

미국 국립표준기술연구소(NIST) 스마트제조 기술·연구 현황

김 덕 봉 미국 테네시공대 공과대학 제조공학과 조교수 | e-mail : dkim@nttech.edu

이 글에서는 현재 미국 상무부 예하기관인 국립표준기술연구소(NIST)에서 진행하고 있는 ‘스마트제조 프로그램’과 관련된 연구에 대해 소개하고자 한다.

18세기 수증기를 동력으로 한 1차 산업혁명을 시작으로, 20세기 초반 전기 에너지를 이용해 노동 분업을 이룬 2차 산업혁명과 1970년대 이후 인터넷을 통한 정보전달이 핵심이 되는 3차 산업혁명을 거쳐 도달한 ‘4차 산업혁명’은 기존 제조업과 정보통신기술(ICT)을 융합해 산업기로부터 생산 과정 전 분야에 이르기까지 모든 과정을 네트워크로 연결하고 실시간으로 정보를 교환하여 기계 스스로가 생산·통제·수리가 가능한 “스마트제조(Smart Manufacturing) 패러다임으로 진화하겠다”는 방침이다[Industry 4.0: The new industrial revolution, Roland Berger Strategy consultants GMBH, http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_20140403.pdf]. 독일의 Industry 4.0, 미국의 Manufacturing USA, 일본의 개혁신 2020, 중국제조 2025 등 주요 선진국들은 경제 안정성에 있어 제조업의 중요성을 인지하고 이와 같은 차세대 생산체계의 변화를 추진하고 있다. 우리도 미래 제조업이 개별·맞춤형 소량 생산체계로 변화할 것을 예상하고, 이에 대응할 수 있는 차세대 생산체제인 ‘제조업 혁신 3.0’ 전략을 수립하여 4대 전략, 13대 추진 과제를 수행하고 있다.

작년 11월 ‘황해 산업벨트 제조혁신 포럼’의 기조연

설자로 나선 미국국립표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, 이하 NIST) 시스템통합부서(Systems Integration Division)의 앨버트 존스(Dr. Albert Jones) 과학정책지문관은 “스마트제조는 첨단 자동화 공장이 늘어나는 단순한 변화가 아니고, 제조 선진국인 미국, 독일 등에서 이미 추진하고 있는 세계적 흐름이다. 정보통신기술(ICT) 기반이 잘 갖춰지고 스마트기기 사용에 친숙한 한국은 제조업 분야에 있어 혁신적인 변화를 더 빨리 앞당길 수 있다”라고 말했다. 또한, 스마트제조는 “사람의 인지·신체 능력과 기계 시스템이 맞물려 상호작용하는 과정이기 때문에, 최신 기술이 제조업 현장에 제대로 적용되기 위해서는 표준화된 기술 훈련이 무엇보다 중요하다.”라고 재차 강조하였고, “독일에서는 기술자들이 표준 훈련을 받아 어떤 공장에서도 동일한 업무를 수행할 수 있다”는 예를 들었다. 특히, 표준화된 통합 스마트제조 프레임워크 개발 필요성에 대해 강조하였는데, 이처럼 스마트제조 패러다임 실현에 있어 표준 정립은 매우 중요한 사항이다. 이 글에서는 현재 미국 상무부 예하 연구기관인 NIST에서 ‘표준화된 통합 스마트제조 프레임워크 개발’과 관련해 어떠한 연구가 수행되고 있는지 이야기하고자 한다.

미국 차세대 제조산업 정책

20세기 후반부터 21세기 초반까지 미국 제조업은 높은 인건비를 절감할 목적으로 중국, 멕시코, 동남아시아 등지로 많은 공장들이 이전하였다. 하지만, 미국은 2008년 금융위기 이후 제조업을 국가 경쟁력의 근간으로 재인식하였고, ‘America first’, ‘America make’라는 슬로건을 내세워, 제2의 제조업 르네상스 시대를 맞이하고자 범국가적 차원에서 노력하고 있다. 그러나 미국은 여전히 높은 인건비, 전문 기술자 및 엔지니어의 부족, 다시 예상되는 노동자 파업, 환경 이슈 등 여전히 해결해야 할 많은 문제점들이 산재해 있다. 미국은 이런 문제점들을 해결하고, 차세대 제조산업 경쟁력을 높이기 위해 산·학·연 기관을 중심으로 컨소시엄 및 단체를 구성하여 다양한 연구를 수행하고 있으며, 이 개념은 스마트제조(smart manufacturing), 사이버 물리생산시스템(Cyber-physical production systems), 산업 사물인터넷(Industrial Internet of Things), 스마트 팩토리(smart factory), GE(General Electric)의 브릴리언트 공장(Brilliant factory) 등 다양한 용어로 불리지고 있다.

이 글에서는 차세대 생산체계 개념을 NIST에서 쓰고 있는 ‘스마트제조’라는 용어로 통일하고자 한다. 미국의 경우 스마트제조에 관한 연구는 초반에는 대학교 및 산업체를 중심으로 SMLC(Smart Manufacturing Leadership Coalition)라 불리는 연합을 구성하여 시작 하였으나, 현재는 NIST 및 여러 산·학·연 기관을 중심으로 컨소시엄을 재구성하였으며, 기존의 제조혁신네트워크(NNMI) 및 여러 협력단체가 ‘Manufacturing USA’ 명칭으로 통합되었다. 아직 NIST에서는 스마트제조에 관한 공식적인 정의는 없지만 스마트제조 시스템에 대해 “공장과 공급망 그리고 변화하는 고객의 요구와 환경에 부합하며 실시간으로 대응할 수 있는 완전 통합되고, 협업할 수 있는 시스템 [https://www.nist.gov/programs-projects/smart-

manufacturing-operations-planning-and-control-program]”으로 정의하고 있다.

미국 NIST 스마트제조 국가 정책 프로그램

NIST는 1901년 산업의 기술적 발전을 보조하고, 상품의 질과 생산과정을 현대화하며, 상품의 신뢰성을 증대할 목적으로 미국 의회에 의해 설립된 상무부 산하 국가 연구소이다. 설립 목적은 산업현장에서 필요로 하는 기술과 측정 분야에 국가 기준이 되는 표준을 선정하고 개발·적용하는 것이다. 특히, 민간 자본으로 달성이 어렵지만, 경제적인 측면에서 중요하다고 판단되는 기술의 선행 연구를 수행한다.

현재 NIST에서는 1단계 사업(2013년 10월~2018년 9월)으로 ‘스마트제조 프로그램[https://www.nist.gov/topics/smart-manufacturing]’이라는 명칭으로 차세대 생산체계에 관한 연구를 수행 중이다. 이 프로그램은 엔지니어링 랩의 예하부서인 시스템 통합부서(Systems integration division)와 지능시스템부서(Intelligent system division)를 중심으로 수행되고 있다. 그림 1에서 보는 것처럼 스마트제조에 관한 연구는 ① 스마트제조 시스템 디자인 및 분석(Smart Manufacturing Systems Design and Analysis), ② 스마트제조 운영계획 및 제어(Smart Manufacturing Operations Planning and Control), ③ 스마트제조를 위한 로봇 시스템(Robotic Systems for Smart Manufacturing), ④ 적층제조를 위한 측정과학(Measurement Science for Additive Manufacturing)으로 나뉘어져 있다. 각 프로그램은 다시 4개에서 8개의 세부 과제로 나누어진다. 각 세부 과제에는 매년 수십억 원의 예산이 할당되며, 4명에서 13명 정도의 연구원들로 구성되고, 미국 연구중심대학(예, 펜실베이니아 주립대학, 스탠포드대학, 버클리대학)과 활발하게 공동 연구를 수행 중이다. 또한, 이와 관련된 전문적인 기술/연구/

표준을 습득하기 위해 프랑스, 독일, 일본, 한국, 중국, 인도, 스페인, 핀란드 등 전세계에서 박사급 인력들이 중/단기 연수를 오고 있는 실정이다. 이처럼 NIST 스마트제조 프로그램은 관련된 연구·기술을 세계 각지로 전파하고 있으며, 표준정립 및 통합을 위해 노력하고 있다. 스마트제조 프로그램을 크게 들어나

NIST 스마트제조 생태계

NIST 2016년 보고서[Lu, Yan, Katherine C. Morris, and Simon Frechette, “Current standards landscape for smart manufacturing systems.” National Institute of Standards and Technology, NISTIR 8107, 2016]에서는, ‘스마트제조 생태계(Smart Manufacturing Eco-system)’라는 개념을 발표하였다. 이 생태계는 설계, 엔지니어링, 생산, 관리 등 스마트제조 환경에 있어 필요한 광범위한 영역을 포함하며, 그림 2는 스마트제조 생태계를 보여준

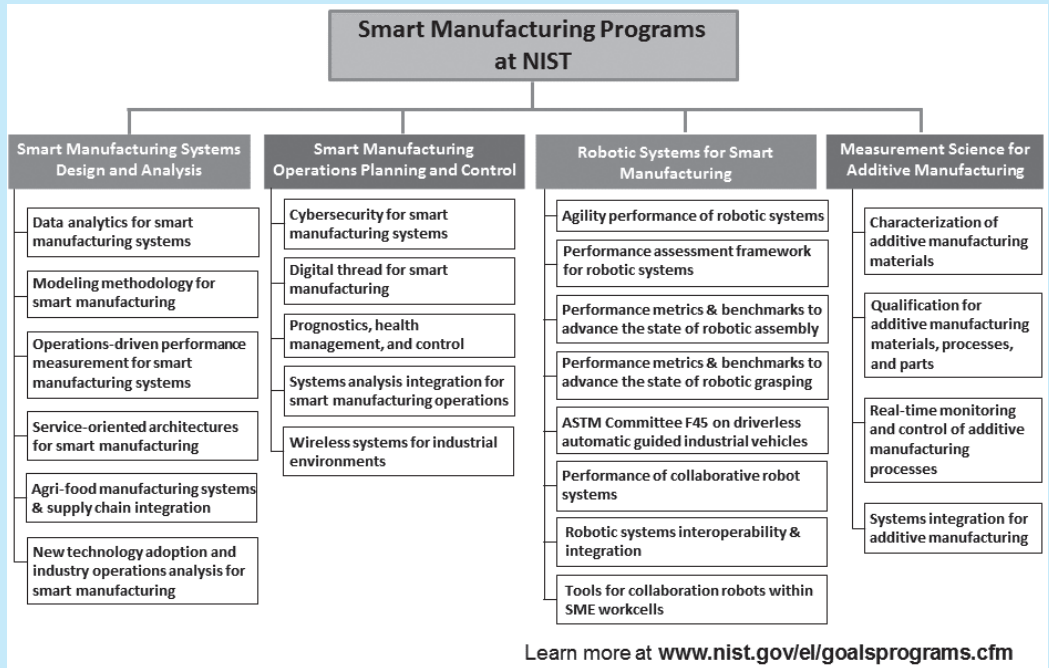


그림 1 NIST에서 현재 수행 중인 스마트제조 프로그램

다. 그림에서 보는 것처럼 스마트제조 생태계는 3개의 차원으로 나누어지고, 자체 수명주기에 따라, 제품(녹색 화살표), 생산 시스템(청색 화살표), 업무(황색 화살표)로 표시된다. 제품 수명주기는 초기 제품의 설계 단계에서부터 제품의 수명 종료까지 지속되는 정보의 흐름 및 제어와 관련이 있으며, 생산 시스템 수명주기는 전체 생산 시설 및 시스템의 설계와 배치·운영·해체에 중점을 둔다. 업무 수명주기는 공급자와 고객 간 상호작용과 관련이 있다. 각 차원은 제조 피라미드라고 불리는 기계·공장·기업 시스템의 수직 통합에 관여를 하며, 제조 소프트웨어들 간의 통합은 작업 현장에서 더 나은 제어와 의사결정 최적화에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상하고 있다. 또한, 자동화 설비, 스마트 기기 및 소프트웨어들 간의 긴밀한 통합은 신속한 제품 생산, 공급망 효율성 향상 및 생산 시스템 유연성을 야기할 것으로 전망하고 있다.

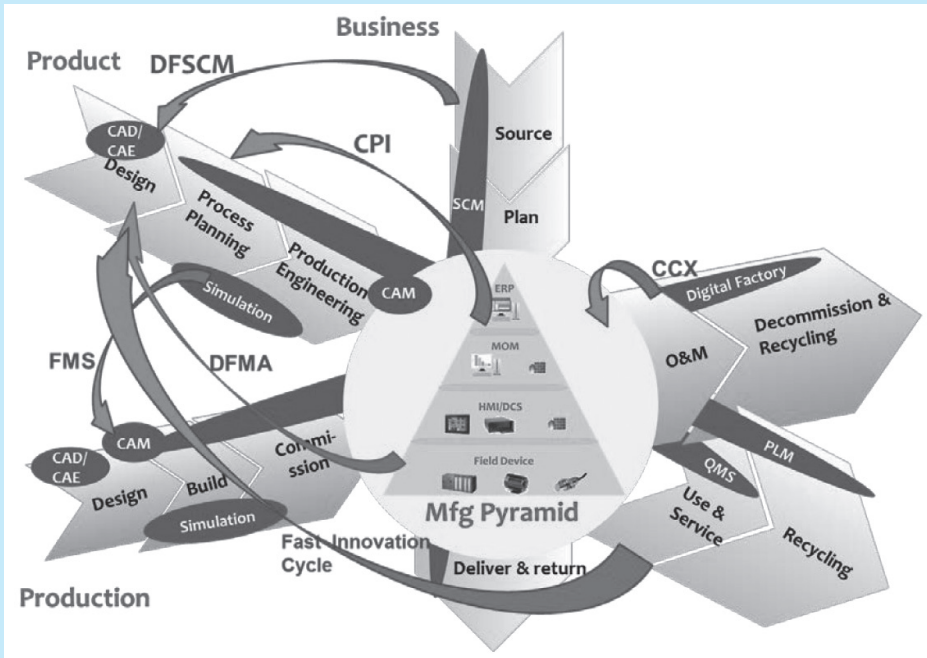


그림 2 스마트제조 생태계 [Lu, Yan, Katherine C. Morris, and Simon Frechette. "Current standards landscape for smart manufacturing systems." National Institute of Standards and Technology, NISTIR 8107, 2016]

관리/분석하여 신속하고 최적화된 대응을 하는데 있다고 할 수 있다. 이를 위해서는 표준화된 통합(Integration) 스마트제조 프레임워크 개발이 필수적이다. NIST 스마트제조 프로그램 연구원들은 이를 위해 전부서적 차원에서 통합 및 상호운용성(Interoperability)에 관계고찰을 하고 있으며, 사이버 물리시스템(CPS: Cyber-Physical System), 사이버보안(Cyber-security), 물질계놈발의(MGI: Materials Genome Initiative) 등 다

스마트제조 패러다임 실현을 위한 핵심 기술

스마트제조 패러다임을 실현하기 위해서는 사이버 물리시스템, 클라우드 생산, 산업 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 스마트센서, 스마트재료, 지능형 로봇/산업자동화, 디지털 트윈(digital twin), 디지털 스레드(digital thread), 대리 모델, 성능보증, 적층제조, 통합 및 상호운용성(interoperability) 등 종합적인 기술 개발이 필요하다. 표 1은 이 중에서 비교적 덜 알려져 있는 디지털 트윈, 디지털 스레드, 대리 모델, 성능보증 및 적층제조 기술에 대해 간략하게 설명하고 있다.

통합 및 상호운용성에 관한 고찰

스마트제조는 핵심은 스마트센서를 이용 제품 및 생산 공정 등 전 주기의 데이터를 획득하고, 이를 추적/

수의 프로그램과 연계하여 다가올 4차 산업혁명에 철저히 대비하고 있다.

- NIST 사이버 물리시스템 프로그램 : 사이버물리시스템은 다양한 임베디드 기기가 물리시스템의 상태를 관찰하고 데이터를 분석하여 제어, 감독하는 시스템이다. 컴퓨터·네트워크·제어 기술의 발전으로 사이버물리시스템 기술은 다양한 융합 및 응용(예, 스마트그리드, 스마트 팩토리) 분야로 확장이 가능하며, 특히 스마트제조 패러다임을 실현시킬 수 있는 핵심기술 중의 하나로 여겨지고 있다. NIST 스마트제조 및 사이버물리시스템 프로그램은 유기적인 협력관계를 유지하며 견고하게 스마트제조 프로그램을 구축하고 있다. 자세한 내용은 “<https://www.nist.gov/el/cyber-physical-systems>”에서 파악할 수 있다.

- NIST 사이버보안 프로그램 : NIST에서는 2017년 1월 ‘사이버보안 프레임워크 버전 1.1’을 개발·배포하였다. 사이버보안 프레임워크는 인지·보호·탐

표 1 스마트제조 패러다임 실현을 위한 핵심 기술

구분	내용
디지털 트윈 (Digital Twin)	·물리적 사물과 컴퓨터에 동일하게 표현되는 가상 모델 ·제너럴 일렉트릭(GE: General Electric)에서 만든 개념 ·디지털 트윈 개념을 통해 제조 장비·공정 효율성 향상 및 제품·서비스 향상 등이 가능함
디지털 쓰레드 (Digital Thread)	·제품수명주기 및 생산 공정 시에 생성되는 데이터를 획득·저장·분석·추적·연결 및 통합적인 뷰를 제공하는 디지털 기반 기술 ·디지털 쓰레드를 통해 데이터기반 의사결정 지원·관리가 가능함
대리 모델 (Surrogate Model)	·스마트제조 진단 시 계산이 많고 복잡한 모델보다, 정확성을 유지하면서 계산이 적은 간단한 모델 ·대리 모델을 의사결정지원 시스템에 이용할 수 있으며, 생산 공정 최적화 및 제품 기능을 향상함
성능보증 (Performance Assurance)	·생산 공정 핵심성과지표(key performance indicator)를 설정하고, 이를 만족시키기 위한 통합 솔루션 ·성능보증 개념을 통해 생산 공정 및 제품 품질을 보증함
적층제조 (Additive Manufacturing)	·레이저, 전자 빔, 아크 등 에너지를 이용하여 금속, 플라스틱 등의 분말/선재 재료를 적층하여 제조하는 방법 ·복잡형상 제조 및 제조 단가를 낮출 것으로 기대함

지·대응·복구 등으로 구성되며, 사이버 위협 및 공격으로부터 국가 주요 기반시설 및 운영주체를 보호하고 적절히 대응하는 종합적이고 표준화된 관리 지침이다. 스마트제조 환경에 있어 경제 성장 엔진의 사이버보안 중요성을 인식하고, 두 프로그램은 유기적인 협력관계를 통해 안전한 디지털 기반 스마트제조 환경을 완성해가고 있다. 자세한 내용은 “<https://www.nist.gov/cyberframework>”에서 파악할 수 있다.

- NIST 물질게놈발의 : 4차 산업혁명 실현에 있어 소재기술은 또 하나의 핵심기술이며, 미국은 2011년부터 2014년까지 소재 개발기간과 생산비용을 줄이기 위해 국책과제로 물질게놈발의 프로그램을 추진하였다. NIST에서도 “NIST Materials Genome Initiative-Gateway to Materials Genome Information” 프로그램이 진행되고 있으며, 스마트제조 프로그램의 세부 프로그램인 ‘적층제조를 위한 측정과학 프로그램’과 활발한 공동 연구를 수행 중이다. 자세한 내용은 “<https://mgi.nist.gov/>”에서 파악할 수 있다.

스마트제조 패러다임의 전환은 네트워킹, 인공지능, 예측 분석, 클라우드 컴퓨팅 기술 등으로 접근할 수 있는 스마트 기기의 도입을 통해 구현될 수 있다. 이 기술을 이용 표준화된 통합 프레임워크 개발을 위해서는 기 정립된 표준에 기반을 두고 통합해야 하고, 상호운용성을 높여야 한다. 따라서 스마트제조에 관한 표준 정립은 스마트제조 패러다임 실현에 있어 핵심 요소라고 할 수 있다. 또한, 표준화된 통합 프레임워크는 체계적이고 반복적인 제조 환경을 제공하기 때문에, 다국적기업에서부터 중소기업에까지 규모나 위치에 상관없이 광범위한 제조사의 참여를 보장할 수 있게 해준다. 이처럼 스마트제조 표준화는 다가올 ‘4차 산업혁명’ 시대에 국가 경쟁력 제고에 큰 역할을 할 것으로 사료한다. 스마트제조 패러다임 실현을 위해서는 기계, 전자, 컴퓨터 과학, 산업, 재료, 통계, 인문, 사회, 경제, 철학 등 다학제적 융합 연구가 필요할 뿐만 아니라, 이에 관해 전정부적 협치와 적극적인 지원이 필요할 것으로 생각된다.