

이슈보고서

산업경제팀

VOL.2022-이슈-15(2022.07)

스마트공장 지원사업 주요내용 및 효과 분석

CONTENTS

<요약>

I. 스마트공장 개요

1. 스마트공장의 정의
2. 스마트공장의 구성요소

II. 국내외 스마트공장 지원사업

1. 스마트공장 지원의 필요성
2. 주요국 스마트공장 관련정책
3. 국내 지원사업 개요

III. 지원사업 효과 분석

1. 이중차분법
2. 데이터 및 전처리
3. 분석 결과

IV. 시사점

작성

책임연구원 이현진 (6252-3609)

인턴 김명건 (6252-3615)





<요약>

I. 스마트공장 개요

(개요) 스마트공장은 ICT기술을 활용하여 생산의 효율화 및 유연화를 실현하는 차세대 첨단 공장

- **(정의)** 스마트공장은 공장의 정보화·지능화·연결화를 통하여 공장운영 및 가치사슬 내 과정을 하나로 통합함으로써 생산성 향상, 에너지 절감, 맞춤형 생산을 실현하는 차세대 첨단 공장을 의미
- 각 과정에서 센서 등을 통하여 데이터가 수집되어 제조활동에 관련된 모든 정보가 실시간으로 공유되고 이를 기반으로 최적화된 운영을 실현
- **(발전 방향)** 스마트공장은 공장자동화를 위한 공장운영과정의 수직적 통합을 넘어서 가치사슬 전체에 걸친 수평적 통합으로 확장·발전
- 수직적 통합: 센서·장비·제어장치 등 생산라인부터 생산관리시스템(MES)·자원관리시스템(ERP) 등 공장 내 정보시스템까지가 하나로 연결되어 실시간으로 관측·분석·의사결정·제어가 가능한 상태
- 수평적 통합: 조달·설계·제조·유통·마케팅 등 공장 내외부 가치사슬 전체에 걸친 정보가 공유되고 활용되는 상태(예: 고객 맞춤형 제품설계 및 마케팅, 자회사·협력사와의 정보공유)
- **(필수요소)** 스마트공장의 구현을 위해서는 정보화(Digital), 지능화(Smart), 연결화(Connect)가 필요
- 스마트공장은 OT*와 IT의 융합을 통해서 구현되며 크게 정보화(Digital) 측면, 지능화(Smart) 측면, 연결화(Connect) 측면의 고도화가 필요

*OT(운영기술): 산업용 장비를 제어 및 모니터링하는 하드웨어 및 소프트웨어에 관련된 기술

- **(분류)** 국내에서는 ICT 기술활용정도 및 역량에 따라 스마트공장의 수준을 5단계로 구분
- 기업제조혁신역량 수준을 총 5단계(기초1, 기초2, 중간1, 중간2, 고도)로 구분하여 정의하고 지원 기준, 사업참여 자격, 추천 공급업체 검색 등 용도로 사용

(구성요소) 스마트공장의 구성요소는 크게 인프라, 플랫폼, 애플리케이션으로 구분

- **(구성요소)** 스마트공장은 크게 물리적 파트인 **인프라**와, 애플리케이션과 인프라를 연동시키는 **플랫폼**, 데이터를 기반으로 제조·운영업무를 담당하는 **애플리케이션**으로 구성
- (인프라) 스마트공장의 하드웨어 파트로서 로봇, 센서, 네트워크 등으로 구성되며 제조작업을 수행하고 발생한 데이터를 수집하여 플랫폼으로 전송하는 역할을 담당
- (플랫폼) 디바이스·네트워크에서 전달된 정보를 분석하고 인프라를 제어/관리하여 상위 애플리케이션과 연계할 수 있는 시스템으로 구성
- (애플리케이션) 플랫폼으로부터 전달받은 데이터를 기반으로 맞춤형공정, 품질고도화, 에너지절감 등 다양한 업무를 실행하고 관리하는 소프트웨어 시스템
- **(주요 핵심기술)** 대표적인 기술로는 스마트공장의 구현을 위한 IoT, 빅데이터, 클라우드컴퓨팅 등 기술과 스마트공장의 개선과 최적화를 위한 시뮬레이션, 인공지능, 5G, 보안관련기술 등이 있음
- **(스마트제조 생태계)** 개별 스마트공장의 고도화 이후에는 원재료 공급업체, 완제품 물류업체 등 전후방 산업의 주체들이 모두 연결되어 최적화·지능화된 제조업 생태계를 구현



II. 국내외 스마트공장 지원사업

국내경제에서 중요한 위치를 차지하고 있는 제조업의 생존을 위해서는 스마트제조로의 진화가 필수적이며 기술발전·제조혁신 측면에서도 필요성이 강조됨

- **(필요성)** 제조업은 국내경제에서 중요한 위치를 차지하고 있으며 글로벌 변동성에 빠르게 적응하고 생존하기 위해서는 스마트제조로의 진화가 필수적
- (국내 제조업의 중요성) '19년 기준 국내 GDP 중 제조업 비중은 27.5%이며, 국내 제조업 경쟁력은 독일, 중국 다음인 세계 3위로 급격한 경제환경변화에 안정적 대응을 가능하게 함
- (대외환경변화 요인) 글로벌 경제블록화, 탄소중립, 경기둔화 및 인플레이션 등으로 생산 효율화 및 유연화에 대한 요구치가 높아지고 있음
- (기술발전의 선순환) 스마트제조 공급산업은 첨단기술을 활용하여 빠르게 성장하고 있으며 기술의 상업화라는 관점에서 기술발전 선순환의 톱니바퀴 역할을 담당
- (제조혁신의 필요성) 한국의 노동생산성은 선진국 대비 낮은 수준으로 스마트제조를 통한 최적화·효율화로 노동생산성을 개선할 필요가 있음
- 신속하고 유연한 제조를 실현하는 스마트공장은 공급망분리, 국경봉쇄, 러-우크라이나 전쟁 등으로 발생한 비용상승형 인플레이션을 해소하는 방법 중 하나가 될 수 있음

글로벌 제조업 강국은 스마트제조를 통하여 제조업 주도권을 유지·확보하기 위해 노력 중

- **(미국)** 미국은 첨단기술의 주도권을 기반으로 스마트제조를 신성장동력으로 육성하고 있으며 공공-민간 협력체계를 강조하고 글로벌 대기업들이 적극적인 역할을 담당하기를 요구하고 있음
- **(독일)** 독일은 제조업 기술발전을 선도하고 기존의 경쟁우위를 유지하기 위하여 중소기업 혁신 정책과 산업표준 및 인적자원 양성에 중점을 두고 있음
- **(일본)** 제조업 강국의 지위를 유지하기 위하여 IT와의 융합 및 기존 강점인 소재·부품 분야의 첨단화를 목표로 하고 있음
- **(중국)** 중국은 스마트제조를 활용하여 고부가가치 제조강국으로의 도약을 목표로 하고 있으며 중국 내 제조기업과 대형 IT기업을 중심으로 자체적인 스마트제조 생태계 구축을 추진

한국은 중소기업 혁신전략의 핵심으로 스마트제조를 선정하여 지원사업을 추진 중이며 수혜기업의 수는 '21년 2만 5천 개를 돌파

- **(추진방향)** 한국은 중소기업 혁신전략의 한 축으로 스마트공장 지원을 강화하고 R&D 로드맵을 수립
- **(지원사업 현황)** '21년까지 총 25,039개 기업이 수혜기업으로 선정되었으며 스마트공장 구축 총사업비의 약 50% 이내의 비용을 지원
- **(국내 스마트공장 보급 현황)** 국내 스마트공장은 보급률은 높은 편이나 질적인 측면이 다소 부족
- '19년 기준, 국내 스마트 공장 수는 총 11,488개로 보급률은 상당히 높은 편이나 기초단계의 비중이 77.8%(총 8,941개)이며 고도화(중간2 이상)된 공장의 수는 187개로 매우 적음
- **(질적 고도화 사업)** 스마트공장들의 질적 고도화를 위하여 인공지능 중소벤처 제조플랫폼(KAMP), K-스마트 등대공장, 선도형 디지털 클러스터 등 후속 사업을 추진 중



Ⅲ. 지원사업 효과분석

스마트공장 지원사업으로 인한 수혜기업의 실적 변화를 이중차분법을 사용하여 분석

- **(데이터 구축과정)** 국내 스마트공장 지원사업 수혜기업 리스트, 제조업 종사 외감대상법인DB 등을 사용하여 수혜기업 데이터와 비수혜기업(대조군) 데이터 구축
 - (대조군 데이터 구축) 성향점수매칭을 통하여 수혜기업을 기준으로 대조군 기업데이터를 구축
 - (추가처리) 기업별로 매출 및 영업이익 규모에 큰 차이가 존재하므로 군집화 기법을 사용하여 일정규모 이하의 중소기업군을 추출
- **(분석 방법)** 이중차분법을 사용하여 스마트공장 지원사업의 정책효과(매출, 영업이익 등)를 분석
 - 이중차분법(Difference in Differences): 정책 시행 전후 수혜집단에서 일어난 변화와 비수혜집단에서 일어난 변화 간 차이로 정책효과 측정
 - 현재 보유한 데이터에는 수혜시기에 대한 정보가 없으므로 스마트제조혁신 비전('17.04) 이전(2015년도) 실적과 최근(2021년도) 실적을 사용하여 실험 진행

스마트공장 지원사업은 일정규모 이하 기업의 매출과 영업이익에 긍정적인 효과를 낸 것으로 확인, ROE에도 긍정적인 영향을 끼친 것으로 추정

- **(매출)** 매출 규모가 작은 기업의 경우 지원사업으로 약 9.7%의 매출증가 효과 확인
- **(영업이익)** 소규모 기업에게 긍정적인 영향을 끼친 것으로 파악
- **(영업이익률)** 영업이익률에 대한 정책효과는 거의 영향이 없는 것으로 파악
- **(ROE)** 통계적 유의성을 보이지는 못하였으나, 대부분 기업에게 긍정적인 영향을 끼친 것으로 파악

IV. 시사점

스마트공장 지원사업은 기업에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 파악되며 추후 추가분석을 진행하여 더욱 상세한 효과를 다각도에서 파악하고자 함

- **(추후 분석 방향)** 후속 연구로 기업 특성을 포함한 군집화를 통해 통계적 유의성을 높이고 군집간 효과 비교 진행. 다른 성과지표를 고려하여 정책효과를 다각도에서 분석할 예정
- 사례조사를 추가하여 다각도에서 정책효과를 분석하고 스마트공장의 성공요인을 명확히 파악할 수 있도록 하는 것이 필요

수은은 현재 스마트제조 관련산업을 지원하고 있으며, 추가로 해외 스마트제조 솔루션 도입을 위한 자금과 스마트제조 국내 공급기업의 해외진출 촉진을 위한 자금 지원이 필요

- **(지원방안)** 국내 스마트제조 생태계 활성화를 위하여 국내기업의 해외 스마트공장 솔루션 도입 자금 대출이나 국내 스마트제조 공급기업의 해외진출에 필요한 금융지원이 필요
 - 국내 기업체 설문조사 결과, 스마트공장 도입과정에서 투자자금 부담(46.4%)과 유지보수 부담(31.4%)을 가장 큰 애로사항으로 답변
 - 국내 스마트제조 공급기업 매출의 내수시장 비중은 96%로 영세한 규모의 기업이 다수이며 기술발전을 위한 R&D 자금과 수출자금을 지원하고 수출보증을 통한 해외시장 개척이 필요



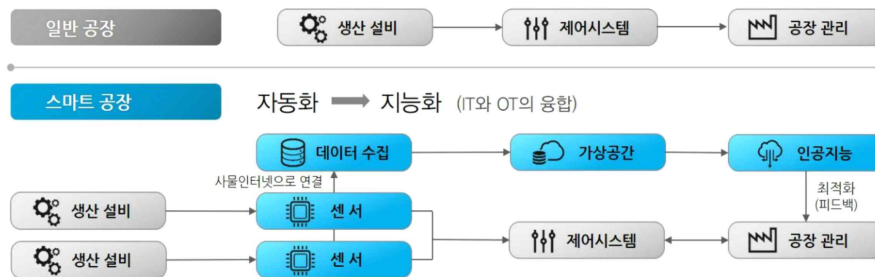
I. 스마트공장 개요

1. 스마트공장의 정의

스마트공장은 정보화·지능화·연결화를 통하여 공장운영 및 가치사슬 내 과정을 하나로 통합함으로써 생산성 향상, 에너지 절감, 맞춤형 생산을 실현하는 차세대 첨단 공장을 의미

- **(정의)** 스마트공장은 제품의 기획·설계·생산·유통·판매 등 전 과정을 정보화·지능화·연결화함으로써 생산성 향상·에너지 절감·맞춤형 생산 등을 실현하는 차세대 첨단 공장을 의미¹⁾
- 각 과정에서 센서 등을 통하여 데이터가 수집되어 제조 활동에 관련된 모든 정보가 실시간으로 공유되고 이를 기반으로 최적화된 운영을 실현

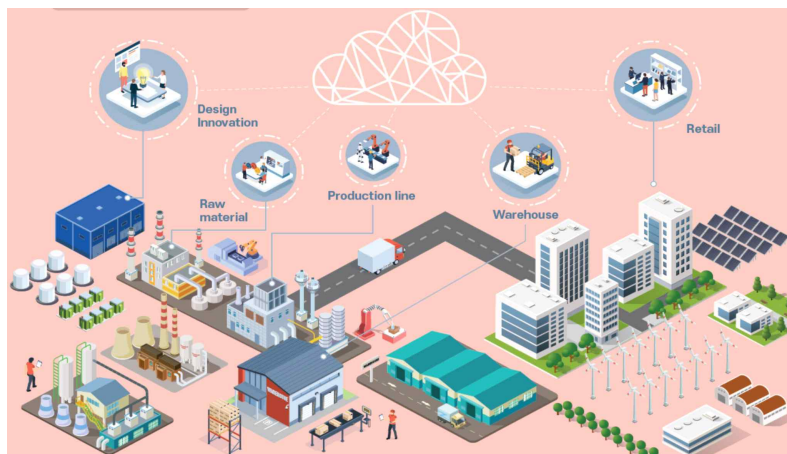
<일반공장과 스마트공장의 비교>



출처: 대한민국 제조혁신 컨퍼런스(KAMC), 한국인더스트리4.0 협회, 중소기업기술진흥원(2021) 자료 재인용

- **(발전 방향)** 스마트공장은 공장자동화(factory automation)를 위한 공장운영과정의 수직적 통합을 넘어서 가치사슬 전체에 걸친 수평적 통합으로 확장·발전
- 수직적 통합: 센서·장비·제어장치 등 생산라인부터 생산관리시스템(MES)·자원관리시스템(ERP) 등 공장 내 정보시스템까지가 하나로 연결되어 실시간으로 관측·분석·의사결정·제어가 가능한 상태
- 수평적 통합: 조달·설계·제조·유통·마케팅 등 공장 내외부 가치사슬 전체에 걸친 정보가 공유되고 활용되는 상태(예: 고객 맞춤형 제품설계 및 마케팅, 자회사·협력사와의 정보공유)

<수평적 통합 예시>



출처: 스마트제조혁신추진단 스마트공장 표준지도

1) 스마트제조혁신추진단 홈페이지 참고



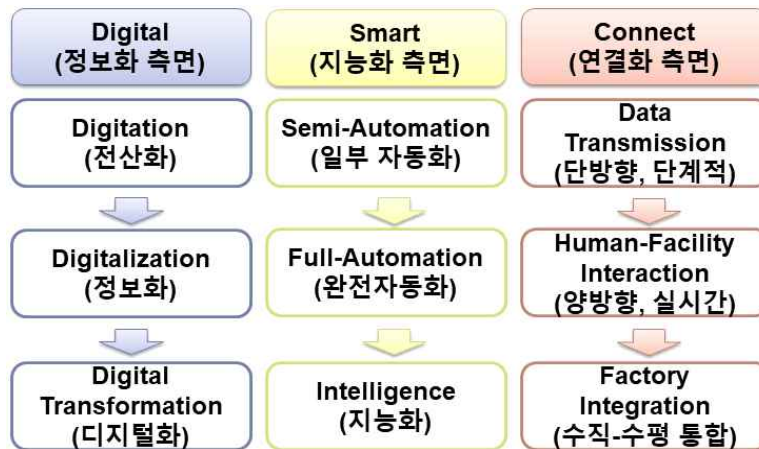
스마트공장의 구현을 위해서는 정보화(Digital), 지능화(Smart), 연결화(Connect)가 필요

- (필수요소) 스마트공장은 OT*와 IT의 융합을 통해서 구현되며 크게 정보화(Digital) 측면, 지능화(Smart) 측면, 연결화(Connect) 측면의 고도화가 필요

*OT(operation technology, 운영기술): 산업용 장비를 제어 및 모니터링하는 하드웨어 및 소프트웨어에 관련된 기술을 지칭, 데이터의 교환과 활용에 관련된 IT와 차별화됨

- 디지털화(Digital Transformation): 스마트공장의 구현을 위해서는 설비, 제조과정, 제품, 판매 등 모든 단계의 정보가 수집 및 활용되어야 함
- 지능화(Industry Intelligence): 설비의 운영과 제어가 자동으로 이루어지고, 그 과정에서 얻는 데이터 기반으로 최적 의사결정을 내릴 수 있어야 함
- 수직-수평통합(Factory Integration): 공장운영과정(수직)과 가치사슬(수평)에 관련된 모든 정보가 연결되고 통합되어야 하며 공장 자체가 하나의 소통 단위가 되어 가치사슬 내 공장 간 소통을 실현

<요소별 고도화 단계>



출처: 참고목적으로 연구진의 견해에 따라 개념화한 것임

국내에서는 ICT 기술활용정도 및 역량에 따라 스마트공장의 수준을 5단계로 구분

- (고도화 단계) 스마트제조혁신추진단에서는 기업제조혁신역량 수준을 총 5단계(기초1, 기초2, 중간1, 중간2, 고도)로 구분하여 정의하고 지원 기준, 사업참여 자격, 추천 공급업체 검색 등 용도로 사용

<기업제조혁신역량 단계별 특성 및 조건>

| 등급 | 수준단계 | 특성 | 조건 |
|---------|---------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Level 0 | ICT 미적용 | 미인식 & 미적용 | 미인식 및 ICT 미적용 |
| Level 1 | 기초1 | 식별 & 점검 (Identified & Checked) | 부분적 표준화 및 실적정보 관리 |
| Level 2 | 기초2 | 측정 & 확인 (Measured & Monitored) | 생산정보 실시간 모니터링 가능 |
| Level 3 | 중간1 | 분석 & 제어 (Analysed & Controlled) | 수집된 정보를 분석하여 제어 가능 |
| Level 4 | 중간2 | 최적화 & 통합 (Optimized & Integrated) | 시뮬레이션을 통한 사전 대응 및 의사결정 최적화 |
| Level 5 | 고도 | 맞춤 & 자율 (Customized & Autonomy) | 모니터링부터 제어, 최적화까지 자율로 운영 |

출처: 대한상공회의소 스마트제조혁신팀



- **(분야별 개선과정)** 스마트공장이 고도화될수록 각 분야의 정보화·지능화·연결화가 강화되고 최종적으로는 모든 요소가 IoT, IoS화 되어 CPS를 기반으로 공장을 운영하게 됨
 - **IoS(Internet of Services):** 공장 내 서비스(가공·처리·조립·운송 등)가 모듈 단위로 관리·연결되어 생산과정이 유연화되고 맞춤형 생산을 가능하게 하는 서비스 중심의 제조 형태²⁾
 - **CPS*(Cyber Physical System, 사이버 물리 시스템):** 물리적 시스템(실제 공장)을 디지털(사이버) 공간에 완벽히 구현하고(디지털 트윈) 이를 연결하여, 네트워크 기반으로 실시간으로 공장을 감시·제어·최적화하고 가상 시뮬레이션을 통해 제품설계·생산의 효율성을 높이는 시스템
- *스마트시티 등 다른 분야에서 사용되는 CPS와 구분하기 위하여 **CPPS(Cyber-Physical Production Systems, 사이버 물리 생산시스템)**으로 지칭하기도 함

<스마트공장의 분야별 개선단계>



출처: 스마트제조혁신추진단 홈페이지 내용을 기반으로 작성

2) Reis & Goncalves(2018).

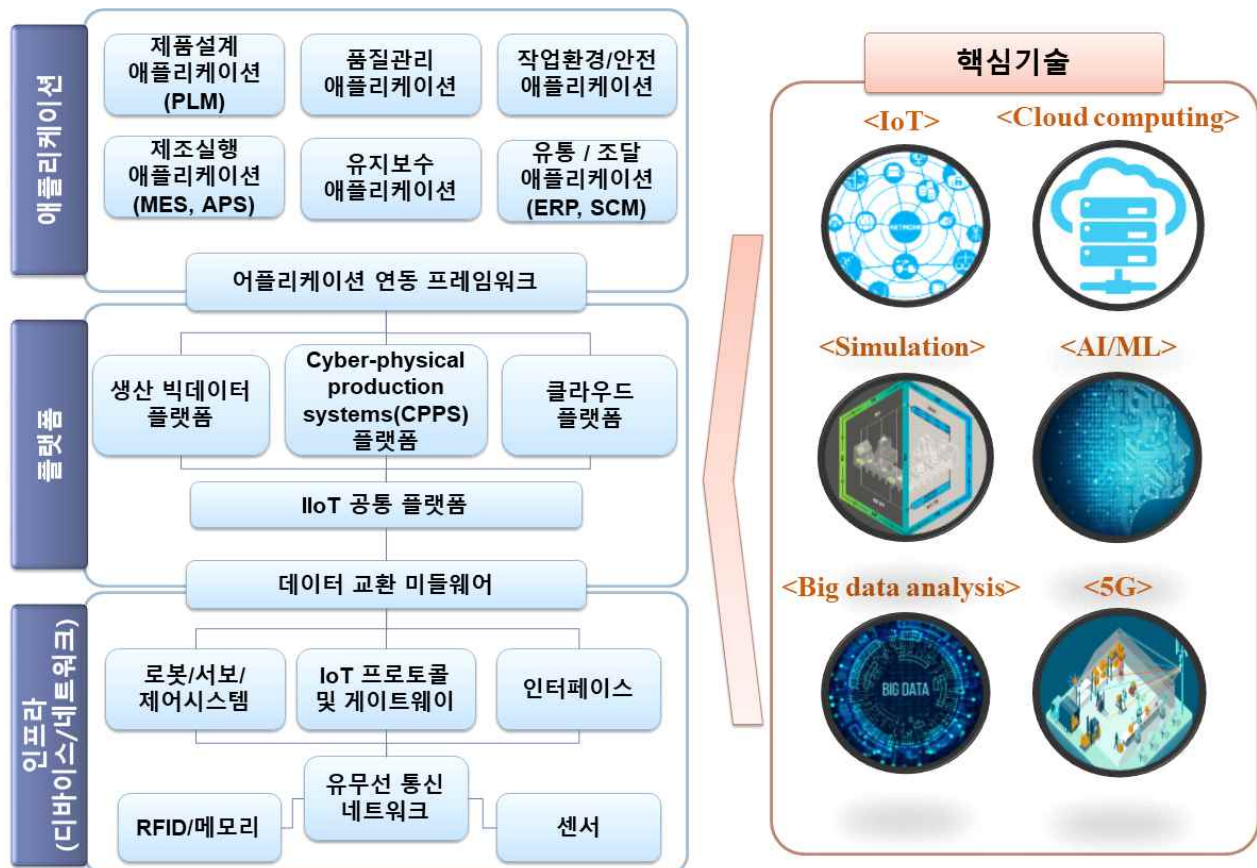


2. 스마트공장의 구성요소

스마트공장의 구성요소는 크게 인프라, 플랫폼, 애플리케이션으로 구분되며 IoT, 클라우드, AI 5G 등 첨단기술과 융합되어 구현 및 개선

- (구성요소) 스마트공장은 크게 로봇, 센서, 네트워크를 포함한 물리적 파트인 **인프라**와, 인프라에서 발생한 정보를 관리하고 애플리케이션과 인프라를 연동시키는 **플랫폼**, 플랫폼에 저장된 데이터를 기반으로 다양한 제조 실행을 담당하는 **애플리케이션**으로 구성

<스마트공장의 구성요소와 핵심기술>



출처: 임정일 & 김용운(2015)을 참고하여 연구진 작성

- (주요 핵심기술) 대표적인 기술로는 스마트공장의 구현을 위한 IoT, 빅데이터, 클라우드컴퓨팅 등 기술과 스마트공장의 개선과 최적화를 위한 시뮬레이션, 인공지능, 5G, 보안관련기술 등이 있음
- 생산 현장의 데이터를 수집하기 위한 IoT*, 다양한 형태의 대용량 데이터 저장·운용·분석할 수 있는 빅데이터, 공장 내외부로부터 축적되는 데이터 저장하고 공유할 수 있게 하는 클라우드컴퓨팅은 스마트공장의 기초단계부터 필수적으로 준비되어야 함
- *하드웨어·소프트웨어적 특성이 산업에 특화된 IIoT(Industrial IoT, 산업용 사물인터넷)로 구분하기도 함
- 인공지능(특히 딥러닝)을 활용하여 데이터 기반으로 의사결정 과정을 자동화하거나 5G 특화망(사설망)을 활용하여 공장 내 연결성을 강화하는 방식으로 스마트공장을 고도화
- (스마트제조 생태계) 개별 스마트공장의 고도화 이후에는 원재료 공급업체, 완제품 물류업체 등 전후방 산업의 주체들이 모두 연결되어 최적화·지능화된 제조업 생태계를 구현



스마트공장 인프라는 스마트공장의 하드웨어 파트로서 로봇, 센서, 네트워크 등으로 구성되며 제조작업을 수행하고 발생한 데이터를 수집하여 플랫폼으로 전송하는 역할을 담당

- (인프라 구성요소) 스마트공장을 위한 인프라에는 제조 관련 **로봇**과 이를 통제하는 **서보와 제어시스템**, 공정데이터를 생산하는 **센서 및 RFID(Radio-Frequency Identification) 장비**, 생산된 정보를 전송하고 공유할 수 있게 하는 **네트워크·게이트웨이·인터페이스** 등이 있음
- 로봇은 작업을 수행하는 **제조로봇**, 사람과 상호작용하는 **협동로봇**, 물류를 담당하는 **이송로봇**으로 구분³⁾

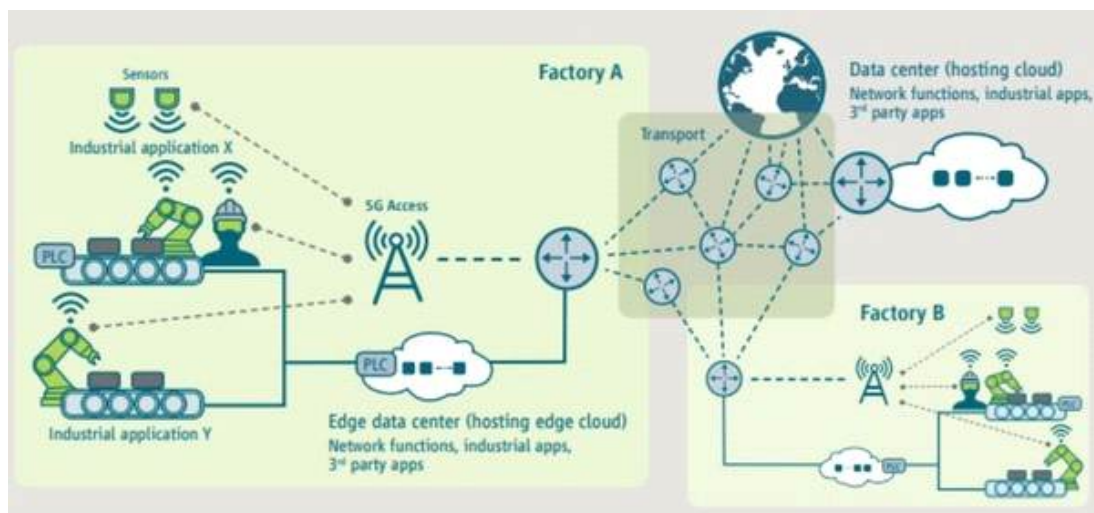
<스마트공장 내 제조로봇과 이송로봇>



출처: 원본출처 POSCO 홈페이지, 테크월드(22.03) 재인용, 매일경제(17.07).

- 통신·네트워크 장비는 크게 스마트 단말을 무선으로 연결하는 **무선통신장비**와 수집된 대량의 정보를 플랫폼에 전송하는 **유선통신장비**, IoT 네트워크의 보안과 관련된 **보안장비** 등으로 구성

<스마트공장 네트워크 예시>



출처: 원본 출처 5G ACIA, 애틀러스리뷰(19.10) 자료 재인용

- 센서·RFID 장비는 **센서, 카메라, 전자파 리더기** 등을 통하여 현장 정보를 수집하는 역할을 하며 IoT기술과 접목되어 수집된 정보를 유·무선통신장비를 통해 전송
- 제조작업을 보조하거나 교육을 목적으로 **AR·VR(증강·가상현실)기기**를 사용하거나 가공과정을 간략화하기 위하여 **3D프린팅**을 적용하기도 함

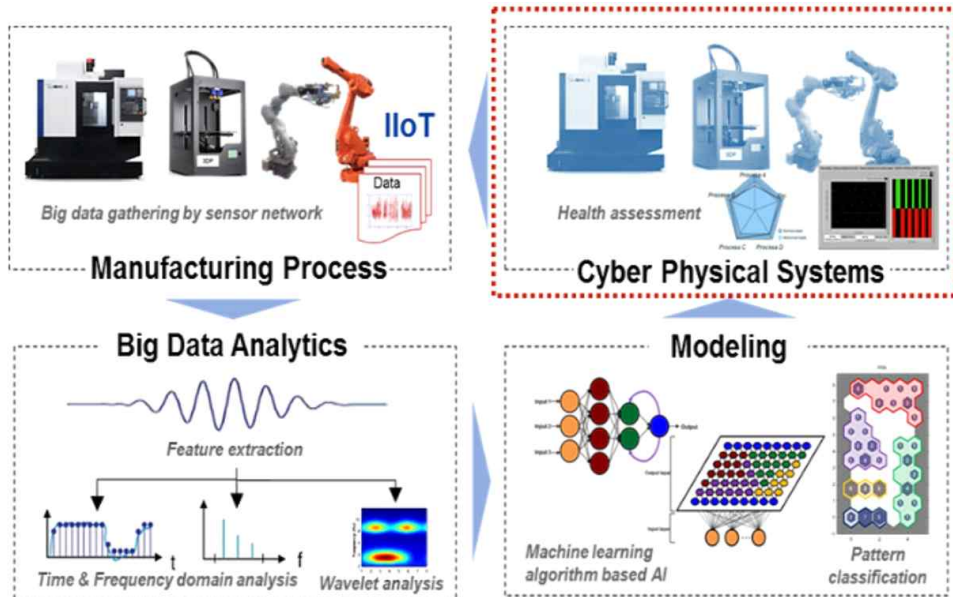
3) KIET(2020). 국내 스마트제조 공급산업 현황과 발전과제



스마트공장 플랫폼은 디바이스-네트워크에서 전달된 정보를 분석하고 인프라를 제어/관리하여 상위 애플리케이션과 연계할 수 있는 시스템으로 구성

- (플랫폼 구성요소) 대표적인 플랫폼으로는 CPPS(사이버 물리 생산시스템)가 있으며 데이터의 저장·공유·활용에 관련된 클라우드, 빅데이터 플랫폼이 포함
- CPPS(사이버 물리 생산시스템)은 물리적 시스템(실제 공장)을 디지털(사이버) 공간에 구현하여 현재 상태를 점검하고 인공지능 등을 활용하여 운영상에 문제점이나 비효율성을 제거

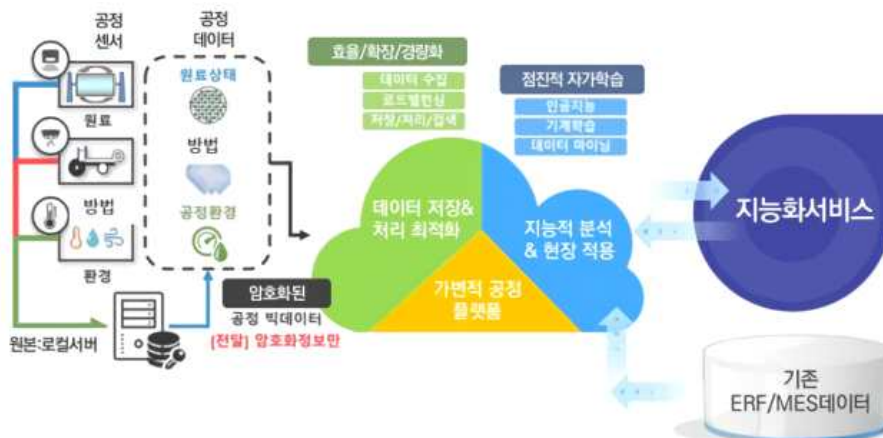
<사이버 물리 시스템(CPS) 구동 예시>



출처: 제이엔이시스템 홈페이지

- 클라우드 플랫폼은 스마트공장 내외부의 데이터를 저장·공유·분석하고 스마트공장 애플리케이션(예: MES, ERP 등)을 네트워크를 통해 사용할 수 있게 하는 온라인 환경을 제공
- 빅데이터 플랫폼은 제조현장의 다양한 대용량 데이터를 저장·운용·분석할 수 있게 해주는 데이터 관리 서비스로 인공지능 등 데이터 분석기술을 활용할 수 있는 환경을 제공

<스마트공장 내 클라우드의 역할 예시>



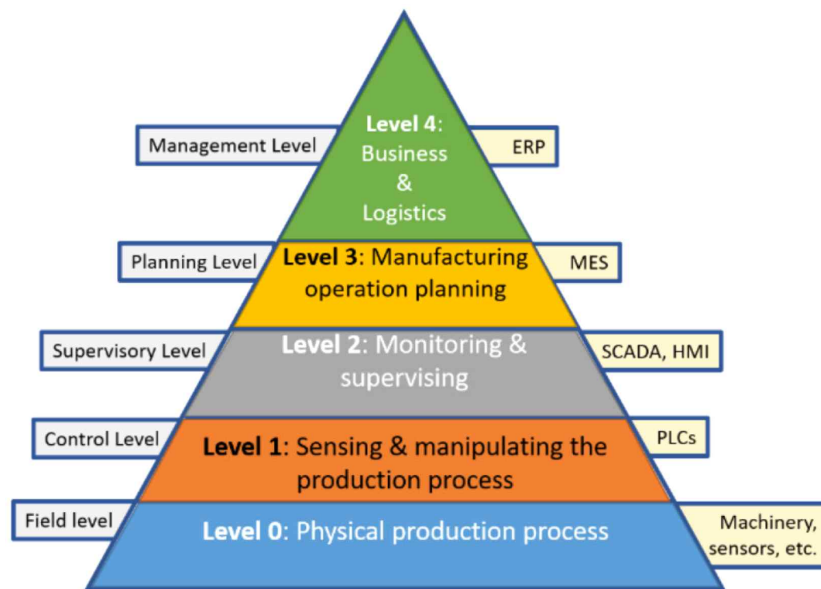
출처: 중도일보(22.04).



스마트공장 애플리케이션은 플랫폼으로부터 전달받은 데이터를 기반으로 맞춤형공정, 품질고도화, 에너지절감 등 다양한 업무를 실행하고 관리하는 소프트웨어 시스템을 지칭

- (스마트공장 애플리케이션) 애플리케이션은 플랫폼으로부터 전달받은 데이터를 기반으로 다양한 제조 실행을 담당⁴⁾. 스마트공장 이전부터 사용된 **공장자동화(수직적 통합)** 분야 애플리케이션의 성숙도가 높음
- 제조과정에서 수집된 데이터를 최종 분석하여 공정설계, 제조실행분석, 품질분석, 설비보전, 안전/증감작업, 유통/조달/고객대응 등을 실행하는 소프트웨어

<공장운영(수직적) 단계별 애플리케이션 (ISA 95 Model-국제표준)>



출처: Martinez et al(2021). *(ISA-95: 제조업 자동화 인터페이스를 개발하기 위한 국제표준)

- **ERP**(Enterprise Resource Planning, 전사적 자원관리): 기업 내 생산, 물류, 재무, 회계, 영업, 구매, 재고 등 경영활동 프로세스들을 통합적으로 연계 및 관리하는 프로그램
- **MES**(Manufacturing Execution System, 공정관리시스템): 제조데이터를 통합하여 관리하는 시스템으로 주문·재고부터 품질관리, 설비감시, 생산까지 제조현장에 관련된 모든 정보를 제공
- **PLM**(Product Lifecycle Management, 제품생산주기관리): 제품의 설계부터 최종 생산 및 폐기까지의 전체과정을 관리하는 제품중심 기록시스템으로 경영중심의 ERP와 차이
- **SCADA**(Supervisory Control And Data Acquisition): 작업 현장에 투입된 모든 장비를 제어하고 운영 관련 데이터를 수집 및 기록하는 시스템
- **PLC**(Programmable Logic Controller): 센서 및 입력장치로부터 데이터를 수신하여 처리·의사결정을 수행하고 하위레벨 장치나 센서를 제어하는 장비
- **(발전 방향)** 스마트공장의 구현을 위하여 점차 **수평적 통합이 강조**되고 애플리케이션 간 경계가 모호해지며 기능이 융합되거나, 특정 분야에 특화된 애플리케이션들이 등장
 - **APS**(Advanced Planning & Scheduling): 제품을 중심으로 공장 내 생산과정을 전사단위로 계획·관리
 - **SCM**(Supply Chain Management): 조달·설계·생산·유통 등 공급망 단계를 최적화하고 통합관리
 - **FEMS**(Factory Energy Management System): 실시간 에너지 체크 및 제어를 통해 공장 에너지관리를 최적화

4) 김선재(2017). 4차 산업혁명과 스마트 제조



II. 국내외 스마트공장 지원사업

1. 스마트공장 지원의 필요성

제조업은 국내경제에서 중요한 위치를 차지하고 있으며 글로벌 변동성에 빠르게 적응하고 생존하기 위해서는 스마트제조로의 진화가 필수적

- **(국내 제조업의 중요성)** '19년 기준 국내 GDP 중 제조업 비중은 27.5%이며, 국내 제조업 경쟁력은 독일, 중국 다음인 세계 3위로 급격한 경제환경변화에 안정적 대응을 가능하게 함⁵⁾
 - '19년 주요국 GDP 중 제조업 비중⁶⁾: 한국(27.5%), 중국(27.2%), 일본(19.6%), 독일(19.1%), 미국(10.9%)
 - '20년 전세계 평균 성장률(△3.3%) 대비 국내 성장률은 비교적 준수(△1.0%)하였으며 '20년 3분기 이후 제조업의 성장기여도는 서비스업의 성장기여도를 상회하며 경기 방어에 역할을 한 것으로 평가
- **(대외환경변화)** 글로벌 경제블록화, 탄소중립, 경기둔화 및 인플레이션 등으로 생산의 효율화와 유연화에 대한 요구치가 높아지고 있음
 - 경제안보를 앞세워 글로벌 가치사슬이 효율화에서 블록화 방향(예: 프렌드쇼어링)으로 전환되며 원자재 가격과 물류비용이 증가, 가격전가가 어려운 제조 중소기업에게 생존을 위한 혁신이 요구됨
 - 탄소중립, ESG, RE100⁷⁾ 등 친환경에 대한 요구치가 높아지며 제조 효율화에 대한 필요성이 증가
 - 글로벌 소비패턴 또한 맞춤형 제품·서비스를 선호하는 방향으로 변화⁸⁾하며 제조 유연성 확보가 필요
- **(기술발전의 선순환)** 스마트제조 공급산업은 IoT, AI, 5G, 클라우드 등 첨단기술을 활용하여 빠르게 성장하고 있으며 기술의 상업화라는 관점에서 기술발전 선순환의 톱니바퀴 역할을 담당
 - 스마트제조 공급산업은 빠르게 성장중이며 현재 스마트제조혁신추진단에 등록된 국내 스마트제조 공급업체는 1,826개(애플리케이션: 1,262개, 인프라: 251개, 플랫폼: 189개, 보안 및 기타: 124개)⁹⁾
 - 5G를 포함한 특화망(사설망)의 경우 제조업 분야(24%)에 가장 많이 응용되고 있음¹⁰⁾
 - 4차산업 관련 기술을 개발·활용하는 분야 중 제조업의 비중이 가장 높으며(37.3%), 정보통신업(31.2%)보다 높음¹¹⁾
- **(제조혁신의 필요성)** 한국의 노동생산성은 선진국 대비 낮은 수준이고 특히 중소기업의 노동생산성은 더욱 낮으므로 스마트제조를 통한 최적화·효율화로 노동생산성을 개선할 필요가 있음
 - '20년 기준 미국, 프랑스, 독일 등의 시간당 노동생산성은 약 68달러 수준인 반면 한국의 시간당 노동생산성은 41.7달러로 선진국의 약 60% 수준에 머물러있음¹²⁾
 - 국내 중소기업 노동생산성은 대기업의 30% 수준에 불과하며 낮은 노동생산성을 장시간 노동(OECD 2위)으로 상쇄하는 구조로 중소기업과 노동자 피로도가 높은 상황¹³⁾

5) KIET(2022).

6) 국가통계포털(KOSIS) 참고, 중국 수치는 데일리차이나(21.05) 인용, 일본 수치는 Trading Economics 참고

7) RE100(Renewable energy 100%): 사용전력의 100%를 태양광, 풍력 등 재생에너지로 전환하는 국제 캠페인으로 애플, 구글 등 거대기업이 협력업체에게 납품 조건으로 참여를 요구(참고: 한국일보(22.02).)

8) Chow et al.(21.06).

9) 스마트제조혁신추진단 홈페이지 제공데이터를 참고하여 연구진이 재분류

10) 원본 수치 출처는 Analysis Mason, TTA(2021) 자료 재인용

11) 통계청(21.12). 2020년 기업활동조사 잠정결과 보도자료

12) 원본데이터는 OECD 제공, 국가지표체계 참고

13) 아주경제(19.05). OECD "한국 중소기업 생산성, 대기업 30% 수준"



2. 주요국 스마트공장 관련정책

글로벌 제조업 강국은 스마트제조를 통하여 제조업 주도권을 유지·확보하기 위해 노력 중

- **(주요국 첨단제조 관련 동향)** 미국은 점차 둔화되는 경제성장의 신동력으로서 첨단제조를 주목하고 있으며 독일·일본 등 제조기술 강국은 주도권 유지를 위하여 스마트제조에 집중투자 하고있음. 중국 또한 제조대국에서 제조강국으로의 전환을 목표로 첨단제조 생태계를 구축하고 있음
- 글로벌 스마트제조 공급시장은 '19년 약 1,910억 달러에서 '25년 3,850억 달러에 도달할 것으로 전망(CAGR: 12.4%)¹⁴⁾
- '19년 기준, 스마트제조 플랫폼 및 애플리케이션 분야의 산업별 시장 규모는 자동차(106억 달러) 반도체(31억 달러) 항공 및 방위(29억 달러) 순
- 글로벌 스마트제조 시장 비중('19년 기준): 미국(17.6%), 중국(17.2%), 일본(10.6%), 독일(6.8%), 한국(5.8%)¹⁵⁾
- **(미국)** 미국은 첨단기술의 주도권을 기반으로 스마트제조를 신성장동력으로 육성하고 있으며 공공-민간 협력체계를 강조하고 글로벌 대기업들이 적극적인 역할을 담당하기를 요구하고 있음
- **청정에너지 스마트제조 혁신 연구소(CESMII) 설립('16.12):** 미국 스마트제조 개발 및 적용 가속화를 목표로 한 비영리기관으로 스마트제조 혁신 플랫폼 및 교육, 인력개발, 연구 등 지원
- **첨단 제조업 리더십 확보 전략('18.10):** 새로운 제조기술의 개발 및 이전과 관련한 5대 전략 목표로 지능형 제조 시스템 구축 포함
- **제조업 확장 파트너십(MEP) 재확대('21.01):** 기술 이전, 중소기업 지원인력 파견, 제조업체 지원 프로그램 등을 통해 중소기업 지원
- **(독일)** 독일은 제조업 기술발전을 선도하고 기존의 경쟁우위를 유지하기 위하여 중소기업 혁신 정책과 산업표준 및 인적자원 양성에 중점을 두고 있음
- **플랫폼 인더스트리 4.0 ('15.04):** 스마트공장 관련 지원 통합 창구 역할 담당, 500여 개의 테스트베드 구축 및 성공사례 공유를 통해 스마트공장 확산 도모
- **중소기업 디지털화 투자 지원사업('20.09):** 디지털화가 시급한 중소기업을 대상으로 디지털 역량 강화를 위한 직원교육 투자 촉진 지원
- **인더스트리 5.0('20.07):** 인더스트리 4.0에 사회적 가치를 더한 개념으로 기존의 기술(CPS) 기반 중심의 발전과 사회적 생태학적 가치를 동시에 추구
- **(일본)** 제조업 강국의 지위를 유지하기 위하여 IT와의 융합 및 기존 강점인 소재·부품 분야의 첨단화를 목표로 하고 있음
- **일본재흥전략 2016('16.05):** 제조업을 포함한 연구개발 지원, 규제 개혁 등의 제반 정책 공표
- **미래투자전략 2017('17.06):** 'Society 5.0'¹⁶⁾을 실현 목표로 삼아 '스마트 공급망의 실현' 등 5대 목표 수립
- **커넥티드 인더스트리('17.03):** IIoT 플랫폼 연계, 스마트공장 시범사업, 스타트업 공장 구축 지원, 테스트베드 시범사업 등 제조업 혁신 정책 포함

14) TIPA(2022). 중소기업 전략기술 로드맵 2022-2024

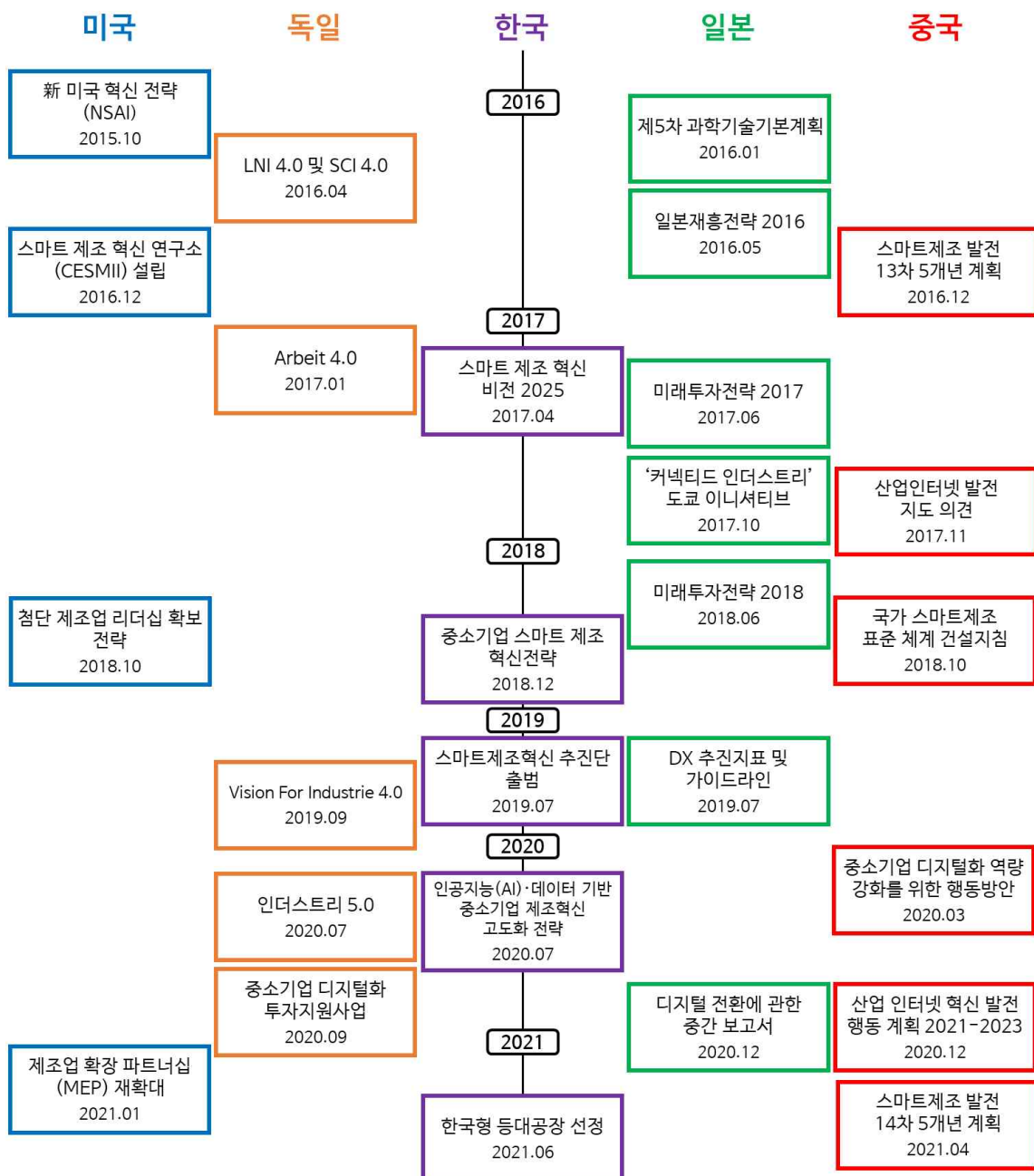
15) 원본데이터 출처는 Market & Markets(2019), KDI(2021) 자료 재인용

16) 일본 정부는 Society 5.0을 사이버 공간과 물리적 공간이 융합되면서 구성원들이 필요한 재화나 서비스를 필요한 시기에 필요한 만큼 제공할 수 있는 사회로 규정



- **(중국)** 중국은 스마트제조를 활용하여 고부가가치 제조강국으로의 도약을 목표로 하고 있으며 중국 내 제조기업과 대형 IT기업을 중심으로 자체적인 스마트제조 생태계 구축을 추진하고 있음
- **스마트제조 발전 13차 5개년 계획('16.02):** 스마트제조 장비 국산화율 50% 이상 달성을 비롯한 스마트제조 기술 및 장비 혁신 등 구체적 목표 수립
- **중소기업 디지털화 역량 강화를 위한 행동 방안('20.03):** 중소기업에 적합한 통합 디지털 플랫폼, 시스템 솔루션, 제품·서비스 홍보, 네트워크 인프라 등 지원
- **스마트제조 발전 14차 5개년 계획('21.04):** 일정 규모 이상 기업 대상으로 디지털 트윈, 디지털 전환을 통한 스마트제조 고도화 추진

<국내외 스마트공장 관련 주요 정책 타임라인>



출처: KDI(2021) 을 참고하여 해외경제연구소 보강 및 정리

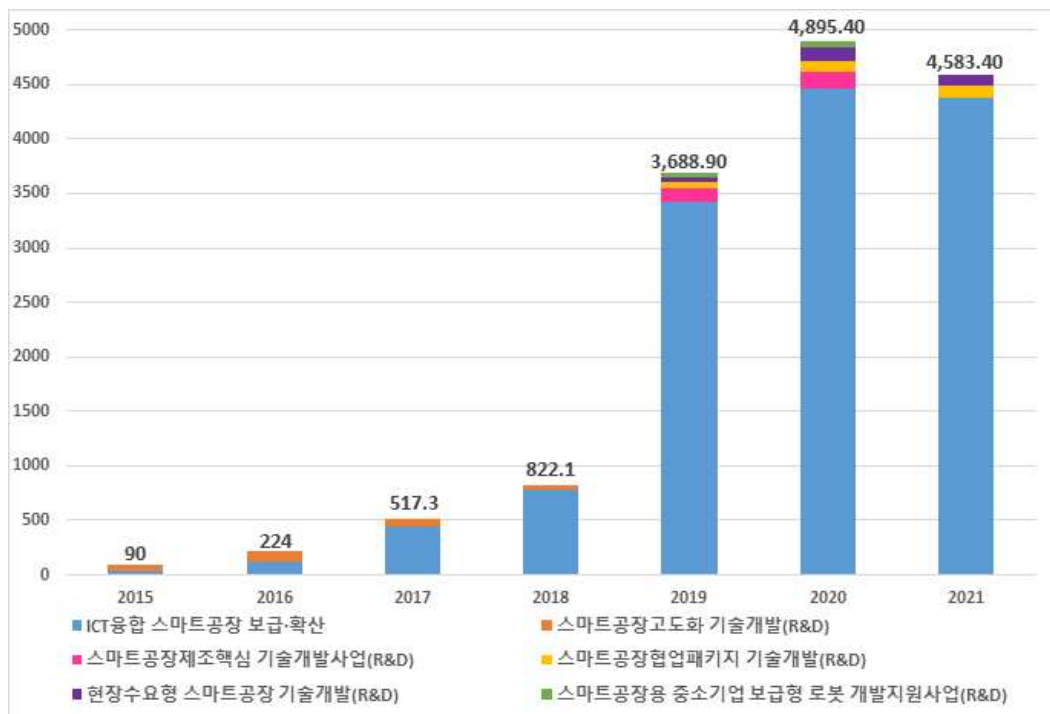


3. 국내 지원사업 개요

한국은 중소기업 혁신전략의 핵심으로 스마트제조를 선정하여 중소벤처기업부를 중심으로 지원사업을 추진 중이며 수혜기업의 수는 '21년까지 총 2만5천 개를 돌파

- **(추진 방향)** 한국은 중소기업 혁신전략의 한 축으로 스마트공장 지원을 강화하고 R&D로드맵을 수립
 - 스마트 제조혁신 비전 2025('17.04): 2025년까지 스마트공장 3만개 구축 목표 제시
 - 중소기업 스마트 제조혁신 전략('18.12): 중소기업 중심의 민간주도-정부보조 스마트공장 생태계 조성 목표 수립
 - 스마트제조혁신추진단 출범('19.07): 스마트공장 보급, 제조혁신 R&D, 표준화 등의 스마트공장 관련 사업 총괄
- **(지원사업 현황)** 스마트공장 도입 지원사업의 수혜기업은 스마트공장의 신규 구축 및 고도화에 따른 총사업비의 약 50% 이내의 비용을 지원받으며 '21년까지 총 25,039개 기업이 수혜기업으로 선정
 - 중소벤처기업부는 올해 총 2,475억원 규모의 스마트공장 보급·확산 지원사업을 공고, 3,700개 수요기업을 모집 중이며 대·중소 상생형 지원 1,300개를 포함하여 올해 총 5,000개 보급을 목표
 - 스마트공장 도입 후 기업의 생산성과 고용은 향상되고 원가 및 산업재해는 경감*한 것으로 나타남¹⁷⁾
- **(사업 예산)** 스마트공장 관련 예산은 '15년 90억 원에서 '21년 4,583억 원으로 증가
 - 'ICT융합 스마트공장 보급·확산 사업'이 가장 규모가 큼('21년 기준 약 4,377억 원)

<스마트공장 관련 국내 지원사업 예산 (단위: 억 원)>



출처: 원본데이터 기획재정부 상세재정통계DB, 한국조세재정연구원(2021) 자료 재인용

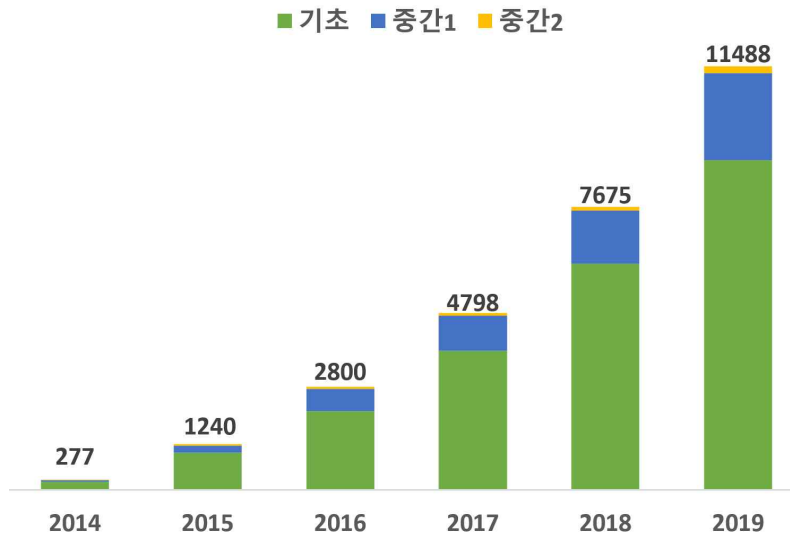
17) 산업연구원(2020).



- (국내 스마트공장 보급 현황) `19년 기준*, 국내 스마트공장은 기초단계의 비중이 77.8%(총 8,941개)로 보급률은 상당히 높은 편이나 고도화(중간2 이상)된 공장의 수는 187개로 매우 적음

*`19년도까지 지원한 총 스마트공장 수는 12,660개로 중복지원 및 폐업한 기업을 제외한 수치

<국내 스마트공장 단계별 보급상황>



출처: 정중필(2022).

- (질적 고도화 사업) 스마트공장들의 질적 고도화를 위하여 인공지능 중소벤처 제조플랫폼(KAMP), K-스마트 등대공장, 선도형 디지털 클러스터 등 후속 사업을 진행 중
 - KAMP(Korea AI Manufacturing Platform): 제조데이터 저장·분석 인프라, 인공지능 개발·활용 도구, 데이터셋과 표준모델, 상품화된 인공지능 제조 솔루션, 전문가 컨설팅과 교육 서비스 등 제공
 - K-스마트 등대공장: 세계경제포럼(WEF)에서 선정하는 글로벌 미래혁신공장인 등대공장(국내에는 포스코, LS일렉트릭, LG전자가 선정됨)을 벤치마킹하여 만든 국내 선도형 중소·중견기업 스마트공장
 - 선도형 디지털 클러스터: 선도기업을 중심으로 전후방 가치사슬 간 수발주, 생산, 물류 등 공동·협업 비즈니스 모델과 스마트공장을 패키지로 지원

< K-스마트등대공장 선정기업 10개사 (`20년 기준)>

| 구분 | 기업명 | 규모 | 종업원 (단위: 명) | 매출액 (단위: 억 원) | 업종 | 주생산품 |
|----------|-------|----|----------------|------------------|-------|-----------|
| 주력 업종 | 네오네톨 | 중소 | 61 | 192 | 뿌리 | 자동차 부품 |
| | 대유에이피 | 중견 | 188 | 1,363 | 자동차 | 자동차 부품 |
| | 동서기공 | 중견 | 278 | 3,015 | 뿌리 | 엔진부품 |
| | 삼보모터스 | 중견 | 478 | 2,750 | 자동차 | 동력전달장치 |
| | 신성이엔지 | 중견 | 501 | 3,669 | 기계장비 | 공기조화장치 |
| | 오토닉스 | 중견 | 827 | 1,538 | 전자제품 | 제어기, 센서 |
| | 태림산업 | 중소 | 126 | 323 | 자동차 | 조향 및 현가장치 |
| | 텔스타 | 중소 | 105 | 339 | 자동차 | 자동차 부품 |
| 기타 업종 | 대선주조 | 중견 | 182 | 713 | 음료 | 희석소주 |
| | 조선내화 | 중견 | 566 | 4,413 | 비금속광물 | 정형내화물 |

출처: 중소기업벤처부(21.06). *(22년 추가로 11개사(동진씨미캠, 두산공작기계, 삼보A&T, 삼보프라텍, 삼현, 신성델타테크, 씨큐브, 제이브이엠, 진양오일셀, 진합, 천일엔지니어링) 선정)



III. 지원사업 효과 분석

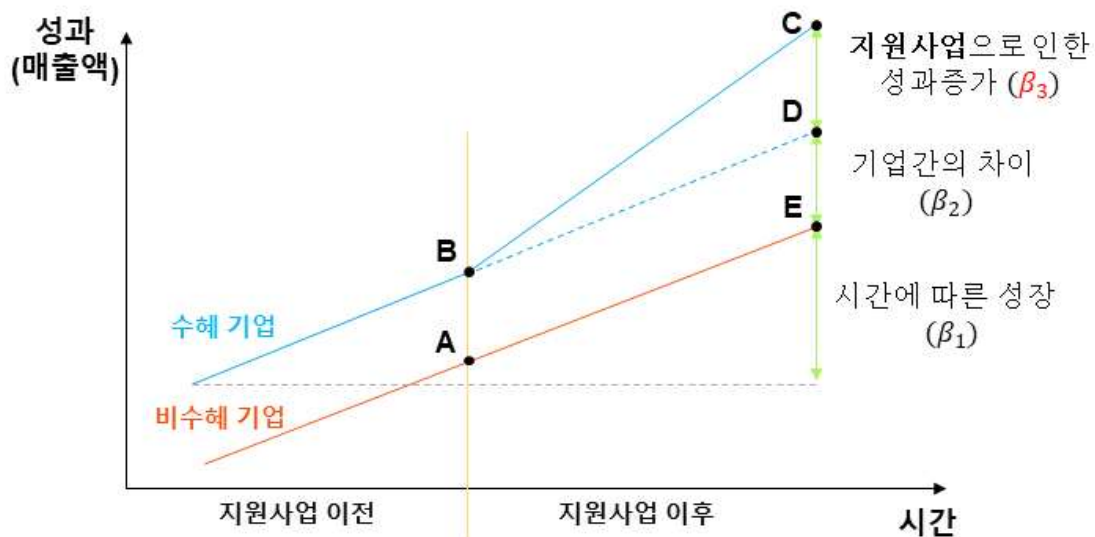
1. 이중차분법-DID(Difference in Differences)

- (정의) 경제학 등에서 인과효과를 추정하기 위해 사용하는 준실험(Quasi-Experiment)*방법론으로, 정책 시행 전후 수혜집단에서 일어난 변화와 비수혜집단에서 일어난 변화 간 차이로 **정책효과 측정**¹⁸⁾

*실험 대상이 무작위로 선정되지 않아 처치집단과 통제집단의 동질성을 확보하지 못할 가능성이 존재

- 분석 사례: Snow(1855)는 취수원 변경 여부에 따른 지역별 콜레라 발병률 증감의 차이를 분석해 콜레라가 수인성 질병임을 규명; Card(1990)는 이민자 유입이 많은 도시와 적은 도시의 임금변화 비교를 통해 이민자의 임금에 대한 영향 판단; Card and Krueger(1994)는 최저임금을 인상한 주와 인상하지 않은 인접 주의 고용 변화를 비교해 고용에 대한 최저임금 인상의 영향 추정

<이중차분법에 의한 지원사업 효과 분석>



- (원리) 비수혜기업과 수혜기업의 정책 시행 이전 매출이 각각 A와 B, 정책 시행 이후 매출이 각각 E와 C일 때 정책의 효과는 $\beta_3 = (C-E) - (B-A)$
- 정책 시행 전후 수혜기업의 매출 변화는 (C-B)이지만 이를 정책효과로 해석할 경우 정책 외 요인(예: 시간에 따른 기업의 성장 등)의 영향을 포함하는 오류 발생
- 정책이 시행되지 않았다면 수혜기업 매출이 비수혜기업 매출 추세(A→E)와 평행한 추세(B→D)를 따라 D가 됐을 것이라 가정 시 정책효과는 β_3 즉 (C-D)가 되나 D는 관측 불가능한 값이므로 **차이의 차이(Difference in Differences)**인 (C-E)-(B-A)로 계산

$$DID \text{ model: } y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Time_t + \beta_2 Treatment_i + \beta_3 Time_t * Treatment_i + \eta_i + \epsilon_{it}$$

t 시점의 i 기업의 성과 (예: 2019년도 삼성전자 매출)

수혜시기여부를 나타내는 변수

수혜집단여부를 나타내는 변수

수혜시기와 수혜집단 여부의 상호작용을 나타내는 변수

기업 특성에 따른 오차 & 일반적인 오차

- 위 회귀식을 추정해 정책효과에 대한 이중차분법 추정량 $\hat{\beta}_3$ 획득

18) Hill et al(2018).



- **(한계점)** 이중차분법은 정책이 시행되지 않았다면 두 기업의 매출이 평행한 추세를 보였을 것이란 **평행추세(Parallel Trend) 가정** 아래 비수혜기업의 변화 데이터를 이용해 정책의 효과를 추정하므로 평행추세 가정이 충족되지 않을 시 정책효과를 과소 혹은 과대 추정할 위험이 존재
- 수혜기업이 기존에도 비수혜기업에 비해 매출성장률이 높은 유망한 기업이었을 경우, 기업 고유의 성과까지 정책의 효과로 추정하는 오류 발생 가능
- **(보완 방법)** 정책 시행 전후 두 집단의 데이터를 이용, 평행추세 가정 검증 후 이중차분법 적용 필요
- 정책 시행 전 평행추세 가정 성립 여부를 확인하고 시행 이후에도 처치집단 혹은 통제집단에만 영향을 미친 변수는 없는지 확인하는 절차가 필요

2. 데이터 및 전처리

가. 데이터 구축과정 요약

- **(원본 데이터)** 분석을 위하여 국내 스마트공장 지원사업 수혜기업 리스트('20년 기준, 총 19,799건)와 KISVALUE에서 제공하는 국내 제조업 종사 외감대상법인 데이터베이스(총 12,635개 기업)를 사용

<수혜기업 및 비수혜기업 데이터 구축 과정>



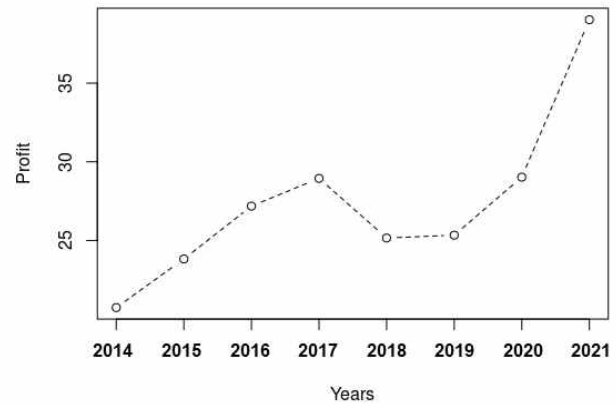
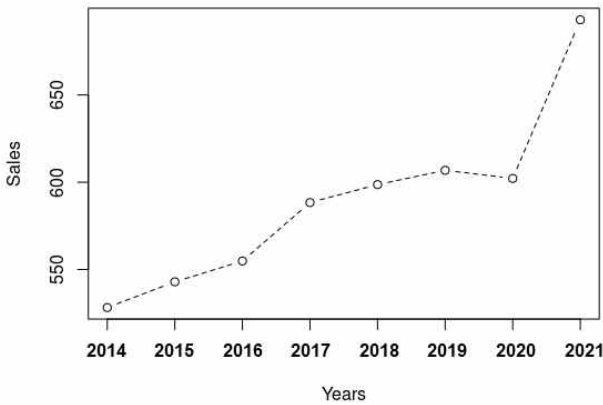
출처: 해외경제연구소 작성

- **(수혜기업 데이터 구축)** 수혜기업 리스트 상의 사업자등록번호를 기준으로 제조업 종사 외감대상법인 DB에서 수혜기업의 **재무 관련 데이터**(매출, 영업이익, ROE 등)를 추출하여 데이터 구축
- 수혜기업 중 중복지원 사례가 많고, 폐업되거나 소규모기업이 많아 총 **3,904개 수혜기업 데이터** 확보
- **(대조군 데이터 구축)** 수혜기업과 결측치를 제외한 외감대상법인 수는 6,575개이며 수혜기업과의 평행추세를 고려하여 **3,904개 대조군 기업데이터**를 구축(자세한 방법은 '나. 대조군 생성' 참고)
- **(추가처리)** 기업별로 매출 및 영업이익 규모에 큰 차이가 존재하므로 군집화 기법(DBSCAN)을 사용하여 **일정규모 이하의 중소기업군**을 추출 (자세한 군집화 방법은 '다. 군집화' 참고)
- 세팅별 데이터 수: (1) 전체기업(All): 7,808개, (2) 군집화1($\epsilon=1500$): 7,640개, (3) 군집화2($\epsilon=100$): 6,004개
- **(실험 방법)** 현재 보유한 데이터에는 수혜시기에 대한 정보가 없으므로 스마트제조혁신 비전('17.04) 이전(**2015년도**) 실적과 최근(**2021년도**) 실적을 사용하여 실험 진행
- **실적지표(4개)**: 매출(Sales), 영업이익(Profit), 영업이익률(Profit/Sales), ROE(Income/Capital)
- 회귀모형(DID model)을 최소자승법으로 추정하여 **지원사업의 효과($DID=\hat{\beta}_3$)**와 통계적 유의성을 확인



- **(수혜기업 데이터)** 수혜기업의 매출과 영업이익은 스마트공장 지원사업 이후 우상향한 것으로 나타남
- 매출과 영업이익의 증가가 시간에 흐름에 따른 변화인지, 지원사업 비수혜기업에 비하여 얼마나 차이가 존재하는지 파악이 필요

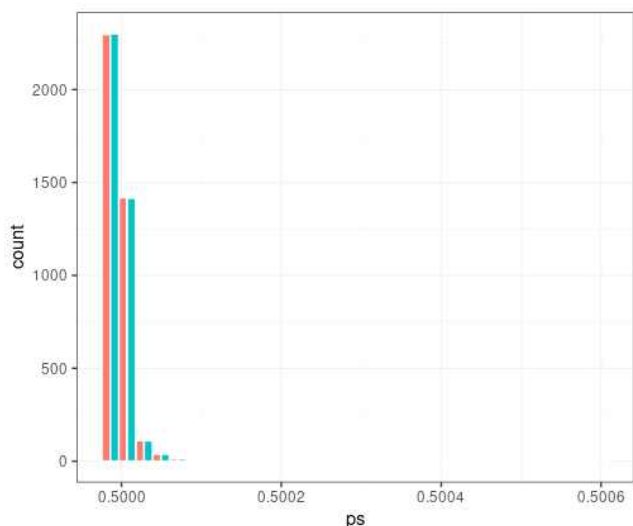
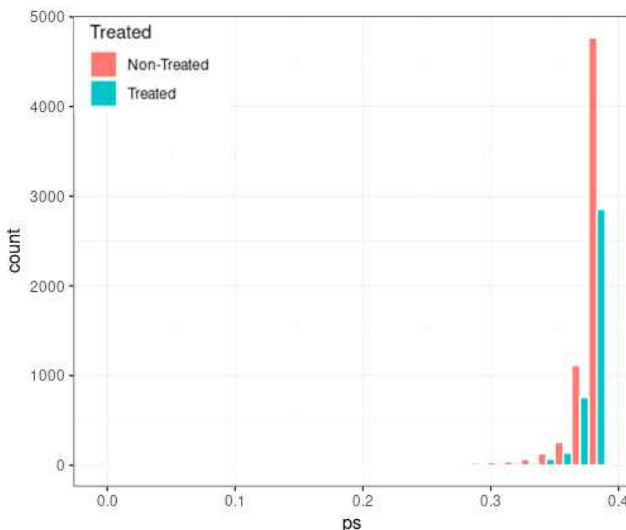
<수혜기업 매출(좌)과 영업이익(우) 추이 (단위: 억 원)>



나. 대조군 생성

- **(대조군 데이터 구축)** 수혜기업 데이터와 비수혜기업 데이터의 평균 매출 등 특성에 차이가 존재하므로 이중차분법 적용을 위해서 성향점수 매칭을 통하여 대조군 데이터 재구축
- **성향점수 매칭(Propensity Score matching):** 로지스틱 회귀분석(결과값이 0~1사이로 나오는 회귀분석)을 이용해서 특정 데이터가 **처치군에 속할 확률(성향점수)**을 구한 뒤 대조군 데이터 중에 처치군과 성향점수가 비슷한 데이터를 모아서 대조군을 형성하는 방법
- **평행추세 가정을 확인하기 위하여** 2015년도 매출과 2014년도 매출의 차이($Sales_{2015} - Sales_{2014}$)를 사용
- **매칭 전 T-test 결과,** p-value < 0.01로 처치군과 대조군의 분포가 통계적으로 유의미한 차이를 보임
- **매칭 후 T-test 결과,** p-value > 0.1로 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않음 => 매칭 후 형성된 대조군의 ' $Sales_{2015} - Sales_{2014}$ ' 값의 분포는 **처치군(수혜기업)의 값과 유사**

<매칭 전(좌)과 매칭 후(우)의 성향점수 분포>



*가로축: 성향점수(ps), 세로축: 기업 숫자(count)

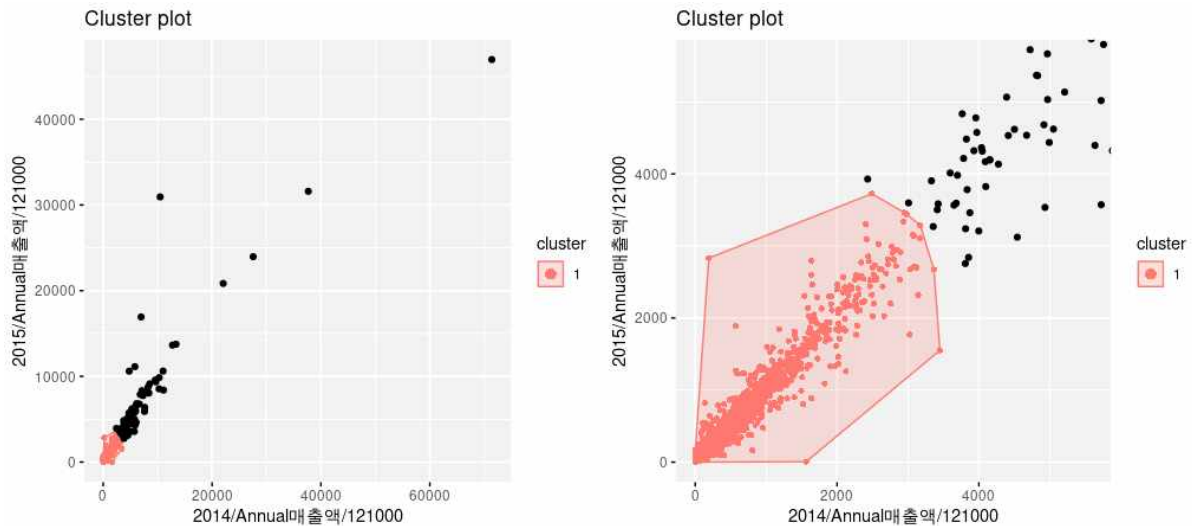


다. 군집화(Clustering)

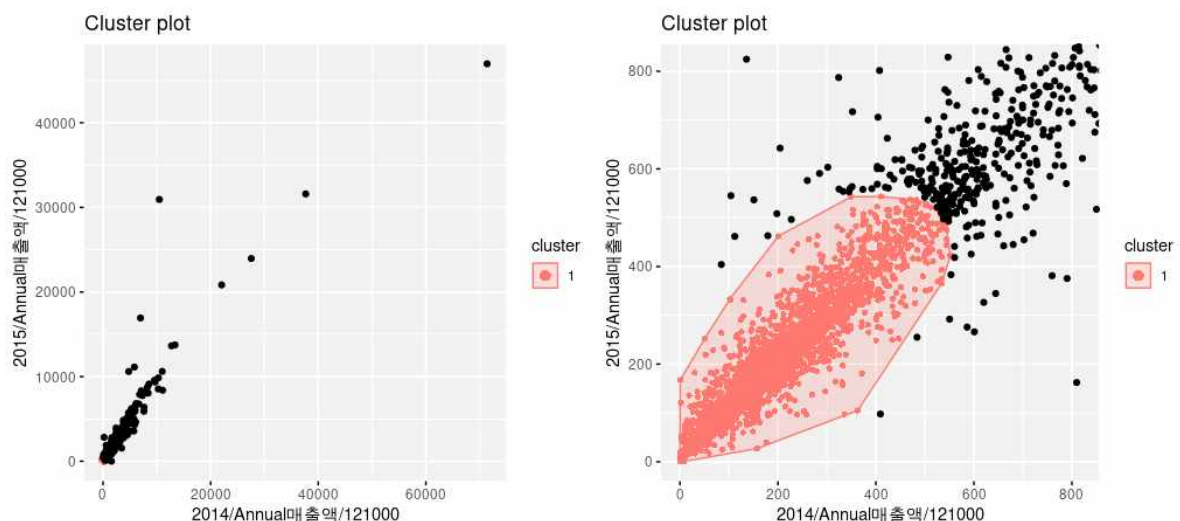
- (군집화 방법) 밀도기반 클러스터링 방법을 사용하여 2014년도와 2015년도 매출을 기준으로 유사한 기업들을 군집화하였으며, 실험의 용이성을 위하여 가장 큰 규모의 군집만 분석에 사용
- 밀도기반 클러스터링(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, DBSCAN): 임의의 한 점을 기준으로 설정된 거리(ϵ , epsilon) 내에 있는 점들이 최소개수(이번 실험에서는 260개로 설정) 이상이면 그 점들은 같은 클러스터에 속한다고 판단하는 클러스터링 기법
- 거리 기준(ϵ)을 1,500(\approx 두 기업의 연매출 차이가 평균적으로 1,500억 이내)과 100으로 설정하여 각각 클러스터 파악
- 군집화 결과, 매출이 다른 기업에 비하여 매우 높은 중견·대기업 데이터가 제외되었음
- $\epsilon=1500$ 설정에서는 찾은 클러스터 내 데이터 수는 7,640개로, 약 2%인 168건 데이터가 제외됨
- $\epsilon=100$ 설정에서는 찾은 클러스터 내 데이터 수는 6,004개, 약 36%인 2,804건 데이터가 제외됨

*군집화한 데이터 또한 성향점수 매칭을 통하여 정제 후 분석에 사용

<군집화 결과($\epsilon=1500$, 전체 데이터(좌), 군집부분 확대(우))>



<군집화 결과($\epsilon=100$, 전체 데이터(좌), 군집부분 확대(우))>





3. 분석 결과

- **(결과 요약)** 스마트공장 지원사업은 일정규모 이하 기업의 **매출과 영업이익에 긍정적인 효과**를 낸 것으로 확인되며, ROE에도 긍정적인 영향을 끼친 것으로 추정되나 통계적 유의성을 보이지 않았음
- 기업간 실적 편차가 크고, 기업의 분야 및 특성이 상이하여 현재까지 모형에 고려된 변수만으로는 변동성을 설명하기 부족하여 통계적 유의성을 보이기 어려운 것으로 추정
- **(매출)** 매출 규모가 작은 기업의 경우(군집화2) 스마트공장 지원사업에 따른 **9.7%의 매출 증가** 효과가 확인되었으며, 그 외의 설정에서는 통계적으로 유의미한 영향이 확인되지 않았음
- '14~'18년 수혜기업 데이터로 분석한 산업연구원의 분석 결과(매출액 약 7.4% 상승)와 유사
- **(영업이익)** 통계적 유의성은 부족하나 전체기업을 대상으로는 영업이익에 부정적인 영향을 끼치고 소규모 기업에게는 긍정적인 영향을 끼친 것으로 파악
- 스마트공장 전환과정에서의 설비투자·인력고용 등 일시적인 비용증가로 영업이익이 낮아진 것으로 추정¹⁹⁾
- **(영업이익률)** 영업이익률에 대한 정책효과는 거의 영향이 없는 것으로 파악되었으며 시간이 지남에 따라 매출은 상승하였으나 영업이익률은 오히려 감소
- **(ROE)** ROE에 대한 정책효과는 통계적 유의성을 보이지는 못하였으나, 대부분 기업에게 긍정적인 영향을 끼친 것으로 파악되며 특히 소규모 기업에게 보다 높은 효과를 보인 것으로 추정됨
- 기업규모에 관계없이 시간이 지남에 따라 **ROE가 큰 폭으로 감소**하고 있는 것으로 확인되었으며 이는 COVID-19로 인하여 수익구조가 악화되었기 때문이라고 추측
- **(기타)** Time에 대해서는 대부분 실험에서 통계적으로 유의미하게 영향을 끼치는 것으로 나타났으며 매출과 영업이익은 양의 상관관계, 영업이익률과 ROE에는 음의 상관관계를 보임

<실험 결과>

| | | 평균치 | Treat | Time | DID(p-value) |
|--------------------------------|------------------|--------|-------|--------|--------------------------------|
| 매출 (단위: 억 원) | All | 542.83 | 0.12 | 162.79 | -12.67 (0.83) |
| | 군집화1 (ε=1500) | 393.80 | -0.46 | 118.21 | 11.63 (0.60) |
| | 군집화2 (ε=100) | 199.90 | -0.13 | 81.29 | 27.20* (0.02) |
| 영업이익 (단위: 억 원) | All | 28.21 | -4.29 | 12.66 | -6.93' (0.12) |
| | 군집화1 (ε=1500) | 21.20 | -1.87 | 6.36 | -1.35 (0.60) |
| | 군집화2 (ε=100) | 11.29 | -0.74 | 2.36 | 1.76' (0.17) |
| 영업이익률 (단위: %) | All | 4.47 | -0.06 | -2.20 | 0.01 (0.98) |
| | 군집화1 (ε=1500) | 3.04 | 0.64 | -1.65 | -0.10 (0.93) |
| | 군집화2 (ε=100) | 4.39 | 0.03 | -2.26 | 0.00 (1.00) |
| ROE(Income/Capital) (단위: %) | All | 8.62 | -0.61 | -7.43 | 1.84 (0.26) |
| | 군집화1 (ε=1500) | 8.77 | -0.69 | -7.78 | 2.13 (0.20) |
| | 군집화2 (ε=100) | 9.17 | -0.73 | -8.45 | 2.08 (0.30) |

*p-value 표시: *** (0.001 이하), ** (0.01이하), * (0.05이하), ' (0.2이하)

19) 한국조세재정연구원(2021).



IV. 시사점

스마트제조로의 진화는 국내 제조기업의 생존에 필수적이며 스마트공장의 보급과 고도화를 위하여 정부에서도 다양한 노력을 기울이고 있음

- **(스마트공장의 필요성)** 한국은 GDP 중 제조업 비중이 높은 국가지만 노동생산성은 선진국의 약 60% 수준, 글로벌 변동성에 빠르게 적응하고 생존하기 위해서는 스마트제조로의 진화가 필수적
- 공급망분리, 국경봉쇄, 러-우크라이나 전쟁으로 발생한 비용상승형 인플레이션이 글로벌 경기침체로 이어지는 현 상황에서 신속하고 유연한 제조를 실현하는 스마트제조가 돌파구가 될 수 있음
- **(국내 스마트공장 지원사업)** 한국은 중소기업 혁신을 위하여 스마트공장 보급사업을 진행, '21년까지 2만5천 개가 넘는 기업들에게 스마트공장의 신축 및 고도화를 위한 사업비를 지원
- 스마트공장 관련 예산은 '15년 90억 원에서 '21년 4,583억 원으로 증가. 또한 KAMP, K-스마트 등대공장 등 질적 고도화를 위한 다양한 사업을 진행 중

스마트공장 지원사업은 기업에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 파악되며 추후 추가분석을 진행하여 더욱 상세한 효과를 다각도에서 파악하고자 함

- **(스마트공장 지원사업 효과)** 데이터 분석 결과, 스마트공장은 도입기업의 매출과 영업이익에 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 판단되며, 그 효과는 기업의 규모 등 특성에 따라 상이한 것으로 나타남
- 제조분야는 20개 이상의 세부산업이 존재하고 세부산업마다 사업주기, 제품주기 등 특성에 차이가 존재하여 전체 제조분야에 대한 이번 분석에서는 통계적 유의성을 보이기 어려운 것으로 추정됨
- **(분석 한계점)** 이번 분석에서는 실적에 영향을 줄 수 있는 다른 요소들(예: 산업분류, 스마트공장 도입시기 등)이 고려되지 않았으며 대조군을 선정할 때도 매출만을 사용하여 구축
- 추후 기업 특성을 포함한 군집화를 통해 통계적 유의성을 높이고 군집간 효과 비교 진행. 다른 성과지표(예: 고용, 품질, 생산성, 산업안전 등)를 고려하여 정책효과를 다각도에서 분석할 예정
- 또한 사례조사를 추가하여 다각도에서 정책효과를 분석하고 스마트공장의 성공요인을 명확히 파악할 수 있도록 하는 것이 필요

수은은 현재 스마트제조 관련산업을 지원하고 있으며 추가로 해외 스마트제조 솔루션 도입을 위한 시설자금과 국내 스마트제조 공급기업의 해외진출 촉진을 위한 자금 지원이 필요

- **(관련 지원사례)** 첨단제조·자동화 부분과 소재·부품·장비 산업을 포함한 핵심전략산업에 대한 지원
- 첨단제조·자동화 부분 지원금액: '21년 약 6조 8천억 원 지원, '20년 대비 25.6% 증가
- 글로벌 핵심전략산업 우대 지원 프로그램: 지원 한도 확대, 금리·수수료 우대
- **(지원방안)** 국내 스마트제조 생태계 활성화를 위하여 국내기업의 해외 스마트공장 솔루션 도입 자금 대출이나 국내 스마트제조 공급기업의 해외진출을 위한 금융지원이 필요
- 국내 기업체 설문조사 결과, 스마트공장 도입과정에서 투자자금 부담(46.4%)과 유지보수 부담(31.4%)을 가장 큰 애로사항으로 답변²⁰⁾
- 국내 스마트제조 공급기업 매출의 내수시장 비중은 96%²¹⁾로 영세한 규모의 기업이 다수. 기술발전을 위한 R&D 자금과 수출자금을 지원하고 수출보증을 통한 해외시장 개척이 필요

20) 스마트제조혁신추진단(2022). 인더스트리 4.0 구현의 사각지대 식별 및 이해

21) KIET(2020). 국내 스마트제조 공급산업 현황과 발전과제



<참고자료>

-국내 연구자료-

김선재(2017). 4차 산업혁명과 스마트 제조. Construction Engineering and Management, 18(3), 19-22.
산업연구원(2020). 국내 스마트제조 공급산업 현황과 발전과제
산업연구원(2022). 한국제조업 경쟁력, 코로나19 경제위기의 버팀목
스마트제조혁신추진단(2022). 인더스트리 4.0 구현의 사각지대 식별 및 이해
임정일, 김용운(2015). 스마트 팩토리를 위한 기능 모델. 한국통신학회 학술대회논문집, 208-209.
정종필(2022). 융합연구리뷰-스마트팩토리 핵심기술 및 제조혁신 고도화 전략, 융합연구정책센터
중소기업기술정보진흥원(2022). 중소기업 전략기술 로드맵 2022-2024
한국개발연구원(2021). 스마트팩토리 해외동향
한국정보통신기술협회(2021). 특화망 서비스의 현황과 전망
한국조세재정연구원(2021). 재정사업의 효과성 평가에 관한 소고-스마트공장 구축 지원 사업을 중심으로

-정부 발표자료-

중소기업벤처부(21.06). 한국형 등대공장 선정
통계청(21.12). 2020년 기업활동조사 잠정결과 보도자료

-국내외 보도자료-

데일리차이나(21.05). 중국 제조업의 GDP 대비 비중 하락, 과연 정상적일까
매일경제(17.07). "한국 스마트팩토리 어디까지 왔나"
아주경제(19.05). OECD "한국 中企 생산성, 대기업 30% 수준"
애틀러스리뷰(19.10). 5G 시대의 사설망과 스마트 팩토리 개요 및 시장전망
중도일보(22.04). [힘내라! 지역기업] 지엔소프트, '클라우드 기반 맞춤형 스마트팩토리 빅데이터 플랫폼' 개발
테크월드(22.03). [TECH웨이브] "로봇이 공장 움직인다...스마트팩토리 팔 걷은 기업들"

-해외 연구자료 및 인터넷 자료-

Chow M., Stanford K., Nathan S.(21.06). 코로나19가 근본적으로 변화시킨 4가지 소비 트렌드
Trading Economics, <https://tradingeconomics.com/>
국가지표체계, <https://www.index.go.kr/>
국가통계포털(KOSIS), <https://kosis.kr/>
대한상공회의소 스마트제조혁신팀, <https://sbmi.korcham.net/>
스마트제조혁신추진단 홈페이지, <https://www.smart-factory.kr/>
제이엔이시스텍 홈페이지, <https://www.jnesystech.com>
Hill, R. C., Griffiths, W. E., & Lim, G. C. (2018). Principles of econometrics. John Wiley & Sons.
Martinez, E. M., Ponce, P., Macias, I., & Molina, A.(2021). Automation pyramid as constructor for a complete digital twin, case study: A didactic manufacturing system. Sensors, 21(14), 4656.
Reis, J. Z., & Gonçalves, R. F.(2018). The role of internet of services (ios) on industry 4.0 through the service oriented architecture (soa). In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 20-26). Springer, Cham.

-외부자문-

한석희, 서울과학종합대학원 교수 및 (주) 4차산업혁명연구소 대표이사