**발행일** 2018. 08. 13
**발행처** 융합연구정책센터

2018 AUGUST **vol.133**

# 융합 Weekly TIP

Technology · Industry · Policy

## 4차 산업혁명 시대, 스마트 제조 기술의 발전 방향

**박건수** | KAIST 경영대학

융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

# 4차 산업혁명 시대, 스마트 제조 기술의 발전 방향

박건수
KAIST 경영대학

## 선정배경

01

- **(4차 산업혁명의 출발점)** 기존 제조업의 생산성 한계를 극복하기 위해 도입된 독일의 인더스트리 4.0 (Industrie 4.0) 이후 4차 산업혁명에 대한 논의가 본격화

- **(제조업 선진국들의 스마트화)** 독일을 비롯한 미국, 일본 등 제조업 선진국들은 각국의 산업 특성을 고려하여 국가적 차원의 전략을 수립하여 제조업의 스마트화를 추진
  - **(독일)** 하드웨어 산업의 생산성 향상, 효율적 운영을 위하여 물리적 공간의 공장과 가상공간의 공장을 연결하는 사이버물리시스템(Cyber Physical System, CPS) 관련 컴퓨팅 기술개발 추진
  - **(미국)** 실리콘벨리의 혁신 역량을 바탕으로 개발된 기술들을 제조업 분야의 생산성을 개선하는데 활용하며, 이를 통해 새로운 비즈니스 모델을 창출하는 시장주도형 제조업 스마트화를 추진
    ※ 구글, 애플, 아마존 등으로 대표되는 글로벌 ICT 대기업들은 발전된 소프트웨어 기술을 활용한 클라우드 컴퓨팅 기술을 개발
  - **(일본)** 협업용 로봇 개발과 로봇과의 원활한 커뮤니케이션을 위한 엣지 컴퓨팅 기술을 기반으로 제조업의 스마트화를 추진
    ※ 로봇 산업의 글로벌 경쟁력과 모노즈쿠리(ものづくり)로 대표되는 장인정신을 바탕으로 제조 공정에서 인간과 로봇의 협업 및 인간 중심의 자동화를 강조

- **(국내 제조업의 혁신 요구)** 제조업 의존도가 높은 우리나라도 제조업 경쟁력 강화를 위한 다양한 정책들을 실행하고 있으며, 국내 특성을 고려한 스마트 제조 기술 개발이 필요한 상황
  - **(GDP의 제조업 의존도)** 2017년 기준 우리나라는 전체 GDP의 27.6%를 제조업에 의존하고 있으며, 이는 중국*에 이어 전세계에서 두 번째로 높은 수준
    *GDP의 29.3%를 제조업에 의존
  - **(제조업 혁신 3.0)** 2020년까지 기존 제조업 공장 10,000여 개를 스마트 공장으로 전환하는 사업을 추진
    ※ 우리나라가 글로벌 경쟁력을 갖추고 있는 ICT를 기반으로 제조 공정의 소프트웨어 역량을 강화하여 융합형 제조업으로의 도약, 소재·부품 분야의 주도권 확보를 목표
  - **(국내 산업 특성)** 전자, 자동차, 화학, 철강 등의 분야에서 고정밀·고품질 제품을 생산할 수 있는 역량과 소품종 대량생산시스템에 적합한 공정 관리 및 양산 능력을 보유
    ※ 하지만 개념설계 역량과 비즈니스 모델 구상 능력이 부족하며 대기업과 중소·중견기업 사이의 생산능력 격차가 큰 편

# 02 스마트 제조의 정의와 특징

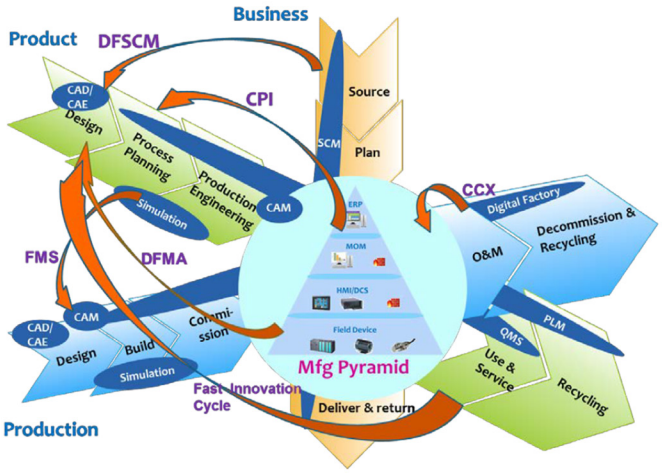
**(정의)** 생산운영기술(Operating Technology, OT)과 ICT가 서로 융합되어 제조업 가치사슬의 각 단계가 수평적으로 통합(Horizontal Integration)되며 생산·제조 단계에서 자동화·자율화의 수준이 수직적으로 결합(Vertical Integration)되는 미래 첨단 산업의 제조업

- **(수평적 통합)** 제조업 가치사슬을 구성하는 구매·조달, 생산·제조, 판매·마케팅, 고객서비스 등의 단계에서 정보가 실시간으로 공유되어 최적으로 활용
- **(수직적 결합)** 생산·제조 단계에서 사용되는 센서·로봇 등 단말기부터 자동제어시스템, 생산관리시스템(Manufacturing Execution System, MES), 전사적자원관리시스템(Enterprise Resource Planning, ERP) 등 경영 의사결정에 활용되는 정보시스템들이 유기적으로 연결

**(특징 및 방향)** 가치사슬의 수평적 통합을 위한 디지털화·네트워크화가 이루어지고 있으며, 정보시스템의 수직적 결합을 위한 CPS 등 디지털화·가상화 기술과 산업용 통신 네트워크의 고도화를 추진

- **(생산시스템)** 물리적 공간에서 제품의 생산을 담당하는 생산시스템의 유연성과 자율성을 고도화하기 위해 설계·건설·검사·운영관리·재검사의 각 단계가 디지털화되어 디지털 공간의 시뮬레이션과 실시간으로 연동
- **(제품생애주기)** 제품생애를 구성하는 설계·공정계획·생산·사용·재활용 등 각 단계에서 활용되는 정보가 고유한 제품생애주기 관리시스템에 의해 동기화되고, 사용자 관점의 품질 정보가 수집·분석되어 제품의 기획·설계 단계에 반영되는 혁신 사이클 구성
- **(제조 비즈니스)** 제조업 공급사슬을 구성하는 자원획득·사업계획·생산·배송·회수 등 각 단계에서 정보가 실시간으로 공유되고 공급사슬의 효율성과 대응성을 동시에 높이기 위해 제품의 기획·설계 단계에서부터 공급사슬 관점을 반영
- **(정보시스템)** 제조업 가치사슬에서 활용되는 정보시스템은 생산시스템, 제품생애주기, 제조 비즈니스의 스마트 제조 세 가지 차원이 수렴하는 영역에 존재하며, 생산 현장의 장비에서 생성된 정보가 관리자 수준의 관리·통제, MES와 ERP의 의사결정까지 활용될 수 있도록 정보시스템을 수직적으로 결합시키기 위한 다양한 프로토콜이 존재

그림 1. 스마트 제조 시스템의 구성




※ 출처 NIST(National Institute of Standards and Technology), 〈Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems〉, 2016.02.

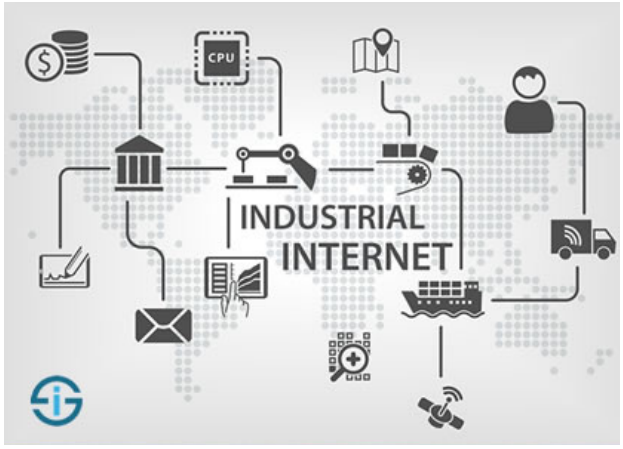
## 03 스마트 제조 시스템의 기반 기술

**(산업용 네트워크)** 대량의 정보가 공유되고 처리되는 정보시스템을 수직적으로 결합하기 위해서는 5G 또는 B5G (Beyond 5G)로 대표되는 셀룰러 기반의 산업용 사물인터넷 구축이 필수

- **(생산 자동화 네트워크)** 기존 공장의 생산 자동화 네트워크는 유선을 기반으로 구축되었으나 설치·유지보수, 확장·이전 설치에 취약하며, 기존의 무선 네트워크도 셀룰러 방식이 아닌 비면허 대역의 근거리 무선 네트워크가 사용되어 확장성·전송 지연 등에 한계가 존재
- 스마트 제조에서 추구하는 생산시스템의 자율화를 위해서는 무선으로 대용량 데이터 전송과 1㎳ 이하의 저지연 통신이 가능하며 1㎢ 영역 안에서 100만개 이상의 장치가 동시에 통신·연결이 가능한 5G/B5G 셀룰러 기반의 사물인터넷 구축이 필요
- **(개방형 네트워크)** 기존 제조공장은 폐쇄적 네트워크 구조로 인해 생산 현장에서 발생하는 데이터의 공유가 제한되고 제조 빅데이터의 분석을 위한 외부 플랫폼의 활용에도 한계가 있으며, 제품판매를 위한 외부 유통망과의 연결과정에도 애로사항으로 작용

- 스마트 제조에서 추구하는 연결성을 확보하기 위해, 광역 이동통신 인프라를 활용한 산업용 네트워크 구축이 필요하며, Cisco와 Qualcomm 등 민간 기업은 물론 유럽의 NGMN(Next Generation Mobile Networks), 5GPPP(5G Infrastructure Public Private Partnership) 등 주요기관들도 셀룰러 기반의 산업용 네트워크 구축을 위한 연구를 진행

**그림 2. 스마트 제조를 위한 산업용 네트워크의 개념도**




※ 출처 http://www.geautomation.com/industrial-internet

**(정보보안)** 정보시스템의 수직적 결합을 통해 공유되는 정보의 유출을 방지하고 공유된 정보에 대한 비인가 접근 및 외부 공격을 탐지하고 선제적인 예방을 할 수 있는 기술 개발 필요

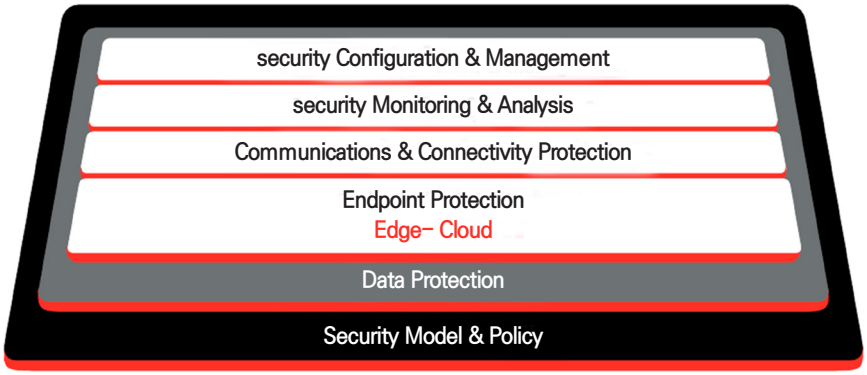
- **(보안 위협의 증가)** OT와 ICT가 융합된 스마트 제조시스템에서는 기술의 통합으로 인해 접속점이 증가하며 그만큼 시스템에 대한 보안 위협 역시 증가

  ※ 최근 글로벌 자동차 회사의 서버 취약성을 공략한 워너크라이 랜섬웨어로 인해 생산 공정이 중단되는 등 정보시스템의 연결성이 강화될수록 보안 위협에 대한 대비 역시 중요

- **(생산 현장 장비에 대한 보안 강화)** 정보시스템 각 계층이 융합되는 부분의 취약성에 대한 대비, 제조 빅데이터 생산, 자율성이 강화된 생산현장 장비들에 대한 추적 감시 등을 통하여 이상행위를 실시간으로 탐지하는 기술 개발이 필요

  ※ 시만텍 등 보안업체에서는 외부 공격으로부터 생산 현장의 장비를 보호하기 위한 엔드포인트 보안 서비스를 제공

그림 3. 정보보안 구조도와 기능적 분류




※ 출처 IIC(Industrial Internet Consortium), 〈Industrial Internet of Things Volume G4: Security Framework〉, 2016.09.19.

(**센서와 로봇**) 생산·제조 단계에서의 자동화·자율화를 위해서는 생산현장의 다양한 정보를 고감도로 처리할 수 있고 알고리즘 구현이 가능한 지능형 복합센서와 이를 탑재하고 생산 현장에서 인간을 지원할 수 있는 로봇에 대한 연구가 필요

- **(스마트 센서)** 제조 공장에서 물리·화학적 정보를 수집하는 센서 기능의 고도화, 인간과 관련된 생체 정보를 수집하고 이를 자체 분석 또는 전송할 수 있는 지능형 알고리즘의 구현, 무선통신 기능의 일체화 등을 통해 엣지 컴퓨팅에 적합한 스마트 센서 개발
- 스페인의 Libellium 社는 여러 센서를 결합하고 통신 모듈과 프로세서를 일체화한 스마트 센서를 개발하여 스마트 제조 분야는 물론 이를 활용한 클라우드 서비스를 제공
- 미국의 Qualcomm 社는 엣지 컴퓨팅이 가능하도록 자사의 프로세서를 개발하고 있으며 칩셋 자체가 아니라 칩셋 기반의 서비스로 가치를 창출하는 Chipset as a Service라는 새로운 비즈니스 모델을 제시
- **(산업용 로봇)** 생산·제조 단계의 자동화와 자율화를 위해서는 단순 반복 작업을 수행하는 수준을 넘어 자율 제어가 가능한 지능형 로봇에 대한 수요가 증대되고 있는 상황
- 우리나라의 현대로보틱스, 한화테크윈 등도 산업 현장에서 활용할 수 있는 로봇을 출시하였으며 전세계적으로는 유럽과 일본의 메이저 기업들이 에너지 효율이 높으며 인간과 협업이 가능한 로봇에 대한 기술 개발을 진행

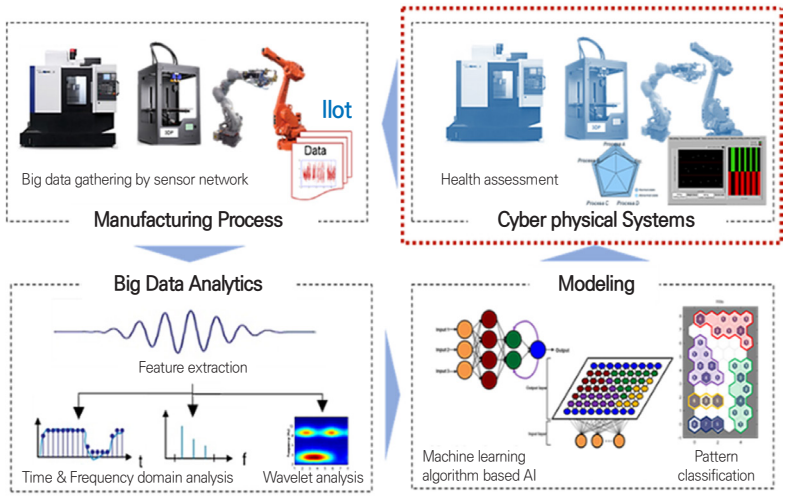
# 가치사슬의 수평적 통합 및 확장

04

(CPS) 물리적 공간에 존재하는 생산시스템을 사이버 공간의 디지털 트윈(Digital Twin)과 연동하여 시뮬레이션으로 제어할 수 있도록 하는 스마트 제조의 핵심 기술

- **(제품의 기획·설계)** 각각의 설계가 제품화되었을 때 설계의 구현 가능, 성능, 품질 등을 사전에 검증함으로써 제품의 기획·설계 과정을 최적화
- **(생산라인 시뮬레이션)** 기존의 생산시스템은 한번 설치가 완료되면 생산라인과 설비의 재구성에 많은 제약이 존재하였으나, CPS를 통해 구축된 생산시스템은 실시간 성능학습이 가능하며, 새로운 생산라인의 시뮬레이션을 통한 효율적 자원관리가 가능
- 향후 CPS는 기존의 임베디드 시스템을 대체하여 빠르게 성장할 것으로 예상되며, 현재 우리나라는 연구소와 대학을 중심으로 원천기술 개발을 진행

그림 4. CPS의 개념도

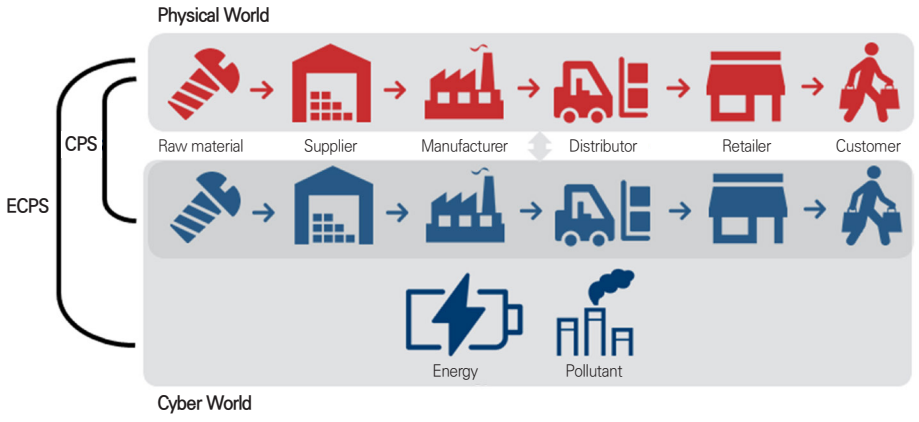



※ 출처 https://www.jnesystech.com/cps-concept

(**ECPS를 통한 공급사슬의 확장**) 제조업 가치사슬의 수평적 통합을 위해서는 공급사슬 관리의 고도화를 통한 기존 제조비즈니스의 구조적 문제 해결이 필수적이며, 제품의 판매 후 회수/재활용이 가능한 친환경적이고 에너지 효율적인 제품수명 관리의 필요성이 대두

- **(ECPS)** 공급사슬 차원에서 에너지를 절약하고 오염 발생을 줄이기 위하여 CPS와 공급사슬 관리, 스마트 그리드 등이 결합된 확장 CPS(Extended CPS, ECPS) 기술 개발이 필요
- 친환경적이고 에너지효율적인 통합제조시스템 개발을 위해 고도화된 스마트 복합센서를 활용하여 제조상의 물리적 생산공정 뿐 아니라 생화학적인 변화를 동시에 고려하는 가상물리 화학시스템으로 발전 예상
- 공급사슬을 디지털화하여 CPS 플랫폼에 연동시킴으로써 기존 공급사슬의 구조적 문제를 완화시키며 에너지 절감을 위한 스마트 그리드, 오염원 관리 기술을 CPS와 결합한 ECPS 관련 기술 개발 추진
- 신뢰구조의 확장, 정보의 무결성 등의 특징을 갖고 있는 블록체인을 공급사슬관리에 도입함으로써 제품 제조부터 판매 이후까지의 정보가 ECPS관리에 활용될 것으로 기대

**그림 5. ECPS의 구조도**



# 05 결론 및 시사점

- 독일, 미국, 일본 등 제조 선진국들은 각국의 산업 특성을 고려하여 국가적 차원에서 제조업의 스마트화 전략을 추진
  - 독일은 글로벌 경쟁력을 갖춘 강소기업들의 생산성 향상 및 효율적 운영을 위한 CPS 기술에 집중
  - 미국은 소프트웨어와 비즈니스 모델 구상 역량을 바탕으로 ICT 대기업 주도의 제조 스마트화를 추진
  - 일본은 로봇 산업에서의 경쟁력을 바탕으로 제조 공정에서 인간을 지원하는 로봇 고도화를 위한 엣지 컴퓨팅에 집중

- 우리나라도 우수한 실행역량은 강화하고 상대적으로 부족한 개념설계 역량과 비즈니스 모델 구상 능력을 보완할 수 있도록 정책적 환경 조성과 관련 기술 개발이 중요
  - 대기업과 중소·중견기업 사이의 생산능력 격차를 줄이기 위해 스마트 제조시스템의 기반 기술과 CPS를 결합시켜 개별 기업 단위가 아닌 제조 공급사슬 차원의 경쟁력 강화를 추구
  - 미세먼지, 전력수급 등 에너지·환경 문제가 부각되고 있는 우리나라의 현실을 고려하여 스마트 그리드, 오염원 관리 등 에너지·환경 기술을 포괄하는 공급사슬관리 기술 개발이 필요
  - 에너지·환경 영역까지 확대된 CPS를 비롯한 스마트 제조 기반 기술을 결합시킨 ECPS는 아직까지 제조 선진국에서는 고려되지 않은 개념으로, 글로벌 경쟁력을 갖춘 새로운 비즈니스 모델로 발전할 가능성이 존재
  - 우리나라 제조업 차원에서도 ECPS를 통해 공급사슬 내 정보비대칭성을 완화하여 더욱 효율적이고 환경친화적인 생산시스템 및 확장된 제품생애주기 관리에 기여할 것으로 전망
  - 정부에서도 ECPS에 기반한 스마트 환경규제정책을 수립하면 실시간으로 환경오염 물질의 확산에 대비하고 기업은 이에 맞춰 생산공정을 통제할 수 있을 것으로 기대

## 참고자료

1. 나준호, 최드림, 〈미국 독일 일본의 스마트 팩토리 전략〉, LG경제연구원, 2016.12.28.
2. 박건수, 〈4차 산업을 통한 지속 가능한 제조생태계의 환경혁신 견인〉, KAIST 기획과제 보고서, 2017.12.
3. 산업통산자원부, 〈창조경제 구현을 위한 제조업 혁신 3.0 전략〉, 2014.06.26.
4. 한국전자통신연구원 기술경제연구본부, 〈산업혁신형 IDX 추진을 위한 산업환경 및 생태계 분석〉, ETRI Insight Report 2017-42, 2017.12.
5. IIC(Industrial Internet Consortium), 〈Industrial Internet of Things Volume G4: Security Framework〉, 2016.09.19.
6. NIST(National Institute of Standards and Technology), 〈Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems〉, 2016.02.
7. Smart America, 〈SMLC(Smart Manufacturing Leadership Coalition) Smart Manufacturing〉, http://smartamerica.org/teams/smart-manufacturing.
8. WorldBank, 〈Manufacturing, value added (% of GDP)〉, 2018.06.28.