

2023.6  
Vol.23-06

# KEIT ISSUE REVIEW

오피니언 리더의 최신기술 리뷰

KEIT ISSUE REVIEW

2023.6 | 디지털전환 기술

# KEIT ISSUE REVIEW

## 디지털전환 기술

- 디지털전환 기반 의약품 제조혁신 플랫폼 기술
- 데이터 및 AI 기반 제조안전 기술
- 뿌리산업의 디지털 전환(DX) 기술동향
- 건설기계 플릿 매니지먼트 기술개발 동향



# KEIT

## ISSUE REVIEW

### 디지털전환 기술

- 디지털전환 기반 의약품 제조혁신 플랫폼 기술
  - 데이터 및 AI 기반 제조안전 기술
  - 뿌리산업의 디지털 전환(DX) 기술동향
- 건설기계 플릿 매니지먼트 기술개발 동향

## 이달의 주제 소개

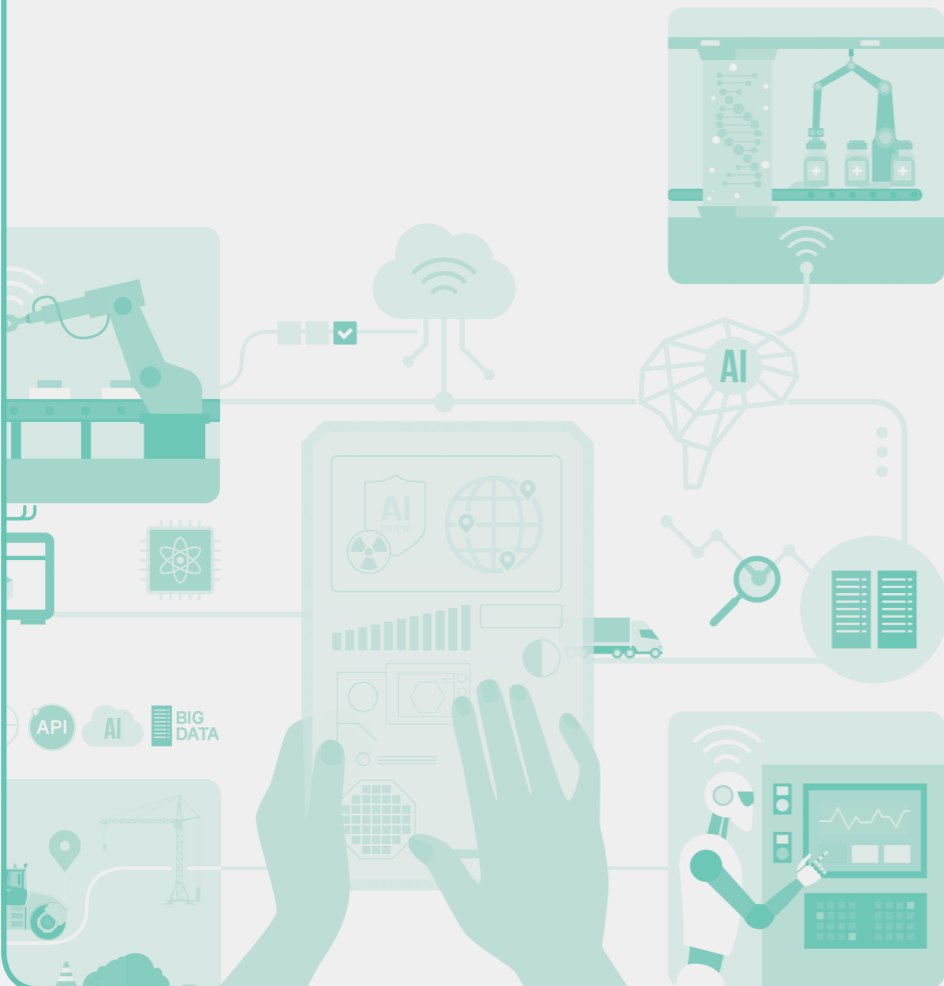
지난해 4분기 우리 경제가 역성장한 데 이어 올해 1분기 실질 국내총생산(GDP)은 전 분기 대비 0.3% 증가에 그치고 있습니다. 게다가 중국시장 부진으로 수출이 위축되면서 경제 회복도 늦어지고 있습니다. 또한 저출산에 따른 경제인구 감소가 성장동력을 잠식하고 있는 상황입니다.

그간의 경제성장이 노동·투자라는 양적 요소 투입에 기인하였다면, 이제는 혁신을 통한 가치창출과 생산성 향상으로 전환이 필요한 시점입니다. 가치창출과 생산성 향상을 위해서는 기존산업의 디지털전환이 필요합니다. OECD 보고서(디지털시대의 생산성 향상)에 따르면 '디지털전환이 향후 수년 내에 생산성에 지대한 영향을 미칠 가능성이 있다'고 분석하고 있습니다.

이에 이번 호에서는 각 산업분야의 디지털전환 시도와 적용사례를 다루었습니다. 의약품 제조분야에서는 선진국들이 의약품 제조혁신센터 구축을 통해 가격경쟁력과 품질경쟁력을 향상시킨 사례와 관련 공정기술<sup>①</sup>, 제조산업 전반의 산업재해 예방과 안전경영을 위한 데이터 기반 제조안전 기술<sup>②</sup>, 주조 금형 용접 표면처리 등 제조업의 근간을 뒷받침하는 뿌리산업의 디지털전환 기술<sup>③</sup>, 건설현장의 건설장비 및 건설기계의 통합관제(플릿 매니지먼트) 기술<sup>④</sup> 등 산업분야별 디지털전환 동향 및 주요기술과 적용사례를 세세히 다루었습니다.

산업에서의 적용 환경 및 도입 필요성, 적용사례를 중심으로 서술하여 디지털전환 기술이 기존산업에 어떻게 적용되어 생산성 향상 효과를 기대할 수 있는지 알리고자 하였습니다. 이번 호가 다양한 산업에서 디지털전환 기술을 도입하여 산업의 체질 개선과 생산성 향상에 기여하기를 희망합니다.

한국산업기술평가관리원 원장 **전 윤 중**



# KEIT

## ISSUE REVIEW

2023.6  
 Vol.23-06

### 5월호 주제 디지털트윈 기술

1. 서비스 실증 개념을 적용한 실감형 기술 동향
2. 디지털 트윈 기반 지능형 섬유 제조기술
3. 디지털 트윈 기반 유연 자동화 가공셀 기술동향
4. 디지털 트윈 기술과 로봇 연계 기술동향 및 발전방향
5. 실감형 디스플레이를 위한 Light Field 디스플레이 기술현황과 개발방향

### 7월호 주제(예정) 미래모빌리티 기술

1. 미래모빌리티 차세대 인지센서 기술동향
2. 인공지능이 조종할 미래 자율운항 선박의 현재와 미래 기술
3. 목적기반 전기차(PBV) 기술동향
4. 곧 다가올 미래모빌리티 비행체 기술동향

06 디지털전환 기반 의약품  
 제조혁신 플랫폼 기술

22 데이터 및 AI 기반  
 제조안전 기술

34 뿌리산업의 디지털 전환(DX)  
 기술 동향

52 건설기계 플릿 매니지먼트  
 기술개발 동향

KEIT Issue Review

# 디지털전환 기반 의약품 제조혁신 플랫폼 기술

**저자** 김형철 바이오 PD / KEIT  
 김주은 교수 / 국민대  
 김정옥 책임 / KEIT

**요약**

- ☑ 글로벌 저성장 기조와 생산성 하락 속에서 국내 제조 및 생산 경쟁력 저하로 인해, 원료의약품의 대부분을 수입에 의존하고 있어 국민건강에 관련된 국부가 유출되고 있는 실정이다. 전세계적으로 고부가가치를 창출하는 신성장동력이자 경제를 이끌 미래 먹거리 산업으로 제약바이오산업이 주목받고 있지만 국내 의약품 시장 경쟁력의 핵심인 가격 및 품질에 대한 경쟁력이 낮아지고 있어 제조혁신 등을 통한 개선의 필요성이 대두되고 있다.
- ☑ 미래유망 바이오혁신기술의 확보를 위해 미국, 영국, 아일랜드 등 제약바이오 선진국들은 디지털·바이오 융합기술개발 관련 다양한 정책을 수립하고, 생산성 향상을 위해, NIIMBL, MMIC, SSPC 등 제조혁신센터를 구축하여 정부차원에서 선제적으로 지원하고 있으며, 글로벌 제약바이오기업들은 제조 및 생산플랫폼 확보 경쟁이 치열한 상황이다.
- ☑ 우리나라는 최근 미래융합 바이오 신산업 발굴정책을 발표하고 관련 지원방안을 수립하였고, 그 동안의 R&D 투자를 통해 기초 기술역량은 축적하였으나 이를 기반으로 한 제조 및 생산에 관련된 CMC부분 혁신은 저조한 수준이다. 이러한 의약품 제조 및 생산 부문의 기술혁신을 위해 디지털 전환 기반 의약품 제조혁신 관련 플랫폼 기술 확보가 요구되고 있다.
- ☑ 제조혁신은 기존의 생산시스템의 한계를 극복하여 비용 및 제조시간을 30~40% 이상 절감하여 2배 이상의 수익개선이 가능한 기술을 의미하며, 보통 1~2주 소요되는 생산공정을 0.5~1일로 줄여 가격경쟁력과 품질경쟁력을 극대화시키는 혁신적인 제조생산기술이다. 이 플랫폼 기술은 신기술을 빠르고 유연하게 도입 및 대처할 수 있으며, 경제적인 개발과 상용화를 위해 산학연 협동연구 및 투자의 형태로 시너지를 창출하고 연구개발의 위험부담을 최소화하여, 규제당국과의 인허가 협업을 통해 기존 국내 제약바이오의약품 R&D 분야의 미지원·미충족 영역을 지원하는 역할을 톡톡히 할 것으로 기대된다.

## 1 서론

### 대한민국 의약품 시장의 현실

☑ 현재 대한민국은 국내외 저성장 기조와 생산성 하락 속에서 제조·생산 경쟁력 저하로 인해, 의약품의 대부분을 수입에 의존하여 국민건강에 관련된 국부가 유출되고 실정이다. 10년 전까지만 해도 국내 원료의약품 자급율은 40%에 육박했으나 지금은 약 14%밖에 되지 않으며, 중국(37.5%), 인도(16.3%) 등의 원료의약품이 대부분을 차지하고 있는 실정이다<sup>1,2,3</sup>. 이는 수입의약품 원료의 가격이 국산대비 20~30% 저렴하기 때문이다. 바이오의약품 산업은 전세계적으로 고부가가치를 창출하는 신성장동력이자 한국경제를 이끌 미래먹거리 산업으로 주목받고 있지만 국내 제약바이오의약품의 시장 경쟁력의 핵심인 가격 및 품질에 대한 경쟁력이 낮아지고 있어 제조혁신 등 개선의 필요성이 대두되고 있다<sup>2,3,4</sup>. 또한 제약바이오산업의 종합적인 설비효율은 10~60% 정도로 자동차(70~85%), 항공(50~70%), 컴퓨터(80~90%)에 비해 매우 낮다고 알려져 있다<sup>1</sup>.

### 위기에 대한 세계 각국의 노력

☑ 골드락스(Goldilocks)시대와 금융위기 이후 세계 경제는 3%대 성장이 지속되는 뉴노멀(The New Normal) 시대에 봉착하면서 전세계적으로 성장 동력 약화에 대한 우려가 확대되고 있다. 전세계적 저성장 기조와 생산성 속에서 디지털 바이오 산업은 신성장동력 분야로 급부상되고 있다<sup>5</sup>. 더욱이, 글로벌 총 생산성 증가율<sup>6</sup>의 하락세가 지속되면서 글로벌 저성장 기조의 주요 원인으로 제기됨에 따라, 각국 정부는 글로벌화, 도시화, 인구구조 변화, 성장잠재력 약화, 기술의 변화, 제조 강국의 세대 교체 등의 대내외 환경 변화 대응하고 4차 산업혁명을 이끌 차세대 미래유망 바이오혁신기술을 발굴 중이다. 따라서, 산업경쟁력 제고를 통해 일자리 창출, 생산성 향상, 새로운 성장 동력 모색 등을 배경으로 이러한 노력들이 더욱 확대되면서 디지털전환 기반의 제조혁신을 포함한 4차 산업혁명이 더욱 가속화될 전망이다. 2017년 다보스 포럼에서 4차 산업혁명이 가져올 변화에 대비하기 위한 14개의 글로벌 시스템 이니셔티브(System Initiatives)중 하나로 건강과 헬스케어의 미래를 제시했는데, 이는 2050년까지 97억 명 인구에게 어떻게 건강한 삶과 헬스케어 서비스를 제공할 것인가를 고민하고, 고령화 등 인구 구조 변화에 대응하는 미래지향적 미래유망 바이오혁신기술의 도출이 제시되어야 하는 시점임을 강조하는 자리였다. 이에, 바이오산업은 4차 산업혁명을 이끌어갈 중요한 동력의 한축을 담당하고 있으며, 4차 산업시대가 추구하는 데이터 기반 초지능, 초연결이 가능한 분야와 바이오분야의 융합이 가장 확실한 성과를 나타낼 것으로 기대되고 있다<sup>4,5,6</sup>.

### 미국의 제조업 슬로건

☑ 조 바이든 미국 대통령은 '21년 2월 25일 반도체, 전기차 배터리, 희토류, 의약품 등 4대 핵심 품목의 공급망 점검을 지시하는 행정명령에 서명하였다. 이는 코로나19 팬데믹 이후 의약품과 반도체 등 주요 품목의 공급부족 사태가 지속적으로 발생하면서 정부 차원의 대응 필요성에 의해 생겨난 현상으로 해석되고 있다. 미국은 2020년 코로나19 대응 과정에서 의약품을 비롯한 마스크, 해열제, 개인보호장비 등의 필수약품, 의료용품에서 공급망 취약도가 노출되었으며, 필수약품 및 의료용품 수입이 급증하며 미국의 적자는 큰 폭으로 확대되었다. 바이든 대통령은 도널드 트럼프 전 정부의 '관세 전쟁' 방식 대신 기술 경쟁을 통해 중국을 견제하고자 행정명령을 통해 구체화를 지시하였다. 바이든 정부는 미국 내 제조업 부흥을 위해 내세운 'Made in all of America, by all of America's workers'라는 공약을 본격적으로 추진하여 제조업 관련 강화 메시지들을 선포하였다. 바이든 미국 정부의 이번 행정명령은 의약품을 포함한 제조업 부흥을 위한 핵심 4대 품목에서 중국 의존도를 낮추고 동맹을 통한 공급망 확대 및 강화 쪽으로 초점을 맞추고 있어 대한민국에 유리하게 작용할 수 있는 관측이 나오고 있다. 그리고 한국은행은 바이든 정부가 공급망 다변화와 자국 보호주의를 본격적으로 추진하는 가운데 글로벌 가치사슬을 재편하는 과정에서 우방국과의 협력을 적극 요구할 것으로 분석하고 있다<sup>8</sup>.

### 대한민국 정부의 R&D사업 현황

☑ 현재 우리 정부의 R&D사업은 제약바이오산업 중 신약타겟물질을 발굴하거나 기초원천기술을 지원하며, 비밀상 또는 임상연구 관련 분야에 막대한 자금을 지원하고 있다. 하지만, 실제 의약품 제조 및 생산관련 분야는 의약품의 제품화에 상당히 중요한 축에 해당되는 부분을 차지하고 있지만 기업에서 담당하는 부분으로 인지하여 실제 의약품 생산 및 제조관련 연구분야에 대한 정부의 연구지원은 매우 낮은 것이 현실이었다<sup>9,10,11,12</sup>.

### 실질적인 대한민국 고마진 의약품 시장

☑ 2019년 인보사 사태와 같이 의약품의 생산 및 제조혁신과 관련된 CMC부분의 미흡<sup>11</sup>으로 인한 이슈 및 허가상의 문제 등으로 CMC\*단계에서 충분히 해결할 수 있었던 문제임에도 생산 및 제조에 대한 중요성 미인지에 따라 발생된 사례에 속한다<sup>12,16</sup>. 이러한 생산 및 제조에 관련되어 발생된 사례가 다수 존재하며, 실제 의약품이 제약바이오시장에 전달되는 부분과 직결되는 생산 및 제조관련 분야에 정부지원이 필요한 상황이나 일부 과제 수준의 지원 이외에는 의약품 생산고도화 및 제조혁신을 지원하는 별도의 정부 R&D사업은 전무한 상황이다. 최근, 삼성바이오로직스, SK바이오사이언스, 녹십자 등 국내 CMO, CDMO\*\* 위탁생산업체는 코로나19로 인해 전세계 러브콜 받고 있으며 위탁생산 시 마진률(영업이익률) 50% 이상의 고마진을 실현 중인 상황이다. 아스트라제네카와 노바백신, 화이자의 코로나19 백신 자체 생산 비중이 각각 27%, 41%, 41%에 불과하기 때문에 나머지 물량은 한국 등 각국의 위탁생산기업이 대부분의 의약품 제조 및 생산을 차지하고 있다<sup>13,14,15,16,17,19,20,21</sup>.

\* CMC : 화학합성(Chemistry), 공장생산(Manufacturing), 품질관리(Control)의 약자

\*\* CMO : Contract Manufacturing Organization의 약자, 의약품을 위탁생산하는 의약품 전문 생산사업으로 외뢰된 의약품을 대신 생산해 주는 것

CDMO : Contract Development & Manufacturing Organization의 약자로, 의약품 위탁생산을 뜻하는 CMO에 '개발'을 더한 의약품 위탁 개발생산을 뜻함

### 선진국의 바이오R&D방향과 제조혁신센터 현황

☑ 미래유망 바이오혁신기술의 확보를 위하여 선진국은 다양한 노력을 경주하고 있다. 미래유망 바이오혁신기술의 확보를 위해 선진국은 디지털-바이오 융합기술개발을 강화를 위한 다양한 정책들을 수립하여 지원하고 있으며, 글로벌 기업은 제조 및 생산플랫폼 확보 경쟁이 치열한 상황이다<sup>22,23</sup>.

☑ 미국, 영국, 아일랜드 등 제약바이오선진국들은 생산성 향상을 위해 NIIMBL, MMIC, SSPC 등 제조혁신센터를 마련하고 제조혁신 및 공정혁신 기술 확보를 위한 중장기 정책을 수립하는 등 디지털 제조혁신기술 확보를 통한 경제적 이익 실현을 위하여 정부차원에서 선제적으로 지원하고 있다. 미국의 경우, '17년부터 "바이오의약품국가제조혁신센터(NIIMBL)"를 운영 중이며, 미국 내 의약품 산업 및 기술 경쟁력을 확보해 글로벌시장 선점에 목적이 있다. 그리고 영국의 경우, '21년부터 GSK, 아스트라제네카 그리고 대학들을 중심으로 "국립의약품제조센터(MMIC)"를 구성하여 운영 중이며, 신개념 의약품제조공정, 차세대약품개발 가속화 및 구축 등을 통해 영국이 제약바이오 제조분야 혁신리더가 되는 것을 비전으로 제시하고 있다.<sup>24,25</sup> 아일랜드는 '19년부터 "세계최대규모 연구협력 제조혁신센터(SSPC)"운영하며, 대학 중심의 세계적 제약바이오 허브를 구축했고 글로벌 10대 빅파마와 협업중이다. 이 센터는 연구개발 및 교육 통한 전문가 양성기능까지 포함되어 있다. 특히, 미국의 NIIMBL은 바이오 원료의약품, 완제의약품, 혁신제조공정, 연속제조공정 등의 사업을 확대하여 제약바이오환경의 고도화 및 가속화에 집중하는 방향으로 미국 뿐만 아니라 세계시장을 선도 중이다<sup>24,25,26,27</sup>.

표 1. 주요 선진국의 첨단 제조공정혁신 기술센터 현황

구분	NIIMBL (바이오헬스케어 국가제조혁신센터)	MMIC (국립의약품제조센터)	SSPC (세계최대규모 연구협력 제조혁신센터)
국가	미국	영국	아일랜드
설립/출범연도	2017년 3월	2021년 6월	2019년 6월
투자금액	총 7,000만 달러 이상	총 3,500만 파운드 이상	총 4,200만 유로 이상
운영방식	Manufacturing USA의 일부로 운영위원회에 FDA, NCI, DoD, NSF와 같은 연방 기관이 포함되어 있음	영국의 CPI(Center for Process Innovation), Strathclyde 대학, GSK 및 Astra Zeneca 간의 협력	Limerick 대학의 주도하에 학계 및 제약산업의 연구원과 엔지니어를 연결하여 협력
참여기관	대학, 연구소, 기업 등 총 155개 이상	대학, 기업 등 최소 4개 이상	24개 기업, 9개 연구소, 12개 해외학술기관과 협업
목적/목표	미국 내 의약품 산업 및 기술 경쟁력을 확보해 글로벌시장 선점 목적, 제약바이오 혁신기술 가속화, 효율적인 의약품 제조를 위한 개발 방안 지원, 해당 분야의 인력 교육 및 훈련을 바탕으로 세계 시장에서의 경쟁력 향상	신개념/기술의 의약품 제조 공정개발, 차세대 의약품 개발 가속화 및 구축, 유연한 의약품 공급망구축, 저가 의약품 경쟁 등 제약제조분야 혁신리더를 목표로함	차세대 의약품 제조 선도 및 선진화된 제약·바이오 생산기지의 허브, 대학 중심으로 움직이며 글로벌 10대 빅파마 협업 및 연구개발, 교육 통한 전문가 양성기능 포함
주요 연구주제	활성 바이오 치료제 성분 제조 및 정제, 최종 제형으로 제제화 및 포장, 공정 및 제품의 특성 및 안정성, 효능, 품질 평가를 위한 분석	디지털 방식으로 결합된 Continuous direct compression (CDC) platform 개발을 통한 경구 고형 의약품의 효율적 생산	의약품 제조 공정 분야에 특화, 제조공정 최적화, 약물전달체계(Drug Delivery System, DDS) 개발에 초점

\* NIIMBL : The National Institute for Innovation in Manufacturing Biopharmaceuticals  
 MMIC : National Medicines Manufacturing Centre  
 SSPC : Synthesis and Solid State Pharmaceutical Center

## 2 본론

### 대한민국 제약바이오R&D 기술현황

우리나라는 최근 미래융합 바이오 신산업 발굴정책 발표하거나 지원방안을 수립하였다. 하지만, 제약바이오 분야 R&D 투자를 통해 기초 기술역량들은 축적하였으나 이를 기반으로 한 생산 및 제조기술혁신과 사업화와 연결된 성과는 저조한 수준이다. 그리고 대외적인 저성장 기조와 생산성 하락 속 국내 의약품시장은 진퇴양란인 상황이며, 이 상황의 유일한 돌파구는 초격차 기술혁신을 통한 시장 경쟁력 우위 선점뿐이다. 대한민국은 현재 디지털 기술에서는 사물인터넷(IoT), 빅데이터 분야가 기술적 우위에 있으며, 제약바이오분야 기술에서는 제조혁신 및 공정혁신 기술에 기반한 다양한 첨단 제조혁신 시스템이 성장하고 있어, 두 가지 기술의 융합으로 새로운 부가가치가 창출할 것으로 기대되어 지원방안 등이 검토되고 있다<sup>24,25</sup>.

### 의약품 생산·제조산업의 분류

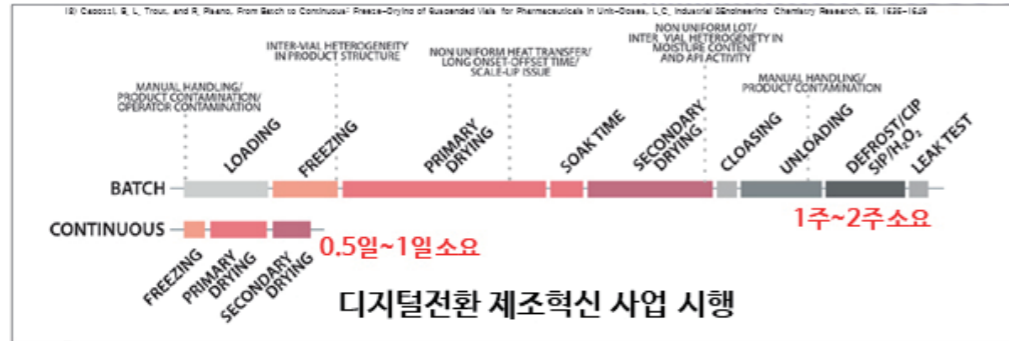
의약품 생산·제조산업은 기술발전의 분류에 의해 총 4세대로 분류되고 있으며, 1세대(GMP제조; 1994년), 2세대(Process Validation도입; 2007년), 3세대(Quality by Design도입; 2015년), 4세대(QbD 및 Continuous Process, Continuous Manufacturing; 2020년)순으로 총 4세대로 분류되어 있다<sup>26,27</sup>.



2세대(Process Validation)는 1세대(GMP)의 내용을 포함하며, 3세대는 1, 2세대를 포함하여 의약품설계기반 품질고도화(QbD)라는 의약품 설계 및 제조 품질관리의 최적 구현 시스템을 2015년경 도입한 시기였다. 이후 차세대 제조혁신으로 알려진 4세대(차세대 QbD, CP&CM)부터는 1, 2, 3세대를 모두 포함하며 추가적으로 제조혁신 기술로 거론되는 연속공정의 적용을 통해 QbD와 연계된 제조혁신 시대로 진입하고 있다. 4세대부터는 의약품 생산 및 제조공정에서 실시간 모니터링과 IoT기술과의 접목을 통해 품질고도화 및 생산고도화를 추구하는 디지털전환 기반 Pharma 4.0기반의 제조혁신이 도입 중인 상황이다. 현재 신약 및 개량신약의약품 등에 대한 연구와 개발에 국가의 많은 연구개발 예산이 투입되고 있으나, 향후 미래 제약·바이오의약품 산업의 육성 및 경쟁력 강화를 위해서는 제조기반 및 제조혁신기반 기술개발에 대한 투자가 매우 중요할 것으로 예상되고 있다.

디지털 전환 기반 의약품 제조혁신

이렇게 최근 대두되고 있는 디지털 전환 기반 의약품 제조혁신이란? 아래 그림과 같이 기존의 생산시스템의 한계를 극복하여 비용 및 제조시간을 30~40% 이상 절감하여 2배 이상의 수익개선이 가능한 기술을 의미하며, 보통 1~2주 소요되는 생산공정을 0.5~1일만 소요시켜 가격경쟁력과 품질경쟁력을 극대화시키는 혁신적인 제조생산기술이다<sup>28,29,30</sup>.



**비용 및 제조시간 절감 → 가격·품질 경쟁력 향상**  
**[의약품 제조혁신 도입 → 비용 및 시간 단축 → 수익개선, 수입대체, 수출증대]**

| 그림 1. 디지털전환 제조혁신 사업 시행 |

(출처: NICE, 제39권 제5호, 2021, 바이오 의약품 제조 시스템 혁신을 위한 도전과 전망)

제조혁신의 경제적 효과로는 운전비용, 에너지비용, 설비투자비용, 제조소요시간, 제조소면적, 제품불량률 등 비용 및 제조시간의 극단적인 절감효과로 인해 가격 및 품질경쟁력 강화로 인해 실질적인 의약품 수익률이 2배 이상 개선되는 효과가 있을 것으로 예상하고 있다<sup>28,29,30</sup>.

이러한 의약품 제조혁신 기술들을 통해 운전비용은 약 10~40% 절감될 것으로 추정되는데 일반적으로 GMP 의약품 1품목의 연간 운전비용 추산 비용 4.1억에서 연속제조혁신 기술이 적용될 경우 2.5억으로 절감된다고 알려져 있다<sup>28</sup>. 에너지비용은 약 50~75% 절감될 것으로 추정되며 GMP 의약품 1품목의 연간 에너지비용 추산 11.0억에서 연속제조혁신 기술 적용시 2.8억으로 절감된다. 또한 설비투자비용은 약 35~70% 절감될 것으로 추정되며, GMP 의약품 1품목의 연간 제조, 설비투자비용 추산 7.5억에서 연속제조혁신 기술 적용 시 2.2억으로 절감된다. 제조소요시간은 약 75~90% 절감될 것으로 추정되며, GMP 의약품 1품목의 FTE(Full time employee) 산출 시간 10일에서 연속제조혁신 기술 적용 시 1~2일로 75~90% 축소될 수 있다. 제조소 면적은 약 75~90% 절감될 것으로 추정되며, GMP 고형제 의약품의 제조소 평균면적 1,104 m<sup>2</sup>에서 연속제조혁신 기술 적용 시 110 m<sup>2</sup>으로 10배 축소될 수 있다<sup>28,29,30</sup>. 제품불량률 역시 약 33~45% 절감될 것으로 추정되며, 매출 2,000억 GMP 생산공장 내 불량제품비용 환산 시 약 55억의 비용 중 양품 비율로 인해 고정비 25억이 절감가능할 수 있다. 따라서, 이러한 계산식으로 추측해볼 때 의약품 한 품목당 도출되는 가격경쟁력과 품질경쟁력 확보를 통해 전반적으로 약 2배의 수익률이 개선될 것으로 예상된다<sup>28,29,30,31</sup>.

글로벌 제조혁신 기술동향

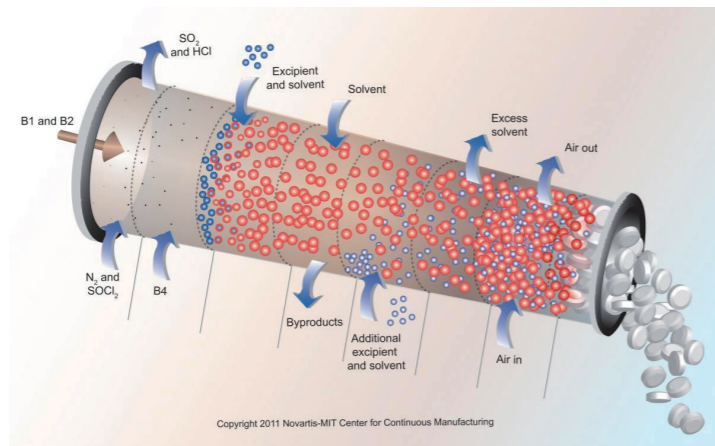
글로벌 다국적 제약회사의 제조혁신 기술을 도입하고자 하는 사례는 2015년을 기점으로 폭발적으로 확대되고 있다.

Jassen 사의 경우, 2016년에 FDA로부터 기존의 배치 제조공정인 Prezista를 연속 공정으로 변경하여 승인받았으며, Puerto Rico의 공장에 Full-scale 연속공정 제조혁신 설비를 건설하여 2008년부터 2013년까지 5년간 Rutgers 대학 C-SOPS(Structured Organic Particulate Systems) 기술 연구 센터와의 협업을 통해 Prezista의 연속공정개발에 대한 연구를 수행하여 직타제조공정 플랫폼의 연속공정 라인인 'Inspire'를 설계를 완료하였다. 2014년에 'Inspire' 라인을 Puerto Rico의 공장에 설치 후, Prezista의 개발이 완료하였다. 기존의 배치제조공정은 칭량, 밀링, 혼합, 타정, 코팅의 단위공정들로 이루어져 있으나 이들을 하나로 통합하여 단일 생산 라인의 연속 공정으로 발전시켜 PAT(Process Analysis Technology)를 통해 연속공정으로 생산되는 정제의 함량균일성을 실시간으로 평가되도록 완성하였다. 연속공정을 통해 기존의 제품 품질을 유지하면서 제조 및 시험주기를 단축하고, 폐기물로 인한 환경에 미치는 영향을 줄이며 공정에 대한 위험성을 낮추었다. 연속공정은 기존의 제조 방식에 비해 33% 가량의 폐기물을 감소시켜 제조 수율 상승시켰으며 기존의 배치 시스템에서 1,000kg을 생산하는 데에 13일이 소요되었으나, 동일한 양을 연속공정으로 제조하였을 때, 1.1일만 소요되었다. 따라서, 제조혁신 기술이 적용된 연속공정시스템은 완제의약품 제조에 소요되는 시간을 70% 정도 단축이 가능하였으며, 기존의 배치공정시스템에서는 반제품시험과 출하시험에 평균 약 30일이 소요되었지만, 연속공정시스템의 도입으로 실시간으로 약 5일만에 획기적 단축에 성공하는 역량을 보여주었다. 2015년에 두 번째 연속공정 라인인 습식과립플랫폼인 'C100'을 이탈리아에 설치하였다. 2018년에 습식과립 연속공정으로 생산한 첫번째 완제의약품을 출품하였고, 습식과립 의약품 플랫폼의 연속공정은 원료의 주입, 혼합, 과립, 정립, 후혼합, 타정의 단위공정이 모두 연속적으로 수행되어 제조가 가능하였다.



| 그림 2. Janssen 사의 Prezista 제조를 위한 연속 공정 설비 |

Novartis 사는 2007년부터 10년간 6,500만 달러를 투자하여 의약품 생산 방식의 효과적인 변경을 목표로 MIT와 협력연구를 수행 중이다. Novartis의 전문가와 MIT의 과학기술을 통해 기존의 배치형 제조방식을 연속생산공정으로 대체하기 위한 새로운 연구를 진행하여 새로운 제조혁신 기술들을 개발하고 있다. MIT에서 연속공정으로의 변경에 필요한 기초기술을 선행연구 한 후, 이를 기반으로 Novartis에서 자사의 의약품을 이용해 시생산 규모에 적용시키는 연구를 수행 중으로 알려져 있다. 2017년에 스위스 바젤에 제조혁신을 도입한 연속공정 시스템을 갖춘 시설을 설립하여 연속공정 개발로 인해 의약품 생산시간을 90% 단축하고, 생산비용을 30%까지 절감하는 기염을 보였다. 원료 및 부형제 등 투입 물질들의 반응이 완료되면, 연속공정시스템을 통해 혼합물을 건조, 과립화, 타정까지 수행하여 정제 생산을 완료하였다. 연속 생산 공정의 Multiple vertical chemical reactor를 통해 원료의약품은 다양한 화학반응을 연속적으로 수행 가능함을 보여주었으며, 컴퓨터 소프트웨어를 통해 생성된 화합물의 반응과 품질을 효과적으로 관리하는 역량을 보여주었다. Multiple vertical chemical reactor는 기존의 방식과 비교해 화학반응에 제한을 두지 않으므로 다양한 화합물을 안전하게 생산가능하였다. 또한 연속공정을 통한 Scale-up개념이 없기 때문에 다양한 크기의 배치를 시간에 따라 즉각적으로 반영할 수 있으며, 특수 제품을 위한 소규모 배치 생산이 가능하다. 또한, 연속공정은 다양한 공정변수를 적용시킬 수 있어 소규모 생산이 가능하므로 환자맞춤형 의약품을 생산하는 데에 매우 유용한 생산방법으로써 활용이 가능하다.



| 그림 3. Novartis 사의 연속 공정 설비 |



| 그림 4. Novartis 사의 정제 생산을 위한 연속 공정 설비 |

Vertex 사는 2015년에 연속공정을 통해 낭포성섬유증 의약품인 'Orkambi'를 생산하였으며 최초로 FDA 허가를 받았으며, 이후 2018년에 'Symdeko'를 규제기관으로부터 승인받았다. 이들 의약품은 모두 제조혁신기술이 가미된 연속공정시스템을 통해 도출된 의약품들이다. 버텍스사는 전체 의약품 생산공정의 연속공정화를 구축하여 이를 다양한 제품에 적용가능하게 설계하였고 이 연속공정시스템에서는 원료의약품의 분사부터 제조까지의 과정이 일련의 과정으로 진행되도록 개발하였다. 이 시스템에서는 기존 원료 단위에 따른 배치단위가 불필요하였으며 습식과립 플랫폼을 통한 Orkambi의 생산을 위한 연속공정에는 혼합, 과립, 건조, 정립, 타정, 코팅의 단위공정으로 모두 구성되어 있다. 또한 Roller compaction을 통한 건식과립 플랫폼과 직타제조공정을 통한 정제 생산도 가능하여 다양한 다품종소량생산 제품에 적용이 가능하다고 알려져 있다. 연속공정을 통한 의약품 정제의 생산은 원료 투입 단계에서부터 코팅된 정제를 얻기까지 단지 90분만 소요되었다. 각 단위 공정에 따른 공정분석기술(PAT)을 통해 효과적 품질관리가 가능하였으며 우수한 품질의 의약품 생산이 가능함을 입증하였다. 원료물질 및 혼합물에 대한 특성평가가 실시간 NIR 측정을 통해 실시되고 있으며, 건조 공정 중 NIR 및 Laser diffraction을 통해 과립의 균일성, 수분함량 및 입자크기 평가 가능하였다. 또한 후혼합 공정 중 NIR을 통해 최종 혼합물의 특성을 실시간으로 평가하고, 타정공정에서 생산되는 정제의 무게, 경도, 두께를 확인하며, Raman 분광법을 이용하여 원료의약품 및 완제의약품의 물리적 특성 및 필름 코팅의 두께를 평가하는 등 QC직원에 의해 이루어지던 off-line검사 및 실험이 제조혁신형 시스템 내에서 On-line으로 자동화되어 다양한 In process control 검수가 가능함을 보여주었다.



| 그림 5. Vertex 사의 연속 공정 설비 |

다국적 글로벌 빅파마인 “Pfizer” 사는 2018년에 연속공정 제조시스템을 통해 급성골수성백혈병 치료제인 ‘Daurismo’정을 생산하였으며, 규제기관인 FDA로부터 허가를 받았다. 화이자 제약사는 2017년에 Freiburg의 새로운 공장에서 연속공정 설비를 위한 첫 준비를 시작하였으며, Pfizer의 독자적인 제조기술이 대부분 반영되어 있는데, Pfizer의 연속공정설비는 ‘Continuous mixing’기술이 도입되어 있다고 알려져 있다. 이 기술이 도입된 혼합공정은 캡슐을 제조하기 위해 대량의 균일한 혼합물이 중단없이 연속적으로 제조됨을 보여주었다. ‘Continuous mixing’기술은 원료의약품 및 첨가제를 모두 혼합하여 균일한 혼합물을 생성하는데, 이 기술의 도입으로 인해 공정 시간 및 비용을 두배 이상 절감하고 오류로 인한 위험을 감소시켜 품질 개선 가능성을 보여주었던 사례이다. 화이자는 새로운 연속공정 시설을 위해 대부분의 생산공정 및 공정변수를 재설계하였다. 새로운 공정에서는 500~1,000kg의 투입물질을 칭량한 후 Big bag에 넣어 사용한다고 알려져 있다. 아래 사진과 같이 Big bag을 사용하여 원료의약품 및 첨가제를 투입하였으며, 이러한 방법을 통해 원료물질을 수송하고 준비하는데 걸리는 시간을 대폭 감소시켰다. 완제의약품의 품질을 보장하기 위해 NIR을 통해 Big bag의 순도 및 균일성을 모든 공정이 진행되는 동안 지속적으로 평가하고 제어하였으며, Big bag에서의 혼합물의 혼합균일성을 확보하는 것은 기존의 배치 제조 시스템을 연속공정으로 전환하는데 있어서 중점이 되는 부분이다. Pfizer의 연속제조기술은 원료물질의 투입에서부터 완제품의 이송까지 모든 단계의 공정이 중단 없이 진행됨을 보여주었다. 화이자의 연속공정은 원료 및 투입물질의 검사, 칭량, 분주, 포장, 세척 과정을 모두 포함하며 이는 자동적으로 수행된다. 원료 및 투입 물질을 연속공정의 모든 단위공정에서 제조생산공정의 중단 없이 추출하여 평가가 가능한 시스템이다. 이를 통해 높은 수준의 품질 관리가 가능함을 보여주었다. 2013년에 GEA, G-CON과 협업하여 최초의 모듈식 이동 가능한 경구용 고형 제제의 제조 시설을 설계하기 위한 목적으로 이동식 GMP 모듈인 PCMM(Portable, Continuous, Miniature and Modular)을 개발하였으며, 2017년 5월에는 PCMM 기술이 적용된 새로운 생산 공장의 건설이 시작되었다. 고품질 신약 개발의 가속화가 가능하도록 PMCC 공장은 ‘Continuous mixing’ 기술을 적용하여, 완전 자동화된 폐쇄형 제조 시스템으로 시간당 최대 30 kg의 정제를 생산하고 관리할 수 있는 지속적이고 유연한 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 임상 및 안정성 시험을 위한 소량 생산에 적합하며 시생산을 위한 대량 생산도 가능하다고 알려져 있다. PMCC 공장의 연속공정시스템은 칭량, 혼합, 과립, 타정의 단위 제조공정을 포함하고 있으며, PMCC 공장은 매우 소규모로 설비의 크기가 작아 공간 활용도가 높으며, 모듈식 wall system으로 GMP 표준에 부합하여 청정한 환경에서 의약품의 연속생산이 가능한 시스템이다.



| 그림 6. Pfizer 사의 연속공정 시설 및 Big bag |



| 그림 7. Pfizer 사의 PMCC 연속공정 시설 |

미국의 다국적 제약기업인 “글락소스미스클라인(GSK)” 사는 2019년에 비용 효율성을 향상시키기 위해 500억 달러 규모의 기술을 디지털 기술기반 제조혁신형 연속공정 생산공장을 싱가포르에 설립하였다. GSK는 디지털기반 연속생산 기술개발에만 실질적으로 5-6년 동안 진행한 기업이다. GSK의 제조혁신형 연속생산기술은 공간 활용도가 높아 작은 공간에서 운영이 가능하며 비용이 크게 절감된다고 알려져 있다. 이 제조혁신 기술을 테스트하는데 최대 5,000만 달러를 투자했으며, 현재 사용되는 규모와 비교하여 1/9의 공간으로 의약품의 생산이 가능하다고 보고하고 있다. 연속공정을 통한 의약품의 생산은 제조시간, 공정시간, 비용, 탄소 배출의 양과 속도를 줄일 수 있으며, 원자재 사용 및 폐기물의 감소로 수율을 개선하고 에너지 비용을 절감할 수 있음을 보고하였다. 연속공정에서 사용되는 검사에 매우 소량의 시료만이 필요하고 또한 속도는 훨씬 빠르므로 기존 방식에 비해 매우 효율적임을 선전하고 있다. 기존의 중금속 또는 효소를 통한 촉매반응을 대체할 것이며 GSK에서 현재 생산되고 있는 절반 이상의 의약품이 이 연속생산기술을 통해 생산될 것임을 시사하였다. 신규 연속공정시설은 R&D Pilot 공장으로 사용되어 임상 시험용 원료의약품의 생산을 가속화시키고 있음을 보고하였다. 이 연속생산공장에서 최초로 개발된 약물은 만성 신장 질환과 관련된 빈혈 치료제인 Daprodustat는 현재 미 FDA에서 승인된 경구용 의약품이다. 연속공정시스템에서 원료 물질은 작은 튜브나 채널을 통해 지속적으로 배출되며 일반적으로 수 밀리미터의 지름을 통해 생산이 가능하다. GSK는 Secondary Process Intensification 프로젝트를 통해 싱가포르와 미국에 연속공정 공장과 연속공정 pilot plant를 각각 설립하여 다양한 연구를 수행 중이다.



| 그림 8. GSK 사의 Continuous API Manufacturing Pilot Plant |

연구중심의 세계적인 제약기업 “일라이릴리(Ely Lilly)” 사는 디지털기술이 가미된 연속공정설비의 대부분을 직타형 제조공정 플랫폼으로 설계하였다. 최근 발매되고 있는 부형제들이 우수하기 때문에 원료의 주입, 혼합, 타정의 세 단계의 단위 공정만 연결된 시스템을 구축하고 집중하고 있다. 제조혁신 시스템 내 Loss in Weight(LIW) feeding은 K-Tron 20 또는 K-Tron 30이라 불리는 시스템을 통해 원료의약품 및 첨가제를 공급하며, 각각의 feeder는 연속공정에서 요구되는 공급속도에 따라 조절 및 관리가 가능하며, 쉽게 변경 및 조절이 가능하도록 설계하였다. Feeder에 대한 공정변수로는 Feeder size, screw type, hopper size, tuning method를 설정하여 각 주성분 및 부형제의 공급을 담당하도록 설정하고 있다. Gericke GCM 350에서 혼합 공정이 수행되고, Korsch XL200에서 타정공정이 연속적 수행되도록 구성된 시스템이며, 생산되는 정제에 대한 물리적 특성을 NIR을 통해 실시간으로 평가하는 등 직타형 연속생산 연속공정 시스템에 집중하고 있다. 2017년에 FDA로부터 폐경 여성의 유방암치료제인 경구형 고형제 Verzenio를 승인받았다. Verzenio는 Ely Lilly의 파이프라인 중에서 연속공정을 통해 제조된 최초 의약품으로, 기존의 배치시스템과 동일 규모로 제조되고, large-scale의 혼합공정을 in-line 혼합공정으로 대체하여, 장시간이 소요되는 후반부 배치생산공정이 불필요하여 Verzenio의 생산소요 시간이 50% 이상 크게 단축되었음이 보고되고 있다.

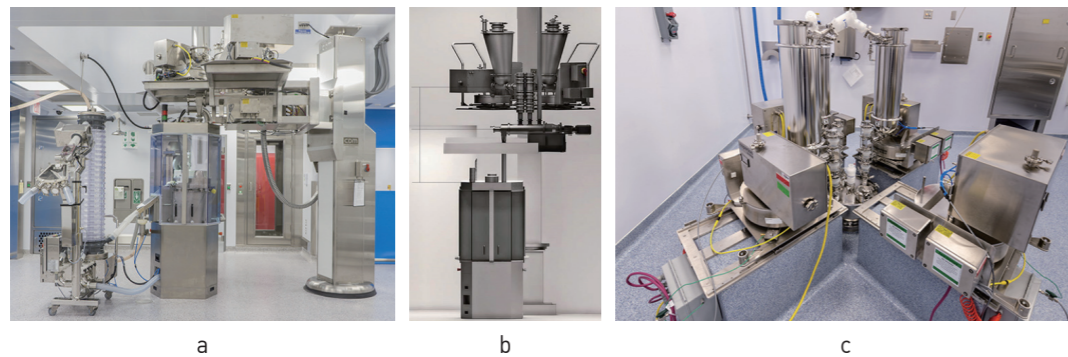


그림 9. a. Ely Lilly의 연속공정 시설 및 Big bag, b. Ely Lilly의 직타 공정 플랫폼을 위한 연속공정 시설의 모식도, c. Lilly의 Indianapolis 공장에 있는 연속공정 시설

표 2. 디지털전환 제조혁신 기술로 개발되고 있는 의약품 현황

상품명	개발사	주성분	적응증	제형	규제기관 승인		
					미국 FDA	유럽 EMA	일본 PMDA
ORKAMBI	Vertex	Ivacaftor, Lumacaftor	낭포성 섬유증	정제	2015	2015	-
PREZISTA	Janssen	Darunavir	HIV 감염	정제	2016	2017	-
VERZENIO	Eli Lilly	Abemaciclib	폐경 여성의 유방암	정제	2017	2018	2018
SYMDEKO	Vertex	Ivacaftor, Tezacaftor	낭포성 섬유증	정제	2018	2018	-
DAURISMO	Pfizer	Glasdegib Maleate	급성골수성 백혈병	정제	2018	-	-
TRIKAFTA	Vertex	Elexacaftor, Ivacaftor, Tezacaftor	낭포성 섬유증	정제	2019	-	2019

### 3 결론

- 미국과 중국 등 글로벌 패권 경쟁과 대내외 저성장 기조, 그리고 각국의 리쇼어링 현상에 의해 대한민국의 미래는 밝지 않은 상황이다. 그 중 대한민국의 제약바이오산업은 고부가가치를 창출하는 신성장동력이자 한국경제를 이끌 미래 먹거리 산업으로 주목받고 있으나 시장의 핵심경쟁력인 가격경쟁력과 품질경쟁력이 미진하여 중국, 인도 등에 밀리고 있는 실정이다. 이를 극복하기 위해 디지털전환 의약품 제조혁신, 공정혁신 등의 첨단 제조혁신 기술개발이 완성된다면, 제약바이오산업의 가격 및 품질경쟁력이 크게 상승하여 신약개발 시간 및 생산비용 단축, 글로벌 경쟁력 강화, 의약품 산업 관련 전후방 산업 발전, 고용 창출 효과까지 기대할 수 있을 것이다.
- 실질적으로 의약품 제조 및 공정, DB, 첨단 지능형 디지털전환 기술, 고품질 의약품 설계기술 등의 접목으로 의약품 제형과 제조공정 설계를 최적화하고 제조품질관리에 소요되는 시간과 비용을 대폭 감소하여 저비용 고효율의 의약품 생산이 가능하다면 극단적으로 제조비용이 감소되어 수익률이 크게 개선될 것으로 기대된다.
- 우리나라의 초고령화 사회 진입에 따른 국민 의료비 지출 증대 및 건강보험 재정악화 등에 대비하여 제약바이오의약품 원가절감 유도를 통한 보험 재정 건전성 확보 기대 및 신규 일자리 창출이 가능하며, 디지털전환 의약품 제조혁신 기술개발사업 완료 시 국내 바이오의약품 산업·기술 경쟁력을 확보하고 글로벌시장에서 지속적 우위 선점이 가능할 것으로 기대된다. 디지털전환 기반의 의약품 제조혁신 사업을 통해 국내 자체 원료의약품 생산이 가능할 경우 수입원재료 대체효과는 약 4.4조 원 규모에 육박하며, 현재 중국산 원료는 국산대비 20~30% 저렴하나, 제조비용을 단지 30%만 절감시켜도 가격경쟁력 제고로 인해 약 50%의 가격 절감 효과가 발생할 것으로 기대하고 있다. 이 제조혁신 기술이 완성된다면 향후 대한민국 의약품의 세계시장 점유율 확대에 크게 기여할 수 있을 것이다. 디지털전환 의약품 제조혁신기술은 공정 및 제조를 위한 신기술의 빠르고 유연한 대처가 가능하며, 경제적인 개발과 상용화를 위해 산학연 협동연구 및 투자의 형태로 시너지 효과를 창출하고 연구개발에 따른 위험부담을 최소화하며, 규제당국과의 인허가 관련자문 등을 사전에 실시하는 등 기존 제약바이오의약품 R&D 분야의 미지원·미충족 영역을 지원하는 역할을 톡톡히 할것으로 기대된다. 디지털 전환 의약품 제조혁신 기술은 의약품 자동화 생산 장비 및 핵심요소기술 등의 확보를 통해 신약개발 가속화 및 글로벌 가격 경쟁력, 품질/제품 경쟁력 강화와 국내 제약바이오기업들의 해외시장 진출, 국제적 위상 강화 및 비교 우위의 경쟁력을 가질 수 있어 세계시장에서 한국 제약업계의 확장이 기대되는 기술로 예상되어 지속적인 지원 체계 확보가 필요하다.

## 출처 및 참고 자료

1. 식품의약품안전처 정책동향 발표자료, 2017.03
2. 저가 중국산 원료 경계령, 데일리팜, 2018.07.11., <http://www.dailypharm.com/Users/News/NewsView.html?ID=241560>,
3. 국내외 원료의약품 산업 현황 및 지원정책 연구, 한국보건산업진흥원, 2021
4. 디지털전환에 대응한 국내 제조혁신역량 분석과 정책과제, KEIT, 2019
5. 국내외 원료의약품 산업현황 및 지원정책 연구, 한국보건산업진흥원, 2021
6. 2020년 제약산업 분석보고서, 한국보건산업진흥원, 2021.03.
7. 글로벌 보건산업 시장규모 (2015-2026), 한국보건산업진흥원, 2021
8. 중앙일보, 경제 2022.01.18 <https://www.joongang.co.kr/article/25041582#home>
9. 글로벌 보건산업 시장규모(2015-2026), 한국보건산업진흥원, 2021
10. 의약품 수출 규모 첫 40억달러 돌파, 뉴시스, 2018.09.06. [https://newsis.com/view/?id=NISX20180906\\_0000410993](https://newsis.com/view/?id=NISX20180906_0000410993)
11. 바이오 의약품 제조 시스템 혁신을 위한 도전과 전망, NICE; 제39권 제5호, 2021
12. 의약품 수출 규모 첫 40억달러 돌파, 뉴시스, 2018.09.06, [https://newsis.com/view/?id=NISX20180906\\_0000410993](https://newsis.com/view/?id=NISX20180906_0000410993)
13. 바이오제약강국, 전국경제인연합회, 2016.08.18.
14. 원료 6년 수입규모 64% 늘어, 데일리팜, 2018.07.11.
15. 2018 연도별 국가별 원료의약품 수입 규모 추이(단위: 천달러), 식품의약품안전처, 의약품수출입협회), 2022.04.07.
16. 원료의약품 탈중국, <https://www.kpanews.co.kr/article/show.asp?idx=231627&category=D>
17. The global use of medicine in 2019 and outlook to 2023, IQVIA report
18. IQVIA market prognosis, Sep 2017 (미국 대비 시장 점유율(%)), (2020 IMS Health report & 2018 IQVIA report),
19. 의약품 수출 규모 첫 40억달러 돌파, 뉴시스, 2018.09.06., [https://newsis.com/view/?id=NISX20180906\\_0000410993](https://newsis.com/view/?id=NISX20180906_0000410993)
20. 원료의약품 중국 인도 저가 공세, 이코노믹리뷰, 2016.04.26., <http://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=287592>
21. 발사르탄부터 로사르탄까지 끝나지 않은 불순물 악몽, 데일리팜, 2021.12.08, <http://m.dailypharm.com/newsView.html?ID=283174>
22. Guidance for Industry, PAT-A framework for innovative pharmaceutical development, manufacturing and quality assurance, US FDA, 2004
23. Basuet al., J Pharm Innov(2008), Vernon et al., Pharmaceutical manufacturing efficiency, drug prices and public health: Examining the Causal Link, Drug Information Journal (2007), 41:229-239)
24. KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터, 2020.08.24.
25. 디지털전환에 대응한 국내 제조혁신역량 분석과 정책과제, KIET산업연구원, 2019-912
26. 이코노믹리뷰, <http://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=287592>, 27. 약업신문, <https://www.yakup.com/news/index.html?mode=view&nid=197683>
28. TS Harrington, L Alinaghian, JS Srai, Making the business case for continuous manufacturing in the pharmaceutical industry, 2014, POMS Meeting,
29. R Steiner, ConsigmaBusiness Cases, 2019, Biopharma Webinar
30. L Rogers, KF Jensen, Continuous manufacturing – the Green chemistry promise?, Green Chemistry, 2019, 21, 3481-3498
31. S Schaber, D Gerogiogis, R Ramachandran, J Evans, P Barton, B Trout, Economic analysis of integrated continuous and batch pharmaceutical manufacturing: A case study, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50(17), 10083-10092)

KEIT Issue Review

# 데이터 및 AI 기반 제조안전 기술

저자 김도현 스마트제조 PD / KEIT  
김윤수 선임 / KEIT

요약

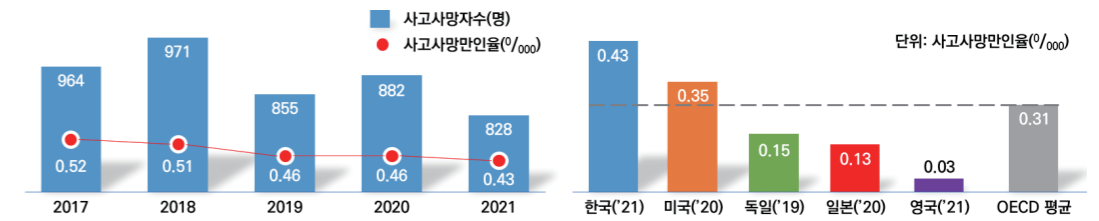
- 우리나라 산업재해로 인한 재해자의 비율은 '16년부터 매년 점진적으로 증가하고 있으며, 특히 제조업의 경우 전체업종과 유사한 수준으로 증가 추세를 보이고 있다.
- 최근, 산업재해 관련 처벌법의 강화와 더불어 민간에서는 ESG 가이드라인, ISO 인증 등 안전 경영과 관련된 다양한 기준들이 마련되어지고 있는 상황 속에서, 글로벌 산업안전 시장 확대와 한국 제조산업 경쟁력 제고를 위해 안전 기술 및 안전 최우선 경영에 대한 투자에 대한 요구가 늘어나는 추세이지만, 아쉽게도 일부 대기업을 제외하고는 아직 안전 교육 등의 전통적인 예방 조치 수준에 머물러 있는 실정이다.
- 본 고에서는 안전경영의 필요성과 제조안전 분야의 정책·산업·기술적 동향을 분석하고, 제조분야의 산업재해를 예방하기 위한 데이터 및 AI 기반 제조안전 기술 개발 방향성에 대해 논하고자 한다.

## 1 개요

- 중대재해는 개인의 생명과 가족의 행복을 파괴하는 것 뿐만 아니라 다양한 사회적 갈등과 국가적 손실을 초래하기 때문에 산업현장에서 생명과 안전을 지키는 것은 아주 중요한 사안이라고 할 수 있다.
- 지난 20년간 경제·기술 발전, 안전의식 향상 및 정책적 노력 등을 통해 사고사망만인율\*을 1/3수준으로 감축('01년 1.23 → '21년 0.43)하였음에도 불구하고, 우리나라 중대재해 규모는 여전히 경제적 수준을 훨씬 상회하고 있는 실정이다.

\* 임금근로자수 10,000명당 발생하는 사망자수의 비율

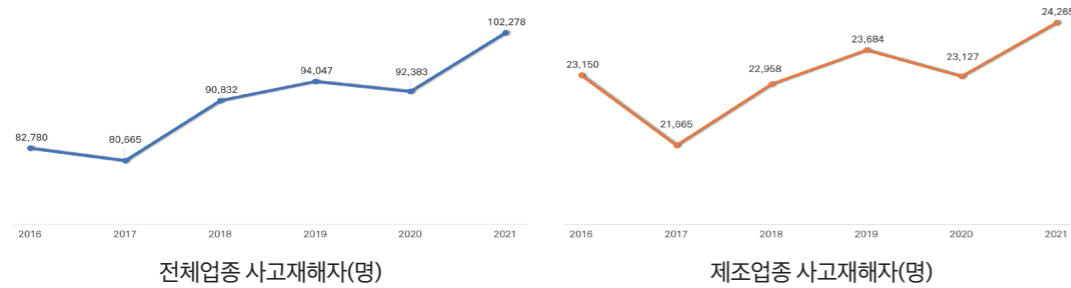
- 우리나라의 경우, 매년 800명 이상의 산업재해 사고사망자가 지속적으로 발생하고 있으며, 사고사망만인율은 OECD 평균을 상회, 영국 대비 14배 이상 수준으로 매우 심각하다고 볼 수 있다.



| 그림 1. 국내의 산업재해 사고사망자현황 |  
(출처: 고용노동부, 고용노동부 업무보고, 2022)

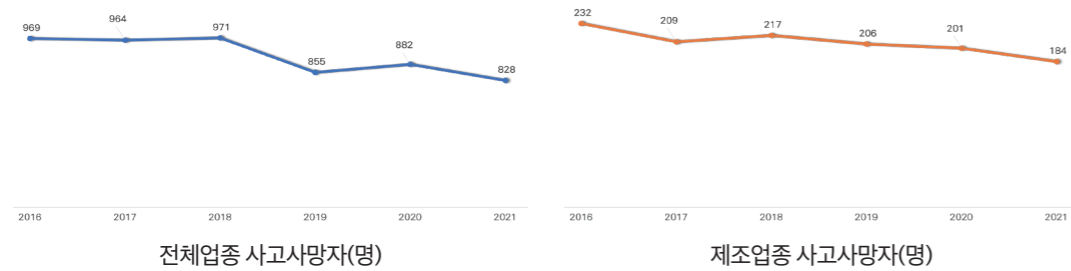
- 정부가 추산한 산업재해로 인한 경제적 손실 추정액\*은 총 138조 원으로, 최근 5년간 지속적으로 증가하고 있다.  
\* 국내 산업재해로 인한 경제적 손실 추정액(e-고용노동지표): ('17) 22조 원 → ('18) 25조 원 → ('19) 29조 원 → ('20) 30조 원 → ('21) 32조 원
- 글로벌 산업안전 시장 확대와 한국 제조산업 경쟁력 제고를 위해 안전 최우선 경영과 안전 혁신기술에 대한 투자가 중대하게 요청되는 시점이다
- 글로벌 제조 선진국은 새로운 제조안전기술에 대한 투자\*를 확산하는 반면, 국내는 일부 대기업을 제외하고, 안전교육과 같은 전통적인 예방 조치에 머물러 있는 실정이다  
\* 선진국의 스마트 제조안전기술개발 동향: 산업용 로봇, 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등 신기술을 활용한 산업재해 예방 기술개발 수행 중  
\* 글로벌 산업안전 시장 규모 전망(MarketsandMarkets, 2022): ('22) 63억달러 → ('27) 88억달러

☑ 우리나라 산업재해로 인한 재해자의 비율은 '16년부터 매년 점진적으로 증가하고 있으며, 특히 제조업의 경우 전체업종과 유사한 수준으로 증가 추세를 보이고 있다.



| 그림 2. 국내 사고재해자 현황 |  
(출처: 고용노동부, 산업재해현황 통계자료 분석, 2021, 제조업 소업종 산재통계현황 재구성)

☑ '16년부터 사고사망자 수는 매년 소폭 감소, 특히 제조업은 전체업종과 유사하게 연도별 사고사망자 발생 추이가 완만한 감소세를 보이고 있다.



| 그림 3. 국내 산업재해 사고사망자 현황 |  
(출처: 고용노동부, 산업재해현황 통계자료 분석, 2021, 제조업 소업종 산재통계현황 재구성)

☑ 우리 기업은 산업재해관련 처벌법의 강화와 더불어 민간에서는 ESG 가이드라인, ISO 인증 등 안전경영과 관련하여 다양한 압박을 받고 있는 상황이다.

- (중대재해처벌법) 사업 또는 사업장에서 일하는 모든 사람의 안전 및 보건을 확보하도록 경영책임자에게 의무를 부과한 법률로 '2023년 기업규제 전망조사'에서는 국내 기업들이 가장 부담을 느끼는 규제로 조사되고 있다.
- (산업안전보건법) 산업 안전 및 보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성함으로써 노무를 제공하는 사람의 안전 및 보건을 유지·증진함을 목적으로 제정되었다.

- (ESG 가이드라인) ESG는 Environmental, Social, and Governance의 약어로, 기업의 환경, 사회, 거버넌스 측면에서의 지속 가능성을 평가하는 기준으로 Social 부분에 안전요소를 포함하여, 국내 산업부는 K-ESG 개발을 수행하였다
- (ISO 안전경영인증) 국제 표준화 기구(ISO)가 제정한 안전관리시스템 표준인 ISO 45001에 근거하여 조직의 안전과 건강을 관리하는 능력을 인증하는 제도이다



| 그림 4. 우리 기업의 안전경영 이수 현황 |

☑ 본 고에서는 기업의 안전경영 필요성에 따른 제조안전 분야의 정책적, 산업적 및 기술적 동향을 분석하고 데이터 및 AI 기반 제조안전 기술에 대해 논하고자 한다.

## 2 제조안전 분야 동향 분석

### 1) 사회문화 동향

- ✔ 한국은 타 선진국들과 비교할 때 가장 빠르게 고령화가 진행되고 있는 국가로 2017년부터 고령사회(65세 이상 인구 14%상회)로 진입하며, 2026년부터는 초고령사회(혹은 후기고령사회: 65세 이상 인구 20% 상회)에 진입할 전망이다.
- ✔ 인구의 감소는 노동인구의 감소로 이어져 향후 인재난이 심화될 것이라는 전망과 함께 생산가능인구 감소로 인한 저성장사회가 도래할 것이라는 우려도 함께 존재한다.
- ✔ 사회 전반적으로 '웰빙', '삶의 질', '지속가능한 사회'에 대한 관심이 높아지면서 건강에 대한 관심이 증폭, 직장인의 건강 관리 또한 노동관리정책에서 중요하게 인식되고 있다.
- ✔ 인체와 환경에 유해한 화학물질에 대한 규제 뿐만 아니라, 지구환경 보존에 부정적 영향을 미치는 물질에 대한 규제도 심화되고 있다.
- ✔ 일본의 노무라종합연구소(2016)에 따르면 기계화 가능성이 높은 직종의 작업량은 인공지능의 업무효율 생산성 향상 효과로 감소하는 반면, 인공지능의 신규사업 창출 효과를 통해 인공지능의 도입 보급에 필요한 업무와 인공지능을 활용한 새로운 업무가 창출되고, 새롭게 창출된 직종의 작업량이 증가할 것으로 전망된다.

### 2) 정책 동향

- ✔ 정부는 중대재해 감축 로드맵을 발표하여 우리나라 산업재해를 해소하기 위한 다양한 제도적 장치를 마련하고자 노력 중이다.
- ✔ '자기규율 예방체계'란 정부가 제시하는 기준을 토대로 회사가 근로자와 함께 사업장 특성에 맞는 자체 규범을 마련하는 것을 의미한다.
  - 평상 시에는 위험성평가를 핵심 수단으로 하여 사업장 위험요인을 기업 스스로 발굴·제거하되, 사고 발생 시에는 기업의 예방 노력의 적정성을 엄정히 따져 결과에 대한 책임을 부여하는 안전관리 방식이다.

- ✔ 위험성평가 제도는 2013년 산업안전보건법에 도입·시행되었으나, 현행 산업안전보건법은 위험성평가 미이행·부실 이행에 대한 제재 규정이 없다.
  - 고용노동부는 위험성평가 제도를 '핵심 위험요인' 발굴·개선과 '재발 방지' 중심으로 운영하고, 2025년까지 5인 이상 사업장에 대하여 단계적으로 의무화할 예정.
  - 위험요인 파악, 개선대책 수립뿐만 아니라 사전준비, 위험성 추정 결정 등 위험성평가 전 과정에서 근로자의 참여를 확대하고 있다.
  - 또한, 아차사고 및 휴업 3일 이상 사고에 대하여 모든 근로자에게 사고 사례를 전파·공유하도록 지도할 예정이다.
  - 정기·수시 위험성평가 결과를 '작업 전 안전점검회의'(TBM; Tool Box Meeting)를 통해 현장 공유하도록 유도하며, 사업장 별 정기·수시 평가 결과가 현장 근로자까지 상시 전달·공유될 수 있도록 '월-주-일 3단계 공유체계'를 확산하고, 위험성평가 결과 공유용 모바일 어플리케이션을 개발 및 보급할 예정이다.
- ✔ 산업안전보건법령 및 중대재해처벌법령 개정을 통해 기업이 수용가능한 자율규제 방식으로 전환하고자 노력하고 있다.
  - 산업안전보건법령 개정 방향은 산업안전보건기준에 관한 규칙(현행 679개 조항)을 처벌규정(형사처벌 근거)과 예방규정(유연한 대처 가능하도록 기술가이드로 세부 내용 규정)으로 분류하여 정비할 예정이다.
  - 산업안전보건위원회 설치 대상 확대(100인 이상 → 30인 이상 사업장)(2023년 예정)
  - 안전보건관리규정 작성 대상 확대(100인 이상 → 10인 이상 사업장)(2023년 예정)
  - 원·하청 기업 간 안전보건 역할·범위 등 명확히 하는 가이드라인 마련(2023년 예정)
  - 중층적 도급관계에서 중간 하수급인의 법적 책임 명확화(2024년 법 개정 예정)
  - 근로자의 안전수칙 준수 의무 명시(2023년 이후)
  - 안전수칙을 반복적으로 준수하지 않는 근로자에 대한 제재 사유·절차 등을 포함한 '표준 안전보건관리규정' 마련·보급(2023년)
  - 전담 안전관리자 선임 대상 사업장 확대(300인 이상 → 50인 이상 사업장)(2026년까지)
- ✔ 중대재해처벌법령 개정 방향은 위험성평가, 재발방지대책 수립·시행 위반 등 핵심 사항 위주로 처벌요건을 명확화(상습·반복, 다수 사망사고 등에 대해서는 형사처벌을 확실하게 함)하고, 선진국 사례(경제적 제재, 기업에 벌금형 부과 등)를 참조하여 제재 방식을 개선하며, 체계를 정비할 예정이다.
  - 법령 정비를 위하여 '산업안전보건 법령 개선 TF' 구성·운영(2023년 상반기)

☑ 산업안전감독 및 중대재해 발생 시 제재 방향으로 정기감독을 '위험성평가 점검'으로 전환하고자 하며 '위험성평가 점검'을 통해 위험성평가 적정 실시 여부, 개선대책의 적정성, 노·사 참여 여부, 현장 적용성, 근로자들의 사고 사례 인지 여부 등을 근로자 인터뷰 등으로 확인하고자 한다.

- 사고사례 분석 기반 재발방지대책 수립·시행, 안전보건관리체제 구축·이행 여부도 위험성평가 점검 시 필수로 확인할 예정이다.

### 3) 산업 동향

☑ 제조업 관련 안전관련 산업은 작업자의 안전교육, 안전문화 조성을 위한 홍보활동, 그리고 디지털 기술을 활용한 안전예방 대비 시스템 구축 등이 있다.

- 제조업체는 작업자의 안전 규정 준수를 확인하고, 안전 장비의 사용법을 교육하고, 안전 위험에 대한 인식을 높이는 교육 수행한다.
- 제조업체는 안전문화를 조성하기 위해 노력으로 안전을 최우선 가치로 삼고, 안전을 위해 투자하고, 안전을 장려하는 분위기를 조성하기 위하여 홍보업체, 관련 컨설팅 기업을 활용한다.
- 제조업체는 산업재해를 예방하기 위해 디지털 기술을 활용하고 있으며, IoT(Internet of Things), AI(Artificial Intelligence), 로봇 기술 등이 안전 측면에서의 새로운 동향으로 등장, 이들은 작업장의 위험 요소를 더욱 정확하게 탐지하고 예방하는 데 사용된다.
- 안전 교육 및 훈련에서 AR과 VR이 점점 더 활용되고 있으며, 이들 기술은 현장의 실제 상황을 재현하여 근로자들이 위험 상황에 대비할 수 있게 교육 기능을 수행한다.
- 대량의 데이터를 수집하고 분석함으로써 사고 위험 요소를 미리 예측하고, 이에 대한 대응 전략을 수립하는 것이 가능해지고 있으며, 이는 근로자의 안전을 보장하는 데 매우 중요한 역할을 수행한다.
- 높은 위험성을 가진 작업은 점점 더 자동화되거나 로봇이 대체하는 추세, 이를 통해 인간 근로자가 위험한 환경에 노출되는 것을 감소하는데 기여한다.
- 설계, 개발, 제조, 유통 등 생산의 전 과정이 정보통신기술(ICT)로 연결돼 빅데이터(Big Data)·사물인터넷(IoT)·인공지능(AI) 등에 의해 자동으로 이뤄지는 '지능형 공장'을 말하여, 스마트 AI 공장은 AI가 생산 공정의 모든 과정을 관리하고, 생산 효율을 높이고, 품질을 향상시키고, 비용을 절감하는 기능 수행한다.

### 4) 기술 동향

☑ 제조업 관련 안전분야 기술은 4차 산업혁명을 기반으로 한 다양한 ICT 기술이 개발 중이다.

- 가상현실(VR) 및 증강현실(AR) 기술을 활용한 안전 교육 및 훈련, 인공지능(AI) 기술을 활용한 위험 예측 및 경보 시스템, 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 작업 환경 모니터링 및 관리, 자율주행 및 협동로봇 기술을 활용한 안전한 작업 환경 조성, 빅데이터 분석 기술을 활용한 안전사고 원인 조사 및 예방 등의 기술들은 제조업 현장에서 발생하는 안전사고를 예방하고, 작업자의 안전을 확보하는 데 중요한 역할 수행한다



일반 근로자를 대신하여 창고 내 무거운 짐을 운반하는 로봇기술을 활용  
 ▼  
 근로자의 동선 효율성 향상,  
 적재된 물건의 무너짐 위험 감소 등  
 근로자의 안전을 보장하고 생산성이 증가

| 그림 5. 자율주행 및 협동로봇 기술을 활용한 안전한 작업 환경 조성 예시 |

(출처 : <https://singularityhub.com/2017/02/10/how-robots-helped-create-100000-jobs-at-amazon/>)

- (가상현실(VR) 및 증강현실(AR) 기술을 활용한 안전 교육 및 훈련) VR 및 AR 기술을 활용하여 작업자들이 위험한 환경에서 안전하게 작업하는 방법을 습득한다
  - \* VR 기술을 활용하여 화재 발생 시 대피 방법을 훈련하거나, AR 기술을 활용하여 중장비 조작 방법을 훈련
- (인공지능(AI) 기술을 활용한 위험 예측 및 경보 시스템) AI 기술 활용은 작업 환경에서 발생하는 위험을 예측하고, 경보를 보내 작업자들이 위험을 피할 수 있도록 지원한다
  - \* AI 기술을 활용하여 작업자의 움직임을 분석하여 위험한 행동을 감지하거나, 작업 환경에서 발생하는 가스 누출을 감지하여 경보를 제공
- (사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 작업 환경 모니터링 및 관리) IoT 기술을 활용하면 작업 환경의 다양한 데이터를 수집, 분석하여 작업 환경을 모니터링하고 관리 가능하다
  - \* IoT 기술을 활용하여 작업장의 온도, 습도, 공기 질 등을 모니터링하거나, 작업자의 작업 활동을 모니터링하여 작업자의 안전 확보가 가능
- (자율주행 및 협동로봇 기술을 활용한 안전한 작업 환경 조성) 자율주행 및 협동로봇 기술을 활용하면 작업자가 위험 작업 보다는 안전한 작업을 수행할 수 있도록 지원한다
  - \* 자율주행 로봇을 활용하여 화학 물질을 취급하는 작업을 수행하거나, 협동로봇을 활용하여 중장비 조작 작업을 수행할 수 있음
- (빅데이터 분석 기술을 활용한 안전사고 원인 조사 및 예방) 빅데이터 분석 기술을 활용하면 안전사고 발생 원인을 조사하고, 예방이 가능하다
  - \* 빅데이터 분석 기술을 활용하여 안전사고 발생 이력, 작업 환경 데이터, 작업자 데이터 등을 분석하여 안전사고 발생 원인을 조사할 수 있음

### 3 제조안전 산업 정의 및 기술개발 방향

☑ “제조안전산업”은 4차산업혁명 기술을 활용하여 사업장에서 산업재해를 유발할 수 있는 모든 위험을 예측/예방, 대비, 대응, 복구 단계에서 해결하여 근로자의 생명과 안전, 그리고 기업의 원활한 영업활동을 지원하는 모든 활동과 관련한 경영활동을 수행하는 이해관계자가 참여하는 생태계로 정의할 수 있다.



#### 제조안전이란?

4차 산업혁명 기술을 활용하여 사업장에서 산업재해를 유발할 수 있는 모든 위험을 예측/예방, 대비, 대응, 복구 단계에서 해결하여 근로자의 생명과 안전, 그리고 기업의 원활한 영업활동을 지원하는 모든 활동

| 그림 6. 제조안전 개념 정의 |

☑ 제조안전기술은 제조업의 안전요인을 산업 AI와 융합하여 제조안전선도모델 개발하고, 이를 확장할 수 있는 제조안전 학습 데이터, 스마트 제조안전 기술개발을 통해 우리 제조업의 일자리 안전을 강화하고 기업의 안전문화 확산 및 제조안전산업의 토대를 마련하는 것을 목표로 하고 있다.

☑ 주요내용으로는 사고유형기반 제조안전 위험인자 추론 학습데이터 구축, 제조안전기술체계기반 현장중심 스마트 제조안전기술 개발, 업종 공정기반 제조안전모델 개발 및 구축으로 구성된다.

- 사고유형기반 제조안전 위험인자 추론 학습데이터 구축은 사고유형을 중심으로 제조안전에 필요한 데이터를 구축하고 이를 활용하여 인공지능 학습이 가능한 데이터화 작업 수행을 의미한다.
- 제조안전기술체계기반 현장중심 스마트 제조안전기술은 예측-예방-대비를 수행하는 제조안전기술체계를 기반으로 기업 현장에 필요한 스마트 제조안전 기술이다.
- 업종 공정기반 제조안전모델 개발 및 구축은 학습데이터와 스마트 제조안전기술을 모두 종합하는 기업 맞춤형 제조안전선도모델을 개발 및 구축하는 것이다.

| 표 1. 데이터 및 시 기반 제조안전 기술 예시 |

사고유형	제조안전 데이터 및 시 기반 제조안전 기술		대응조치
설비 가동중 작업자 부주의로 끼임사고	인공지능을 이용한 작업자 위험행동 분석		작업자에게 설비 끼임 위험을 경고하여 부주의한 작업행동 통제
	산업 DATA	작업자 작업행위 관절모션	
	산업 AI 기술	작업자 작업 위험 행동 패턴 분석	
정비 후 시험 가동중 끼임사고	설비 부착 센서를 통해 작업자 끼임 유무 사전 감지		설비 전원을 자동 차단 등 작업 금지
	산업 DATA	설비 정상/이상 구동	
	산업 AI 기술	설비 내 작업자 끼임 위험상황 감지	
유해가스 누출사고	센서로 유해가스 감지 및 작업자의 위험 상태 분석		작업자에게 유해가스 누출을 경고 및 작업 중단, 대피경고
	산업 DATA	유독가스, 작업자 상태	
	산업 AI 기술	유독가스 유출 및 작업자 상태 예측 분석	
화재 발생 및 위험지역 침입	영상 감지 시스템이 불꽃 및 위험지역 침입 감지		작업자에게 작업중단 및 대피 경고
	산업 DATA	화재 발생 전/후 상황	
	산업 AI 기술	불꽃을 감지하여 화재 발생 감지	
화학물질 누출사고	인공지능 초음파 영상 처리로 화학물질 누출 감지		작업자에게 작업중단 및 대피 경고, 누출사고 현장 폐쇄 조치
	산업 DATA	배관 가스누출 상태	
	산업 AI 기술	배관 가스누출 상황 분석	
이동체 운전 부주의로 인근 작업자 인명사고	복합태그로 이동체의 위치정보 측위 및 추적		이동체 충돌 위험을 인근 작업자-이동체에 경고
	산업 DATA	이동체 및 작업자 위치	
	산업 AI 기술	작업장 내 작업자 및 이동체 충돌상황 예측	
물건 낙하 또는 충돌로 인명사고	이동장비에 설치된 레이저센서를 통해 크레인 위치정보 측위 및 추적		이동장비 위치를 주변 작업자 및 이동체에 경고, 작업중단 조치
	산업 DATA	이동장비 위치	
	산업 AI 기술	이동체/작업자 충돌상황 예측	
산업단지 공장에서 유해물질 누출 및 화재사고	지능형 영상분석 기반 공장 내부의 화재 및 유해물질 누출 감지		공장 내 작업자에게 작업중단 및 대피 경고, 누출사고 현장
	산업 DATA	유해물질 발생 전/후 상황	
	산업 AI 기술	유해물질 누출 반응 감지 지능형 영상분석 기반 화재 감지	
산업단지내 유해물질 누출사고	유해물질누출 확산 예측		인근 작업자 및 주민에게 경고, 대피경로 안내
	산업 DATA	옥외 유해가스 센서 위치 및 환경	
	산업 AI 기술	유해가스 누출 확산 예측	



| 그림 7. 제조안전선도모델 사례 - 조선업 |

## 4 결론 및 시사점

- ☑ 중대재해는 개인의 생명과 가족의 행복을 파괴하는 것 뿐만 아니라 다양한 사회적 갈등과 국가적 손실을 초래하기 때문에 산업현장에서 생명과 안전을 지키는 것을 핵심 국정과제로 선정할 만큼 중요한 이슈로, 그 동안 경제·기술 발전, 정책적 노력, 안전의식 향상 등을 통해 지난 20년간 사고사망만인율이 1/3수준으로 감소하였음에도 불구하고 우리나라 중대재해 규모는 여전히 경제적 수준을 훨씬 상회하고 있다
- ☑ 글로벌 산업안전 시장 확대와 한국 제조산업 경쟁력 제고를 위해 안전 최우선 경영과 안전 혁신기술에 대한 투자가 중대하게 요청되는 시점이나 국내의 경우 일부 대기업을 제외하고, 안전교육과 같은 전통적인 예방 조치에 머물러 있는 실정이다
- ☑ 제조안전기술은 4차 산업혁명 기술을 활용하여 사업장에서 산업재해를 유발할 수 있는 모든 위험을 예측/예방, 대비, 대응, 복구 단계에서 해결하기 위한 것으로 제조안전 산업데이터 구축과 산업AI 내재화 기술 개발이 그 중심에 있다
- ☑ 또한 중대재해처벌법과 ESG 경영확산 등 산업안전경영 대응 강화에 따라 기업의 경영부담을 해소하고 제조업 분야 산업재해자를 감소할 수 있는 산업현장 위험요인 예방중심의 제조안전모델 개발 및 보급 확산이 무엇보다도 필요한 실정이다

## 출처 및 참고 자료

1. 산업 AI 내재화 전략(2023.1, 부처합동)
2. 디지털 기반 국민안전 강화방안(2022.8, 부처합동)
3. 중대재해 감축 로드맵(2022.11, 부처합동)
4. K-ESG 가이드라인 v1.0(2021.12, 부처합동)
5. 디지털 기반 국민안전 강화방안(2022.8, 부처합동)
6. 위험성평가 지침해설서(2021, 고용노동부)
7. 제4차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(안)(2023~2027)(2022.9, 부처합동)
8. 기업의 재무자료를 활용한 사고사망 발생 기업의 특성 분석(2022, 안전보건공단)
9. 국내 산업별직종별 특성과 사망사고 발생 위험분석연구(1)(2021, 산업안전보건연구원)

KEIT Issue Review

# 뿌리산업의 디지털 전환(DX) 기술 동향

**저자** 이병현 뿌리PD / KEIT  
 김호섭 선임 / KITECH  
 김태규 수석 / KEIT

**요약**

- 본 고에서는 “뿌리산업의 디지털 전환(DX) 기술 동향”이라는 주제로, 현재 뿌리산업이 직면한 문제점을 분석하고, 이를 극복하기 위한 디지털 전환의 필요성 및 방향성을 제안하고자 한다.
- 뿌리산업은 제조업의 핵심을 이루는 기반 기술로, 소재부터 부품, 모듈, 최종 제품에 이르는 전 과정에서 품질과 생산성에 결정적인 영향을 미치는 중요한 산업이다.
- 그러나 현재 뿌리산업은 신산업 분야의 가파른 성장과 더불어 발생하는 시장 변동성에 대응하는 데 있어 중대한 어려움을 겪고 있으며, 이러한 측면에서 뿌리산업의 디지털 전환은 불가피한 트렌드로 인식되고 있다.
- 선진국들은 이미 다양한 디지털전환 정책지원과 함께 AI, 스마트공장, 로봇틱스 등의 첨단 기술을 적극적으로 활용하여 디지털 전환을 가속화하고 있다. 반면에, 국내 뿌리산업은 선진국에 비해 디지털 전환에서 상대적으로 뒤처져 있어 기술 격차를 메우는 것이 시급하며, 중국 등 후발국들의 기술 추격에 대한 대응 전략도 동시에 마련해야 하는 어려운 상황에 직면해 있다.
- 이를 해결하기 위해서는 국가차원의 적극적인 디지털전환 정책지원의 뒷받침되어야 하며, 뿌리기술 및 공정에 AI, IoT, 로봇틱스, 3D 프린팅, VR/AR, 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅 등의 디지털 기술을 적극적으로 통합하고, 더불어 각 분야별로 특화된 전략을 구축하는 등 기술개발에도 최선의 노력을 다해야 할 것이다.
- 이러한 전략적 접근을 통해 국내 뿌리산업의 디지털 전환을 성공적으로 이루어낸다면, 급격하게 변화하는 산업 분야에서 그 중요성을 유지하면서도 동시에 새로운 가능성을 창출할 수 있을 것이다.

## 1 뿌리산업의 개념 및 범위

- 뿌리산업이란, 나무의 뿌리와 같이 표면적으로는 직접적으로 보이지 않지만, 제조업의 근간을 뒷받침하는 핵심 기술을 말한다. 뿌리산업은 주조, 금형, 소성가공, 용접, 표면처리, 열처리 등의 공정 기술을 활용하여 사업을 영위하는 산업으로, 기존의 금속 소재 관련 기술인 6개 기반 공정 기술과 함께 소재 다원화(4개)와 지능화(4개)를 위한 차세대 공정 기술을 포함한다.
- 뿌리산업은 제조업 전반에 걸쳐 기반성과 연계성이 높아 소재에서 부품, 모듈, 그리고 최종 제품에 이르기까지의 전 과정에서 품질과 생산성을 좌우하는 핵심적인 역할을 하고 있다. 따라서, 뿌리산업의 강화와 발전은 전방 수요산업에도 상당한 파급효과를 불러일으키며, 최종적으로 제조업 전반에 긍정적인 영향을 미친다.
- 뿌리 기술은 전통적 주력 산업인 자동차, 기계, 조선, 항공뿐만 아니라 최근에는 신산업인 로봇, 바이오, 드론, 전기차, 수소차, 그린십, OLED, 반도체 등 다양한 첨단분야에서도 필수적으로 사용되고 있다.

구분	기존	추가
소재 다원화	1개 금속	5개 세라믹, 플라스틱, 탄소 소재, 탄소, 펄프
공정 기술 확장	6개 주조, 금형, 소성가공, 용접, 표면처리, 열처리	4개 사출 프레스, 정밀가공, 적층제조, 산업용 필름·지류
		4개 로봇, 센서, 산업지능형 SW, 엔지니어링 설계

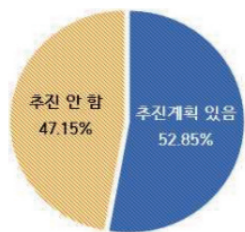
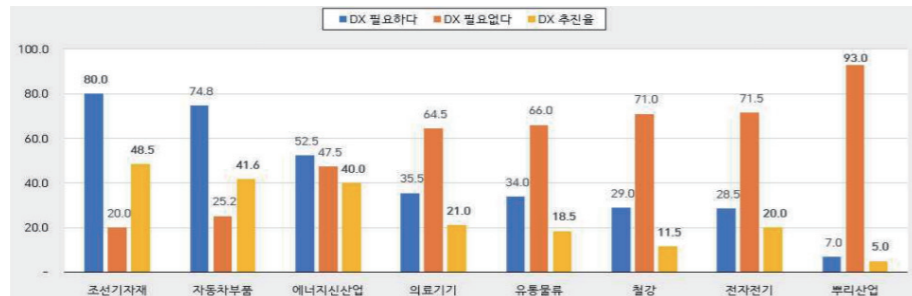
\* 소재 기술 융복합화, 다양화 등 산업 트렌드를 고려한 제조업 미래 성장 기술



| 그림 1. 뿌리산업의 개념 및 범위 |  
 (출처 : '22 뿌리산업 백서)

## 2 뿌리산업의 현황과 디지털 전환 필요성

- ☑ 현재 뿌리산업은 신산업 분야의 급속한 성장과 수요시장 변동성에 대응하는 데 큰 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 외부 기술(해외)에 대한 의존도가 점차 높아지고 있으며, 수작업, 암묵지 및 대량 생산에 의존하는 전통적인 뿌리산업의 한계를 나타내고 있다. 최근에는 다양한 소비자의 요구 증대와 맞춤형 생산능력의 부족으로 성장에 더욱 지체되고 있다.
- ☑ 뿌리산업의 디지털 전환은 주로 생산과정을 개선하고, 비용을 절감하며, 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 그러나 이런 디지털 전환은 많은 도전을 수반한다. 예를 들어 기술 투자의 비용, 직원의 디지털 기술 교육, 데이터 보안 및 개인 정보 보호 문제, 그리고 새로운 시스템과 프로세스를 통합하는 등의 어려움이 있다.
- ☑ 그럼에도 불구하고 디지털 전환은 뿌리산업이 미래의 변화에 대비하고 새로운 기회를 포착하는 데 필수적인 단계라고 볼 수 있다. 디지털 전환은 단순히 기술적인 문제만 해결하는 것이 아니라, 새로운 사업 모델과 생산 방식을 통한 전반적인 변화를 의미한다. 이는 뿌리산업의 경쟁력을 높이고 지속 가능한 성장을 끌어낼 수 있을 것이다.
- ☑ 뿌리산업에서 디지털 전환의 중요성은 매우 크지만, 현재로서는 필요성에 대한 인식이 다른 산업에 비해 상대적으로 낮은 편이다. '22년 디지털 전환 필요성 조사 자료에 따르면 제조업 전반에서 디지털 전환 기술 도입의 필요성 인식은 30~80%로 비교적 높게 나타나지만, 뿌리산업에서 이를 필요하다고 인지하는 기업은 단 7%에 불과하였다. 따라서, 뿌리산업이 현재 직면한 위기를 극복하기 위해서는 디지털 전환에 대한 인식을 개선하고 도입을 촉진하기 위한 적극적인 노력이 필요한 상황이다.



	조선기자재	자동차부품	에너지신산업	의료기기	유통물류	철강	전자전기	뿌리산업
진행 중	6.4	18.1	40.2	17.7	28.6	3.6	14.9	6.5
1년 내	29.3	25.4	29.4	11.5	0.0	5.4	3.5	2.6
3년 내	33.1	25.4	5.9	18.6	3.6	16.1	42.5	27.3
5년 내	17.8	9.0	3.9	6.2	8.9	24.1	9.2	55.8
미정	13.4	22.0	20.6	46.0	58.9	50.9	29.9	7.8

\* 추진계획이 있다고 응답한 기업에 한해 추진 시기 설문

| 그림 2. 주요 산업별 디지털 전환(DX) 필요성 인식 및 추진 수준(단위: %) |

(출처: 한국생산성본부, 해외 중소기업의 디지털 전환 추진 사례와 시사점(Kotra, Global Market Report 22-012))

## 3 뿌리산업의 국내·외 시장동향

### 1) 주조

- ☑ 글로벌 금속주조 시장은 2017년 기준으로 약 190억 달러에서 2025년까지 약 345억 달러로 성장할 것으로 전망된다. 주요 산업 분야 중 자동차산업이 47%, 산업기계가 31%, 항공우주 및 방위 분야가 16% 순위로 차지하고 있다. 또한, 최근 수송기기 분야에서 전기차 등 경량 비철금속의 사용 확대로 고압 주조공정(다이캐스팅)이 약 54%의 높은 점유율을 나타내고 있다. 2020년을 기준으로 전 세계 주물 생산량은 약 1억 551만 톤으로 추산되며, 이 중 한국은 전 세계에서 8위 규모로 약 2.3%의 시장을 점유하고 있다.
- ☑ 주조산업은 전통적으로 노동집약적이며 에너지 소비가 많은 산업으로 알려져 있다. 이러한 특성 때문에 노동력 부족과 에너지 효율성 문제를 심각하게 겪고 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위한 디지털화 기술 개발이 요구되고 있다.

### 2) 금형

- ☑ 글로벌 금형산업 생산액은 약 490억 달러로 추산되며, 중국, 일본, 미국, 독일, 한국 등 주요 금형 생산국 5개국이 전체 생산액의 49.9%를 차지하고 있다. 한국은 이 중에서 세계 4위의 금형 강국이지만, 현재의 금형산업은 인력 부족, 자금 부족, 금형 가격 하락 등 복합적인 문제에 직면하고 있다. 최근에는 중국, 동남아 등 해외 신흥국과의 경쟁 심화로 수요가 점차 감소하는 추세이다.
- ☑ 금형산업은 글로벌 경쟁력 유지를 위해 ICT와 결합한 생산 네트워크의 구축, 지능형 공장의 도입을 통한 생산성 향상을 위해 노력하고 있다.

### 3) 소성가공

- ☑ 전 세계 소성가공시장은 2021년 기준으로 약 1조 1,801억 달러에서 2027년 약 1조 5,193억 달러로 연평균 4.3% 이상 성장할 것으로 전망된다. 특히 자동차 및 항공 부품 제조 공정을 중심으로 경량화를 위해 고장력강, 알루미늄합금, 탄소섬유 복합재 등의 신소재 사용을 점차 확대하고 있으며, 이에 따라 경량 소재 및 복잡한 형상에 대응하기 위해 정밀 하이드로포밍과 같은 신공정 기술에 대한 수요가 증가하고 있다.
- ☑ 소성가공산업은 네트워킹, 모니터링, 가상 시뮬레이션, 실시간 생산정보관리(Connected Factory) 등 제조공정의 스마트화가 활발히 진행 중이며, 항공 등 분야에서 첨단 신소재 사용 확대 및 제조 스마트화(Brilliant Factory)로 전환 중이다.

#### 4) 용접

- 전 세계 용접시장은 2019년 기준으로 약 195억 3천만 달러에서 2027년 약 272억 2천만 달러까지 연평균 4.3% 이상 성장할 것으로 전망된다. 최근의 산업 트렌드에 따라 친환경적이고 에너지 효율적인 최신 용접 기술인 레이저 빔 용접 기술, 마찰 용접 기술 등과 관련된 프로세스 개발이 요구되고 있다.
- 용접산업의 트렌드는 디지털 비즈니스로 점차 진화하고 있으며, 이를 위해 고급센서, 머신러닝, 컴퓨터 비전, 로봇공학, 클라우드 컴퓨팅 및 5G 네트워크 인프라와 같은 디지털 기반 첨단 기술을 채택하여 제조업체의 공급망 탄력성과 효율성을 높이기 위해 노력하고 있다.

#### 5) 표면처리

- 전 세계 금속 표면처리 시장은 2020년 기준으로 952억 달러에서 2025년 1,178억 달러로 연평균 4.35% 이상 성장할 것으로 전망된다. 이러한 성장은 친환경 화학물질, 첨단 산업, 자동차 생산 증가 등에 의해 주도되고 있다. 현재까지 자동차 부문이 수요산업의 가장 큰 부분을 차지하였지만, 앞으로는 전자 부문이 가장 높은 성장률을 보일 것으로 예상된다.
- 국내 표면처리 시장은 고부가가치 산업을 중심으로 빠르게 성장할 것으로 전망되며, 최근에는 인공지능 기술 수요의 증가와 COVID-19 이후의 산업구조 변화로 인해 반도체용 고정밀·고부가가치 표면처리 시장의 성장이 주목받고 있다.
- 고부가가치화 및 미래 지향적인 신기술 융합추세(초소형화, 복합 기능화, 친환경 에너지 절감, 고생산성 등)에 대응하기 위해 IT 기술이 융합된 디지털 표면처리 기술 개발이 추진되고 있다.

#### 6) 열처리

- 전 세계 금속 열처리 시장은 2020년 기준으로 78억 달러에서 2025년에는 89억 5천만 달러로 연평균 2.74% 성장할 것으로 전망되며, 아시아태평양지역(APAC)이 주요 성장 엔진이 될 것으로 예측된다. 국내 열처리 산업은 고효율 장비와 원천기술 부족으로 선진국에 비해 에너지 효율이 낮은(60% 수준) 상황으로, 열처리 효율 향상과 청정화를 위한 기술 개발 노력이 필요하다.
- 최근 환경규제 강화와 탄소 중립에 대응하기 위해 디지털 기반의 고효율 친환경 열처리 장비 및 공정 개발이 시급한 과제이다.

## 4 주요국의 디지털 전환 정책 동향

- 전 세계 주요 국가들은 뿌리산업을 포함한 제조업의 디지털화를 위한 다양한 전략과 정책을 마련하며, 이를 적극적으로 지원하고 있다. 이하에서는 독일, 일본, 미국, 유럽, 한국 등 주요 국가들의 디지털 전환 관련 주요 정책 동향을 간략히 정리하였다.

| 표 1. 주요국의 디지털 전환 주요 정책 동향 |

국가명	주요 정책 동향
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>제조업 디지털 전환 글로벌 선도 및 포스트코로나 스마트제조 대비를 위한 인더스트리 4.0 기반 제조업 디지털 전환 추진 중 (주요정책) '디지털 전략 2018', '국가산업전략 2030', '가이아X' 등</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>저출산과 고령화로 인한 노동인구 감소 극복을 위한 스마트 제조 도입, 인력대체를 위한 산업용 로봇 적극 도입 운용 중 (주요정책) 'Society 5.0', 'Connected Industry' 등</li> </ul>
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>저탄소 경제 전환을 위한 산업-기후 분야 통합 및 디지털화. 넷제로(Net-Zero) 달성을 위한 제조업 산업구조 개편 추진 (주요정책) '인프라 투자 및 고용 법안', '민관협력단체 설립', '디지털 전환 멘토 프로그램', 'Digital Tool Library' 등</li> </ul>
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>제조업 분야의 데이터 공유 강조, 디지털트윈 모델 기반의 엣지/클라우드 플랫폼을 통한 데이터 공유 확대를 통한 효율 관리 및 탄소 배출 투명성 확보노력 (주요정책) '디지털 유럽' 등</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트공장 확대 기반 제조업 디지털 전환 가속화, 중소 제조기업을 대상으로 한 코로나19 회복 방안 제공 및 디지털 혁신 추진 (주요정책) '중국제조2025', '인터넷+', '스마트제조 발전 13차 5개년 계획' 등</li> </ul>
한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업데이터 생태계 구축과 종합 지원 체계 구축을 통한 제조업 디지털 전환 (주요정책) '산업디지털전환촉진법'</li> </ul>

## 5 뿌리산업 디지털 전환 기술 동향

- 독일은 2011년부터 인더스트리 4.0을 기반으로 제조업의 디지털 전환을 추진하고 있으며, 코로나19 이후에는 글로벌 선구자 역할을 목표로 디지털 전환을 가속화하고 있다. 주요 정책으로는 '디지털 전략 2018', '국가산업전략 2030', '가이아X' 등이 있으며, 이를 통해 포스트 코로나 시대의 스마트 제조를 대비하고 있다. 독일은 직접적인 기업 지원보다는 플랫폼 구축과 참여 유도에 중점을 두고 있으며, 인간 중심, 지속 가능성, 탄력성을 강조하는 인더스트리 5.0 개념을 새롭게 제안하며 제조업 발전 방향을 모색하고 있다.
- 일본은 자국 내 제조업의 주요 문제로 지적받고 있는 저출산과 고령화로 인한 노동인구 감소를 극복하기 위해 스마트 제조를 적극적으로 도입하고 있으며, 세계에서 두 번째로 많은 산업용 로봇을 설치하여 운영하고 있다. 일본 내 코로나19 및 2050년 탄소중립 실현을 위한 노력으로 디지털 전환의 중요성이 더욱 두드러지고 있으며, 이를 위해 'Society 5.0'과 'Connected Industry'와 같은 정책지원 통해 기업의 디지털 전환을 촉진하고 있다.
- 미국은 저탄소 경제로의 전환을 위해 산업-기후 분야의 통합 및 디지털 전환 필요성을 강조하고 있다. 2050년까지 넷제로(Net-Zero) 달성을 위해 미국 제조업의 산업구조 개편을 통한 클린 제조로의 전환이 필요한 상황이며, 이를 위해 4대 전략산업(수소생산, 냉난방 제습장비, 화학제품 제조 리사이클링, 바이오기반 단백질 대체제)의 육성 및 디지털 전환방안을 제시하고 있다. 미국은 4대 전략산업의 성장과 일자리 창출을 위해 '인프라 투자 및 고용 법안(Infrastructure Investment and Jobs Act)', 민관 협력단체 Small Business Digital Alliance(SBDA)를 설립, 선도 기업 디지털 전환 멘토 프로그램, 'Digital Tool Library' 운영 등의 정책지원을 통해 제조업 경쟁력을 강화하고 글로벌 기후변화 리더십을 확보하기 위해 노력 중이다.
- EU는 '디지털 유럽'이라는 디지털 산업 단체를 통해 제조업 분야의 데이터 공유를 강조하며, 이를 통한 지속 가능성 제고를 추구하고 있다. 현재 제조업 데이터의 대부분이 활용되지 않는 상황으로, 이를 해결하기 위해 디지털트윈 모델 기반의 엣지/클라우드 플랫폼을 통한 데이터 공유 확대 방안을 제안하고 있다. 또한, 기계 산업, 백색가전, 자동화 솔루션 등 다양한 분야에서 데이터 공유를 통한 효율적인 관리 및 탄소 배출 투명성 확보 방안을 제시하고 있다.
- 중국은 제조업의 디지털전환 속도가 가장 빠른 국가 중 하나로, 전 세계에서 가장 많은 스마트공장을 구축한 국가('17~'19)이며, 앞으로도 가장 많은 제조 공장의 스마트화가 이루어질 예정이다. 특히 코로나19에 크게 타격받은 중소 제조기업을 대상으로 디지털 혁신을 통한 회복 방안을 제공하고 있다. 이러한 노력은 중국의 스마트 제조업이 팬데믹에도 불구하고 빠르게 회복하고 성장하는 원동력이 되었다. 중국은 '중국제조2025', '인터넷+', '스마트제조 발전 13차 5개년 계획' 등의 정책지원을 통해 제조업의 혁신, 산업의 디지털화 및 제조업의 스마트화를 촉진하고 있다.
- 한국은 '산업디지털전환촉진법'을 통해 디지털 전환 정책이 추진되고 있으며, 주요 내용은 산업데이터 생태계 구축과 종합 지원 체계 구축 등으로 구성되어 있다. 국내 디지털 전환 수준은 주요 선진국에 비해 상대적으로 낮아서 보다 강력한 정책 추진 동력이 필요하다. 중소기업의 디지털 성숙도가 낮고, 디지털 전환 추진 기업의 비율도 낮으므로, 정부 정책, 기업의 인식 변화, 기술 역량 격차 해소가 필요하며, 컨설팅 지원, 인력 양성 등이 요구된다.

- 전 세계 뿌리산업의 디지털 전환 기술은 각 분야별로 차이는 있지만, 핵심적으로는 '데이터 기반 공정 최적화'와 '자동화'에 집중하고 있다는 공통점을 가지고 있다. 주요 산업의 경우, 독일, 일본, 미국, 한국 모두 공정 최적화와 생산 자동화에 대한 필요성을 인식하고 이를 실현하기 위한 다양한 방안을 도입하고 있다. 특히, 인력난이라는 산업적 과제를 디지털화를 통해 해결하려는 움직임이 두드러지고 있다. 금형과 소성가공, 용접 분야에서는 데이터 분석을 기반으로 한 스마트 기술과, 자동화 로봇 도입, IT 기반 품질 제어 기술에 주력하며 한국에서는 이와 더불어 ICT 융합에 대한 중점 투자도 진행 중이다. 한편, 표면처리와 열처리 분야에서는 ICT, 청정에너지, 디지털 플랫폼 등을 활용해 고도화된 기술 개발에 힘쓰고 있으며, 친환경 고효율 공정 개발에 대한 관심도 높아지고 있다.

| 표 2. 분야별 디지털전환 주요 기술 동향 |

분야	주요 기술 동향
주조	(독일) 주조공정 스마트화 및 유연 생산 구축으로 데이터 중심 공정 효율화 (일본) 로봇 도입 및 공정 빅데이터 기반 효율 생산관리 (미국) 실시간 데이터 기반 공정 최적화 및 생산성 향상 (한국) 디지털화를 통한 인력난 개선 및 공정 자동화
금형	(독일) 공정데이터 수집-분석-평가 프로그램 기반 중소기업 디지털 솔루션 지원 (일본) 데이터 활용 스마트금형 개발, 금형 설계 가공 자동화 (미국) 국가 차원의 지능형 금형 제조시스템 개발 지원 (한국) 금형 공정데이터 디지털화 기반 지능형 공장 운영추진, ICT 융합 일체화 기반 지능형 금형 기술 개발
소성가공	(독일) 전통 제조산업 혁신을 위한 제조 공정 스마트화 추진 (일본) 숙련자 의존 → 데이터 중심 시스템으로 전환 (중국) 5G 기반 스마트 제조설비 구축 및 지능형 공장 프로젝트 운영 (한국) 제조데이터 수집 및 공정 최적화 기술 기반 공정 스마트화
용접	(미국) IT 기반 용접 품질 제어 기술, 자동 용접 및 용접 상태 진단 시스템 개발 (중국) 용접로봇 개발을 통한 수작업 중심 → 자동화 용접 공정 전환 (한국) 무인 용접 기술 연구개발
표면처리	(일본) 표면처리 기술과 ICT를 결합한 의료용 센서 로봇 적용 기술 개발 (미국) 첨단제조업 파트너십(AMP)을 통한 표면처리 및 코팅 장비 개발 투자 (한국) 첨단 산업 분야 디지털 기반 대형부품 고균일 도금 소재/공정/장비 기술
열처리	(독일) Industry 4.0을 결합한 지능화 열처리 설비 개발 (미국) 청정에너지 스마트 제조 기술 기반 에너지 효율화 및 친환경 공정 개발 (한국) 디지털 플랫폼 기반 친환경 고효율 열처리 공정 기술 개발

주조

- 독일은 주조공정의 스마트화 및 유연 생산 구축을 통해 데이터 중심의 공정 효율화를 실현하고 있으며, 주조산업 전반의 첨단화를 주도하고 있다. Ortrander Eisenhütte 社の 경우 주조 공정 실시간 데이터를 활용해 에너지절감 및 불량률 저감을 달성하였다. 일본의 Kubota 社에서는 주조공정 중 위험한 용해, 주입 공정 등 작업에 로봇을 도입하고, 공정상 발생하는 데이터의 취득 및 분석을 통해 효율적인 생산관리를 수행하고 있다. 미국의 Dotson Iron Foundry 社에서는 실시간 데이터 모니터링 체계를 도입해 주조공정을 최적화하고 공정 유지보수에 활용하여 생산성 향상, 사이클 시간 단축, 유지보수 일정 관리 개선 등 디지털 전환의 가능성을 보여주고 있다.
- 한국의 주조 기술 수준은 여전히 선진국에 미치지 못하지만, ICT, 적층 제조, 로봇, 인공지능 등 최선의 첨단 기술과의 융합 및 디지털화를 통해 주조산업의 문제(인력난, 저부가가치, 열악한 제조 환경 등)를 극복하기 위해 노력 중이다. 국내 최초로 사형주조용 대형 샌드 3D프린터를 개발한 삼영기계 社는 이를 이용해 3D프린팅 하이브리드 몰드 주조공정 기술을 성공적으로 개발하여, 다양한 프로토타입 주조품의 생산 및 서비스에 활용하고 있다. 한국주강 社는 적층 제조업체인 에스에프에스와 社와 협동 연구를 통해 3D 프린팅을 이용한 주형을 활용하여 선박용 초대형 벨마우스 국산화에 성공하였다. 자동차 부품 제조업체인 동남정밀 社는 시뮬레이션 기술을 활용하여 일체형 서브 프레임 부품 개발을 위한 고진공 다이캐스팅 기술을 개발하고 있다. 동양피스톤 社는 전 공정의 자동화와 데이터 기반의 관리로 생산성과 품질 향상, 불량률 저감 등의 우수한 성과를 내며 디지털 전환을 통한 국내 주조산업의 경쟁력 확보 가능성을 제시하고 있다.



주조 용해공정 로봇 적용 예시

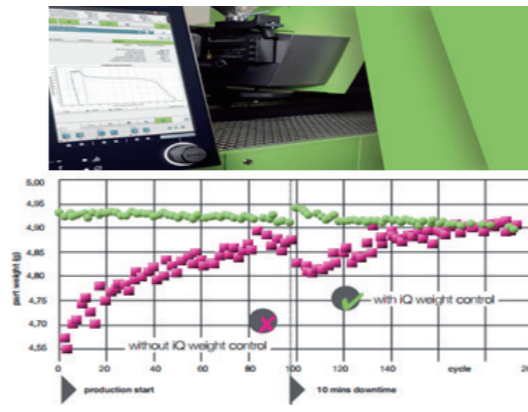


국내 동양피스톤 스마트공장 적용 사례

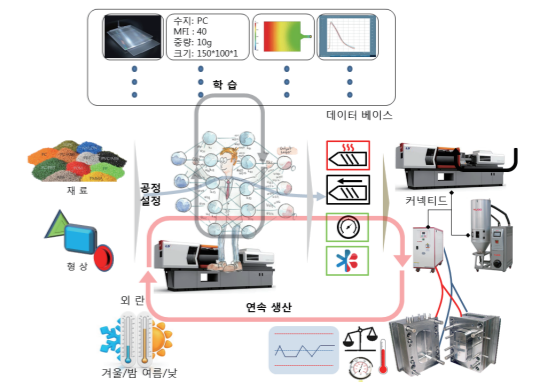
| 그림 3. 주조분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

금형

- 독일은 금형 분야 중소기업의 디지털 솔루션 지원을 위해 공정데이터의 수집·분석·평가 프로그램을 운영하고 있다. Arbug 社, KraussMaffaei 社 등은 금형의 모듈화, 자율화 생산자원 관리, ICT 융합을 통해 Industry 4.0 기반 tool shop 4.0 프로그램을 추진 중이며, Engel 社는 인공지능·IoT와 금형 설계기술을 결합한 디지털 솔루션을 개발하여 생산성을 향상하고 소재 및 에너지 효율화를 달성하였다. 일본의 Sumitomo Demag 社 등은 금형 설계·가공의 자동화와 리드타임 감소를 목표로 스마트금형 개발 프로그램을 진행하고 있다. 미국은 저 탄소화를 목표로 국가 차원의 첨단제조업 리더십 확보를 통해 지능형 금형 제조시스템 개발을 지원하며, 초정밀 금형 기술 및 Tooling 4.0 기술 개발에 집중하고 있다.
- 한국은 금형 공정데이터의 디지털화를 통해 지능형 공장을 운영추진 중이며, 다양한 센서들과의 융합을 통해 공정 일체화 기반 지능형 금형 기술을 개발하고 있다. 하나의 예로, 국내 금형 기업인 나라엠앤디 社는 사출 장비 기업인 엘에스엠트론 社와 협업 연구를 통해 지능형 금형이 적용된 사출장치 및 공정 기술을 개발하였다.



ENGEL 社의 지능화금형 디지털솔루션



국내 지능형 사출금형장비 개발 사례

| 그림 4. 금형분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

소성가공

- 독일은 전통 소성가공 제조 산업 혁신을 위해 제조 공정 플랫폼 개발을 통한 스마트화를 추진하고 있다. Benteler社は 스마트 성형공정 생산 데이터 플랫폼 및 품질 예측관리 기술을 개발하였으며, 인공지능 기반 공정 에너지절감 시스템을 개발하여 기계장비 효율을 5% 이상 향상시켰다. Figur社, Wafios社, Beauvry社 등은 디지털 플랫폼이 탑재된 정밀 성형 장비를 개발하여 전 세계에 공급하며 소성가공 분야의 디지털 전환에 기여하고 있다. 일본은 데이터 기반 소성가공 생산 시스템을 구축하여 숙련자 의존형 구조에서 데이터 중심 시스템으로 전환하고 있다. Amino社, H-one社 등은 데이터 기반 정밀 성형 장비를 바탕으로 자동화 기반 첨단 제조설비를 구축하여 신시장을 선점하고 있다. 중국은 5G 기술을 이용한 스마트 제조설비 구축과 기술 개발을 가속화하고 있으며, 5G 지능형 공장 프로젝트를 통해 생산효율을 향상하는 데 집중하고 있다.
- 한국은 장비와 공정의 스마트화 뿐 아니라 유연한 성형 공정을 위한 디지털화 기술 개발을 적극 추진하고 있다. 이에 따라, 아산社는 맞춤형 유연 생산을 지원하기 위해 무금형 마이크로성형 기술의 개발에 힘쓰고 있다. 이 기술을 통해 파이프 벤딩 성형 기술 개발과 고강성의 일체형 폐단면 차체 부품 개발하였으며, 이러한 성과로 현대기아차 차량에 사용되는 1.5G급 Roof Side Outer 일체형 부품의 대량생산이 확정되어 실행 단계에 들어갔다.



Bentler社의 스마트 성형공정 플랫폼



국내 아산社의 무금형마이크로 성형 사례

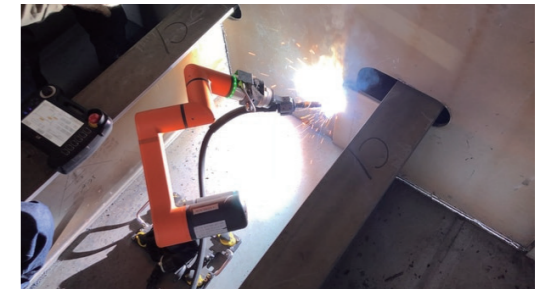
| 그림 5. 소성가공분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

용접

- 미국은 IT 기술 기반의 용접 품질 제어 기술을 개발하여 적용하고 있으며, 자동 용접 로봇 시스템과 용접 상태 진단 시스템 개발하고 있다. ESAB社は 디지털화를 통해 수동 아크용접에서 고상 접합(마찰교반용접) 기반 자동화 용접으로 전환하여, 생산성을 확보하고 유해 물질을 최소화하였다. 유럽은 크라네톡(덴마크), PEMA(네덜란드), IGM(오스트리아), Inrotech(덴마크) 등이 용접 자동화를 위한 장비 SI 서비스를 개발 중이며, 특히 IGM社(레이저 비전센서), PEMA社(3차원 비전카메라)는 완전 무인 용접시스템을 개발하여 사업화하고 있다. 중국은 수작업 중심의 용접 공정에서 자동화된 용접 공정으로 전환하면서, 용접전원 및 용접로봇 개발을 확대 적용하고 있으며, 자동 용접을 위한 로봇, 제어기, 센서 등 핵심 기술 연구를 계속 진행하고 있다.
- 한국에는 무인 용접시스템을 필요로 하는 세계 최고 수준의 대기업(조선 분야, 자동차 분야 등)이 다수 있지만, 기술 개발과 공급은 기술력이 부족한 영세기업이 주로 맡고 있다. 무인 용접 기술은 다양한 고도의 기술들의 복합체로, 국내기업 단독 개발은 어려움이 있으므로 수요기업과의 상생 협동 연구를 진행할 필요가 있다. JCT社は 현대삼호중공업社와 협력하여 선박 소형부품용 무인 용접시스템을 개발하고, 선박의 밀폐 블록 용접에서 이를 활용하기 위해 양산 및 보급을 확대하고 있다. 오토스윙社は 용접용 카메라 모듈과 용접면을 개발하였으며, 이를 삼성중공업社 등의 조선산업 용접 생산설비에 적용하고 있다.



ESAB社의 고상접합 자동화 용접장치

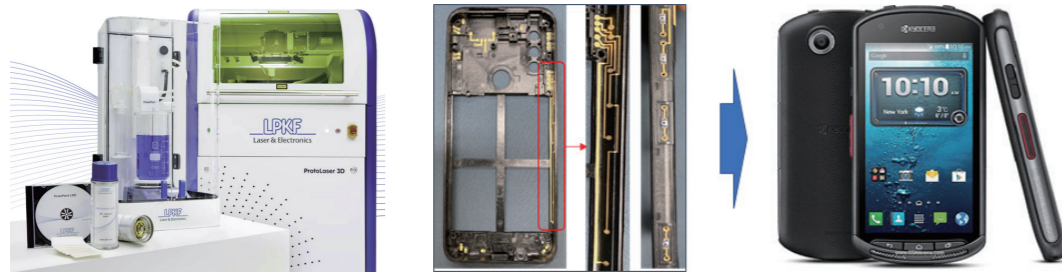


국내 JCT社 무인용접기 개발 사례

| 그림 6. 용접분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

표면처리

- 독일과 유럽은 가혹해지는 환경규제 대응을 위해 친환경 표면처리 전용 소재, 공정, 장비가 연계된 디지털 플랫폼 개발로 전환하고 있다. 독일의 LPKF社は 복잡하고 친환경적이지 않으며 입체형상화가 어려운 기존 PCB 공정의 문제를 극복한 혁신적인 레이저 직접 구조화(LDS) 친환경 표면처리 장비와 소재의 원천기술을 바탕으로 한 디지털 플랫폼 기술을 개발하여 전 세계 LDS 소재 및 장비 시장을 독점하고 있다. 유럽의 Oerlikon(리히텐슈타인)社は 6가 크롬의 환경규제 문제로 VOC가 배출되지 않는 무용매 코팅과 PVD를 복합화한 디지털 기반 친환경 표면처리 전용 장비와 공정서비스를 상용화하여 시장을 주도하고 있다. 일본은 표면처리 기술을 ICT와 결합하여 의료용 센서나 로봇에 적용할 수 있는 기술을 개발하고 있으며, 일본 미래산업 기술연구소와 프런티어 재료연구소는 IoT와 의료용 장치에 적용할 전기 도금법 중심의 미소 재료 제작 기술을 개발하고 있다. 미국의 다투케미컬社は 표면처리 공정에 지능화 기술을 도입하여 수요예측이 가능한 디지털 플랫폼을 구축하였으며, 석유 원료를 대체할 수 있는 식물원료 기반의 친환경 도료인 바이오 페인트를 개발하였다.
- 한국은 자동차, 반도체, 디스플레이 등 첨단 산업 분야에서의 표면처리 수요가 높지만, 친환경 표면처리와 디지털 기반 전용 장비 및 서비스는 아직 충분하지 않다. 셀코스社は 친환경 표면처리(습·건식 하이브리드) 제품 적용을 위해 공동 개발 및 평가를 진행 중이며, 이는 향후 현대자동차의 차량용 그릴과 내·외장재 부품에 적용될 예정이다. 비에스테크닉스社は 교세라社와 친환경 LDS 표면처리 기술을 개발하여 제품 생산에 적용하고 있다.



LPKF社의 친환경 표면처리 DX 플랫폼

국내 친환경 표면처리 기술 적용 사례

| 그림 7. 표면처리분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

열처리

- 독일과 유럽은 고효율 열처리 장비와 지능형 서비스를 결합한 디지털 플랫폼 개발에 집중하고 있다. Ipsen社は IoT를 통합한 전용 플랫폼(pdMetrics)을 구축하여 품질 향상, 운영 효율성 증가, 에너지 소비 감소를 도모하고 있다. 유럽의 Seco-warwick(폴란드)社は 고효율 에너지 및 공정 관리가 가능한 원격 자동화 서비스 플랫폼과 맞춤형 열처리 장비를 개발하여 세계 열처리 시장을 선도하고 있다. 미국은 청정에너지 스마트 제조 기술에 초점을 맞추어 에너지 사용량을 줄이고 친환경 공정 개발에 힘쓰고 있다.
- 한국은 일반 열처리 기술에서는 선진국 수준을 보이지만, 첨단 기술 분야에서는 아직 개선이 필요하다. 에너지 절약과 환경보호를 중요시하여 디지털 플랫폼 기반 에너지 저소비형 친환경 고효율 열처리 공정 기술의 발전에 힘쓰고 있다. 또한, 진공 열처리 기술을 통한 효율 향상과 품질 고도화에 주목하고 있으며, IT와의 융합을 통한 지능형 냉각 기술이 적용된 열처리 공정혁신이 기대되고 있다. 미래써모텍社は 무인 원격제어 및 자동 설비점검 등의 장비-DX 플랫폼 연계 기술을 개발하여, 기존에 수입에 의존하던 일본의 다이도 DMS社와 DOWA써모텍社에게 장비와 기술을 역수출하고 있다.



Ipsen社의 IoT 통합 열처리 플랫폼

열표면처리 혁신 선도 '미래써모텍', 열표면처리 원조 日 기업에 기술·장비 역수출한 대구 강소기업

영남매일신문 | 2022-10-08 | 발행일 2022-10-08 14:12 | URL 2022-10-08 07:07



이번에 수출하는 장비는 IT융복합 전자동제어가 가능하도록 최적화된 제품이다. 스마트폰 앱을 활용해 무인화 원격작업이 가능하고 설비이상 자동점검시스템, 원터치 전자동 가동시스템 등의 기능이 있다. 미래써모텍(대표 배진범)은 일본 다이도 DMS와 100만달러 규모 열표면처리기술 및 장비공급 계약을 체결하고, 해외시장 동반진출 협약을 맺었다고 14일 밝혔다. 배진범 사장은 "이번 협약으로 다이도 DMS의 자본과 글로벌 네트워크를 활용해 해외 열표면처리시장 진출의 발판을 마련했다. 일본과 동남아, 유럽시장에 수출 글로벌 열표면처리 회사로 성장하는 것이 목표"라고 말했다.

국내 열처리 DX플랫폼 개발 역수출 사례

| 그림 8. 주요분야 국내외 디지털전환 기술 개발 및 적용 사례 |

## 6 뿌리산업 디지털 전환 기술 전망

뿌리산업을 포함한 제조업에서는 디지털전환을 위해 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 로봇틱스, 3D 프린팅, 가상현실(VR)/증강현실(AR), 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅 등의 다양한 디지털 기술을 적용하는 전략을 공통적으로 추진하고 있다. 이러한 변화는 이미 생산성 향상, 효율성 개선, 품질 향상 등을 통해 제조업의 경쟁력을 한 단계 끌어올리는 결과를 가져오고 있다. 디지털 기술의 적용은 생산 공정의 개선뿐만 아니라 제품과 서비스의 혁신, 신규 사업 모델 개발 등 다양한 방면에서 기회를 제공하고 있으며, 이는 뿌리산업의 지속 성장을 견인하는 중요한 미래 전략이 될 것이다.

향후 기술 전망 측면에서 뿌리산업에 이러한 디지털 전환은 더욱 가속화될 것으로 예상된다. AI, IoT, 로봇틱스 등의 기술은 지속해서 발전하고 고도화되며, 이에 따라 제조업에서의 활용 가능성도 계속 확대될 것이다. 특히 AI와 머신러닝은 더욱 정교해지고, 자동화와 최적화에 대한 요구는 더욱 증가할 것으로 보인다. 또한, 3D 프린팅 기술과 VR/AR 기술은 제품 설계와 시뮬레이션, 맞춤형 제작, 훈련 등의 분야에서 더욱 활용되어 제조 공정의 디지털화를 촉진할 것으로 예상된다.

표 3. 디지털 전환 공통기술 전망

공통 DX 기술	활용방안	미래 전망
인공지능 및 머신러닝	생산 공정의 최적화, 품질 관리, 설비 유지보수 등	더욱 고도화되어 생산 공정의 모든 단계에서 예측, 자동화, 최적화를 담당하며 제품 디자인, 수요예측, 공급망 관리 등에도 확장적으로 활용될 것으로 예상
사물인터넷(IoT) 기반 스마트 팩토리	공장 내 설비와 기계들 간의 실시간 데이터 교환, 완전 자동화된 생산과정의 구현	공장 내의 개별 설비나 기계에서 시작해, 공장 전체, 그리고 전체 공급망으로 확장되며, 완전 자동화 기반 산업 4.0의 핵심 요소가 될 것으로 예상
로봇틱스 및 자동화 기술	주조, 용접, 성형 등의 공정에서의 인력대체 및 무인화에 활용	로봇과 자동화 기술은 고도의 정밀 작업을 수행하거나 위험한 작업을 인간 대신 수행하는 등, 인간의 역할을 상당부분 보완하거나, 완전히 대체하여 제조업의 근본적인 변화를 가져올 것으로 예상
3D 프린팅 및 가상현실(VR)/증강현실(AR) 기술	주형 및 금형 제작, 프로토타이핑, 유연생산 등 제품 설계 및 개발 과정의 디지털화 구현	개별화된 제품의 수요 증가에 대응하는 데 중요한 역할을 하게 될 것이며, 모든 뿌리산업 분야와 융합하여 유연 설계 및 제작 등 디지털화 촉진 예상

또한, 뿌리산업의 디지털 전환 기술은 공통적인 부분을 제외하고 분야별로 차별화된 맞춤형 전략이 필요하다. 주조는 에너지 효율화 설비·공정 및 노동력 부족 대응 자동화 기술, 금형은 스마트금형 인프라 구축 및 설계 지능화 기술, 소성가공은 디지털트윈 기술 및 협동 로봇(코봇) 기술, 용접은 VR 기반 프로토타입 설계·제작 및 완전 무인화 용접 장비 개발, 표면처리는 친환경 도금 소재·공정 디지털 설계기술 및 대면적 고균일 표면처리 지능화 기술, 열처리는 저에너지 고효율 스마트 열처리 장비·공정 기술 및 실시간 고효율 열처리·예지보전 기술이 중심이 될 것으로 전망된다.

표 4. 분야별 향후 디지털 전환 기술 전망

분야	향후 기술 전망
주조	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 비용 상승 대응 ICT 융합 기반 고효율 절전 설비/공정 개발</li> <li>생산성 및 품질 향상을 위한 디지털화 및 자동화 기반 주조공정 개선</li> <li>실시간 데이터를 활용 공정 제어 최적화 및 품질 예측 시스템 개발</li> <li>디지털트윈, 메타버스 활용 가상 공장 모델 구축 및 공정 최적화</li> </ul>
금형	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트금형 제조데이터 활용 인프라 및 시스템 구축</li> <li>설계데이터 규격화를 통한 설계 지능화 시스템 구축 및 맞춤형 솔루션 제공</li> <li>디지털 설계 및 적층 제조 기반 고품상 금형 기술 확보 및 기간/비용 단축</li> </ul>
소성가공	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트 성형 장비 도입 및 공정데이터 기반 지능형 센서 융합 가공 및 성형</li> <li>디지털트윈 기반 시뮬레이션, 품질 및 오차 예측 연구</li> <li>인력난 및 노동력 부족 대응 협동 로봇(코봇) 도입 활용</li> </ul>
용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>VR 기반 프로토타입 모델링 및 제작 프로세스 간소화, 안전 교육</li> <li>ICT, 센서와 융합된 용접 장비(용접 마스크, 장갑 등) 기반 공정데이터 확보</li> <li>인공지능 기술 및 용접로봇을 활용한 완전 무인화 용접장비 개발</li> </ul>
표면처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>표면처리 공정 속도 가속화를 위한 지능형 공장 기술 도입 및 적용</li> <li>친환경 도금 소재 개발을 위한 디지털기반 맞춤형 디자인 및 시뮬레이션 기술</li> <li>대면적 고균일 도금을 위한 지능형 표면처리 고도화 기술</li> </ul>
열처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>저에너지 고효율을 위한 열처리 가스/에너지 스마트 모니터링 시스템 개발</li> <li>무선통신 기반 열처리 원격 모니터링 기술 개발</li> <li>실시간 데이터 활용 열처리 생산 공정 최적화 및 예지보전 기술</li> </ul>

## 7 결론 및 시사점

- ☑ 본 고에서는 뿌리산업의 디지털 전환 필요성, 주요 동향(시장, 정책, 기술), 그리고 공통 및 분야별 전망을 분석하였다. 뿌리산업은 전체 제조업의 기반이 되는 중추적인 산업이나, 현재는 신산업 분야의 빠른 발전과 시장의 변동성에 적응하는데 다소 어려움을 겪고 있다. 이러한 도전을 극복하고 더 나아가 산업의 경쟁력을 강화하기 위해, 뿌리산업의 디지털 전환은 불가피한 과정으로 보인다.
- ☑ 디지털 전환을 통해 뿌리산업은 효율성을 극대화하며, 가치 창출을 강화하고, 작업 환경의 안전성을 향상시킬 수 있다. 이미 선진국들은 다양한 디지털 전환 정책을 지원하고 있으며, 첨단 기술을 활용하여 생산효율을 높이고, 시장을 다양화하는 등 디지털 전환을 적극적으로 추진하고 있다. 한편, 국내 뿌리산업은 선진국에 비해 정책지원, 시장, 기술, 경쟁력 등에서 상대적으로 뒤처져 있으며, 중국 등 후발국의 추격에 대응해야 하는 압박을 받고 있다.
- ☑ 뿌리산업의 디지털 전환은 공통 전략으로써 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 로봇틱스, 3D 프린팅, 가상현실(VR)/증강현실(AR), 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅 등의 디지털 기술을 적극적으로 적용하여 추진되어야 한다. 또한, 분야별로(주조, 금형, 소성가공, 용접, 표면처리, 열처리)는 다음과 같은 특화된 전략도 필요하다.
- ☑ 주조 분야에서는 에너지 효율화 설비와 공정, 그리고 노동력 부족 대응 자동화 기술, 금형 분야에서는 스마트금형 인프라 구축과 설계 지능화 기술, 소성가공 분야에서는 디지털트윈 기술과 협동 로봇(코봇) 기술, 용접 분야에서는 VR 기반 프로토타입 설계와 제작, 그리고 완전 무인화 용접 장비 개발, 표면처리 분야에서는 친환경 도금 소재와 공정 디지털 설계기술, 그리고 대면적 고균일 표면처리 지능화 기술, 열처리 분야에서는 저에너지 고효율 스마트 열처리 장비와 공정 기술, 그리고 실시간 고효율 열처리-예지보전 기술이 필요하다.
- ☑ 따라서, 이러한 분석을 토대로, 뿌리산업은 디지털 전환을 적극적으로 도입하고 실천하여 산업의 경쟁력을 강화하고, 지속 가능한 성장을 추구해야 한다. 이를 통해 뿌리산업은 빠르게 변화하는 현대 경제에서 그 중요성을 유지하면서, 동시에 새로운 가능성 창출을 기대할 수 있을 것이다.

## 출처 및 참고 자료

1. 국가뿌리산업진흥센터. (2022). 뿌리산업 백서.
2. 대한무역투자진흥공사. (2022). 해외 중소기업의 디지털 전환 추진 사례와 시사점 (Global Market Report 22-012).
3. 한국기계연구원. (2022). 일본 제조기업의 디지털전환 특징과 시사점 (기계기술정책 No. 107).
4. 한국현. (2023). 디지털 전환을 통한 주조산업의 인력난 극복 전략. 한국주조공학회지, 43(2).
5. 최정길. (2022). 주물산업이 스마트팩토리(2)-디지털 트윈-. 한국주조공학회지, 42(1).

KEIT Issue Review

# 건설기계 플릿 매니지먼트 기술개발 동향

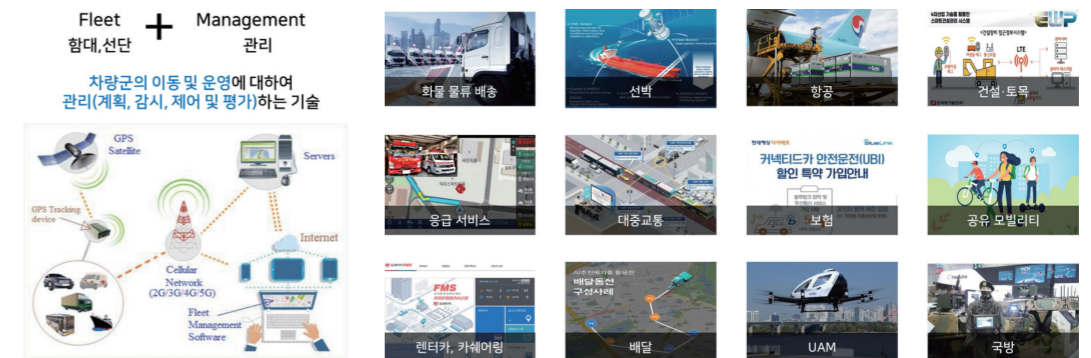
저자 박근석 첨단기계PD / KEIT  
윤종일 실장 / KOCETI  
최서진 선임 / KEIT

요약

- ☑️ 코로나19 팬데믹 이후 지속가능한 성장과 양질의 일자리 창출을 위하여 제조업이 다시 주목받고 있으며, 특히 디지털 전환에 대한 각국의 정책수립 및 대규모 투자가 이루어지고 있어 산업기술의 디지털전환이 빠르게 진행될 것으로 예상된다.
- ☑️ 건설 산업에서도 이러한 디지털화의 영향으로 다양한 기술들이 개발되고 있다. 그 중 FMS(Fleet Management System)을 소개하고자 한다.
- ☑️ 건설 산업의 FMS는 건설현장의 차량 모니터링 및 관제는 물론 건설사의 공사 기획·설계·시공에 대한 계획수립 등 건설현장에서 수집된 데이터를 바탕으로 다양한 서비스를 제공하는 시스템이라 할 수 있다.
- ☑️ 본 리포트에서는 간략하게나마 이러한 FMS에 대한 설명과 국내외 시장동향 및 앞으로 나아가야 될 방향에 대해 기술하고자 한다.

## 1 Fleet Management란?

- ☑️ FMS(Fleet Management System)은 보통 차량의 주요 운행데이터를 기반으로 최적의 차량운행이 가능하도록 지원하는 서비스이다. 건설 및 건설기계에서의 FMS는 이러한 차량운행정보뿐만 아니라 토공사의 기획·설계·시공 등 전 단계에 걸쳐 세분화된 작업계획 및 가이드 정보를 구축하는 한편, 건설현장의 다수 장비군을 네트워크로 연결하여 건설장비의 작업내용을 실시간으로 모니터링하고 작업을 통제할 수 있는 통합 건설장비 관제기술을 의미한다. 이러한 관제기술을 통해 장비운전작업자, 현장관리자, 건설관제센터에 다양한 편의정보를 제공한다.
- ☑️ (데이터 수집) FMS를 구성하는 주요 기술 중 하나는 바로 텔레매틱스로, GPS(Global Positioning System), GNSS(Global Navigation Satellite System) 등의 위치 추적 센서를 기반으로 관리자가 건설장비의 위치데이터, 작업데이터 등을 수집하여 상태를 모니터링하고, 담당자에게 차량이동이나 작업에 대한 정확한 정보를 전달함으로써 운전자 및 장비상태를 모니터링 할 수 있도록 지원한다.
- ☑️ (생산성 관리) FMS는 건설현장에서 건설장비의 연료소비량, 장비유지보수, 대기시간 등의 데이터를 실시간으로 관리함으로써 공기(공사기간) 및 비용 감축 등 생산성 관리를 위한 중요한 역할을 담당한다. 또한, 작업이력 및 환경데이터 수집을 통해 체계적인 시공계획을 수립함으로써 생산성을 제고시킨다.
- ☑️ (무인 건설장비) 무인 건설장비 솔루션은 1.5cm 오차범위 내에서 스스로 정밀 작업을 수행하고 AI 기반 안전 시스템으로 전방위 객체 인식을 통해 사고를 예방하며, 공사 책임자는 현장 외 공간에서 원격 모니터링을 통해 전 시공과정을 관리·감독할 수 있다.

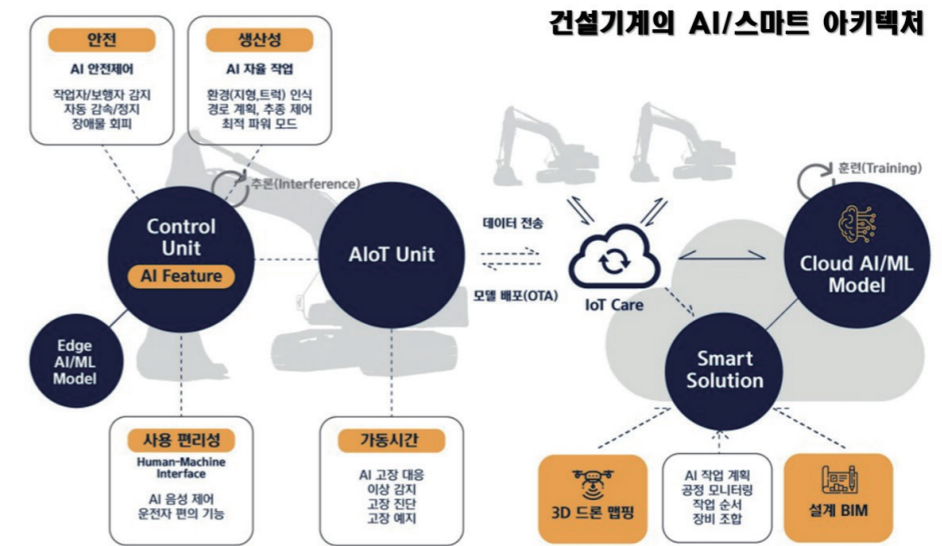


| 그림 1. FMS 개념 및 활용분야 |

☑ FMS의 장점

- 장비 성능 최적화 및 서비스 강화
  - FMS는 차량 및 운전자 데이터 수집, 저장, 분석 등이 포함되며, 차량의 구매이력, 주행거리, 사고이력, 고장, 진단, 예지, 보전, 운전자 상태, 경로 등과 같은 다양하고 신뢰성 있는 데이터를 기반으로 차량의 성능 및 상태, 운전자 이력 등을 관리할 수 있다. 과거에는 현재 상태만을 보고 제품을 평가했다면 현재는 신뢰할 수 있는 데이터를 기반으로 차량 및 운전자 성능을 향상시킴으로써 불필요한 비용 발생과 안전에 대한 위험을 줄일 수 있다.
- 생산성 및 워크플로 향상
  - FMS는 건설사 및 건설기계 작업자들의 작업 흐름을 유연하게 할 수 있으며, 오류나 문제점을 최소화 할 수 있다. 이를 통해 기업은 정확한 프로젝트 요구사항을 충족해나갈 수 있으며, 수익을 창출할 수도 있다. 작업환경 및 차량의 정보를 기반으로 최적 주행거리와 작업자 정보 매칭을 통해 연비를 최적화할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있다.
- 건설사의 시공계획 및 관련 비용 절감
  - 건설사에서는 견적에서 발주까지의 모든 내용을 디지털화 하여 기록할 수 있으며, 이를 통해 데이터 안전과 보안을 향상할 수 있다. 전자서명을 통한 업무처리 속도가 증대되며, 자동문서화 기능을 통해 문서 작업 시간과 비용, 오류에 대한 부분을 대폭 줄일 수 있다.

☑ 산업 전방위적인 스마트 혁신을 견인하고 있는 AI, IoT의 등장은 전혀 불가능해 보이던 일들을 현실로 만들고 있다. 국내외적으로 스마트 기술과 건설기계와의 융합은 가속화되고 있으며, 기술 선도국은 제한적인 환경에서 실증단계에 돌입하였다. 스마트 건설 기술 도입 시 건설현장은 데이터로 시작해 데이터로 마무리 될 것이다. 건설 산업은 기존의 2D 방식 데이터 관리를 벗어나 빌딩정보모델(BIM, Building Information Modeling)기술, ‘탈현장건설’(OSC·Off-Site Construction)기술, 정보통신기술(ICT, Information & Communications Technology) 등을 활용하여 10년 후 스마트 건설이 보편화될 것으로 전망하고 있다. 즉, 건설 산업의 트렌드가 4차 산업혁명 기술 발전에 따라 빠르게 디지털화 될 것으로 전망되고 있다.



| 그림 2. 스마트 건설 아키텍처 |

☑ 특히, 스마트 건설의 핵심기술 중 하나인 BIM은 시공현장에서 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위해 3차원 건축물 형상과 속성을 한번에 살펴볼 수 있어 설계오류를 사전에 제거할 수 있다. 또한, 설계기준, 시공기준 등 시방서를 디지털화함으로써 컴퓨터가 이해할 수 있는 형식으로 전환하는 온톨로지(Ontology)<sup>1)</sup> 방식을 통해 건설 현장의 생산성을 제고시킬 수 있다. BIM 데이터를 활용한 플릿 관리 솔루션은 공기 감축, 공사비용 절감, 생산성 제고 및 안전성 보장을 위한 중요한 관리 포인트가 될 것이며, 현장에 투입된 모든 장비의 위치를 모니터링 함으로써 현장관리자는 장비의 병목현상 및 휴지시간(Idle Time) 발생여부를 인지하고 최적의 장비조합 계획을 수립하여 토공 전 주기에서 경제적인 운영을 할 수 있다. 투입된 장비의 작업 이력을 관리하고 자동문서화 기능을 통해 신뢰성이 보장된 정보를 기록함으로써 시공 관리자는 실시간으로 토공 계획과 설계 변경·보완이 가능할 것이다. 이처럼 건설 산업의 디지털 전환 과정에서 건설장비 플릿 관리 솔루션은 토공 전 주기에 영향을 미치는 핵심 기술 분야로 자리잡을 것이며, 플릿 관리 솔루션의 국내 기술 수준을 인지하고 급변하는 기술 시장에 대한 대비가 필요한 시점이다.

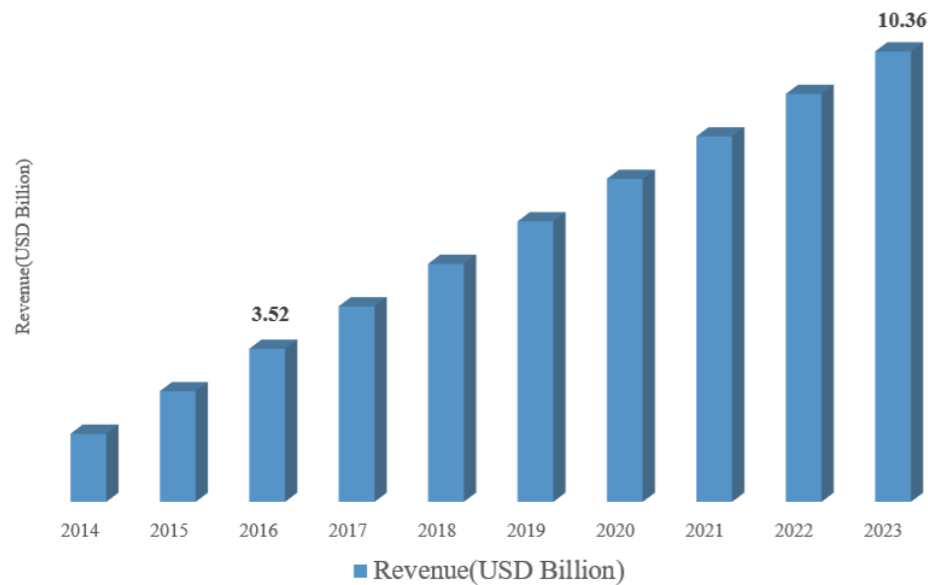
1) 존재하는 사물과 사물 간의 관계 및 여러 개념을 컴퓨터가 처리할 수 있는 형태로 표현하는 것

2 배경

☑ 미래의 건설기계 기술은 건설 장비를 운용하는데 있어 운전자의 손을 거치지 않고 작업을 스스로 수행하는 무인·자동화 메카니즘을 핵심으로 한다. 이러한 것을 가능하게 하는 것은 다양한 분야에 걸쳐 확산되고 있는 ‘인더스트리 4.0’의 솔루션으로, 건설기계의 무인화, 지능화, 첨단화 기술이 디지털기술을 통해 중장비의 작업설계, 가동, 유지보수, 연비절감, 생산성 및 작업안정성을 높이고 있다. 이러한, 개별기술이 지속적으로 발전되면서 제조업체와 더불어 작업자 및 최종고객들의 경쟁력 강화를 견인할 것으로 예상된다.

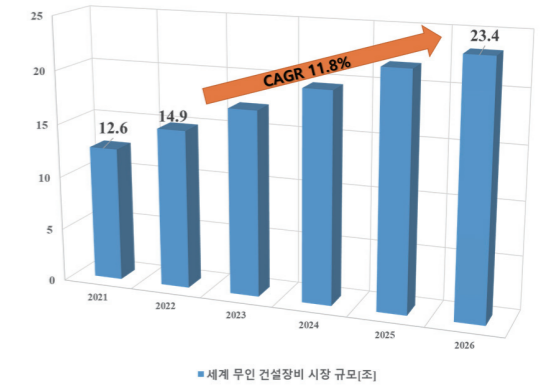
### 3 시장 전망

Market Research Future 분석 보고서에 따르면 2018년부터 2023년까지 BIM 시장은 연평균 14.9%의 성장률을 보이며, BIM 시장은 2017년 기준 30.6억 달러에서 2023년 81.2억달러까지 성장할 것으로 전망하였다. 또 다른 시장 조사 기관인 Zion market Research는 BIM을 채택하고 있는 국가와 정부가 늘고 있고, 각국의 건설사에서 관련 기술의 도입이 활성화되고 있어 2022년까지 최대 100.3억 달러까지 성장할 것이라고 전망하였다. 또한, 건설 전 주기에 대한 운영 및 유지비용, 공기단축 등의 긍정적 기대 효과와 디지털 전환의 가속화 추세에 힘입어 BIM 확산이 더욱 촉진될 것으로 예상된다.



| 그림 3. BIM 시장 동향 |

특히, BIM 시장 성장과 건설 산업의 디지털 전환 추세가 가속화되면서 FMS 시장과 무인 건설장비 시장은 동반 성장이 예상되며, 해외에서는 각 기술들에 대한 솔루션을 현장에 제공·검증하는 단계에 있다. Verified market research에 따르면, 건설기계를 포함한 FMS 시장 규모는 2022년 기준 234.8억 달러 규모로 산정되며, 연평균 성장률이 9.1%로 2030년까지 약 471.3억 달러까지 시장이 확대될 것으로 전망하였다. 글로벌 건설장비 제조업체들의 시범적 모델이 시장에 진출한다면 무인 건설장비 시장의 폭발적인 성장도 가능할 것으로 주목받고 있다. Research and market은 2021년 기준 무인 건설장비 시장 규모는 12.6조원으로 형성되어 있으며, 2022년 14.9조원으로 전년 대비 18.4% 성장했으며, 연평균 성장률(CAGR) 11.8%를 기록해 2026년 23.4조원까지 확대될 것으로 전망하였다.



| 그림 4. 플릿 매니지먼트 및 무인 건설장비 시장 전망 |

# 4 국외 기술 동향

## ☑ 통합 관제 기술 동향

- 통합 관제는 영상정보처리기기 제반자원의 효율적 운영·관리를 위한 시스템의 물리적 통합체계 및 운영조직을 말하며, 건설 산업의 통합 관제는 측량 자동화, 건설장비 자동화 및 유지 관리, 스마트 안전 및 건설 기술 등의 정보를 교환 가능한 디지털 정보로 표준화하여 저장하고 공유 및 활용할 수 있는 체계를 의미한다. 건설장비의 각종 센서 및 영상데이터를 기반으로 건설장비 위치 및 상태, 경로 계획·생성·추종 등 실시간 모니터링을 통해 토공 계획, 물량산정 등의 생산성을 관리한다.
- (KAJIMA Corp.) 건설장비 자동화를 통한 차세대 생산시스템인 A4CSEL을 2009년부터 개발해왔으며, 2017년에는 건설장비 자동화 전용 시험장을 개소하는 등 상당한 투자가 계속되고 있다. 레이저 스캐너와 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit), GPS 제어용 PC로 구성되어 있으며, 건설장비에 장착된 태블릿형 단말기에서 사전 입력된 알고리즘에 따라 건설장비가 스스로 움직이는 방식으로 관리자 1명이 다수의 건설장비를 조종 가능할 수 있는 통합 관제 솔루션을 연구·개발 중이다.

| 표 1. 카지마 건설의 건설장비 자동화 개발 연혁 |

연도	진행 내용
2009	• 중장비 자동화 개발착수
2015	• 자동 진동 롤러 실용화, 자동트랙터 실증시험(고카야마댐 현장)
2017	• 2ha 규모 덤프 세이쇼 자동화 실험필드 개소 • 자동 덤프트럭 도입하여 토사운반 시험(오이타가와댐 현장)
2018	• A4CSEL 시스템 본격 가동, 덤프 3대, 불도저 2대, 진동롤러 2대를 댐 코어재 성토 작업에 투입, 1,300m³ 토공사 물량 5시간 연속 자동운전 성공(고이시하라가와댐 현장)
2019	• 나루세댐(사다리꼴 CSG댐) 제체 공사에 중장비 20~30대 규모의 A4CSEL 적용 예정

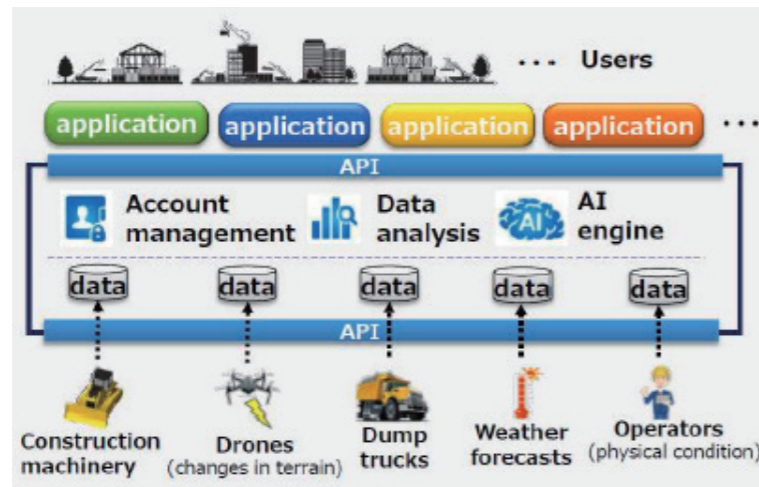


| 그림 5. 토사 반입에서 성토 작업의 자동화 |



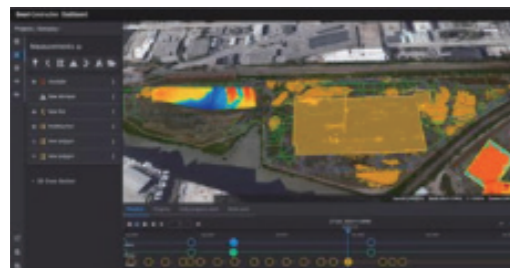
| 그림 6. 고이시하라가와댐 중장비자동화 현장 실증 |

- (LANDLOG) 건설장비 제조업체 및 통합관제 관련 업체들(Komatsu, NTT docomo, SAP, OPTiM)이 합작회사를 설립하여 건설장비 통합 운영 및 관제용 플랫폼 기술을 개발하여 시범운영 중에 있다. 건설 프로세스에서 얻은 시공 데이터(토지 조사, 측정, 설계, 운영 및 유지보수)를 수집하고 처리하며, 클라우드형으로 운용·제공되는 시스템으로, Komatsu社は 지형변화에 대한 3D 측정기술 및 건설현장 내 객체 움직임을 가시화하고, docomo社は LTE, LPWA, 5G 등 무선 통신 관련 기술 및 서비스를 제공한다. SAP社は 통합관제 플랫폼을 운영하고, OPTiM社は AI·IoT 및 Cloud IoT OS 활용에 관한 노하우들을 공유하며 각 업체들이 지닌 노하우·기술 융합을 통해 통합관제 플랫폼 완성도를 높여 나가고 있다.

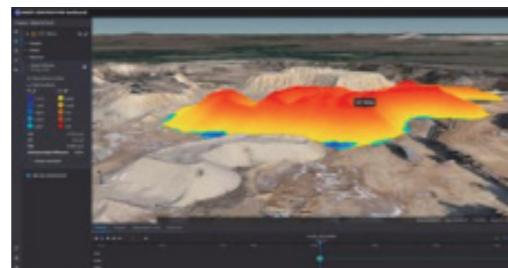


| 그림 7. LANDLOG 개념도 |

- (Komatsu) 건설현장 내 데이터를 시각화하고 진행상황을 고려한 시공계획에 대한 의사결정을 가능하게 하며 3차원 설계 데이터와 항공 맵핑(Mapping) 및 지능형 건설기계의 데이터를 결합해 자재 비축량 등 건설 전주기에 대한 관리가 가능한 스마트 건설 솔루션을 개발 중이다.



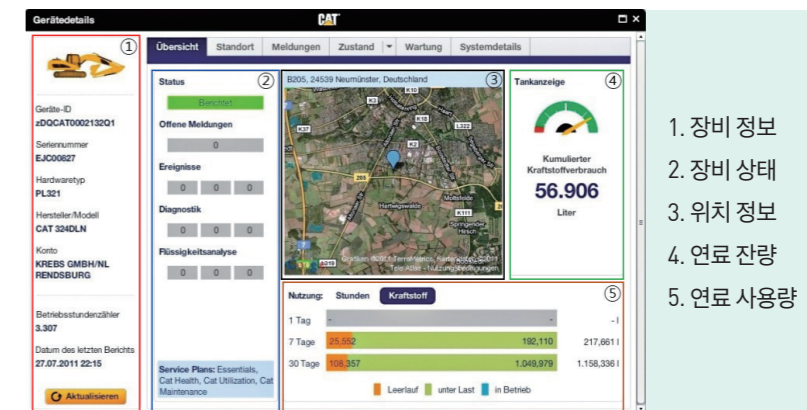
| 그림 8. 클라우드 기반 3D 설계 데이터 |



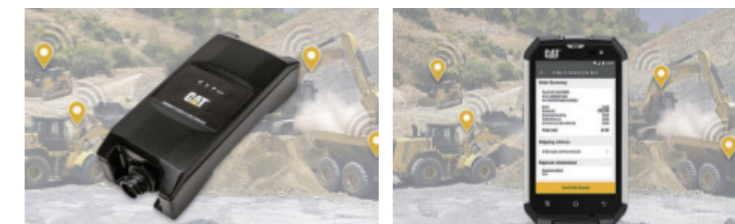
| 그림 9. 비축량 시각화 및 측정 |

플릿 관리 기술 동향

- 플릿 관리 기술은 굴착기, 도저, 그레이더, 덤프트럭 등의 운반장비를 통해 진행되는 토공작업에서 비용, 생산성 및 안전 관리를 위해 효율적으로 장비군을 운영·관리하기 위한 기술이다. 현장에 투입된 모든 장비의 위치를 모니터링 하고, 투입된 장비의 작업에 대한 이력관리 및 자동문서화를 통해 신뢰적인 정보를 기록하여 토공 전주기에 걸쳐 건설장비 유지보수가 가능하도록 다양한 정보를 지원한다. 초기 고객관리 차원에서 시작된 텔레매틱스 플랫폼 형태에서 AI, IoT 기능들이 추가되어 통합 관제 연계를 위한 디지털 플랫폼 형태로 전환되는 추세이다.
- (Caterpillar) ICT 센서 및 네트워크를 활용한 디지털 솔루션 포트폴리오를 보유하고 있다. 각각의 디지털 솔루션들은 건설장비의 실시간 모니터링 및 관리, 원격제어, 작업 자동화 등을 위한 플랫폼으로, 위치 추적, 작업 데이터 모니터링, 센서 정보 수집, 유지 보수 일정 관리, 보고서 생성 등 건설장비 관리 및 운영에 유용한 기능들을 포함하고 있으며, 각 솔루션은 사용자 또는 관리자 측면에서 필요한 목적과 환경에 따라 조합하여 사용하거나 독립적으로 사용이 가능하다. Caterpillar社의 디지털 플랫폼 Cat Connect는 다양한 목적의 디지털 솔루션을 포함하고 있으며, VisionLink는 작업 현장의 상황 인지와 생산성 제고에 중점을 두었으며, Product Link는 장비 데이터를 분석을 통한 유지 보수 및 정비에 초점을 맞추고 있다.



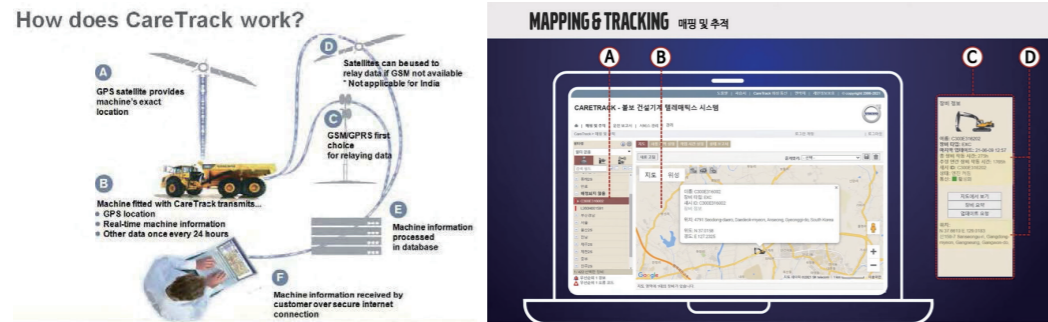
| 그림 10. Caterpillar社 VisionLink |



| 그림 11. Caterpillar社 Product Link |

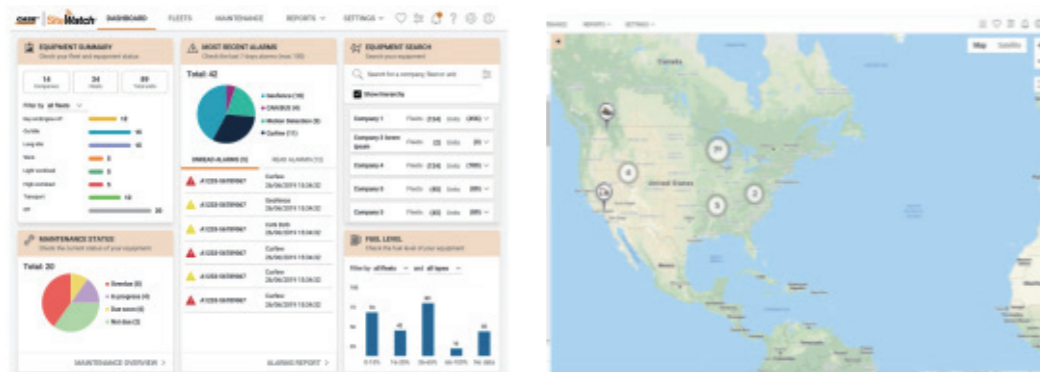
- Cat connect는 플릿 관리에 특화된 디지털 솔루션으로, 현장 내 장비군 관리와 운영 계획에 관련된 기능(위치 추적, 작업 내역 기록, 연료 소비 관리, 정비 일정 관리, 장비 상태 경보 및 알림 기능)을 지원한다.

- (볼보건설기계) 장비운용 및 제어기능의 자동화뿐만 아니라 주기적인 정비 및 관리 서비스를 제공하는 IoT 건설장비 솔루션 “CareTrack”을 보유하고 있다. 원격으로 장비의 위치를 파악하고, 엔진, 브레이크 등의 상태 및 연료소비량, 작업시간 등을 점검할 수 있는 시스템으로, 실시간 모니터링이 가능하며 가동 및 휴지시간을 통제하고 소모품 교체 주기의 체계적 관리 등의 건설장비 유지보수에 특화된 기능들을 지원한다.
  - GPS, GNSS 신호를 기반으로 장비 위치를 계산·기록하고, 엔진 작동 상태를 기반으로 장비의 작업 시작과 종료 시점을 감지한다. 장비 내 연료 공급 시스템의 유속을 측정하여 크기에 따라 전압 또는 전류 신호를 생성하여 연료 소비량을 계산·기록하며, 운전자의 작업 모드와 GPS, GNSS 신호를 기반으로 장비 위치를 실시간으로 추적하여 작업 이력을 포함한 상태 데이터를 CareTrack 시스템에 기록한다. 이러한 정보는 웹 브라우저 또는 모바일 앱을 통해 접근하여 관리할 수 있으며, 장비와 작업 관련 보고서를 생성할 수 있다.



| 그림 12. 볼보건설기계 CareTrack |

- (Case) 건설기계의 위치, 작동상태, 연비 등의 데이터를 수집·저장하여 분석하는 시스템으로, 원격으로 장비 관리 운용 난이도를 낮추고 텔레매틱스 기술에 장비 제어 솔루션 기술을 결합하여 생산성 향상과 장비 관리에 대한 접근성을 높이는 방향으로 연구개발이 진행 중이다.



Sitewatch 인터페이스

건설장비 위치 정보 디스플레이

| 그림 13. Case 社의 SiteWatch |

- (HxGN. 헥사곤) 건설현장 내 기계 및 장비에 대한 위치, 성능, 동작, 생산성, 작업영역, 이동거리, 속도, RPM 등의 지표를 디스플레이하는 정보 관리 시스템인 HxGN AgrOn 시리즈를 개발하였으며, 장비의 기존 센서와 자체 센서를 추가하여 실시간 장비 정보를 중앙 관리 시스템에 업로드하여 가동 중지 시 원인 분석이나 다운타임 모니터링 기능 등을 제공한다. 최근 모든 건축 단계에서 사무실과 현장을 연결하여 건물 설계와 작업자 조율, 예산 및 물량 산정, 예측 서비스를 통해 생산성 최적화가 가능한 Smart Build™ 인사이트를 공개하였다.



| 그림 14. 장비 정보 관리 시스템 |



| 그림 15. 전기 기계식 스티어링 시스템 |

☑ 무인 건설장비 기술 동향

- 무인 건설장비 관련 기술은 자율주행, 머신가이드스(MG, Machine Guidance), 머신컨트롤(MC, Machine Control), 원격제어 등이 있으며, 자동차와는 다르게 특정한 목적을 수행하는 건설장비는 몇 단계의 과정을 거쳐 무인 건설장비가 완성될 것으로 예상된다. 건설 현장 내 장비들은 비정형화된 경로를 따라 목표지점까지 다수의 객체를 회피하며 주행하여야 한다. 특히 동적 객체의 경우 경로를 실시간으로 추적하고 이종간 페어링을 통해 위치를 공유하여 이를 기반으로 경로를 재생성하고 충돌을 방지해야 한다. 타산업 대비 상대적으로 높은 기술적 난이도로 인해 건설장비의 완전 자율주행에 도달하기까지는 해결해야 할 과제들이 많이 남아있으며, 현재 국내외적으로 개별기계의 자율주행을 단계적으로 완성해 나가고 있다.
- 건설장비 숙련자의 경험은 토공현장 생산성을 결정할 만큼 지배적인 요소이며, 무인 건설장비가 숙련자 경험을 대체하기 위해 MG와 MC 기술들도 상대적으로 낮은 난이도의 기종부터 연구를 진행하고 있으며, 가장 사용빈도가 높은 굴착기 관련 일부 기능들에 대한 솔루션들은 우선 순위로 개발되어 시장에 출시되고 있다.
- 불특정 환경이라는 특성으로 인해 현장 내 안전문제는 오래전부터 화제거리가 되어왔으며, 지금까지 근·장거리 원격 제어 관련 기술과 다중센서를 활용한 환경인식 기술들이 해결책으로써 자리잡고 있다.

- (Komatsu) 지능형 MC 시스템 iMC 2.0은 3차원 설계 데이터를 장비에 직접 프로그래밍할 수 있으며, 비숙련자에게 고정밀 작업을 가능하게 하며, 굴착기 외 도저에도 적용이 가능하다. 굴착기의 경우, 버킷 각도를 홀드(Hold)해 경사표면에 버킷을 자동으로 고정하고 조종수는 암 입력만으로 경사면 작업이 가능하도록 지원한다. 경사면 작업 시 경사면 모니터링 및 반자동 그레이딩으로 정교한 작업도 가능하다. 도저의 경우, 거친 면에서 마감 면까지 자동 작업이 가능하도록 지원하며 하중제어 기능이 탑재되어있고 블레이드와 장비 사이에 코일 케이블이 없어 장비와 블레이드 사이의 작업이 간편하다.



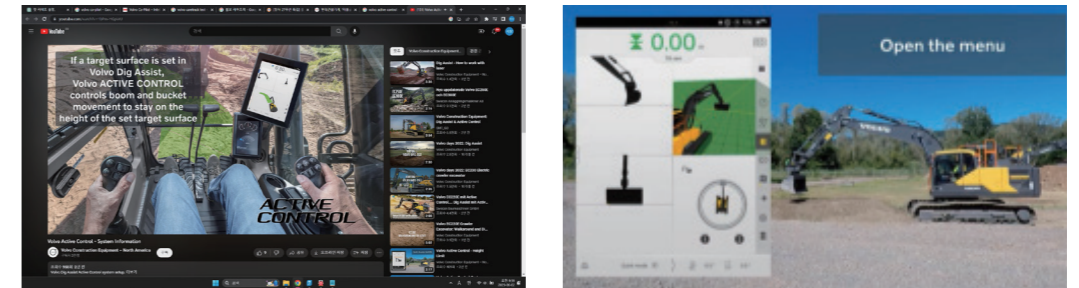
| 그림 16. Komatsu 社 iMC 2.0 |

- (Caterpillar) 디지털 플랫폼 Cat connect 중 Cat command는 원격 장비 제어 및 장비 자동화 특화 솔루션으로, GPS, 다중센서, 레이더, 카메라 등을 활용하여 장비 위치, 주행 경로, 작업 상태 등을 실시간으로 모니터링할 수 있는 기능을 제공하며, 현장 내 안전사고 예방 기능도 포함하고 있다. 특히 사전에 입력된 경로를 주행하거나 동작을 제어함으로써 부분 자동화 작업을 수행할 수 있다.
  - 무인 원격 장비 제어: Virtual cab에서 운전자의 입력이 무선 송수신기를 통해 건설장비로 직접 전송되어 실시간으로 제어할 수 있으며 직접 동작과 동일한 수준의 응답시간을 제공한다. 해당 장비가 장착된 다수의 장비 간 상호호환이 가능하고 작업 현장의 위치 전환도 가능하다. 장비 안전 기능과 관련하여 현장에서의 위험 상황 인지를 위해 Virtual cab의 컨트롤러가 45도 이상 기울어질 경우 건설장비에 문제가 발생한 것으로 인지한다. 엔드이펙트 위치를 기준으로 깊이와 경사 모니터링이 가능하여 작업하고자 하는 지면의 오버컷 또는 과절단을 사전 방지할 수 있어 비숙련자의 운전을 보조하는 기능을 보유하고 있다.
  - 머신가이던스: GPS 및 GNSS, IMU 등의 고정밀 센서를 활용하여 건설장비 위치와 움직임을 추적하고, 실시간으로 상태 정보를 분석하여 작업 자동화를 지원한다. 포장 및 굴착 작업에 대해 머신가이던스 시스템이 경계를 제시하며, 시스템의 작업 지시 및 지형 조성, 정밀 측량 등을 시각화하여 운전자에게 전달한다.



| 그림 17. Caterpillar 社 Cat command |

- (볼보건설기계) MC 솔루션 Volvo Co-Pilot은 작업 영역의 경계표시, 작업 지원 도구, 작업량 추적, 정밀 지형 조성 등의 정보를 제공하여 건설장비 운전자의 작업을 보조하고, 비숙련 운전자의 숙련도 향상을 통해 작업 오류 및 재작업 확률을 낮추어 생산성을 향상시킬 수 있도록 하는 디지털 솔루션이다.
- (볼보건설기계) MG 솔루션 Volvo Active Control은 통합 인터페이스를 통해 블레이드 및 굴착 작업, 평탄화 작업 등의 제어를 보조하며, 일부 자동화 기능(장비에 미리 설정된 작업 경로나 시스템 지시에 따라 이동 또는 작업)을 지원한다.



| 그림 18. 볼보건설기계 Co-Pilot(좌), Active Control(우) |

- (볼보건설기계) 자율주행 운송 솔루션 TARA는 채석장이나 광산 같은 특정 영역 내에서 자율주행 덤프트럭과 충전소, 관제탑, 클라우드 등을 조합한 운송 솔루션이다. 자율주행 덤프트럭은 5분 운송하고 1분 충전하는 방식이며, 건설장비 간 통신, 중앙 제어 컴퓨터에서 작업 현장 간 통신을 통해 충돌 회피 정밀도를 개선하였다. TARA 실증을 위해 자율시험장을 스웨덴에 구축하였으며, 5G 네트워크를 활용하여 10주에 걸쳐 실증 시험을 진행하였다. 결과적으로 기존 방식 대비 탄소배출량 98%, 에너지 비용 70%, 운영 비용 40% 절감 효과를 기록하였다.



| 그림 19. 볼보건설기계 무인 트럭 파일럿 모델 및 자율주행 시험장 |

☑ (Trimble) GPS가 처음으로 토공 기술과 결합된 이후로 정밀도, 생산성 및 안전 개선을 위한 MC 연구를 지속적으로 수행해왔으며, 현재 MG·MC 등 자동화 기술 분야에서 글로벌 기술 선도 수준에 도달했다. 구배 제어 기술은 굴착기 및 도저와 같은 대형장비 이외에서도 활용할 수 있도록 보급 중이며, 소형굴착기, 스키드스티어러더와 같은 장비에도 적용되고 있다.



| 그림 20. 트림블 플랫폼(TPaaS) |



| 그림 21. 다짐 제어 |



| 그림 22. 구배 제어(그레이더) |



| 그림 23. 구배 제어(도저) |



| 그림 24. 굴착기 제어 |



| 그림 25. 그레이더 제어 |

☑ (Leica) 건설 프로젝트와 장비를 연계하여 효율적으로 관리하고 모든 이해 관계자와 작업 관련 데이터를 공유할 수 있는 클라우드 기반 협업 도구인 Leica Geosystems를 출시하였다. 현장 생산성을 모니터링하고 자동문서화를 통해 신뢰성 높은 보고서를 작성할 수 있는 강력한 분석 도구로, 참고 모델, 측량 데이터 및 구성된 데이터를 시각화하고 검증하는 기능을 보유하고 있으며, 건설장비 MG·MC 기술과 연계를 위한 후속 연구도 진행 중이다.



| 그림 26. Leica社 기종별 MC 솔루션 |

☑ (TOPCON) MC-Max 굴착기 솔루션은 터치방식을 사용하고 평평하거나 계단식 또는 경사진 작업에서 경사로 굴착 시 자동 깊이 제어 기능을 제공한다. 해당 시스템을 통해 숙련된 작업자는 편의성을 얻을 수 있으며, 비숙련자에게는 효율적인 작업을 가능하도록 한다.



| 그림 27. TOPCON社 MC 인터페이스 |

☑ (MOBA) Mobile Automation AG는 45년 이상 동안 모바일 자동화 분야에서 기술을 선도하고 있으며, 자동화 기술에 대한 노하우와 경험을 기반으로 기계 제어 시스템, 식별, 모바일 계량 기술 및 S/W 솔루션을 제공하고 있다. 굴착기 작업에 대해 2D 및 3D 어플리케이션으로 프로그래밍 할 수 있으며, 기존의 인력을 활용한 절토 레벨조사방식 대비 측량 작업의 최대 90%를 절감할 수 있다. 굴착기의 작업에서 해당 장비에 장착된 가열식 3축 360도 기울기 센서와 15cm 고유 레이저 수신기를 사용하여 깊이, 높이, 기울기 및 버킷 위치를 파악한다.



| 그림 28. MOBA社 모바일 솔루션 |

- ☑ (Built Robotics) 미국 캘리포니아 기업으로 주로 건설 장비용 자동화 키트를 개발하며, 상용 센서를 활용한 S/W를 개발한다. 현재 굴착기, 스키드 스티어 로더, 도저의 자동화를 지원하며, 장비를 추가할 예정이다. Trimble社와 더불어 건설장비 자동화 기술 선도 기업 중 하나이다.



| 그림 29. Built Robotics社 자동화 키트 |

- ☑ (SafeAI) 건설장비 종류나 브랜드에 상관없이 자동화 기능을 사용할 수 있도록 지원하는 H/W와 맞춤형 S/W를 제공하며, 중고 장비에도 적용시킬 수 이점을 내세워 홍보하고 있다. SafeAI의 건설자동화 솔루션은 안전 인증 프레임워크 기반으로 구축되었으며, 일부 광산 및 건설 현장에서 사용되고 있다.



| 그림 30. SafeAI社 광산 자동화 솔루션 |

## 5 국내 기술 동향

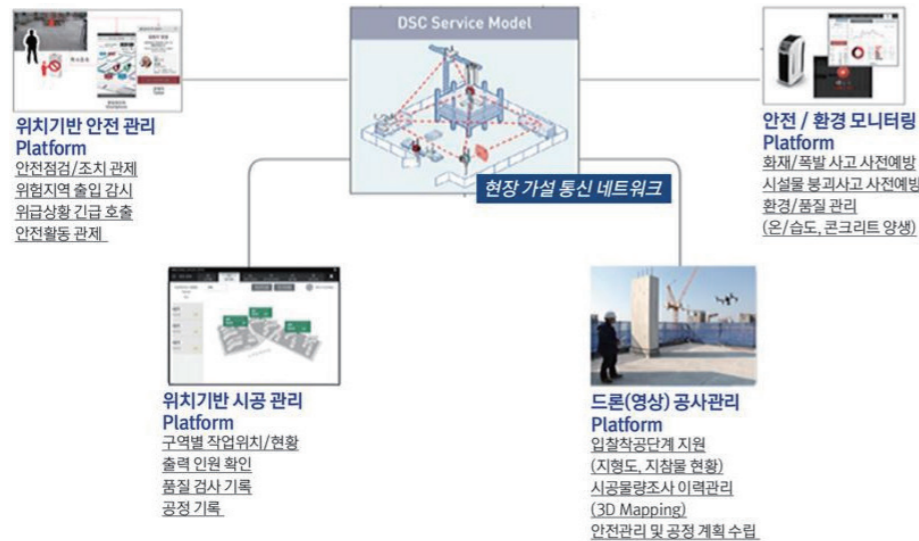
- ☑ 통합 관제 기술 동향

- 통합관제를 위한 건설장비 작업경로 생성 및 네비게이션 기술 분야에서 장비들의 인위적인 조작없이 출발점에서 목표점까지 충돌을 피하며 도달할 수 있도록 다중센서를 통해 습득한 데이터를 기반으로 실시간으로 환경을 재구성하여 적절한 경로를 생성하는 연구가 진행되고 있다.
- 현재 산업현장에서 활용중인 실내 자율주행은 정립된 환경인 반면, 건설장비 자율주행은 불안정하고 불특정 동적객체라는 장애물과 자연환경, 먼지 및 분진 등의 극한환경을 고려한 자율주행 기술이 필요함으로써 현장 데이터 오류를 극복할 수 있는 방법론을 찾아가는 단계이며, 다중센서를 이용한 동적객체 인식과 환경모델링 기술, 군집 자율주행을 위한 경로계획 기술 확보를 위한 연구들이 진행되고 있다.
- (한양대학교) 다수의 건설장비를 대상으로 GNSS/GPS, UAV, UDAR, Vision Sensor 등의 측량 및 측정 장비로부터의 데이터와, GIS, 3D모델링 기법을 이용하여 건설장비의 움직임과 토공현장의 지형 및 객체변화를 실시간으로 모니터링한 데이터를 기반으로 설계·시공 및 작업수행에 대한 정보를 운전자와 자유롭게 주고받으며 토공작업에 대한 총괄적인 의사결정을 내리기 위한 건설자비 통합관제기술을 개발하였다.



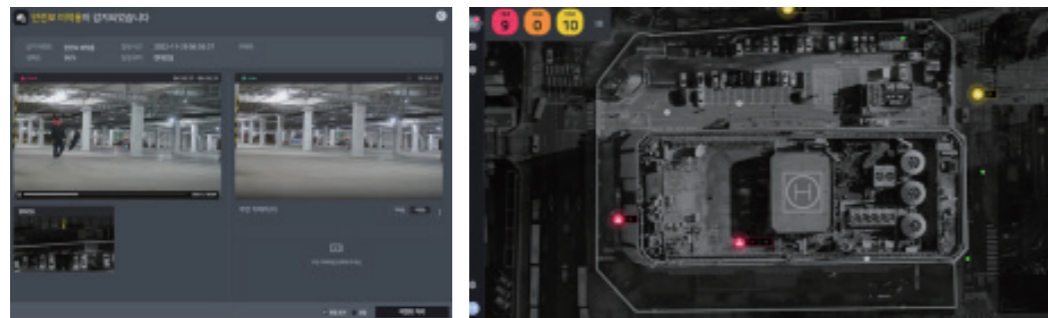
| 그림 31. 건설장비 통합관제 시스템 개념도 |

- (대우건설) 사물인터넷(IoT)과 정보통신기술(ICT)을 활용하여 건설현장의 모든 안전과 공정, 품질을 통합 관리하는 시공관리 자동화 기술인 Daewoo Smart Construction(DSC)를 개발하여 건축·주택·토목 등 산업 현장에 시험적용하였다. 현장 내 작업자와 장비의 위치 관제를 통해 안전상황을 실시간으로 모니터링하며, IoT센서를 활용하여 화재 및 가스누출에 대한 위험을 사전방지하는 기술을 개발하였다.



| 그림 32. 대우건설 DSC 기본 구성도 |

- (현대건설) AI 기반의 건설현장 영상 분석 기술을 통해 실제 현장에서 사용되는 다양한 객체에 대한 영상을 수집하여 AI를 학습하고, 수집 불가능한 특정 상황에 대한 데이터는 가상 데이터를 활용하여 추가 학습을 진행하여 알고리즘을 구성하였다. 이를 기반으로 건설장비, 작업자, 불꽃, 연기 등 약 200만 개 이상의 작업 객체를 포함하는 학습 데이터를 구축하였고, AI가 CCTV를 통해 실시간으로 건설장비 및 신호수, 유도원 등을 동시에 인식해 장비와의 협착사고 위험거리 감지 및 사전 방지가 가능하다. 또한, AI를 활용하여 스마트폰을 활용해 레미콘 차량으로부터 배출되는 콘크리트를 실시간으로 모니터링 하여 레미콘의 불량 여부를 확인할 수 있는 시스템을 개발하고 특허를 등록하였다. 향후 기존 AI 분석 영역을 확장하여 건설 현장에 접목이 가능한 AI 핵심기술을 추가할 예정이다.



| 그림 33. 현대건설 현장 CCTV 영상 분석 시스템 |

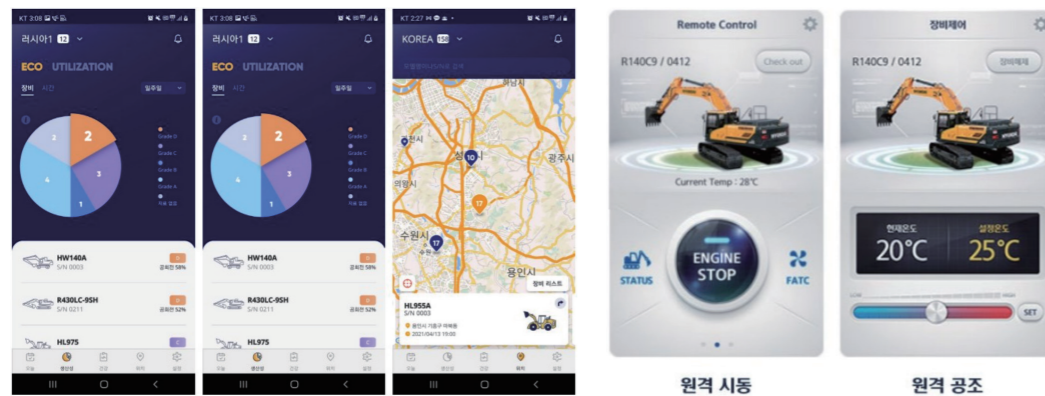
- (HD현대인프라코어) 3차원 드론 측량과 토공 물량 계산, 시공 계획 수립 등의 시공 관련 데이터를 전용 클라우드 플랫폼에 접목한 건설현장 통합 관제 솔루션 'XiteCloud'를 개발하고 있으며, 측량, 지형분석, 장비운용, 시공관리 등의 다수 작업들을 하나의 단일 플랫폼에서 관리한다. 디지털 건설 플랫폼 중 하나인 XiteFleet은 실시간 장비군 모니터링을 통해 장비군 관제, 위험구역 출입, 과속 및 경로이탈 등 현장안전관리 기능을 지원하고, 장비군 운영정보(장비의 작업 시간, 휴지 시간, 주행 시간 등) 분석을 통해 연비 관리, 유지 관리 및 안전 경고 기능을 지원한다. 장비군 데이터(기간·장비별 투입 이력 및 운영정보, 시각화 등)를 관리하여 시공 정보 집계 및 문서화가 가능하며, 디지털 시공 정보(MG·MC 정보, 디지털 도면 등)를 온라인 상에서 원격 송수신을 통해 공유함으로써 자동화 기능을 지원한다.



| 그림 34. XiteCloud 디지털 건설 플랫폼 |

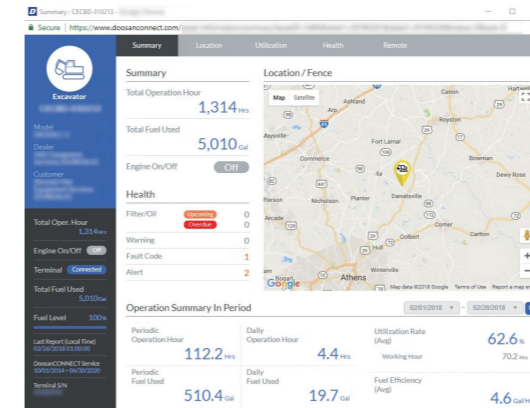
✔ 플릿 관리 기술 동향

- 국내외적으로 플릿 관리 기술은 디지털 플랫폼의 형태로 시장에 출시되었으며, 기능을 개선해 나가는 단계에 도달해있다. 초기에는 고객 관리 차원에서 시작한 텔레매틱스 플랫폼 형태에서 AI, IoT 기술 향상에 따라 장비의 유지보수 및 수명예측, 장비 작업 현황 등 더 많은 정보를 제공하고 있으며, 운전자 또는 관리자의 정보 접근성을 개선해나가고 있다. 또한, 건설장비 완성차 기업과 요소부품 기업, 벤더들은 플릿 관리 플랫폼과 통합 관제 솔루션, 무인 또는 부분적 자율작업 건설장비를 연계하는 방법론을 찾아가는 단계에 있다.
- (HD현대건설기계) 클라우드 기반 원격 장비 관리 시스템 ‘하이메이트(Hi MATE)’는 관리자가 건설현장과 멀리 떨어진 곳에서도 장비의 가동상황을 모니터링하고, 플릿을 효율화하도록 지원한다. 하이메이트 내 모바일 앱인 하이메이트 플릿 매니저(Hi MATE Fleet Manager)는 편리한 시각적 UI를 통해 플릿의 생산성 관련 지표인 유류사용량, 엔진가동시간, 연비, 유휴시간, 작업시간, 주행시간을 실시간으로 쉽게 확인할 수 있다. 또한, 고장 코드(Fault Code) 심각도를 4단계로 표시하고, 소모품 항목별 유지보수 예상 시기를 관리자에게 제공함으로써 다운타임을 방지할 수 있다. 원격 진단 기술을 통해 고장 진단뿐 아니라 원인 파악까지 지원하며, 다수의 건설장비를 관리하는 업체 또는 사업자가 원격에서 건설장비의 위치를 조회하고, 도난 방지기능을 통해 장비의 작업장 이탈 시 알림을 통해 장비 보안을 확보하도록 지원한다.
  - 플릿 장비의 공회전 비율 및 공회전 시간에 대한 측정값을 기준으로 장비를 여러 등급으로 분류하여 원형 그래프 시각화(좌)
  - 지도 기반으로 다수 장비의 위치를 확인(좌)
  - 원격 장비 시동 및 공조 제어 지원(우)

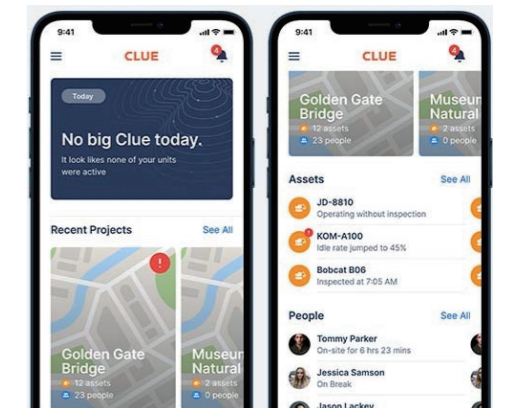


| 그림 35. 하이메이트 UI |

- (HD현대인프라코어) 舊 두산인프라코어에서는 건설장비의 운용, 유지보수 판매, 운영장비 모니터링 서비스 등을 제공하는 ‘Doosan CONNECT™’를 개발하고 건설장비 전주기 수명 관리에 필요한 서비스 전반을 온라인 또는 모바일 앱을 통해 가능하도록 서비스를 제공한다. 또한, ‘Clue Insight’를 통해 자사 장비를 포함하여 타사 장비의 상태 관리 및 실시간 생산성 분석, 고장코드 및 예방정비 정보 조회 등의 서비스 제공을 통해 건설장비의 텔레매틱스 정보 관리 기능을 제공하였다. 현재 북남미에서 서비스를 제공 중이며, 유럽 및 아시아 시장으로 확대 적용을 계획 중에 있다.



| 그림 36. DoosanCONNECT™ |



| 그림 37. Clue App |

- (쌍용건설) 건설장비에 대한 시뮬레이션 SABU를 활용하여 건설현장에서 BIM과 연계성을 높이기 위한 기술개발을 진행하고 있다. 시뮬레이션을 통해 건설장비의 가동범위, 인양가능 중량, 부재 충돌 등 작업 착수 전 발생 가능한 리스크를 검토하고 드론 측량을 통한 수치표면모델(DSM)과 연동하여 실제 현장 조건과 유사한 가상 디지털 트윈 현장에서 건설장비 운용에 대한 사전 시뮬레이션이 가능하다.



| 그림 38. 쌍용건설 SABU |

☑ 무인 건설장비 기술 동향

- 토공 및 포장작업의 생산성은 투입되는 건설장비의 효율적인 움직임에 많은 영향을 받으며, 건설장비의 작업경로 및 움직임은 조종수의 직관에 의하여 수행되어 작업 효율성 제고가 제한적이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 건설장비 조종수에게 효율적인 작업이 가능하도록 의사결정을 지원할 수 있는 기능(MG·MC, 작업경로 생성, 네비게이션 기능)들이 건설장비에 도입되어 일부 상용화 단계에 도달했으며, 건설 산업의 디지털 전환과 맞물려 BIM 시공 데이터와 건설장비의 연계형 디지털 플랫폼 연구들이 진행되고 있다.
- (HD현대건설기계) 다중센서를 통해 장비 자세를 인지하고 작업결과를 운전수가 확인할 수 있도록 보조하며, 작업 중 측량 공정을 최소화하여 관련 비용을 줄이고 안전사고를 방지할 수 있는 Smart Guidance를 개발 중이다. AAVM<sup>2)</sup>과 RADAR<sup>3)</sup>, RDS<sup>4)</sup> 기술을 접목하여, AI 기반의 영상 인식을 통하여 장비 주변의 객체를 판별하고 위험도에 따라 경고부터 자동 정지 기능을 추가 개발하고 있다.
- (영신디앤씨) 최근 3D SMC(Shine Machine Control) 모델 개발에 성공하여 굴착 작업에서 측량인원을 배제하였고, 모니터에 입력된 현장도면의 X, Y 위치 뿐만 아니라 설계면과 버킷의 위치 차를 실시간 확인하며 작업이 가능한 기술을 개발하였다. GNSS안테나, 통합컨트롤러, 경사센서, 모니터 등을 활용하여 건설사로부터 제공받은 2D 도면을 3D 도면으로 변환하고, 작업 중 현장도면을 모니터로 확인(X, Y, Z)하며 작업이 가능하다. 동시에 실시간 X, Y, Z 위치를 정확하게 표시하며, 엔드이펙트를 최종작업면에 위치시키는 것으로 검측 데이터를 확보할 수 있다. 현재 굴착기 외 도저와 그레이더에도 영역을 확장하였고, 지금까지 총 41건 이상의 현장실적을 보유하고 있다.

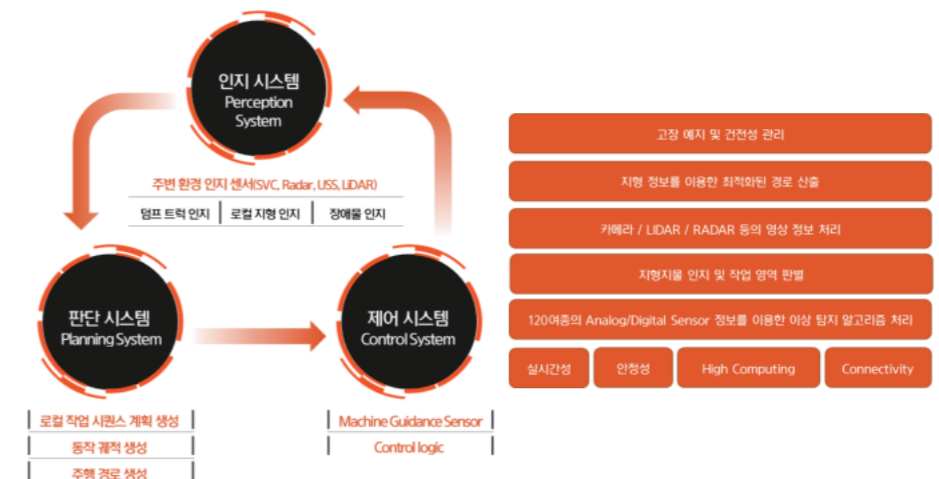
| 표 2. 기존 시공기술과의 성능 비교 결과 |

구분	과전 지식정보타운 - 법면			기존 시공기술과의 성능 비교 결과		
	기존 시공	3D SMC	비교	기존 시공	3D SMC	비교
공기	760분	528분	30% ▽	130분	85분	34% ▽
유류량	358L	196L	45% ▽	39L	25L	15% ▽
투입인력	89분	20분	77% ▽	136분	10분	92% ▽
시공품질	0.094m	0.055m	평균오차	0.027m	0.016m	평균오차



| 그림 39. 영신디앤씨 3D SMC - 굴착기 GPS 시스템 |

- (HD현대사이트솔루션) 현대중공업그룹 건설기계 사업중간지주회사인 HD현대사이트솔루션(舊현대제뉴인)은 무인건설장비 개발을 위한 인지, 판단, 제어 시스템에 AI 기술을 접목하는 무인 굴착기 기술 연구에 착수하였다. 동시에 고장 예지 보전, 자율 주행·작업 등의 건설 노동생산성 제고를 목적으로 다양한 시알고리즘 연구를 위한 시융합기술센터를 설립하였다. 고성능 컴퓨팅 자원을 통해 AI 모델과 지식 및 산출물 전반을 관리하여 국내 건설기계 3사 공통의 AI 플랫폼의 구축 및 운영을 계획하고 있다.



| 그림 40. HD현대사이트솔루션 AI 알고리즘 |

2) AAVM(All Around View Monitoring) : 장비에 장착된 4대의 카메라로 장비 주변 특정 반경 안에 움직이는 객체가 감지되는 경우 모니터를 통해 경고 사인을 표시하여 안전사고를 방지하는 기능  
 3) RADAR(Radio Detection And Ranging) : 전파를 사용하여 목표물과의 거리, 방향, 각도 및 속도를 측정하는 감지 시스템  
 4) RDS(Rear Detecion System) : 위험범위 내 물체 및 보행자 근접 시 경고장치가 작동하는 레이더 시스템

## 6 결론

### 기술 동향 요약

- 건설장비 플릿 관리는 고객관리 차원의 텔레매틱스 플랫폼 형태에서 스마트 시공과 장비 유지보수를 위한 디지털 플랫폼 형태로 전환되는 단계에 있다. 또한, 공용화되지 않은 다른 제조업체 건설장비에 대해서도 동시 관리가 가능한 솔루션을 개발하고 있으며, 나아가 플릿 관리 종착점인 통합 관제 솔루션과의 연계를 위해 국내외적으로 정부지원과 더불어 건설사, 통신사, 벤더 등과 협업을 통해 부수적인 기술들을 완성해나가고 있다.
- 통합 관제 솔루션은 예산 및 물량 산정, 시공 계획, 변경, 수행, 시공 품질 관리 등 건설장비를 포함한 토공 전 주기에 대해 건설 생산성을 관리한다. 상대적으로 BIM과 플릿 관리 관련 기술 대비 건설장비 자동화 기술 성장이 늦어짐으로 인해 스마트 건설 도입 시기가 지연되고 있다. 선진국 및 기술선도 기업들은 자사 BIM 플랫폼과 통합 관제 솔루션의 성능 검증 단계에 도달해있으며, AI, IoT 기능을 추가하여 성능을 개선하고 신뢰성을 확보해나가고 있다. 국내 주요 업체와 기관들은 각 단위 기술의 기술 수준 격차를 빠르게 좁혀나감과 동시에 정부지원사업을 통해 통합 관제 솔루션 연계와 실증을 병행하여 개발하고 있다.
- 무인 건설장비 기술은 국내외적으로 자율주행 2단계에 도달했으며, 도로포장 같은 단순 반복이 요구되어지는 작업에 대해 도저, 그레이더, 롤러 등의 특정 장비에 대한 완전 자율주행 기술 개발이 완료되어 상용화를 준비중에 있다.
- 토공 현장의 불특정 환경에 의해 작업이 복잡하고 제어 난이도가 높은 굴착기는 기술선도 기업과 일부 벤더가 MG·MC 솔루션을 굴착기에 장착하는 형태로 서비스를 제공하며 시장을 선점해나가고 있다. 국내 제조업체들은 MG·MC 솔루션을 자사 제품에 장착하여 판매함으로써 수요를 충족시키고 있지만, 기술경쟁력 확보 및 수입의존성 탈피를 위해 정부지원과 산학연 협업을 통해 독립적인 MG·MC 솔루션 개발을 진행하고 있다.

### FMS 활성화 방안

- **(정책 및 제도)** 미국의 경우 공사현장 지형지물을 디지털화하여 설계/해석/변경에 활용하는 BIM 표준개발 및 활용 시범사업이 추진 중이며, 지능형 건설기계 실용화를 위한 '자동화 머신가이던스 시스템 가이드라인'을 마련하여 보급하고 있다. 일본의 경우 4차 산업혁명 대응을 위한 20개 생산성 혁명 프로젝트를 발표하고 건설기계 분야는 I-Construction으로 건설 자동화 기술 개발 및 도입 촉진 정책을 추진중에 있다. 국내에서도 이러한 규제, 제도 및 기준에 대한 정립이 필요하다. 또한 판매·구매·운행을 고려하여 수요창출을 위한 스마트 제품 우대, 보조금 지원과 같은 제도 개선도 필요하다
- **(시장구조)** 국내 건설 시장은 건설현장의 최종 사용자(건설사)와 장비 소유자(임대사업자)가 직접적인 의사소통이 어렵고, 복잡한 협력 구조로 되어 있어 생산성 향상 및 FMS 구성의 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 유관 산업체의 협업을 통해 가치를 공유하고 중소기업의 역량을 강화해야 한다. 또한, 국내의 시장 규모가 적어 굴착기 외의 주력기종을 다양화하고 수출 가능한 제품군을 개발하여 글로벌 시장 규모를 확보하여 건설산업의 지속적 성장을 추구해야 한다.
- **(솔루션 확보)** 자율작업/주행 기술과 FMS기술이 융합된 기술 개발이 필요하며 향후 이러한 기술을 서비스 산업으로 확장이 필요하다. 이를 통해 글로벌 시장에서의 기술 선점 및 규모의 경제를 구현할 필요가 있다.
- **(인프라)** 스마트 건설기계 성장의 저해요인으로 인프라구축이 미비한 점을 들 수 있으며, 이러한 요인 극복을 위해서는 정부차원의 지속적 지원이 필요할 것으로 보인다.
- **(핵심부품)** 현재 스마트 건설기계, FMS 등에 사용되는 대부분의 핵심부품 및 기술은 해외의 제품 및 기술을 사용하고 있다. 이러한 센서, SW 기술 등에 대한 기술 개발이 필요하며, 건설장비에 적용하여 실증이 가능하도록 지속적 투자가 있어야 한다.

사업기획혁신팀

이정우 팀장	042-712-9130	jwlee@keit.re.kr
황수언 연구위원	042-712-9131	sehwang@keit.re.kr
김정욱 책임	042-712-9150	kimjungok@keit.re.kr
김윤수 선임	042-712-9151	ZOSEL@keit.re.kr
김태규 수석	042-712-9134	econo92@keit.re.kr
최서진 선임	042-712-9140	choisj@keit.re.kr

주력 산업분야

☑ 전기수소차	이병현 PD	042-712-9324	gear1@keit.re.kr
☑ 자율주행차	서재형 PD	042-712-9322	sjhbjj@keit.re.kr
☑ 조선해양	류민철 PD	042-712-9323	okpo6000@keit.re.kr
☑ 첨단기계	박근석 PD	042-712-9325	gspark@keit.re.kr
☑ 첨단장비	심창섭 PD	042-712-9321	caleb92@keit.re.kr
☑ 로봇	우현수 PD	042-712-9316	heshell@keit.re.kr
☑ 우주항공	박 환 PD	042-712-9317	liftoff@keit.re.kr

첨단·융합 산업분야

☑ 바이오	김형철 PD	042-712-9313	hckim@keit.re.kr
☑ 지식서비스	김돈정 PD	042-712-9319	jamesdon@keit.re.kr
☑ 디자인	이태림 PD	042-712-9311	lilia@keit.re.kr
☑ 의료기기	박지훈 PD	042-712-9312	jihoon@keit.re.kr
☑ 이차전지	이정두 PD	042-712-9315	yjdoo@keit.re.kr
☑ 스마트제조	김도현 PD	042-712-9314	lgis30@keit.re.kr
☑ 스마트전자	변기영 PD	042-712-9318	gybyun@keit.re.kr
☑ 시스템 반도체	김진섭 PD	042-712-9309	keti3@keit.re.kr
☑ 반도체 공정장비	이정호 PD	042-556-9504	plasma@keit.re.kr

공급망 산업분야

☑ 화학공정	한정우 PD	042-712-9306	jwhan@keit.re.kr
☑ 섬유	윤석한 PD	042-712-9302	ysh@keit.re.kr
☑ 세라믹	이건훈 PD	042-712-9308	khoony17@keit.re.kr
☑ 탄소·나노	최경호 PD	042-712-9310	khchoi@keit.re.kr
☑ 뿌리기술	이병현 PD	042-712-9307	bhlee@keit.re.kr
☑ 디스플레이	박영호 PD	042-556-9501	yhopark@keit.re.kr

연구개발에서 사업화까지  
한국산업기술평가관리원이  
기업의 성장 속도에  
힘이 되겠습니다

때로는 과감하게,  
때로는 신중하게,  
기업들이 안전하게 성공하도록  
기술 개발에 모든 과정마다  
튼튼한 조력자가 되어드립니다  
KEIT와 함께  
기업의 성장과 국민의 행복에  
끝까지 완주하세요

R & D



**KEIT**  
ISSUE REVIEW

발행일  
2023년 6월

발행처  
한국산업 기술평가관리원(KEIT)  
주소: (대구본원) 41069 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동 1152) Tel. 053-718-8114  
(대전본원) 35262 대전광역시 서구 문정로 48길 48(탄방동 647) 계룡빌딩 3층 Tel. 042-712-9300~5  
홈페이지: www.keit.re.kr

ISBN  
2234-3873

이 책자의 저작권은 한국산업기술평가관리원에 있습니다. 무단전재와 복제를 금합니다.



기술주도 혁신성장,  
기술기반 산업강국을  
향해 나아갑니다

- 첨단산업 성장기반  
기술확보
- 미래전략산업 초격차 기술 확보
  - 4차 산업혁명 선도기술 기반 강화
  - 생명-안전-재난 대응 유망기술 확보



- 주력산업의  
기술고도화 촉진
- 제조업 고부가가치화 촉진
  - 차세대 모빌리티 혁명 기술 리드
  - 공급망 선도기술 확보



- R&D 혁신 생태계  
강화
- 도전적-혁신적 R&D 강화
  - 혁신기업의 성장잠재력 확충
  - 성과중심 R&D 시스템 강화



- 성과중심 경영시스템  
정착
- 기관운영의 효율성 제고
  - 경영혁신 기반 강화
  - ESG 경영체제 확립