

스마트팩토리과 사이버물리시스템 기술

노상도
성균관대학교

요약

본고에서는 스마트제조 기술의 일반 소개와 함께 핵심 기술 중 하나인 사이버물리시스템(Cyber Physical System, CPS) 기술에 대해 알아본다. 스마트팩토리 CPPS(Cyber Physical Production System)는 IIoT기반으로 제조 현장 빅데이터를 수집하고, 이를 데이터 애널리틱스를 통해 실시간으로 분석, 현장과 동기화된 사이버모델을 구성, 활용하여 제조시스템의 효율적인 설계, 운영을 수행하는 체계이며, 이를 통해 주문 변경, 공정 이상, 설비 고장 등의 상황 변경에 자율적으로 인지, 판단, 대응할 수 있다.

I. 서론

스마트제조(smart manufacturing)는 제조업의 전략적 혁신을 위해 인간, 기술, 정보를 융합하며, 제조업에 다양한 정보기술(ICT)을 적용하고자 하는 기술이라고 할 수 있다. 특히 소비자 요구의 다양화, 고급화에 따른 개인맞춤형 생산(personalized manufacturing)을 구현하고, 인간과 협업하며 스스로 학습하는 디지털제조 방식을 적용하는 4차 산업혁명 시대의 생산 체계를 말한다.

또한 스마트팩토리(smart factory)는 스마트제조를 실행하는 생산시스템을 말하며, 제조 현장에 정보기술을 결합, 개별 공장의 설비(장비)와 공정이 지능화되어 생산네트워크로 연결되고, 모든 생산 데이터와 정보가 실시간으로 공유, 활용되어 최적화된 생산운영이 가능한 공장으로, 공장 간의 협업적인 운영이 지속되는 생산체계이다[1].

미국의 첨단제조파트너십 (AMP)과 제조혁신네트워크 (NNMI), 독일의 Industrie 4.0, 일본의 일본재흥전략, EU의 Horizon 2020: Factories of Future 등 제조 선진국들은 후발국들과의 제조 기술 격차를 늘이기 위해, 후발국은 선진국들과의 기술 격차를 줄이기 위해 국가적 차원에서 관련된 연구에 많

은 노력과 투자를 하고 있다. 다음의 <표 1>은 주요 국가들의 관련 정책을 정리하여 보여주고 있다.

표 1. 주요 국가들의 정책 및 지원 프로그램[2]

구분	정책/전략	주요 프로그램
미국	첨단제조파트너십 (AMP) • 기술혁신 플랫폼 제공, 첨단 제조기술 로드맵 작성 • 중소기업이 사용가능한 시설 정비 • 중점 4영역 : 안전보장, 첨단 재료, 차세대 로보틱스, 제조공정·에너지 효율성 향상	제조혁신네트워크 (NNMI) • AMP의 핵심 프로그램 • 45개 제조혁신연구소 (MI) 설치 (2012~) • America Makes (적층가공기술) 시행 • 파워일렉트로닉스, 경량·신소재 금속, 디지털 제조·설계, 첨단복합재료 거점 구축
독일	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, Smart factory KL (인공지능연구소 등)
일본	일본재흥전략 • 미래투자를 통한 생산성 혁명 : 혁신·벤처 창출 • 4차 산업혁명 도전 가속화 : IoT, 빅데이터, 인공지능을 통한 산업·취업구조 변혁 • 중견·중소기업·소규모사업자의 '수익력' 강화	'개혁 2020' • 성장 가속화 및 ·관 프로젝트 : 자동주행, 수소사회, 첨단로봇 등의 분야에서 2020년까지 가시적인 성과 창출
EU	Manufacture 전략연구 아젠다 • 고부가가치의 새로운 제품·서비스와 새로운 비즈니스 모델의 창출 • 새로운 제조 공학의 창출 • 연구·교육 인프라의 정비	Horizon 2020: Factories of Future ① 선진적 제조공정 ② 응용성 있는 스마트한 제조 시스템 ③ 버추얼화되고 자원 고효율인 공장 ④ 연계·이동가능성이 큰 기업 활동 ⑤ 인간 중심의 제조 ⑥ 소비자의 요구에 따른 제조

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, 지역 제조업의 스마트 혁신, 사업재편 촉진 및 혁신기반 조성 등 4대 추진방향을 설정하고, <표 2>와 같이 8대 스마트 제조기술(스마트센서, CPS, 3D프린팅, 에너지절감, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 홀로그램)에 대한 중장기 로드맵을 수립하여 추진 중이다.

표 2. 우리나라의 8대 스마트제조기술[2]

구분	정책·전략	주요 프로그램
스마트센서		스마트한 제조환경을 가능하게 하는 제조업에서의 다양한 정보를 감지할 수 있는 폭넓은 센서를 의미
CPS		제조 기업의 정보·컴퓨터 시스템과 사람, 공정, 설비의 같은 물리적 시스템을 네트워크로 통합하여 안전하고 신뢰성 있게 분산제어하는 지능형 제조시스템 구축 기술
3D프린팅		3차원 디자인 기술 기반의 디지털 정보를 제조장비에 입력하여 소재를 부가(Additive)으로 쌓아 제품을 생산하는 기술과 이를 활용한 서비스
에너지절감		ICT와 신기술에 기반하여 제조업 전주기에서 소요되는 에너지의 합리적인 이용과 혁신적 제조산업을 발굴하는 기술 및 서비스
사물인터넷 (IoT)		인터넷을 기반으로 다양한 물리적 및 가상의 사물들을 연결하여 제조·유통·물류 등에 활용되어 산업효율을 제고하기 위한 글로벌 서비스 인프라
빅데이터 (Bigdata)		스마트 제조에 요구되는 컴퓨팅자원, 스토리지, 소프트웨어 등 모든 필요 IT 자원을 클라우드를 통해 서비스 형태로 제공하는 기술
클라우드 (Cloud)		제조 과정에서 발생하는 데이터와 시장·환경·정책·기술 동향 등의 외부 데이터 수집 및 분석을 통한 제조업 전주기(수요 예측·설계·설비·제조·유통)의 지능화 및 서비스화 기술
홀로그램		실제 사물을 보는 것과 동일한 입체감과 현실감을 제공하는 3D 입체화형 실감 영상으로써 아날로그 기술과 디지털 기술로 구분되며, 홀로그램 영상 효과를 모방하는 유사 홀로그램 기술이 있음

스마트제조를 위하여 전 세계적으로 사이버물리시스템 (Cyber Physical System, CPS), 산업 데이터 애널리틱스 (industrial data analytics), 산업 사물인터넷(Industrial Internet of Things, IIoT), 산업 서비스 인터넷(Industrial Internet of Services, IIoS), 스마트센서(smart sensor), 지능형 로봇/자동화 설비, 상호운용 플랫폼, 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 제조 지능(manufacturing intelligence) 등 다양한 핵심 요소 기술 연구 개발이 진행되고 있다[3]. <그림 1>은 이상과 같은 스마트팩토리의 구성 요소들을 보여준다.

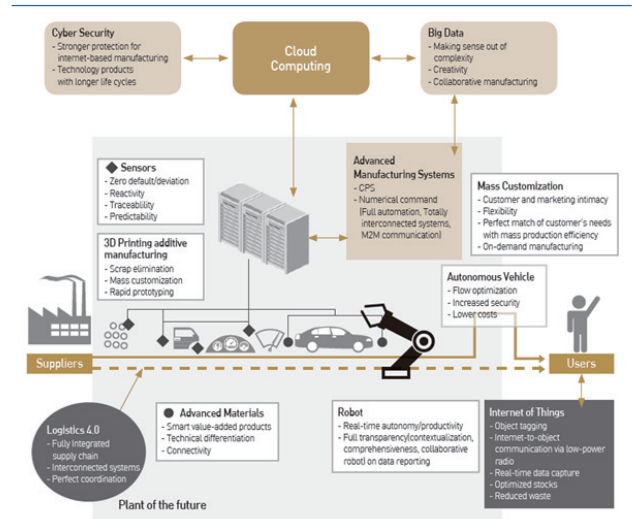


그림 1. 스마트팩토리의 구성 요소[4]

스마트팩토리 설계, 운영을 위한 사이버물리시스템인 CPPS (Cyber Physical Production System)는 제품, 공정, 생산 설비 등 제조시스템을 대상으로 한 실제 물리세계와 가상 세계의 통합 시스템을 말한다. 즉, IIoT기반으로 제조 현장 빅데이터를 수집하고, 이를 데이터 애널리틱스를 통해 실시간으로 분석, 현장과 동기화된 사이버모델(cyber model)을 디지털트윈(digital twins) 개념으로 구성, 활용하여 제조시스템의 효율적인 설계, 운영을 수행하는 체계로서, 주문 변경, 공정 이상, 설비 고장 등의 상황 변경을 자율적으로 인지, 판단, 대응할 수 있는 지능적인 시스템이다[3].

II. CPPS 관련 연구 및 기술 개발 동향

<표 1>에서 알 수 있는 바와 같이 독일은 국가적으로 제조업에 ICT 기술을 융합하여 스마트공장을 구현하는 연구와 기술개발이 진행 중이며, IIoT 개념을 CPS 기술과 접목하여 제조, 생산 분야에 적용하는 CPPS 기술 개발과 확산을 추진하고 있다.

우리 정부의 '제조업혁신 3.0'전략에서 제시하고 있는 8대 스마트제조 기술과 비교하여 CPPS관련 연구 및 기술 개발의 특징을 정리하면 다음의 <그림 2>와 <그림 3>과 같다. <그림 2>는 CPPS 기술의 적용 분야를 타 기술들과 비교해서 보여주고 있으며, 공정, 설비를 포함한 공장 전체를 대상으로 하고 있음을 알 수 있다. <그림 3>의 기술 적용 대상 프로세스를 살펴보면 CPPS 기술은 제조 전반과 설계, 구축 및 운영 전반을 다루고 있으며, 이는 기술을 성공적으로 적용하기 위해서는 명확한 요구사항 분석에서 시작해서 실제 실현에 이르기까지 체계적

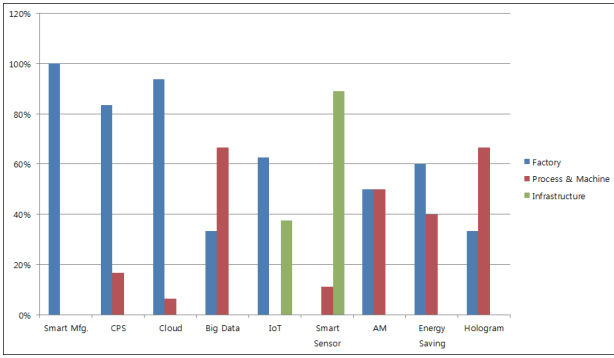


그림 2. CPPS 기술 적용 분야[5]

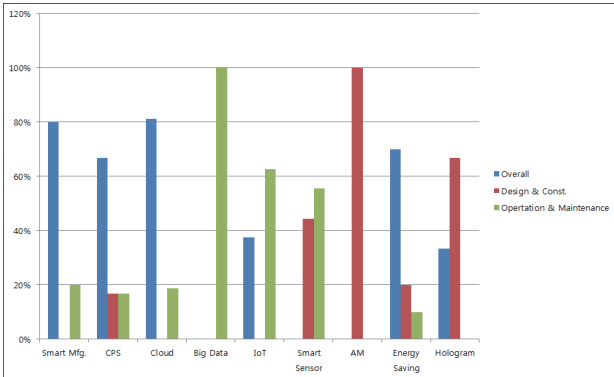


그림 3. CPPS 기술 적용 대상 프로세스[5]

고 전략적인 접근 방법이 필요하다는 것을 의미한다[3].

특히 CPPS는 스마트공장을 실현하기 위한 핵심기술로서 클라우드, 사물인터넷, 빅데이터 등과 밀접하게 연관된 연구들이 수행되고 있다. 2005년부터 진행된 최근 10년간의 관련 연구들을 살펴보면, 관련 연구들은 크게 개념, 모델링 방법, 활용 방안 등에 대한 연구와 제조 현장 적용을 위한 다른 ICT 기술 또는 기존 시스템들과의 접목 방안에 관한 연구들로 구분되며, 주로 사용되는 키워드는 사이버 모델, 디지털트윈, 실시간 모델링&분석 등이다[5].

많은 관련 연구들이 수행되고 있으나, 아직은 초기 단계여서 전체 시스템의 개념적 접근 또는 설계, 방법론의 제시와 부분적 요소 기술 적용 측면이 주류를 이루고 있으며, 좀 더 구체적이고 통합적이며 실증적인 연구가 필요한 상황이다[6].

III. 스마트팩토리의 지능적인 설계, 운영을 위한 사이버물리시스템

일반적으로 CPS는 실제 물리 세계와 그 위에서 진행되는 다

양하고 복잡한 프로세스들과 정보들을, 인터넷을 통해 데이터에 접근 및 처리하는 서비스 기반으로 사이버 세계에 밀접하게 연결시켜 주는 컴퓨터 기반 구성 요소 및 시스템을 말하며[6], CPPS는 제조 산업 분야에 CPS 기술이 적용된 것으로, 컴퓨팅 및 정보처리, 통신, 센서·구동·제어 기능이 현실세계의 사물(즉 생산 기계, 조립 로봇 등)들과 네트워크로 연계되어 자동화 및 지능화된 CPS 기반 스마트제조시스템 기술을 의미한다[2].

스마트팩토리에서 CPPS는 외부환경, 공장 설비 및 운영환경에 부착된 센서와의 통신을 통해 수집된 정보를 자율적으로 분석하고 의사 결정하여 최적의 솔루션을 찾는 방식으로, 지능화된 ‘상황 인지’, ‘판단(의사결정)’, ‘수행’을 통하여 제조 현장의 설비 간 네트워크에서부터 설계, 운영에 관련된 최적화된 의사결정을 통합하여 지원한다. 특히 데이터애널리틱스를 통해 물리적 세계(제조 현장)과 동기화된 사이버 모델, 즉 ‘디지털 트윈(digital twin)’이 구축, 활용된다.

다음의 <그림 4>는 CPPS기반의 지능적인 스마트팩토리 설계, 운영 개념을 도식화하여 나타낸 것이다. 즉, 공장에서는 제품, 공정, 다양한 설비들과 ERP(Enterprise Resource Planning, MES(Manufacturing Execution System) 등 여러 생산관리 시스템들이 IIoT, 플랫폼 등을 통하여 상호 연계되며, 이를 바탕으로 운영, 관리가 수행된다. 또한, 설계/운영 CPS에서는 제조 빅데이터 관리와 분석을 통해 현장과 동기화된 사이버모델을 구성, 운영과 가시화를 수행하며, 이를 바탕으로 지식관리와 최적화가 달성된다. 주요한 기능으로는 클라우드 기반 제조 빅데이터 애널리틱스, 실시간 가상화를 통한 디지털 트윈 구성 및 가시화, 제조 최적화와 지식 관리 등을 들 수 있다. 마지막으로 서비스 지향 & 개방형 네트워크와 표준 플랫폼(Service-Oriented and Open Network-Based Standard Platform), 엔지니어링을 지원하는 PLM(Product Life-cycle Management)을 바탕으로, IIoT와 IIoS기반 개방형 네트워크와 구성 요소들이 통합되고 상호 연계된다[3].

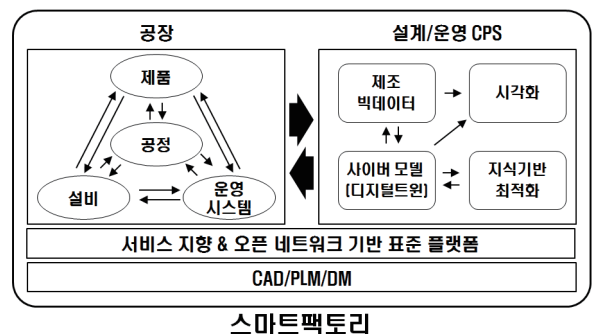
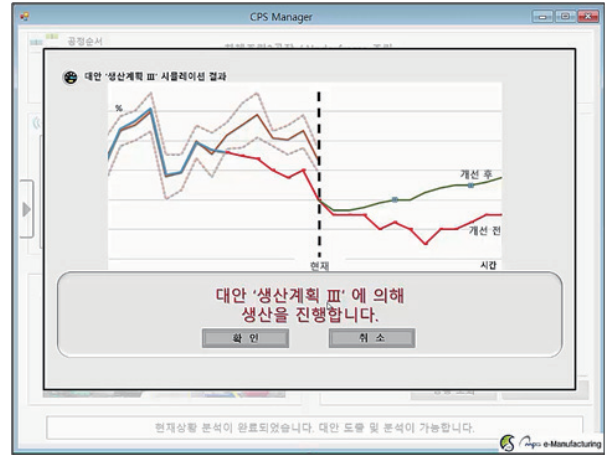


그림 4. 스마트팩토리 설계, 운영과 CPPS[3]

스마트팩토리 CPS를 통한 지능적인 설계, 운영의 개념은 다음의 <그림 5>와 같이 제조 현장에서 수집되는 제조 빅데이터, 디지털 트윈 개념으로 생성, 활용되는 사이버모델, ERP, MES 등 각종 레가시 시스템(legacy system)들과 실시간으로 연동되는 통합 의사결정 대쉬보드(dashboard)로 설명할 수 있다.

- (1) 운영: 제품, 공정, 설비, 공장에 관련된 각종 엔지니어링 데이터, 제조 현장의 다양한 레가시 시스템들과의 연계를 통해 현장의 센서 데이터, 생산계획 및 관리 정보, 품질 정보 등 실시간으로 수집, 정리, 초기 예상과 실제 결과 비교 제시
- (2) 상황인지: 생산성, 품질 등 각종 지표들에 대한 분석을 통한 이상 상황 감지, 향후 예상되는 결과를 분석, 제시하며 경고
- (3) 판단(의사결정): 디지털트윈 개념으로 현장 데이터를 정제, 분석하여 생성된 사이버모델을 활용, 예상되는 문제 상황과 대처 방안 실행 시의 효과를 비교하여 분석
- (4) 실행: 분석 결과를 바탕으로 결정된 대처 방안을 실행하며, 다시 실시간으로 현장 데이터를 수집, 정리하여 예상과 실제 결과를 비교하여 제시



(3) 판단(의사결정)



(4) 실행



(1) 운영



(2) 상황 인지

그림 5. CPPS기반 스마트팩토리 설계, 운영 대쉬보드 구현 예[3]

이상과 같은 CPPS의 구축과 적용을 위해서는 다양한 기술들이 계층별로 융합되어야 하며, 핵심 요소 기술로는 클라우드 기반 상호운용 플랫폼, IIoT기반 센서 네트워크를 통한 데이터 수집 및 처리, 산업 데이터 애널리틱스를 통한 수집 데이터의 정제와 분석, 실시간 가상화(real-time virtualization)를 통한 사이버모델 자동 구축, 그리고 머신러닝(machine learning) 등 인공지능 기법 기반 의사결정 최적화 등이 있다.

IV. 결론

스마트제조와 스마트팩토리는 제조업에 ICT를 결합, 적용하여 설계, 운영을 최적화하고자 하는 제조 혁신전략으로, 가장 큰 목적은 어떠한 낭비도 없는 전 과정에서의 '제조 최적화'라고 할 수 있다.

스마트팩토리 CPPS는 (1) IIoT 기술을 적용해 생산의 전 과정을 연결, 데이터를 수집, 감시하고, (2) 모아진 제조 빅데이터를 관리, 정제, 분석하며, (3) 실시간 가상화를 통해 현장 상황과 일치하는 사이버모델을 수립, 디지털트윈 개념으로 활용함으로써, (4) 자율, 능동적으로 설계, 운영 최적화를 달성하고자 하는 핵심 실행 전략이다.

특히 스마트팩토리의 설계, 운영을 위한 CPS 기술의 개발과 적용을 위해서는 기술 그 자체에 대한 연구와 개발에 더하여 다른 기술과 상호 작용, 유연하게 운용될 수 있는 통합 기술과 플랫폼의 구축이 필수적이다[3].

참고 문헌

- [1] 이규택, 이진재, 송병훈, “스마트공장 기술 동향”, KEIT PD Issue Report, 제15권 4호, pp. 31-46, 2015
- [2] KIAT, “스마트 제조 R&D 중장기 로드맵(2015)”, 2015
- [3] 노상도, “스마트공장 사이버물리시스템(CPS) 기술 동향 및 이슈”, 대한전자공학회 학회지, pp. 362-365, 2016
- [4] Roland Berger, “INDUSTRY 4.0: The new industrial revolution How Europe will succeed”, 2013
- [5] Hyoung Seok Kang, Ju Yeon Lee, Sang Su Choi, Hyun Kim, Jun Hee Park, Ji Yeon Son, Bo Hyun Kim and Sang Do Noh, “Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions”, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 111-128, 2016
- [6] 강형석, 노상도, “스마트제조 주요 기술 연구 동향”, IP매거진, 제 23권 제1호, pp. 24-28, 2016

약 력



노 상 도

1992년 KAIST 기계공학과 공학사
 1994년 서울대학교 대학원 기계설계학과 공학석사
 1999년 서울대학교 대학원 기계설계학과 공학박사
 1999년~2001년 고등기술연구원 선임연구원
 2001년~2002년 서울대학교 기계항공공학부 연구교수
 2002년~현재 성균관대학교 공과대학 시스템경영 공학과/대학원 산업공학과 교수
 2016년~현재 성균관대학교 대학원 스마트팩토리 융합학과 교수, 학과장
 관심분야: 엔지니어링 프로세스 및 생산시스템 모델링&시뮬레이션, CAD/CAPP/CAM, PLM/디지털 가상생산, 엔지니어링 상호 운용성, e-Manufacturing, 스마트제조, 스마트공장, CPS