

4차 산업혁명과 지구환경 (세계경제포럼 논의사항 중심)

4차 산업혁명과 지구환경 (세계경제포럼 논의사항 중심)

1. 개요

- 4차 산업혁명은 가상물리시스템(CPS, Cyber Physical System)을 통해 인간과 컴퓨터가 통합되는 스마트 팩토리의 개념 하에 개인 맞춤형 제품이 전체 가치사슬을 관리통제하는 새로운 차원의 변화
- 최근 4차 산업혁명을 주도하는 과학, 데이터, 기술혁신 환경 및 자원관리 개선에 대한 관심이 커지고 있으나 과학기술의 급속한 발전이 생태계에 의도치 않은 부정적인 영향을 초래할 수 있다는 점을 간과해서는 안됨
- 4차 산업혁명이 지속가능한 산업혁명이 되기 위해서는 의도치 않은 결과는 줄이고, 사회와 자연이 혁명의 혜택을 누릴 수 있도록 하는 환경 조성이 필요
- 이와 관련하여 정부, 시민단체, 산업계는 이에 대한 원칙을 수립하는 주체임
 - 스마트 세이프가드, 프로토콜, 정책, 감독 및 보상 메카니즘의 마련에 있어 정부의 역할이 중요
 - 과학기술 활용 방법을 공동 개발하기 위해 이해관계자간 네트워크 확장 및 소통이 필요
 - 환경경영(Environmental Management), 과학기술 혁신 및 확산, 4차 산업혁명 기술 실행 등이 상호 작용할 수 있도록 정책을 마련
- 환경부문에서 4차 산업혁명 기술을 확산하기 위한 논의도 필요
 - 4차 산업혁명 기술을 활용하여 지구환경 시스템을 보다 효율적으로 관리할 수 있게 제도를 개선
 - 환경분문의 원칙 및 프로토콜 개발을 통해 신기술의 리스크를 최소화하고 기회를 극대화

2. 4차 산업혁명과 지구환경의 주요내용

가. 4차 산업혁명의 개요

- 4차 산업혁명은 가상물리시스템(CPS)을 통해 인간과 컴퓨터가 통합되는 스마트 팩토리의 개념 하에 개인 맞춤형 제품이 전체 가치사슬을 관리·통제하는 새로운 차원의 변화임
 - 사람과 기술 간 연결의 디지털화가 4차 산업혁명의 핵심요소
- 4차 산업혁명은 제조의 신속성과 효율성이 핵심 목표
 - 4차 산업혁명에서 사용된 주요 기술은 가상물리시스템(CPS)으로, 4차 산업혁명의 핵심사용기술(Key Enabling Technology, KET)이며 단계별 기능을 수행
 - (1단계) 스마트 연결: 인텔리전트 센서로 실시간 데이터 관리 및 수집, 특정 통신 프로토콜로 데이터를 전송
 - (2단계) 데이터-정보 변환: 데이터 집계 및 가치있는 정보로 변환
 - (3단계) 디지털 트윈: 디지털 현실에서 실시간으로 표현하는 능력
 - (4단계) 인지: 다양한 시나리오를 통한 의사 결정을 지원
 - (5단계) 구성: 가상현실에서 실제 상황에 피드백 함으로써 개선점 도출
- 4차 산업혁명은 다음 세 가지의 기본적인 특징을 보유
 - 디지털화와 가치사슬의 수직적·수평적 통합 (Digitization and increased integration of vertical and horizontal value chains): 맞춤 제품 개발, 고객의 디지털 주문, 자동 데이터 전송 및 통합 고객 서비스 시스템
 - 제품 및 서비스 제공의 디지털화 (Digitization of product and service offerings): 지능형 네트워크를 통해 제품 및 관련 서비스를 설명
 - 혁신적인 디지털 비즈니스 모델 도입 (Introduction of innovative digital business models): 인터넷 기반의 통합된 디지털 솔루션 개발로 실시간 가용성 제고 및 전사적 시스템 제어 구현
- 4차 산업혁명 기술로 인해 구현되는 최근의 산업혁명은 스토리지 및 생산 시스템을 지능형 네트워크에 통합하여 실제 및 가상을 병합하는 것이 특징
 - CPS는 IT시스템과 온라인 네트워크에 기계 및 전자장비를 통합하여 상호 통신을 가능하게 함

- 이들 혁신적인 기술을 통한 스마트 팩토리는 맞춤형 제품 생산, 유연성 및 효율성 높은 제조를 가능하게 함

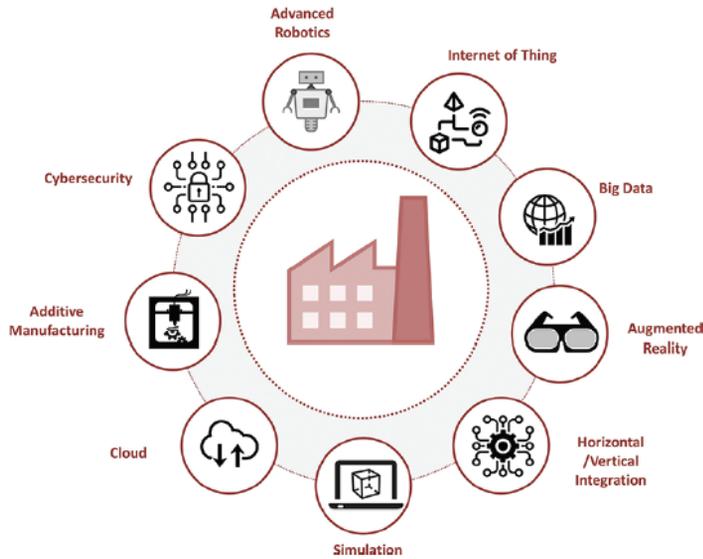


Figure 6. Enabling technologies for Industry 4.0.

자료: Antonella Petrillo, Fabio De Felice, Raffaele Cioffi and Federico Zomparelli, "Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities" (2018)

〈그림 3-1〉 4차 산업혁명의 진화 및 주요 기술

- 4차 산업혁명의 다섯 가지 패러다임
 - 효율성 (Efficiency) : 원자재 및 에너지 절감
 - 생산성 (Productivity) : 생산적인 지능형 기술
 - 유연성 (Flexibility) : 가상물리시스템의 사용
 - 수요에 따른 개별화 (Individualization on Demand) : 네트워크를 통한 고객 통합
 - 분권화 (Decentralization) : 빠른 데이터 중심의 의사 결정

■ 2014년 PwC의 조사에 의하면 향후 5년 이내 기업의 80% 이상이 디지털화한 가치사슬 구현의 필요성을 인식하고 있는 반면 선진국과 개도국은 4차 산업혁명 구현에 있어 각자의 문제를 노정

- 선진국
 - 기업이 비즈니스를 강화하기 위해 실험 및 학습이 필요
 - 데이터 양의 기하급수적인 확대에 의한 데이터 폭발 현상 발생

- 가상물리시스템 운영을 위한 인력 확충 필요

- 개도국

- 사업자 대상 디지털 작업 관련 특정 기술 교육이 필요
- 현재 업계를 선도할 4차 산업혁명 구현 회사가 전무
- 국가 또는 지역 차원의 시스템 운영 계획 수립을 위한 자금 지원 필요

나. 4차 산업혁명과 환경

- 4차 산업혁명에서는 환경경영 방법, 자연과 인간과 경제의 상호 작용(도시, 수송 및 에너지 네트워크, 시스템, 금융 시장 및 농업 및 산업 가치사슬 등) 등에서 재정비가 가능

- 운송(Transport)

- 첨단소재(Advanced Materials): 배터리의 설계 및 혁신을 통해 경제적이며, 급속 충전이 가능한 배터리 생산이 가능
- 전기자동차 시장: 2025년까지 하루 약 2백만 배럴의 석유수요를 감소시킬 것으로 예상되며, 2040년에는 1,600만 대까지 증가 예상
 - 전통적인 자동차 업체의 일차적인 경쟁자는 기술보유 업체이며, 특히 이동 서비스(자율주행 등) 소프트웨어에서의 경쟁이 치열

- 연결된 제품 및 서비스 (Through connected products and services)

- 카풀링 등 자동차 공유, 도로 재설계, 최적의 물류 배송, 자율주행, 전기 자동차 설계 공개 등을 통해 오염 감축 가능
 - ※ IoT 기술로 무장한 중국의 승용차 회사인 Didi는 중국의 400개 도시에서 1,750만 명의 운전자가 접속하며 매일 약 2백만 명이 카풀링 중
- 카풀링을 통해 매일 약 1백만 대의 차량 운행 중단으로 2016년에는 에어컨 냉매인 HFC 사용감소와 함께 약 140만 톤의 온실가스 감축이 가능

- 제품의 추적(Product Traceability)

- Global Forest Watch, Global Fishing Watch 및 Eyes on the Sea 등 공간 데이터 모니터링 플랫폼은 스마트 데이터 보유자가 대용량 데이터 분석과 고급 센서 및 위성 이미지를 활용하여 중요한 환경 이슈에 활동을 추적하고 모니터링 함
 - 불법 어업이나 벌목이 발생할 가능성이 있는 곳을 예측
 - 데이터 제공 업체와 데이터 프로세싱 업체 간의 협력을 통해 효과적인 환경경영을 추진하

는데 기여하는 방법을 모색 중

● 블록체인 (Blockchain)

- 블록체인은 누구나 열람할 수 있는 장부에 거래 내역을 투명하게 기록하고, 여러 대의 컴퓨터에 이를 복제해 저장하는 분산형 데이터 저장기술로 여러 대의 컴퓨터가 기록을 검증함으로써 해킹을 막음
 - 스웨덴 정부는 토지대장 관리 분야에 있어 블록체인의 가능성을 탐구 중이며, 기업에서는 가나, 그루지야, 온두라스에서 유사한 적용 비즈니스를 모색 중
 - 2030년까지 블록체인이 모바일 탄소거래에 적용될 것으로 예상
- ※ 탄소감축을 전 지구적으로 할당하기 위한 알고리즘으로서 사용될 뿐만 아니라 물과 산림 관리에도 사용할 수 있음

● 온실가스 배출 모니터링 (Monitoring greenhouse gas emissions)

- 스마트 알고리즘, AI 탑재 인공위성, 무인 항공기 및 첨단 센서의 급속한 발전은 온실가스 배출량을 실시간으로 제공하고, 클라우드를 통해 다양한 이해관계자에게 전달할 수 있음
- 온실가스 배출량의 모니터링, 보고 및 검증(MRV)의 투명성 향상이 가능
- 온실가스 배출량의 위성 및 무인 항공기를 활용한 실시간 모니터링이 가능하며 이와 관련한 정보는 블록체인을 통해 공개 가능

■ 반면, 4차 산업혁명은 환경경영에 있어서 적절한 거버넌스 시스템을 지원하지 않을 경우 리스크 내재

〈사례〉 불법어업 및 생산성 증대를 위해 구축한 해양조건과 어류에 관한 정보

- 합법적으로 어패류에 대한 제품의 투명성과 추적 능력을 향상시켜 연간 230억 달러에 이르는 불법 어업을 막는 새로운 도구로 부상
- 그러나 만약에 이 데이터를 호스팅한 국제기관이 해킹될 경우 오히려 감시를 피해 불법 어업을 하는데 악용됨으로써 보다 집중적이고 지능적인 불법 어업이 가능
- 또한 기술에 정통한 밀렵꾼들이 보호 종의 위치와 서식지에 관한 새로운 자료를 악용할 수 있음
 - 일부 밀렵꾼들은 멸종 위기동물을 찾기 위해 관광객이 소셜 미디어에 게시한 지리적 태그(Tag)를 정보로 활용하기도 함

■ 환경관리 및 개선 등에 유용한 4차 산업 기술들

- 세계경제포럼(WEF)에서는 환경부문에 유망한 4차 산업혁명 기술 14가지를 제시
 - 3D 프린팅, 첨단재료(나노재료 포함), 인공지능, 로봇공학, 드론 및 자율주행 차량, 생명공학,

생체공학, 에너지 포집·저장·전송, 블록체인, 지질공학, 사물인터넷, 신경기술, 신 컴퓨팅 기술, 첨단 센서 플랫폼 (인공위성 포함), 가상·증강현실²⁾

■ 4차 산업혁명 기술과 기후변화 그리고 아프리카

- 아프리카 국가의 경우 기후감시를 위해 무인 항공기 기술의 활용이 요구되나 아직은 미적용
 - 선진국에서는 무인 항공기를 재난은 물론 자원의 불법 채굴을 감시하거나, 또는 방송 메시지를 공유하며 기상 데이터를 수집하고 전송하는 실시간 메카니즘을 가동 중
 - 세네갈은 무인 항공기 도입이 탐사의 효율성을 개선하고, 이를 통해 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 가능성을 실증
- 아프리카에는 휴대폰과 드론을 활용한 기상관측 및 예측 관련 비즈니스 기회가 있음
 - 날씨와 기후 모니터링에 있어 모바일 앱과 드론의 사용은 궁극적으로 농업과 항공 산업에 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상
- 따라서 날씨 및 기후 모니터링 관련 기술의 채택은 아프리카의 기후변화 적응에 크게 기여할 것으로 전망
 - ※ '아젠다 2063'³⁾에서 아프리카는 기후변화적응에 우선 순위를 두고 있음

〈표 3-1〉 4차 산업혁명 기술의 의도치 않은 부정적 결과와 정책 역할

| 신기술 | 의도치 않은 결과의 예 | 공공 정책의 역할 |
|---------|---|---|
| 인공 지능 | <ul style="list-style-type: none"> · 자동화로 인한 서비스 및 기타 분야의 일자리 감소로 사회의 불평등 증가 · 오프라인 매장 운영에 기반을 둔 현 현재의 과세기준 · 재화 및 서비스 가격을 낮추는 기술의 확산 · 알고리즘 교육에 사용된 편향된 데이터가 윤리적 문제를 발생(예: 자율주행차량 사고에 따른 배상책임 등) · 이전에는 생각지도 못했던 새로운 윤리적 딜레마 발생 · 선의로 개발된 AI 알고리즘의 오용(예: 자율무기) | <ul style="list-style-type: none"> · 자동화로 인한 실직의 위험이 큰 사람들을 대상으로 적극적 재교육을 통해 고용 보장을 추진 · 자동화가 작업을 변경하고 잠재적으로 작업 수를 줄일 수 있기 때문에 과세 시스템의 재평가는 물론 블록체인의 응용을 포함한 현대화 필요 · 기본소득(Universal Basic Income)의 검토 · 시에 대한 윤리적 프레임워크의 개발 · 유익한 시와 유해한 시간의 구분 및 알고리즘의 설명, 투명성 및 유효성을 창출하는 거버넌스 확보 · 공공 정책이 데이터 소유권, 개인 정보 보호 및 보안에서 중요한 역할 |
| 사물의 인터넷 | <ul style="list-style-type: none"> · 현재 230억 개에서 2020년까지 500억 개로 | <ul style="list-style-type: none"> · 디바이스, 센서, 가전의 에너지 소비에 대한 정 |

2) Gartner, "Gartner Says 8.4 billion connected 'things' will be in Use in 2017, Up 31 percent from 2016", February 2017

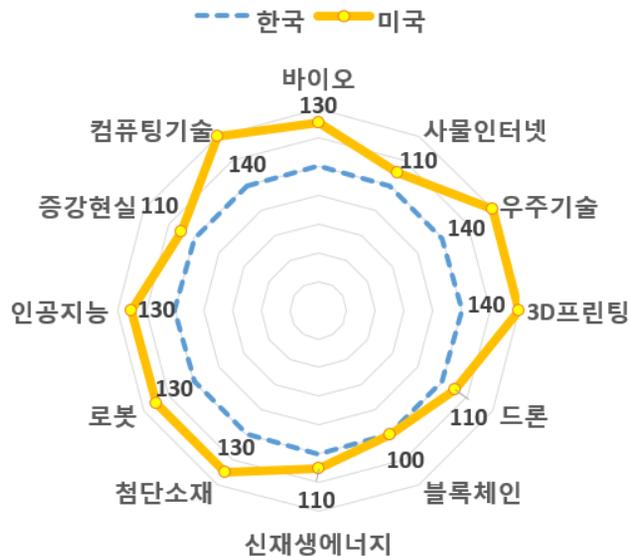
3) Africa Union, 2014

| 신기술 | 의도치 않은 결과의 예 | 공공 정책의 역할 |
|---------------------|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> 늘어나는 상호 연결된 에너지 소비 기기로 인해 에너지 사용의 급속한 증가 초래 사이버 보안과 데이터 유출에서의 취약성 증가 (예: 발전소, 온라인 계좌) 네트워크 및 또는 계통 오류에 따른 IoT 의존 시스템 오작동 사고 발생 가능 | <ul style="list-style-type: none"> 부 주도의 표준 및 인센티브 에너지 믹스에서 재생가능한 에너지원의 역할 증가에 기여하도록 정부는 업계 및 ICT 부문과 함께 리더십 발휘 (예: 글로벌 전자 지속가능성 이니셔티브 GeSI256) 사이버 보안 및 데이터 프라이버시를 위해 IoT 장치 보안에 관한 정부 주도의 표준 개발 자원 리사이클보다 업사이클을 권장 |
| 블록 체인 | <ul style="list-style-type: none"> 데이터 채굴 프로세스에 사용되는 많은 양의 에너지 제품을 인증하고 위조품을 제거하기 위해 일부 산업에서 출처를 추적하는 것이 개도국의 비용을 크게 증가킴 (예: 의약품) 규제와 통제가 어려운 지하경제의 성장 | <ul style="list-style-type: none"> 솔루션에서의 에너지 소비를 줄이고 글로벌 분산형 원장에 접근할 수 있도록 'Proof of Concept(POC)'를 표준화하는 정부 주도의 표준 및 정책 사용자 인증을 위해 디지털 ID 입력을 보호하고 표준화하기 위해 규제 |
| 자율주행 차량 (AV, 지상 기준) | <ul style="list-style-type: none"> 실직(예: 전통적인 택시, 트럭 운전) AV가 중견 숙련된 역할을 대체함에 따라 불평 등 증가 자동차 여행 수요의 증가에 따른 잠재적인 리바운드 효과 일회용 AV 확대로 대중교통 수요 감소 연소 엔진 탑재 AV의 주행 증가에 따른 공해 및 혼잡 증가 AV확대에 따른 운전의 생산성 증가가 이주 증가를 일으켜 부동산 가격에 영향 | <ul style="list-style-type: none"> 변화하는 고용 패턴에 따른 구조적 변화와 분배 효과에 대처하기 위한 정책 AV의 대기오염 및 기후 관련 영향을 관리하는 정부 정책 AV 효율성을 극대화하기 위한 '스마트 시티' 인프라 및 기술에 대한 투자 AV 보안 및 안전 (사이버 및 물리적) 관련 정책 도입 책임 문제에 대한 정부 지침, 차량 수의 잠재적인 증가를 막기 위해 최적의 운송 경로 및 관리 등 연결된 도시간 이동 시스템에 대한 투자 증가 |
| 드론 | <ul style="list-style-type: none"> 드론이 사람들의 개인 공간 / 프라이버시를 침해 낮은 고도의 무인 프로펠러 비행기로 인한 소음 공해가 발생 공격의 수단으로 사용되는 무인 항공기의 감시 및 테러 위협 하수 처리장의 파이프라인 모니터링 등에 특수 장비와 결합된 무인기 사용으로 인한 전문 직업의 상실 | <ul style="list-style-type: none"> 무인 항공기에 대한 자격증 도입 드론 항로(drone ways / drone highway), 무인 항공기 운항에 대한 통제, 무인 항공기 배치 및 사용을 위한 보건 및 안전 체계 구축 3D 측량 정책에 필요한 국가 정보 수집 체계 마련 |
| 클라우드 서비스 | <ul style="list-style-type: none"> Hyper-scale 데이터 센터의 에너지 다소비 데이터 유출, 클라우드 컴퓨팅 추세에 따라 증가하는 사이버 보안의 위험 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 재생가능 에너지로 데이터 센터에 전력을 공급하는 표준의 개발 및 자발적 협약 체결 표준이 클라우드 환경에 대한 위협 및 기술 위험을 해결하는 정책 역할(예: 클라우드 보안 얼라이언스에 대한 RSA((Rivest-Shamir-Adleman, 사이버 보안솔루션의 일종)의 작업이 활용될 수 있음) |

자료 : PwC, 'Tech breakthroughs megatrend: how to prepare for its impact' (2016)

3. 시사점

- 국내 4차 산업혁명 기술의 수준에 대한 파악과 선진국 기술과의 차별성 (특히 환경경영에 있어서 차별성) 파악 필요
 - 2018년 5월 한국경제연구원은 바이오, 사물인터넷, 우주기술, 3D 프린팅, 드론, 블록체인, 신재생에너지, 첨단소재, 로봇, 인공지능, 증강현실, 컴퓨팅 기술의 12가지 기술 대해 한국, 미국, 일본, 중국의 현재와 5년 후의 수준을 비교
 - 2018년 현재 우리나라의 4차 산업혁명 12개 분야 기술수준을 100으로 했을 때, 중국 108, 일본 117, 미국 130으로 세 나라 모두에게 뒤처지는 것으로 나타났으며, 5년 후에도 중국 113, 일본 113, 미국 123로 일본과 미국에 대한 기술격차는 줄어들겠지만, 비교 열위는 지속될 것으로 전망



자료: 한국경제연구원, '주요국 4차 산업혁명 기술 격차,' (2018.5)

〈그림 3-2〉 한국과 미국의 5년 후 기술격차

- 4차 산업혁명 기술의 개도국 이전확산을 강화하기 위해서는 우선 농업과 빅데이터, 용수 (물관리) 등의 종합 패키지를 주제로 기술 심포지움과 라운드테이블 그리고 시범사업 등을 추진할 필요
 - 2017년 법제연구원은 기후변화 법제 연구에서 지구온난화 극복을 위해서는 친환경에너지 패러다임을 위한 신기술 개발도 중요하지만 빅데이터의 활용과 더불어 현재 사용되고 있는 에너지원

의 효율적 사용을 통해 온실가스 배출을 감소시키는 것도 함께 고려할 것을 제시

- UN Big Data Climate Challenge, 기후 스마트 농업 빅데이터 (Climate-Smart, Site-Specific Agriculture), 그린버튼 이니셔티브(캘리포니아) 등 기후변화 대응에서 빅데이터가 활용되고 있는 사례를 벤치마킹할 필요가 있음
- 에너지원의 효율적 사용을 통하여 발생할 수 있는 온실가스의 양을 최소화하고 이러한 과정에서 센서, IoT, 빅데이터 등을 활용하여 불완전연소를 줄이고 완전연소 상황을 만드는 것은 에너지 효율적 사용에 도움이 되므로 이에 대한 개도국 훈련도 필요

■ 참고문헌

1. World Economic Forum, 'Harnessing the Fourth Industrial Revolution for the Earth,' (2017)
2. Nzioka J. Muthama and Mark Arango, 'Climate Readiness and the Fourth Industrial Revolution in Africa: Review of the Role of Technology in Climate Services,'(2017)
3. Gérard Valenduc, 'Technological revolutions and societal transitions,' (2018)
4. Antonella Petrillo, Fabio De Felice, Raffaele Cioffi and Federico Zomparelli, 'Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities,' (2018)
5. Herweijer, Celine et al., 'Enabling a sustainable Fourth Industrial Revolution: How G20 countries can create the conditions for emerging technologies to benefit people and the planet,' (2018)
6. PwC, 'Tech breakthroughs megatrend: how to prepare for its impact' (2016)
7. 한국경제연구원, '주요국 4차 산업혁명 기술 격차,' (2018.5)
8. 한국법제연구원, '4차 산업혁명 핵심기술을 활용한 기후변화 대응 전략 연구 - 빅데이터를 중심으로' (2017)

작성 : 김재연 (전 호서대 교수)

편집 : 김지환 (녹색기술센터 책임)