

3. 4차 산업혁명의 정의 (Definition of Industrie 4.0)

최근 들어 급격히 발전한 정보통신기술, 특히 모바일 관련 기술과 만물인터넷(IoT, Internet of Things) 관련 기술들은 새로운 비즈니스 모델을 창출할 뿐만 아니라 사회변혁, 특히 소셜네트워크 기반 서비스를 주도해 웹 2.0 시대를 넘어 모바일 3.0 시대에 진입하게 하였고(이난경과 이종옥, 2014, 2015) 이와 같은 기술 주도형 사회변혁은 기업 경영환경과 마켓 환경을 변화시켜 시장수요의 변동성, 커스터마이징에 의한 개별화 상품, 및 글로벌화에 따른 경쟁격화 등으로 대변되어지는(Schuh, 2014) 사회로 변혁하게 만들었다. 산업사회가 진화해오는 과정에서 몇 가지 주요 기술들은 생산성 증가에 영향을 미치는 주요 기반기술로써 역할을 해 왔는데, 이를 범용기술(GPTS, General Purpose Technologies)이라 지칭한다. 그러나 이 범용기술들은 그 기술이 발명되는 즉시 기술적 솔루션을 제공하여 생산성 향상에 즉시 기여되기 보다는 이 기술들이 진화되고 다른 기술들과 융합되고 적용되기까지는 상당한 시간이 들어 왔다(Schuh, 2014).

1차 산업혁명은 18세기에 발명된 증기동력과 수력동력, 및 이를 활용한 생산의

기계화(mechanization)로 특징지을 수 있다(Lydon, 2016). 즉, 증기 에너지를 이용한 기계가 생산에 도입되어 경제의 일반적인 기계화가 가능하게 되었고, 고도의 기계화는 경제를 훨씬 더 생산적으로 탈바꿈시키게 되는 혁신을 이루었다(Schuh, 2014). 2차 산업혁명은 20세기 초의 전기를 에너지원으로 하여 생산라인(assembly line)을 이용한 대량 생산체제(mass production)로 특징할 수 있다(Lydon, 2016). 즉, 2차 산업혁명의 주요 기술 중의 하나가 전기의 광범위한 활용이며, 전기화와 생산라인은 대량생산의 원동력이었으며, 20세기 초 경제의 생산성 향상에 지대한 영향을 미쳤었다(Schuh, 2014). 3차 산업혁명은 공작기계 수치제어, 프로그래머블 로직컨트롤러, 직접 디지털 제어 및 전사적 자원계획 등을 활용한 디지털 혁명(digital revolution)으로 대변할 수 있다(Lydon, 2016). 3차 산업혁명을

주도한 기술의 중심에는 계산능력을 높이고 비용은 지속적으로 줄이는 집적회로의 발명과

컴퓨터(computer) 및 이를 활용한 자동화(automation)를 들 수 있으며, 산업 전반에 걸친 정보기술의 적용은 오늘날까지 경제성과의 성장과 생산성에 중요한 영향을 미쳐오고 있다(Schuh, 2014). 4차 산업혁명은 사이버-물리 시스템(CPP, Cyber-Physical System), 임베디드 컴퓨팅(embedded computing), 및 만물인터넷 기술(IoT)로 특징할 수 있다(Lydon, 2016). 4차 산업혁명 관련 기술은 하나의 특정 기술이 어느 날 갑자기 등장하여 촉발된 현상이 아니라 이제까지 지속적으로 발전되어 온 정보통신기술들을 연계하고 통합하여 사이버 물리시스템(CPP)을 구축하고 이를 사회에 적용시킬 수 있는 단계까지 발전해왔기 때문이다. 모바일 3.0 시대에 진입하면서 급격히 발전한 ICT 기술은 기존의 관념을 초월하는 새로운 비즈니스 및 서비스 영역을 창출하고 있다. 특히 이동통신 네트워크와 스마트폰은 기존의 ICT 기술 및 서비스와 결합하여 유비쿼터스 편재형 컴퓨팅(ubiquitous pervasive

computing) 서비스를 실현하였다(이난경과 이종옥, 2014). 이 서비스들 중에서 특히 소셜 네트워크(social network)의 역할과 위력, 및 이로 인한 사회의 변혁을 익히 경험한 바가 있다. 소셜네트워크란 스마트폰을 장착한 사람들이 구성원으로 참여하여 서로 소통하는 공간으로써 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)에 따라 언제 어디서라도 실시간적으로 인지하고 반응할 수 있을 뿐만 아니라 클라우드 서비스(cloud service)에 축적된 빅데이터(big data)를 활용하여 최적의 서비스를 사전에 받을 수 있는 등, 이제까지 존재하지 않았던 혁신적 비즈니스모델과 혁신적 서비스를 활용할 수 있는 체제가 되었으며, 그 효과는 n명의 참여자가 2"의 위력을 발휘한다는 네트워크 효과(network effect)로 회자될 만큼 혁신을 이루어 왔다. 4차 산업혁명을 주도하는 근간기술의 정점에는 사이버-물리시스템(CPP)이 위치한다. 사이버-물리시스템이란 현실세계의 모든 것들, 인간과 기계, 자동차 등을 포함한 만물들이 센서를 장착한 자율객체화 하고, 이들의 사회를 사이버 시스템 상에 구현함으로써 현실세계와 사이버세계를 동치화 할 수 있는 기술을 말한다. 사이버-물리시스템의 기반기술로는 모든 만물이 자율 객체화되어 참여할 수 있는 만물인터넷, 이들이 발생하는 센서 데이터를 수집 및 축적하여 유의미한 정보를 창출할 수 있는 빅데이터와 인공지능 등이 핵심 기술이라 할 수 있다. 모바일 시대에 마치 카카오톡 등의 SNS 서비스를 이용하게 됨에 따라 사회와 개인의 생활에 변혁이 수반되고 이제까지 존재하지 않았던 서비스가 창출되었듯이 사람만이 아닌 모든 사물도 구성원으로 참여하는 사이버-물리시스템의 구현과 이로부터 창출되는 서비스의 효과, 또한 이로부터 파생되는 사회의 변혁은 가히 현재로서는 짐작할 수도 없는, 이제까지의 산업혁명에 따른 사회변혁과는 비교할 수도 없는 거대한 물결이라 예상되고 있다. 4차 산업혁명의 결과는 거대한 하나의 사이버-물리시스템을 일순에 구축하는 것이 아니라 사람들이 다니는 길들이 집주변에서 동네로, 동네에서 도시 간으로, 도시 간에서 국가 간으로 확대되고 연계되었듯이, 인터넷이 작은 LAN으로 시작되어 도시권통신망(MAN), 광역통신망(WAN)으로 발전하여 지금의 글로벌 인터넷으로 광역대화 되어 왔듯이 작은 사이버-물리 시스템들이 구축되어 지고, 이들이 연계되고 통합되어 거대한 사이버-물리시스템의 네트워크가 형성되는 '시스템들의 시스템(system of systems)'으로 발전해 나갈 것이고, 이는 도로와 인터넷이 발전되어온 과정과 마찬가지로, 지난 산업혁명과 같이 많은 시간이 소요될 것으로 예견되고 있다. 4차 산업혁명의 성숙기에는 사이버-물리시스템들이 연계되고 광역대화된 미래사회를 지향하지만, 최근의 4차 산업혁명의 시작은 독일의 중소형 공장에서부터 적용된 사이버-물리시스템으로 구성된 지능형공장(intelligent factory) 및 스마트생산(smart production)과 이로부터 달성한 극적인 생산성 향상과 매스 커스터마이징을 의미하는 협의의 의미로 회자된다. 협의의 4차 산업혁명은 '네트워크 센서 및 소프트웨어와 복잡한 물리적기계 및 장치의 통합으로 보다나은 비즈니스 및 사회적 성과를 예측, 제어, 및 계획'하는 것, '제품 수명주기(PLM, Product Life cycle Management) 전반에 걸쳐 가치사슬 조직(value chain organization) 및 관리의 새로운 수준', 또는 사이버-물리시스템에 의해 물리적 프로세스를 모니터링하여 실제 세계의 가상 복사본을 만들고, 분산된 자원의사결정을 행할 수 있는 스마트 팩토리 관련 혁명' 등으로 정의할 수 있다(Shafiq, et. al., 2015).

4. 4차 산업의 9대 핵심기술

(The Nine Pillars of Technological Advancement) 거시적 의미에서 4차 산업 또는 4차 산업 사회란 만물인터넷(IoT) 기술을 기반으로, 제조 환경, 산업 환경 또는 사회 환경을 스마트하게 구현하기 위해 CPS 또는 CPPS를 구축하여 공장과 산업, 또는 사회를 혁신할 수 있는 인터넷 기반 서비스를 창출하고 활용하는 산업 또는 사회로 정의할 수 있다(Shafiq, et. al., 2015). 기술적 관점에서의 4차 산업은 자율성의 극대화, 및 상호운용성(interoperability)과 인지력(consciousness)의 제고를 추구하고 있으며(Qin, et. al., 2016), 궁극적으로 제품의 품질과 생산성을 향상하기 위해서는 새로운 방식의 협업이 도입되어야만 한다(Schuh, 2014). 협업(collaboration)이란 사전적 의미로 해석할 때는 인간만이 협업한다고 할 수 있으나 사이버-물리시스템이 근간이 되는 4차 산업에서는 인간과 기계간의 협업, 또는 기계와 기계간의 협업이 가능해진다. 협업 또는 공동작업의 특징은 협업에 참여하는 각 개체들이 상호 의사소통하고, 활동을 조정하고, 공동의 목표를 달성하기 위해 협력하는 것이다. 협업의 차원은 [그림 6]에 예시한 바와 같이 소통(communication), 조정(coordination), 및 협력(cooperation)이 동시에 이루어져야 한다(Schuh, 2014). 소통이란 정보를 공유하고 감각을 만들 수 있는 수단을 제공한다. 정보공유(sharing information)란 모든 협업 활동의 기본이며, 감각(sense-making)이란 복잡한 상황을 이해하고 그에 따라 가능한 조치의정을 통해 취득되고 분석된 정보를 공유하는 행위를 일컫는다.

조정이란 활동(activities)간의 의존관계를 관리하는 것을 말하며, 자원공유(resource pooling)이란 목표달성을 위해 주어진 자원을 효과적으로 공유하고 활용하는 것을 의미하며, 표일치(Goal-congruence)란 시스템의 각 하위요소들 또는 협력 개체들이 전반적인 목표에 대해 상호 이해하고 합의하는 것이기에 조정이란 각 구성요소 간에 목표를 일치화하고 주어진 자원의 최적 활용을 위해 상호 협의 및 협력하는 것을 의미한다. 협력이란 과업을 수행하기 위해 모인 구성요소들이 전반적인 목표의 중요성을 인식하고, 그 결과에 도달하기 위해 함께 협업하는 것을 의미하며, 협력은 중앙통제가 아닌 권한분산(empowerment)에 따른 의사결정과 수평적 기능 활동(cross-functional activities)이어야 함을 강조한다.협협의 의미로서의 4차 산업 또는 지능형 스마트 공장 및 제조는 다음과 같은 목표를 가진다(Posada, et. al., 2015; Shafiq, et. al., 2015).

- 1) 고객들로부터의 소량 또는 개별 요구 사항에 맞추어 생산할 수 있는 제조 제품의 IT 기반 매스 커스터마이징(IT-enabled masscustomization of manufactured products)
- 2) 요구사항 변동에 유연하게 자동적으로 대처할 수 있는 생산과정 (automatic and flexible adaptation of the production chain).
- 3) 기계와 다른 자산들과 상호 교신할 수 있는 부품과 제품들의 추적 및 자율인식(tracking and self-awareness) 기능

- 4) 향상된 HMI 패러다임(improved Human-Machine Interaction paradigm)을 적용해 작업자가 공장에서 로봇과 공존 또는 상호작용하고 운영하는 근본적으로 새로운 방법의 제공
- 5) 스마트 공장에서 IoT 기반 커뮤니케이션으로 인한 생산의 최적화(production optimization due to IoT-enabled communication)
- 6) 궁극적으로 가치사슬(value chain)에서 상호작용하는 방식을 혁신함으로써 근본적인 새로운 유형의 서비스 및 비즈니스 모델(radically new types of sevices and business models) 제공 전술한 바와 같은 협의의 4차 산업 또는 지능형 공장과 스마트 제조가 가시적으로 된 것에는 [그림 7]에서 제시한 바와 같이 CPP 또는 CPPS를 구현하여 4차 산업을 가능케 한 9개의 핵심 기술의 발전에 기인한다. (Rüßmann, et. al., 2015).

4차 산업 9대 핵심기술은 가치사슬내의 구성요소들과 공장 내부의 구성요소들을 통합 및 연계하고(Horizontal and Vertical system integration), 이들의 산업 IoT 망(the Industrial internet of Things)을 통해 수집된 클라우드 시스템(the cloud)에서 빅데이터를 분석(Big data and Analytics)하고, 시뮬레이션(simulation)한 고급정보를 로봇에게 제공 하여 자율로봇(autonomous robots)화하고 작업자에게는 증강현실(augmented reality)를 제공하고 숙련된 작업이 가능하도록 하며, 제조에는 적층제조(additive manufacturing)이 가능하도록 하며, 전 과정에서 있어서 디지털 시스템의 보안성(cyber security)을 강화한다(Lydon, 2016); Rüßmann, et. al., 2015).