02 제조업 ICT융합과 스마트공장

노 상 도 성균관대학교 공과대학 시스템경영공학과 교수 | e-mail : sdnoh@skku.edu

학문 간의 전통적 경계가 허물어지고, 기술 융합이 경제체제와 사회구조를 급격히 변화시키는 4차 산업혁명 시대가 다가오고 있다. 스마트제조(smart manufacturing)는 인간, 기술, 정보의 융합을 통해 제조업의 전략적 혁신을 도모하고자 하는 패러다임으로서 ICT와 제조기술을 융합하고자 하는 기술이다. 또한 스마트공장(smart factory)은 이러한 기술 융합을 통하여 공장의 설비, 장비와 공정이 지능화되어 네트워크로 연결되고, 생산 데이터와 정보가 실시간으로 공유·활용되어 최적화된 생산운영이 가능한 공장으로, 공장 간의 협업적인 운영이 지속되는 지능형 ICT융합 제조시스템을 말한다. 이 글에서는 제조업 ICT융합과 스마트화, 그리고 스마트공장의 개념, 구성과 관련 동향에 대해 소개하고자 한다.

스마트제조와 ICT융합

미국 SMLC(Smart Manufacturing Leadership Coalition)의 정의에 따르면, 스마트제조는 "신속한 신제품 생산과 시장의 요구에 대한 기민한 대응, 공급망 전체에 걸친 실시간 최적화를 목적으로 하며, 제조의 전 과정을 연결하는 지능적인 시스템과 기술"을 의미한다[강형석, 노상도, "스마트제조 주요 기술 연구 동향", IE매거진, 제 23권 제1호, pp. 24-28, 2016]. 우리 정부는 한국형 제조혁신 3.0을 통하여 스마트제조를 실현하기 위한 스마트공장을 "제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 과정을 IT기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 미래형 공장으로, IIoT(Industrial IoT), CPS(Cyber Physical System)를 기반으로 제조의 모든 단계가 자동화, 정보화(디지털화)되어 가치사슬 전체가 하나로 실시간 연동"으로 정의하고 활발하게 추진하고 있다[한국산업기술평가관리원, "미래 제조혁신에 있어서의 스마트공장 이슈와 과제", 2015].

제조업의 스마트화는 ICT융합을 기반으로 ① 제품, 설비, 공정이 지능화되어 네트워크로 연결되고, ② 모든 데이터, 정보가 실시간으로 관리, 활용되어 ③ 기획, 설계, 생산, 판매, 서비스 등의 전 과정이 최적으로 효율화되고, ④ 개인 맞춤형 제조가 가능한 ⑤ 협업적 생산체계가 구축, 운영되는 제조업 고부가가치화로 정의할 수 있다. 제조업의 스마트화는 또한 생산성 및 품질 향상, 원가 절감, 납기 단축 등 제조업의 전통적인 달성 목표를 IoT, 빅데이터, 인공지능 등 ICT융합을 통하여 더욱 높은 수준으로 달성하고자 하는 측면과, 수요가 있는 곳에 위치하여 고객 한 사람 한 사람의 요구 사항에 따른 맞춤형 제품을 경쟁력 있는 가격과 품질로 바로 서비스하는 고객맞춤형 제조(personalized manufacturing) 형태의 새로운 산업을 창출하고자 하는 측면을 가지고 있다.

제조업 ICT융합의 국가별 추진 현황

미국의 제조혁신네트워크(NNMI), 독일의 인더스

트리4.0(Industrie 4.0), 일본의 개혁 2020, EU의 Horizon 2020: Factories of Future, 중국의 중국제조 2025 등 제조 선진국들은 후발국들과의 제조 기술 격차를 늘이기 위해, 후발국은 선진국들과의 기술 격차를 줄이기 위해 국가적 차원에서 ICT융합을 통한 제조업 스마트화 정책을 활발하게 추진하고 있으며, 표 1은 주요 국가들의 관련 정책을 정리하여 보여주고 있다.[노상도, "스마트팩토리와 사이버물리시스템 기술", 정보와 통신, pp. 3-7, 2016]

독일은 제조업의 미래 경쟁력 제고를 위해, 2012년부터 ICT와 제조 산업의 융합을 통해 '제조업의 완전한 자동 생산 체계를 구축하고 모든 생산 과정이 최적화'되는 4차 산업혁명을 의미하는 Industry 4.0 정책을 적극 추진하고 있다. 특히 국가적으로 제조업에 ICT 기술을 융합하여 스마트공장 구현이 진행 중으로, IoT 개념을 CPS 기술과 접목하여 제조·생산 분야에 적용하는 CPPS(Cyber Physical Production System) 기술 개발과 확산을 추진 중이다. 독일 제조업의 경쟁력 강화를 위해 아이디어에서부터 주문, 개발, 생산, 배송, 리사이클링까지의 제품 생애주기 전

표 1 주요국들의 제조업 ICT융합 정책[한국산업기술진흥원, "스마트 제조 R&D 중장기 로드맵", 2015]

구분	정책 • 전략	주요 프로그램
미국 (거점형)	첨단제조파트너십(AMP) • 기술혁신 플랫폼 제공, 첨단제조기술 로드맵 작성 • 중소기업이 사용가능한 시설 정비 • 중점 4영역 : 안전보장, 첨단재료, 차세대 로보틱스, 제조공정·에너지 효율성 향상	제조혁신네트워크(NNMI) • 45개 제조혁신연구소(IMI) 설치(2012~) • America Makes(적층가공기술) 시행 • 파워일렉트로닉스, 경량·신소재 금속, 디지털 제조·설계, 첨단복합재료의 거점 구축
독일 (프로젝트형)	하이테크 전략 • CPS로 네트워크화된 스마트 제조 • 국내 제조기반 강화와 제조 시스템 수출을 겨냥한 듀얼 전략	Industrie 4.0(2011~) • 차세대 제조업 연구 • Autonomikfür Industrie 4.0, Smartfactory KL(인공지능연구소 등)
일본 (민생형)	일본재흥전략 • 미래투자를 통한 생산성 혁명: 혁신·벤처 창출 • IoT, 빅데이터, 인공지능을 통한 산업·취업 구조 변혁 • 중견·중소기업의 '수익력'강화	개혁 2020 • 성장 가속화 민·관 합동 프로젝트 : 자동주행, 수소사회, 첨단로봇 등의 분야에서 2020년까지 가시적인 성과 창출
EU (문제해결형)	Manufacture 전략연구 아젠다 • 고부가가치의 새로운 제품·서비스와 새로운 비즈니스 모델의 창출 • 새로운 제조 공학의 창출 • 연구·교육 인프라의 정비	Horizon 2020(2014~2020):Factories of Future • 선진적 제조공정 • 응용성 있는 스마트한 제조 시스템 • 가상화되고 자원 고효율인 공장 • 연계·이동가능성이 큰 기업 활동 • 인간 중심의 제조 • 소비자의 요구에 따른 제조
중국 (복합형)	• 공업화와 정보화의 고도융합 • 네트워크화, 디지털화, 지능화 기술의 개발·이용, 인터넷과의 융합을 중시 • 자원 활용의 효율화	중국제조 2025 • 하이테크산업 진흥프로그램 및 국가자연과학기금 등 • 중국과학원 연구개발센터 설치

반에 걸친 가치창출 네트워크의 조직 및 관리에 있어서 기업 내부(수직 통합)는 물론 기업 간(수평 통합)의 업무처리를 긴밀하게 연계시키는 것을 목표로 삼고 있다.

미국은 글로벌 금융위기 이후 첨단 제조업을 국가 경쟁력의 근간으로 인식하고 인력양성, R&D 투자 확대 등의 정책을 추진 중에 있으며, 'Remaking America'를 슬로건으로 2012년 수립된 국가 첨단 제조방식 전략계획 등 제조업 부흥정책을 강력하게 추진 중이다. 특히 미국은 새로운 산업플랫폼 형성을 위한 대학의 기초연구 강화 및 기업연구개발 투자 장려 정책과 세계 최고수준의 IT·SW 기술을 바탕으로 한 제조업의 국내 복귀(reshoring), 그리고 제조 경쟁력 제고를 통한 제조업 르네상스 운동을 전개하고 있다. 특히 세계 소프트웨어 생산의 80%, 초고성능 컴퓨터 시스템의 53%를 점유하고 있는 ICT 기술 우위를 바탕으로 제조업의 부흥을 도모하고, 제조공정의 디지털화, 연결성 강화 및 빅데이터 등의 기술을 개발, 적용하여 제조업의 경쟁력을 상승시키고자 하고 있다.

일본은 디플레이션 탈피와 경제 재건을 위해 2013년 발표된 '산업재흥플랜'에 기반을 둔 정책을 전개, 세부전략과 구체적인 목표를 제시하고 있다. 즉, 첨단 설비 투자 촉진과 과학기술혁신 추진을 핵심과제로 선정, 제조업 경쟁력 강화를 위한 설비투자지원, 도전적 R&D 투자 강화 등을 통해 향후 5년 이내에 현재 5위인 기술력 순위를 1위로 향상시키고자 하는 목표를 제시하고 있으며, 특히 산업구조 혁신 및 설계·생산기술 R&D 투자 강화를 위해 '첨단 설비투자 촉진'과 '과학기술혁신 추진'을 핵심과제로 선정하여 추진 중이다.

중국은 2015년 제조업 전체를 아우른 '중국제조 2025' 계획을 제정하였으며, 2025년까지 전세계 제조업의 2부 리그에 들어가고, 그 다음 10년인 2035년에는 1부 리그에 진입한 후, 세 번째 10년인 2045년에는 전세계 제조업 1부 리그의 선두로 발돋움하겠다는 전략을 세우고 있다. 특히 중국은 제조업 전반에 대해 톱다운 방식의 전략적 대응과 상황 변화에 유연한 대응을 할 수 있는 전략과 함께, 차세대 IT 기술, 첨단 CNC 공작기계 및 로봇 등의 10대 육성 전략을 수립, 생산 장비 고도화 및 정보통신 진흥, 제조업 미래 투자 본격화, 제조업 개조 및 고도화, 그리고 전략적 신 성장 산업 육성 등 제조업 경쟁력 제고를 최우선 정책방향으로 설정하여 추진하고 있다.

우리나라 역시 '제조업 혁신 3.0' 전략을 수립, 4대 전략, 13대 추진 과제를 중심으로 다양한 기술 개발을 진행하고 있다. 특히, 스마트 생산방식 확산, 창조경제 대표 신산업 창출, 지역제조업의 스마트 혁신, 사업재편 촉진 및 혁신기반 조성 등 4대 추진방향을 설정하고, 8대 스마트 제조기술(스마트센서, CPS, 3D프린팅, 에너지절감, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 홀로그램)에 대한 중장기 로드맵을 수립하여 추진 중이다.

ICT융합 제조시스템, 스마트공장

그림 1은 스마트공장의 개념과 구성요소들을 보여준다. 스마트공장은 첨단 ICT와 제조기술 융합의 결과로서, 보다 빠르고 자율적인 의사결정을 통해 최적화된 의사결정을 내릴 수 있는 지능형 ICT융합 제조시스템이라고 할 수 있다.[노상도, "스마트팩토리와 사이버물리시스템 기술", 정보와 통신, pp. 3-7, 2016]

스마트공장의 설계, 구현과 운영을 위하여 사이버물리시스템(CPS), 산업 데이터 애널리틱스(industrial data analytics), 산업 사물인터넷(IIoT), 산업 서비스 인터넷(Industrial Internet of Services, IIoS), 스마트센서(smart sensor), 지능형 로봇/자동화 설비, 상호운용 플랫폼, 클라우드 생산(cloud manufacturing), 적층제조(AM: Additive Manufacturing), 제조 지능(manufacturing intelligence) 등 다양한 기술 개발

과 적용이 활발하게 진행되고 있다. 그림 2는 CPPS 체계로 설계, 운영되는 스마트공장과 ICT융합의 개념을 보여준다.

스마트공장 설계, 운영을 위한 주요 요소 기술들을 간략하게 정의하면 다음과 같다.[강형석, 노상도, "스마트제조 주요 기술 연구 동향", IE 매거진, 제 23권 제1호, pp. 24-28, 2016]

- 사이버물리시스템 : 실제 물리 세계와 진행되는 다양하고 복잡한 프로세스들과 정보들을, IoT를 통해 데이터에 접근하고 처리하는 서비스를 기반으로 사이버 세계에 밀접하게 연결시켜 주는 기술을 일컫는 것으로, 최적으로 자율 운영되는 스마트공장을 실현하기 위한 핵심기술이다.
- 클라우드 생산 : 클라우드 컴퓨팅 기술이 제조 분야에 적용된 것으로 고객 중심의 제조 방식을 통해 다변화하는 고객의 수요에 맞춰 물리적으로 분산되어 있는 제조 자원을 하나의 생산라인처럼 최적화할 수 있도록 효율적으로 구성하여 네트워크 생산을 수행하는 것을 의미한다.
- 산업 데이터 애널리틱스 : 빅데이터는 광범위하고

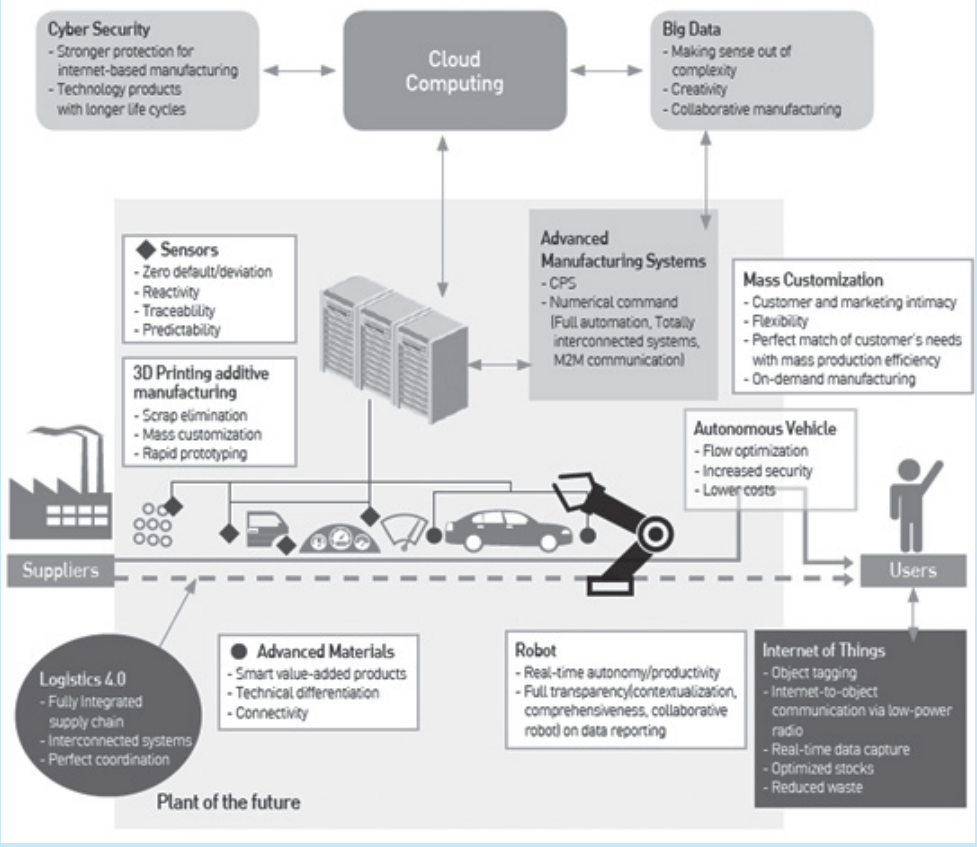

그림 1 스마트공장의 개념과 구성요소[한국산업기술평가관리원, "스마트공장 기술 동향", KEIT PD Issue Report, 제15권 4호, pp. 31-46, 2015]

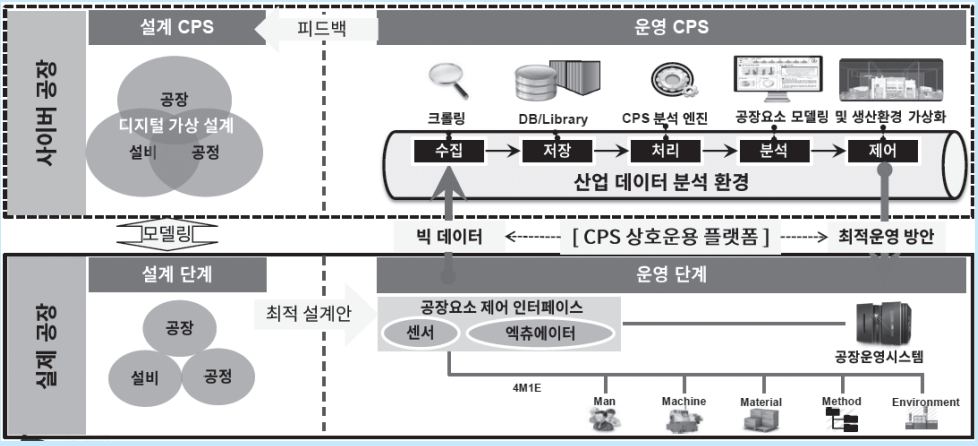

그림 2 CPSS 체계로 설계, 운영되는 스마트공장과 ICT융합의 개념

복잡한 데이터의 처리를 위한 수집, 정제, 분류, 분석, 전송, 공유, 저장, 가시화 등 일련의 처리 과정에 관련된 기술을 의미하며, 이를 통해 데이터 기반 예측, 가치 분석 등이 가능하다. 스마트공장에서 빅데이터 기술은 제조 현장의 데이터 수집 및 분석뿐만 아니라 제조 설비의 고장 예측, 생산 품질 예측 등에 활용된다.

- 산업 사물인터넷 : 전기, 소프트웨어, 센서 등이 네트워크 연결성을 내재한 'Things'나 물리적 오브젝트들의 네트워크를 의미하는 것으로 이를 통해 정보를 수집하거나 교환하는 기술이다. 사물인터넷은 스마트센서로부터 취득된 데이터를 수집, 교환하여 빅데이터 애널리틱스 적용을 가능하게 해주며, 이를 통해 사이버물리시스템과 클라우드 제조를 구현한다.
- 스마트센서 : 제조 현장의 정보를 직접적으로 수집하는 스마트센서는 디바이스 단위의 하드웨어 기술 가운데 산업 사물인터넷과 더불어 스마트공장 실현을 위한 핵심 기술이다.
- 적층제조 : 빛, 초음파진동, 레이저, 전자 빔을 통해 재료를 결합, 적층하여 CAD 파일과 같은 3차원 모델을 물리적 물체로 변환하는 방법으로서 재료나 결합 방식에 따라 다양한 특성을 지니며, 이를 첨단 기술을 통해 구체화한 기술이다. 적층제조는 기술 개발 초기에는 쾌속조형(RP: Rapid Prototyping) 기술에서 출발했으며, 현재는 PLA, ABS 등의 기존 재료에서 나아가 금속을 비롯한 다양한 성질의 재료 사용이 가능해지고, 적층 기술이 발전되어 금형 등 tooling이나 완제품 제조에도 쓰이고 있다.

제조업 ICT융합과 스마트화를 위한 제언

전술된 바와 같이 ICT융합을 통한 제조업 스마트화를 위한 핵심 기술로는 스마트센서, CPS, 3D프린팅, 에너지절감, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 홀로그램, 인공지능, 산업용 로봇 기술 등을 들 수 있으며, 우리 정부는 제조업 스마트화 기술들 간의 유기적 연계와 전략적 투자를 촉진하기 위한 중장기 로드맵 수립, 단계적 기술 확보 전략, 정부 R&D 프로그램들과 지원 자금의 전략적, 효율적 투자를 위해 많은 노력을 경주하고 있다. 이러한 핵심 기술들의 기술개발을 효과적으로 지원하기 위해서는 단기적 집중 기술과 중장기 육성 기술 분야를 구분하여 지원하고, 기술개발 결과 적용과 확산이 사업화로 이어질 수 있는 체계적인 추진, 그리고 기술 개발과 인력 양성 등 지원 서비스 연계가 필요하다.

제조업 스마트화의 효과적인 추진을 위해서는 대기업·중견기업·중소기업 등 대상 기업의 규모별, 조선·플랜트·금형·항공·건설 등 '맞춤형 제품의 소/중량 제조 업종', 또는 자동차·반도체·전자 등 '개발 제품의 대량 제조 업종' 등 업종별, 스마트제조 성숙도 등에 따른 맞춤형 지원이 필요하다. 아울러 IoT융합을 위한 하드웨어·소프트웨어 솔루션, 지원 서비스를 포함하는 새로운 산업 창출과 육성이 가능하므로, 스마트제조 수요·공급 산업의 투 트랙 분리 지원 전략이 필요하다. 특히 보급 확산은 주로 중소·중견 기업들을 대상으로 IoT융합 기술, 솔루션, 표준 및 인증, 인력 및 교육 지원 등을 통하여 제조업 스마트화를 확산시키는 개념으로서 지속적인 지원 추진을 위한 체계적 보급 확산 지원 체계 수립, 보급 확산을 뒷받침할 수 있는 지원 서비스와 협력 네트워크 확립 등의 지원 정책이 필요하다.