 및 자기기술이 과거 산업혁명들에 끼친 영향과 4차 산업혁명의 핵심제품들에 응용될 가능성이 높은 자기기술들에 대한 상세한 논의는 차회에 하기로 한다.

References

- [1] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Cologne (2016) pp. 24.
- [2] R. J. Gordon, Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds, CEPR Policy Insight No. 63 (2012).
- [3] R. J. Gordon, The Rise and Fall of American Growth, Princeton University Press (2016).
- [4] D. H. Kim, Global Economy, Apr. 27 (2017).
- [5] The Future of Jobs, Report of World Economy Forum (2016).
- [6] M. A. Osborne and C. B. Frey, The Future of Employment - How Susceptible are Jobs to Computerisation?, Oxford University (2013).
- [7] Report of Korea Employment Information Service, Mar. (2017).
- [8] Seoul Economy Daily, Mar. 22 (2017).
- [9] Aju Economy News, Dec. 2 (2016).
- [10] Korea Economic Daily, Dec. 21 (2016).
- [11] Electronic Times, Mar. 22 (2017).
- [12] World Economic Forum, Deep Shift, Survey Report, Sept. (2015).