

스마트공장 사이버물리시스템(CPS) 기술 동향 및 이슈

I. 서론

스마트제조(smart manufacturing)는 인간, 기술, 정보의 융합을 통해 제조업의 전략적 혁신을 도모하는 패러다임이며, 새로운 ICT와 전통 제조 기술을 융합하고자 하는 기술이다. 2014년 산업통상자원부의 정의에 따르면 스마트공장은 전통 제조 산업에 ICT를 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 생산체계를 말한다.^[1]

독일, 미국, 일본 등의 제조 선진국에서는 후발국들과의 제조 기술 격차를 늘이기 위해, 중국 등의 후발국에서는 선진국들과의 기술 격차를 줄이기 위해 국가적 차원에서 스마트제조, 스마트공장(smart factory) 관련 연구와 기술개발에 적극적인 노력을 경주하고 있다. 우리나라 역시 국내 제조 산업의 새로운 도약을 위하여 '제조업 혁신 3.0' 전략을 수립, 4대 전략 13대 추진 과제를 중심으로 지원하고 있으며, 8대 스마트제조 기술을 선정하여 여러 가지 연구 개발들을 진행하고 있다.

기술 개발 측면에서는 스마트공장 설계/운영/최적화, 머신러닝(machine learning) 및 인공지능 기반의 제조 지능(manufacturing intelligence), 사이버물리시스템(Cyber-Physical System, CPS), 산업 데이터 애널리틱스(industrial data analytics), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 산업 사물인터넷(Industrial Internet-of-Things, IIoT), 스마트센서(smart sensor) 등의 다양한 핵심 요소 기술 연구 개발들이 진행되고 있다. 스마트공장 CPS는 제품, 공정, 생산 설비와 공장에 대한 실제 세계와 가상 세계의 통합 시스템이라 할 수 있으며, 제조 빅데이터와 IT기술을 기반으로 사이버모델을 구축, 실시간으로 동기화한 후



노상도
성균관대학교 공과대학
시스템경영공학과

이를 활용하여 효율적인 설계, 운영을 수행하고, 주문 변경, 공정 이상, 설비 고장 등의 상황 변경을 각종 센서 등으로 인지, 판단, 대응하는 시스템이다.

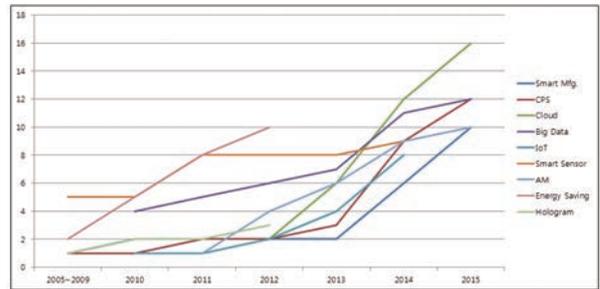
II. 스마트공장 사이버물리시스템(CPS) 기술 연구 동향

독일은 제조업의 미래 경쟁력 제고를 위해 2012년부터 ICT와 제조 산업의 융합을 통해 제조업의 완전한 자동 생산 체계를 구축하고 모든 생산 과정이 최적화되는 'Industry 4.0' 정책을 적극 추진하고, 국가적으로 제조업에 ICT 기술을 융합하여 스마트공장을 구현하는 연구와 기술개발이 진행 중으로, IIoT 개념을 CPS 기술과 접목하여 제조 & 생산 분야에 적용하는 CPPS(Cyber-Physical Production System) 기술 개발과 확산을 추진하고 있다.

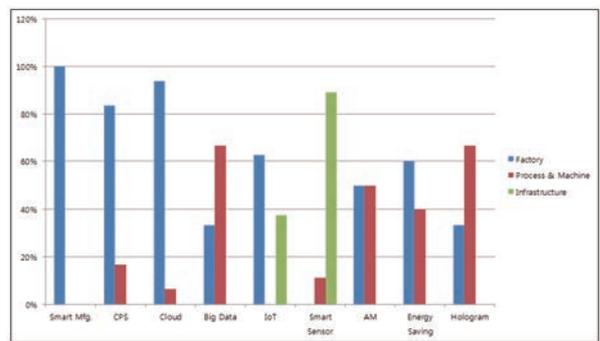
CPS는 스마트공장을 실현하기 위한 핵심기술로서 클라우드, 사물인터넷, 빅데이터 등과 밀접하게 연관된 연구들이 수행되고 있다. 2005년부터 진행된 최근 10년간의 관련 연구들을 살펴보면, CPS의 개념, 모델링 방법, 활용 방안 등에 대한 연구와 CPS 기술의 제조 현장 적용을 위한 다른 ICT 기술이나 기존 시스템들과의 접목 방안에 관한 연구들로 크게 구분되며, 주로 사용되는 키워드는 사이버 모델, 디지털트윈, 실시간 모델링&분석 등이다.^[2]

스마트공장 CPS에 대해서는 다양한 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.^[3] 우리 정부의 '제조업혁신 3.0' 전략에서 제시하고 있는 8대 스마트제조 기술(센서, CPS, 3D프린팅, 에너지, IoT, 클라우드, 빅데이터, 홀로그램)과 비교하여 CPS관련 연구 및 기술 개발 동향을 정리하면 다음과 같다.

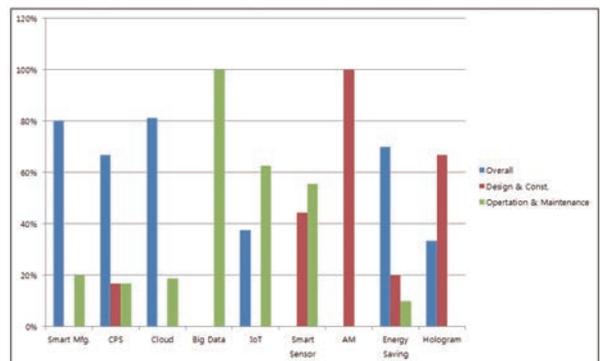
<그림 1>은 연도별 연구개발 누적 분포를 보여주며, CPS도 스마트공장에 관련된 대부분의 기술과 마찬가지로 2013년에 이르러 급격히 증가하고 있다. <그림 2>는



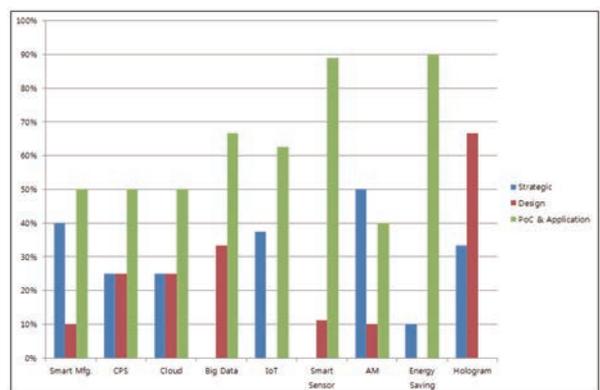
<그림 1> 연도별 연구개발 누적 분포^[2]



<그림 2> 연구개발 적용 분야^[2]



<그림 3> 연구개발 적용 프로세스 분포^[2]

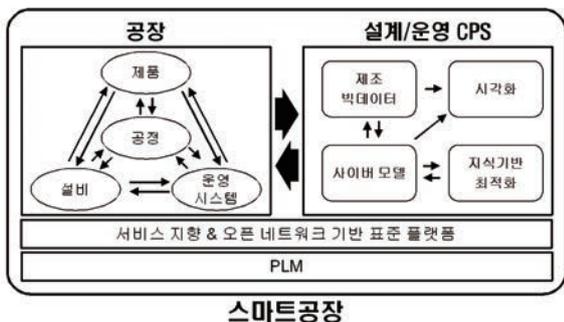


<그림 4> 연구개발 결과 수준 분포^[2]

연구개발의 적용 분야를 비교해서 보여주고 있으며, CPS 기술이 공정, 설비를 포함한 공장 전체를 대상으로 하고 있음을 알 수 있다. <그림 3>의 대상 프로세스 분포를 비교해서 살펴보면 CPS는 제조 전반과 설계, 구축 및 운영 전반을 다루고 있으며, 이는 기술을 성공적으로 적용하기 위해서는 명확한 요구사항 분석에서 시작해서 실제 실현에 이르기까지 체계적이고 전략적인 접근 방법이 필요하다는 것을 의미한다. <그림 4>는 연구개발 결과의 수준 분포를 정리한 것으로, 조사 대상 문헌에서 다루고 있는 각 기술의 개발 수준을 보여주는 것으로, 전략적인 수준에서 개념 정립과 방법론 구축, 시스템 설계 단계에 있으며, 일부 실증과 사례 적용이 이뤄지고 있다.

III. 스마트공장 설계, 운영을 위한 사이버물리시스템(CPS) 기술

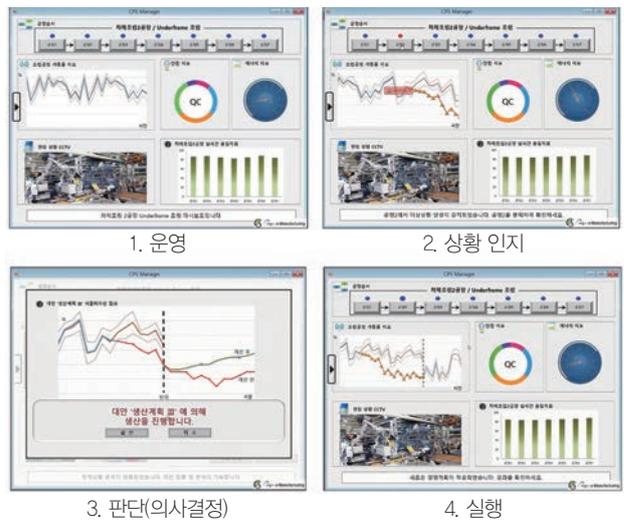
CPS는 실제 물리 세계와 그 위에서 진행되는 다양하고 복잡한 프로세스들과 정보들을, 인터넷을 통해 데이터에 접근 및 처리하는 서비스 기반으로 사이버 세계에 밀접하게 연결시켜 주는 컴퓨터 기반 구성 요소 및 시스템^[3]을 말하며, 스마트공장 CPS는 지능화된 ‘상황 인지’, ‘판단(의사결정)’, ‘수행’을 통하여 제조 현장의 설비 간 네트워크에서부터 설계, 운영에 관련된 최적화된 의사결정을 통합하여 지원한다. 특히 공장 차원의 CPS 적용을 위해서는 데이터애널리틱스를 통해 물리적 세계(제조 현장)과 동기화된 사이버 모델, 즉 ‘디지털 트윈(digital twin)’이 구축, 활용된다. 다음의 <그림 5>는 CPS기반의 스마트공장 설계, 운영 개념을 도식화하여 나타낸 것이다.



<그림 5> CPS기반의 스마트공장 설계, 운영^[4]

- 공장: 제품, 공정, 설비들과 ERP(Enterprise Resource Planning, MES(Manufacturing Execution System) 등 여러 운영 시스템들이 IIoT, 플랫폼 등 통하여 상호 연계되며, 이를 바탕으로 운영, 관리
- 설계/운영 CPS: 제조 빅데이터 관리와 분석을 통해 현장과 동기화된 사이버모델 구성, 운영과 가시화를 수행하며, 이를 바탕으로 지식관리와 최적화 달성
 - (1) 클라우드 기반 제조 빅데이터 관리, 정제 및 분석
 - (2) 실시간 가상화를 통한 사이버모델 구성 및 가시화
 - (3) 제조 최적화와 지식 관리
- 서비스 지향 & 개방형 네트워크와 표준 플랫폼 (Service-Oriented and Open Network-Based Standard Platform)과 PLM을 바탕으로, IoT와 IoS(Internet-of-Services)기반 개방형 네트워크와 구성 요소들의 통합 및 상호 연계

스마트공장 CPS를 통한 지능적인 공장 설계, 운영 개념은 다음의 <그림 6>과 같이 제조 현장의 데이터, 사이버모델과 각종 레가시 시스템(legacy system)들과 실시간으로 연동되는 통합 의사결정 대쉬보드(dashboard)로 설명할 수 있다. 즉, 제품, 공정, 설비, 공장에 관련된 각종 엔지니어링 데이터, 다양한 레가시 시스템들과의 연계



<그림 6> CPS기반의 지능적인 스마트공장 설계, 운영 개념^[4]



를 통해 현장의 센서 데이터, 생산계획 및 관리 정보, 품질 정보 등 실시간으로 수집되는 다양한 정보들을 정제, 분석하고 사이버모델을 구성, 연계하여 의사결정에 활용한다.^[4]

CPS의 구축과 실현을 위해서는 계층별로 다양한 기술들이 융합되어야 하며, 그 중 가장 핵심적 요소들에는 클라우드 기반 상호운용 아키텍처, IIoT기반 스마트센서 네트워크 데이터 수집 및 처리, 산업 데이터 애널리틱스를 통한 수집 데이터의 정제와 분석, 실시간 가상화(real-time virtualization)를 통한 사이버모델 자동 구축, 머신러닝(machine learning) 등 최적화된 의사결정 방법 통합 적용 등이 있다.

IV. 맺음말

스마트제조는 기본적으로 전통 제조업에 IoT와 같은 새로운 ICT를 결합, 적용하여 모든 생산 과정을 최적화하는 전략이다. 이를 통해 추구하는 가장 큰 목적은 어떠한 낭비도 없는 전 과정에서의 '제조 최적화'이며, 스마트공장 CPS는 (1) IIoT 기술을 적용해 생산의 전 과정에서 제품, 공정, 설비, 공장 등 모든 개체를 연결, 감시하고, (2) 모야진 제조 빅데이터를 관리, 정제, 분석하며, (3) 실시간 동기화를 통해 현장 상황과 일치하는 사이버모델을 수립, 지능적으로 활용함으로써, (4) 자율, 능동적으로 설계, 운영 최적화를 달성하고자 하는 스마트공장의 핵심적인 실행 전략이라고 할 수 있다.

특히 스마트공장 CPS 기술을 개발과 적용을 위해서는 기술 그 자체에 대한 연구과 개발에 더하여 다른 기술과 상호 작용, 유연하게 운용될 수 있는 통합 기술과 시스템이 필수적이며, 적용 목적과 수준, 단계에 따른 단계별 기술 개발과 적용 전략이 요구된다.

참고 문헌

[1] 이규택, 이건재, 송병훈, "스마트공장 기술 동향", KEIT PD Issue Report, 제15권 4호, pp. 31-46, 2015년 4월

[2] 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, January 2016

[3] 강형석, 노상도, "스마트제조 주요 기술 연구 동향", IE매거진, 제 23권 제1호, pp. 24-28, 2016년 3월

[4] 노상도, "스마트공장 설계, 운영을 위한 공장 CPS 기술", 2016 PLM베스트프랙티스 컨퍼런스, 2016년 5월 25일

[5] 한순홍, 조현수, 박홍석, 노상도, 김은, "인더스트리 4.0", ICT융합 Issue Report, 제3호, 2018년 8월



노상도

- 1992년 2월 KAIST 기계공학과
- 1994년 2월 서울대학교 대학원 기계설계학과 공학석사
- 1999년 2월 서울대학교 대학원 기계설계학과 공학박사
- 1999년 3월~2001년 8월 고등기술연구원 생산시스템 선임연구원
- 2001년 9월~2002년 2월 서울대학교 기계항공공학부 연구교수
- 2002년 3월~현재 성균관대학교 공과대학 시스템경영공학과 교수

<관심분야>
 엔지니어링 프로세스 및 생산시스템 모델링&
 시뮬레이션, CAD/CAPP/CAM, PLM/디지털 가상생산,
 엔지니어링 상호운용성, 스마트제조, 스마트공장, CPS,
 e-Manufacturing