

## 스마트랩② - 국내외 사례

[애자일] KIAT 산업기술정책단 정책기획실(24.11.21)



- ◆ 스마트랩은 AI, 로봇, 자동화 시스템, 클라우드 기반 원격 실험 등을 활용하여 제약, 반도체, 에너지, 나노 소재 분야의 연구 범위와 효율성을 크게 확대하고 있음
- ◆ 우리나라에서도 연구개발 과정에 AI 기술을 접목하는 정책을 추진하고 있어, 이를 통해 공공연구 기관을 넘어 산업계로 스마트랩을 확산시키는 기술혁신 정착 필요

### 1. 국내 스마트랩 사례

#### ● 기업 연구소

- (JW중외제약) 신약후보물질 발굴을 위해 AI 기술을 보유한 유망 바이오 기업\*과 오픈이노베이션을 통해 R&D 플랫폼 구축, 합성연구 분야에서 AI를 활용하여 원료의약품 연구개발\*\* 추진1)

\* 온코크로스(랩터 AI), 디어젠(DEARGEN iDears) 등 협업

\*\* 독일 머크라이프사이언스와 업무협약을 체결하고 문헌조사부터 최적화 연구까지의 기간을 30% 단축하고 있으며, 자동화 원료합성 분야에서는 로봇 도입을 통해 스마트랩 환경 구축

#### [JW중외제약 AI 플랫폼 결합 연구]

분야	시기	오픈이노베이션 대상	AI 플랫폼	적용 분야
신약 연구	2021년 11월	신테카바이오	답매처	신규 First-in-Class 공동개발
	2022년 3월	온코크로스	랩터	신약후보물질 발굴 신규 적응증 탐색
	2022년 6월	디어젠	DEARGEN iDears	신약후보물질 발굴 신규 적응증 탐색
	2022년 11월	美 큐어에이아이 테라퓨틱스	암 환자 유전체 분석 바이오마커 탐색 플랫폼	신규 항암신약 개발
합성 연구	2023년 1월	獨 머크 라이프사이언스	신시아	신약 원료의약품 연구 스마트랩 환경 구축

※ 자료 : JW중외제약, 신약연구에서 합성연구까지 AI 적용 디지털 전환으로 스마트랩 환경 구축, 2023.02.10.

1) JW중외제약, 제약사가 만드는 지속가능한 미래 ... AI 속에 '해답' 있다, 2024.01.26.

- (삼성전자 반도체 인도 연구소, SSIR) 인도 벵갈루루에 소재한 동 연구소는 삼성전자 메모리 및 반도체 설계 기술 R&D 센터로 키사이트테크놀로지社의 시그널링 필드 투 랩(Signaling Field-to-Lab, S-FTL) 솔루션 도입<sup>2)</sup>

\* 솔루션은 테스트랩 환경에서 5G 현장 문제의 재현, 분석, 해결을 가속화해 로그분석, 테스트 케이스 생성 등에 걸리는 시간을 크게 단축하고 최종 사용자 QoE 등 문제해결에 중점

#### [자동화 SW 기반 칩셋·디바이스 테스트 솔루션]



※ 자료 : e4ds, 키사이트, 삼성반도체 인도 연구소에 5G 솔루션 제공, 2024.07.23.

- (한국타이어) AI 기술을 적용한 ‘버추얼 컴파운드 디자인(VCD)’ 시스템을 도입해 타이어 개발, 특히 컴파운드<sup>3)</sup> 디자인에 적용<sup>4)</sup>

\* 사전에 축적된 데이터를 AI 기술로 분석해 컴파운드의 특성 예측, 시제품 생산, 테스트를 진행하지 않고도 최적 조합 발굴

\* 디지털 트윈을 만들어 가상 시뮬레이션을 통해 도출된 결과를 현실에 반영해 컴파운드 개발 기간을 최대 50% 단축

\* 이외에도 시로 보강한 로보틱 프로세스 자동화(RPA) 시스템 도입을 통해 연구 개발 과정에서 발생하는 단순 또는 반복 업무를 대행

#### ● 정부 출연 연구기관

- (한국에너지기술연구원) 위험하고 복잡한 촉매 개발 실험 전주기 공정(촉매 합성-분석-반응)을 자동화하는 스마트 실험실 구축

\* 촉매 구조 분석부터 샘플링, 생성물 분석, 일련의 데이터 수집과 보관까지 자동으로 수행, 데이터에 AI 학습시켜 활용성 제고

\* 합성연료를 만드는 실험 중 가장 난이도 높은 고온·고압 반응기 자동 샘플링 시스템 개발

2) e4ds, 키사이트, 삼성반도체 인도 연구소에 5G 솔루션 제공, 2024.07.23.

3) 컴파운드는 타이어 제조를 위해 천연고무와 합성고무, 카본블랙 등 원재료를 혼합해 만든 고무 복합체를 지칭. MTN 뉴스, ‘시가 만드는’ 한국타이어, 연구개발에 미래기술 적용, 2024.08.23. 참조

4) MTN 뉴스, ‘시가 만드는’ 한국타이어, 연구개발에 미래기술 적용, 2024.08.23.

[한국에너지기술연구원 스마트 실험실 개요]

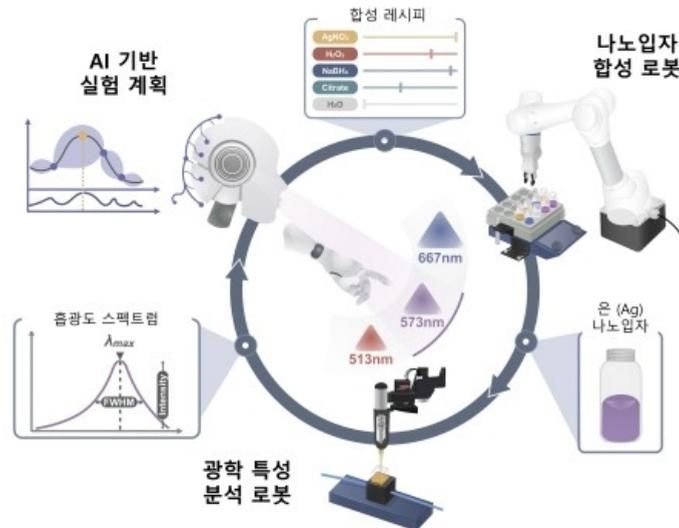


※ 자료 : Energium, 위험하고 복잡한 촉매 실험, 인공지능·자동화로 해결한다, 2024.01.18.

- (한국과학기술연구원) AI와 로봇을 활용하여 사람의 개입 없이 1년 365일, 24시간 동안 맞춤형 나노 소재를 스스로 개발하는 스마트연구실 구축<sup>5)</sup>

- \* 로봇이 실험실을 돌아다니며 나노 입자를 합성하고 연구자가 원하는 소재의 물성을 입력하면 나노 입자 합성에 나서고, 정확히 입자의 광학적 특성까지 측정해 요구 물성을 정확히 충족함
- \* 사람이 1만번 시도해 내놓을 결과를 스마트연구실은 200회 정도면 도출 가능

[한국과학기술연구원의 AI 로봇을 활용한 Closed-loop 실험 단계 개념도]



※ 자료 : 헤럴드경제, “AI+로봇, 사람없이도 24시간 가동” 효율 500배 ↑ …‘스마트연구실’ 등장, 2024.04.04.

5) 헤럴드경제, “AI+로봇, 사람없이도 24시간 가동” 효율 500배 ↑ …‘스마트연구실’ 등장, 2024.04.04.; Lab Horizons, The Smart Labs Are Here, and they’re Making Nanomaterials to Order, 2024.05.17.; KIST, Smart labs for bespoke synthesis of nanomaterials are emerging, 2024.05.07.

## 2. 해외 스마트랩 사례

### ● 미국

- (카네기멜론대학교 클라우드랩, Cloud Lab)<sup>6)</sup> 미국 카네기멜론대학교(Carnegie Mellon University, CMU)는 에메랄드 클라우드랩(Emerald Cloud Lab, ECL)<sup>7)</sup>과 파트너십을 체결하여 세계 최초의 대학 클라우드랩(Cloud Lab) 구축

- \* 사용자가 자신의 컴퓨터에서 원격으로 생명과학 및 화학 연구실 전체를 제어할 수 있는 세계 최초의 대학 클라우드랩으로 24시간 365일 운영되며, 200개 이상의 과학기기를 원격으로 제어가 가능하며, 최대 100가지 이상의 실험 동시 진행 가능<sup>8)</sup>
- \* 4,500개 이상의 강력한 데이터 시각화, 분석 및 시뮬레이션 기능을 사용하여 조사하고 학습할 수 있는 풍부하고 포괄적인 데이터 세트 생성
- \* 연구자들은 실험 설계, 데이터 입력 및 출력, 데이터 공유 등을 컴퓨터를 통해 제어할 수 있으며, 이 실험실은 화학, 생명 과학, 재료 과학 등 다양한 연구 분야 지원
- \* 1주일간 학습시킨 로봇으로 자기공명진단 조영제 후보물질 발굴 연구에 활용

[CMU 클라우드랩 시설]



[CMU 자동화 프로세스]



※ 자료 : Carnegie Mellon University College of Engineering, AI Coscientist automates scientific discovery, 2023.12.20.

6) Carnegie Mellon University, Carnegie Mellon University and Emerald Cloud Lab to Build World's First University Cloud Lab, 2021.08.31.

7) 카네기멜론대학교 출신의 브라이언 프레자(Brian Frezza)와 DJ 클라인바움(DJ Kleinbaum)이 설립한 샌프란시스코 소재 클라우드랩으로 상업용 클라우드랩 플랫폼에 기반하고 있으며, 실험 설계에서 데이터 수집 및 분석에 이르기까지 일상적인 실험실 작업의 모든 측면을 처리할 수 있는 유일한 원격 운영 연구 시설 구축. 에메랄드 클라우드랩은 카네기멜론대학교 클라우드랩에 10년간 1억 달러를 투자하여 기술 개발한 ECL 소프트웨어 아키텍처(상업용 클라우드랩 플랫폼)를 기반으로 구축. ECL 플랫폼을 사용하면 연구자는 AI 기반 설계 도구의 도움을 받아 명령 기반 시스템을 사용하여 매개변수를 입력하여 온라인으로 실험 지시가 가능하고 실험실에서는 로봇 계측기와 숙련된 운영 인력이 연구자의 지시에 따라 정확히 실험을 수행하며, 결과 데이터는 과학자가 언제든지 액세스할 수 있는 클라우드 기반 서버로 전송. 클라우드에서 생성된 모든 데이터는 생성에 사용된 실험 명령셋에 구성되고 연결되므로 데이터에 액세스하고 공유할 수 있으며 버튼을 눌러 재현 가능. Emerald Cloud Lab, <https://www.emeraldcloudlab.com/>

8) Carnegie Mellon University Cloud Lab, The Future of Automated Science is at CMU, <https://www.cmu.edu/future-of-science/cloud-lab/index.html>

- **(코사이언티스트, Co-Scientist)** 카네기멜론대학교 연구자들이 에메랄드 클라우드랩과 협력을 통해 개발한 AI 기반의 자동화 실험 시스템으로 실험을 자동으로 실행하고 데이터를 분석하여 과학적 발견 지원<sup>9)</sup>
  - \* OpenAI의 GPT-4와 Anthropic의 Claude를 포함한 대규모 언어 모델(LLM)을 사용하여 간단하고 평범한 언어 프롬프트로 실험 전 과정 시행
  - \* 예를 들어, 사용자가 특정 조건에 맞는 화합물을 찾아달라고 Coscientist에게 요청할 경우 동 시스템은 인터넷, 문서 데이터 및 기타 사용 가능한 소스를 검색하고, 정보를 종합하고, 로봇 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(API)를 사용하는 실험 과정을 선택한 후 실험 계획이 자동화된 기기로 전송되어 완료
  - \* Coscientist 시스템은 새로운 화학 물질을 합성하는 방법을 빠르게 개선할 수 있는 새로운 접근을 가능하게 하기 때문에 다른 사용자들이 이러한 시스템으로 생성된 데이터셋을 신뢰할 수 있고, 복제 가능하며, 재현 가능하고 재사용할 수 있어 그 영향력이 커질 전망<sup>10)</sup>

## ● 독일

- **(Evonik 스마트랩) Evonik<sup>11)</sup>**은 연구개발(R&D)에서 효율성과 디지털화를 증진하기 위해 다수의 혁신적인 스마트랩 이니셔티브 추진
  - \* (사례 1) 코팅 제형 테스트를 위한 완전 자동화된 신규 공장을 통해 최적의 제형을 찾는 노력을 가속화<sup>12)</sup>
    - \*\* Evonik 공장에는 30개 기능으로 결합된 52개의 요소가 구성되어 있으며, 각 기능은 특정 작업(기판에 코팅 제형 적용 등)을 처리하도록 설계되었으며, 각 구성요소는 플랜트의 모든 부분을 통과하는 레일 시스템으로 연결
    - \*\* 레일 시스템에서 컨테이너와 기판은 셔들을 통해 운반되며, 셔들을 적재하거나 코팅된 기판을 오븐에 넣는 등 로봇이 13대가 다양한 활동을 수행
    - \*\* '16년부터 1년에 걸쳐 컨셉을 확정하고 현재 270억원을 투자해 활용 중이며 3~4명의 테크니션이 교대로 근무하여 장비 운영하는 한편, 연구원은 데이터 해석 및 실험 설계 담당
    - \*\* 일일 평균 220개의 샘플(연중 무휴 80,000개)을 실험 진행했으며, 이는 통상적인 연구원 실험(10개/일) 대비 20배 빠른 수치
  - \* (사례 2) 문서작성 간소화, 연구 결과의 용이한 검색, 사내 다양한 부서간 협업 강화 등을 위해 전자실험실노트(Electronic Laboratory Notebook)를 도입하였으며, 이 이니셔티브는 60명의 참여자를 대상으로 시범 운영<sup>13)</sup>
    - \*\* 전자실험실노트는 다양한 실험실 장비를 통합하고 관리적 부담을 줄여 과학자들이 실험을 계획, 실행, 문서화하는 과정을 더 효율적으로 만들고 향후 종이 없는 실험실 환경을 조성하는 중요한 단계로서 추진

9) SciTechDaily, Automating Scientific Discovery: Carnegie Mellon's AI Coscientist Transforms Lab Work, 2023.12.20.

10) Carnegie Mellon University College of Engineering, AI Coscientist automates scientific discovery, 2023.12.20.

11) 독일의 특수화학 회사인 Evonik은 33,000명 이상의 종업원이 전 세계 100개국 이상에서 활동하고 있으며 '23년 매출 규모는 153억 유로 수준

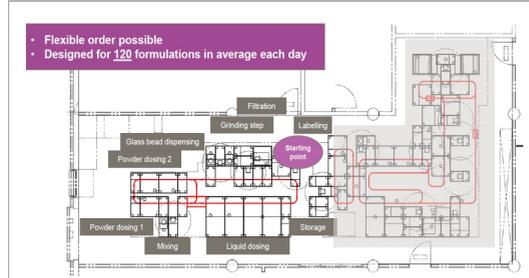
12) EVONIK, Speed circuit for coating formulations shortens development time, 2017.03.07.; LG화학, R&D 생산성 제고 및 안정성 확보를 위한 Smart Lab 적용 사례, 2023.07.21.

13) EVONIK, A step closer to the paperless laboratory  
<https://corporate.evonik.com/en/a-step-closer-to-the-paperless-laboratory-23374.html>

[EVONIK의 내부시설]



[EVONIK 공정도]



※ 자료 : EVONIK, Speed circuit for coating formulations shortens development time, 2017.03.07.; LG화학, R&D 생산성 제고 및 안정성 확보를 위한 Smart Lab 적용 사례, 2023.07.21.

- (BYK 스마트랩) 코팅, 플라스틱, 접착제 및 기타 산업용 첨가제를 생산하는 기업으로 스마트 랩을 통해 실험 과정 자동화<sup>14)</sup>

- \* 베젤(Wesel)에 약 2,500만 유로의 비용이 소요되는 최첨단 혁신, 실험실 및 세미나 복합 단지를 건설 중으로 '28.2분기 완공 예정
- \* 동 시설은 100% 재생에너지를 사용하여 난방 및 냉방을 제공하며, 열 회수 시스템과 태양광 시스템을 통해 에너지 효율성 극대화

● 영국

- (AI for Chemistry Hub) 리버풀대학교(University of Liverpool)와 임페리얼칼리지런던 (Imperial College London) 주도로 화학 연구에 AI 기술을 적용하여 혁신적인 발견을 이루기 위해 1,200만 파운드의 예산 투입하는 연구허브<sup>15)</sup>

- \* 화학 분야에서 AI 도입률을 높이기 위해 국책연구기관인 공학·물리학연구협의회의(Engineering & Physical Sciences Research Council, EPSRC)와 컨소시엄 파트너의 합작 투자
- \* 9개 영국 대학(리버풀대학교, 임페리얼칼리지런던, 벨파스트퀸스대학교, UCL, 케임브리지 대학교, 맨체스터대학교, 옥스퍼드대학교, 사우샘프턴대학교, 스트라스클라이드대학교)의 전문가와 15개 산업파트너가 공동 협력
- \* 리버풀대학교 재료혁신공장(MIF)<sup>16)</sup>과 임페리얼칼리지런던 디지털분자설계 및 제작연구소(DigiFAB)<sup>17)</sup> 등 활용

14) BYK, BYK Additives plans cutting-edge innovation, laboratory, and seminar complex in Wesel, 2024.03.22.

15) University of Liverpool, Artificial Intelligence for Chemistry hub  
<https://www.liverpool.ac.uk/research/artificial-intelligence-for-chemistry/>

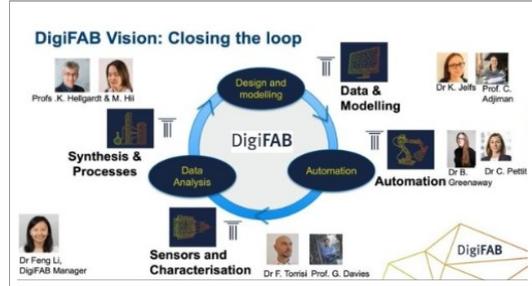
16) 리버풀대학교의 재료혁신공장(Materials Innovation Factory, MIF)은 새로운 소재의 발견 프로세스를 크게 가속화하고 기후 변화, 깨끗한 물, 배터리 에너지 저장을 포함한 다양한 글로벌 과제에 대한 잠재적 솔루션을 제공하도록 설계된 8,100만 파운드 규모의 시설로 세계 최고의 재료 화학 전문 지식과 최신 컴퓨팅 및 로봇 장비를 결합하여 연구를 가속화하고 다양한 사회적 문제를 해결할 수 있는 신제품을 개발하는 데 걸리는 시간을 단축.  
 University of Liverpool, Unique facilities, purpose-built for innovation  
<https://www.liverpool.ac.uk/materials-innovation-factory/>

17) 임페리얼칼리지런던의 디지털분자설계 및 제작연구소(Institute for Digital Molecular Design and Fabrication, DigiFAB)는 느리고 노동 집약적인 수동 방식에서 벗어나 제4차 산업 혁명이 주도하는 발전을 활용하고 학계와 산업 파트너와 협력하는 고도로 자동화된 데이터 중심 접근 방식으로 전환하여 화학 설계, 발견 및 제조를 혁신하기 위해 설립. 느리고 노동 집약적인 수동 방식에서 벗어나 제4차 산업 혁명이 주도하는 발전을 활용하는 고도로 자동화된 데이터 중심 접근 방식으로 화학 설계 및 제조를 혁신. Imperial, The Institute for Digital Molecular Design and Fabrication - DigiFAB  
<https://www.imperial.ac.uk/digital-molecular-design-and-fabrication/>

[MiF의 수행로봇]



[DigiFab의 비전]



※ 자료 : AZO Robotics, How Robotics and Lab Automation Unlock Chemistry and Advanced Materials Research and Innovation, 2021.08.20.; Royal Society of Chemistry, Institute for Digital Molecular Design and Fabrication (DigiFAB) Launch Event, 2021.06.01.

● 일본

- (이화학연구소(RIKEN) 무인실험실) 시와 로봇을 활용해 세포를 자율적으로 배양하는 바이오 분야 무인 실험실 운영<sup>18)</sup>
  - \* 이화학연구소는 '20년 코로나19로 인해 실험실 가동이 어려워지자 휴머노이드형 로봇 마호로에 AI 소프트웨어를 결합해 인간 유래 세포를 현미경으로 관찰하고 세포증가 속도를 예측해 일정 밀도가 만들어지면 새로운 살레에 옮기는 작업 반복을 실시
- (시마즈 자율랩) 시마즈 코퍼레이션(Shimadzu Corporation)은 고베대학교와 협력해 유전체 편집을 통한 의약품 원료 생산연구를 자동화하는 자율랩 운영<sup>19)</sup>
  - \* 2m 높이의 다관절로봇을 도입해 이 로봇이 질량분광계와 원심분리기 사이를 오가며 미생물과 시약 운반
  - \* 다관절로봇은 10명분의 작업을 수행하며, 시는 실험데이터를 읽고 시약농도와 미생물에 삽입될 유전자 유형정보 제공 지원

[RIKEN의 실험 로봇 모습]



[시마즈의 자율랩 프로토타입]



※ 자료 : HelloDD.com, AI·로봇 연구원 24시간 실험도 'OK'... '무인연구실' 현실?, 2022.01.18.; SHIMADZU, Elevating experimental design through automation, 2023.11.14.

- 18) 이화학연구소, 휴머노이드 로봇과 AI에 의한 자율 세포 배양, 2020.12.04.(理化学研究所, ヒューマノイドロボットとAIによる自律細胞培養, 2020.12.04.); HelloDD.com, AI·로봇 연구원 24시간 실험도 'OK'... '무인연구실' 현실?, 2022.01.18.
- 19) Shimadzu Coporation, 시마즈제작소와 함께 세계 최초의 로봇 대응 LC와 LC-MS를 포함한 자율실험시스템의 유용성 검증, 2021.12.10.(Shimadzu Coporation, 世界初のロボット対応LCとLC-MSを含む「自律型実験システム」を島津製作所と有用性検証, 2021.12.10.); HelloDD.com, AI·로봇 연구원 24시간 실험도 'OK'... '무인연구실' 현실?, 2022.01.18.

### 3. 시사점

- 스마트랩은 실험실 환경에서 AI, IoT, 데이터 분석 기술을 활용하여 실험의 정밀성과 효율성을 높이면서 연구 생산성 향상과 혁신적 결과 도출 가속화
  - 아직까지는 사람에 의존하던 반복적인 실험을 로봇과 AI를 결합해 대체하는 자동화가 중점적으로 이루어지고 있으나 향후에는 완전 자동화된 통합 플랫폼을 기반으로 AI를 활용한 통한 고급 데이터 분석, 실시간 모니터링, 맞춤형 실험 환경 제공, 디지털 트윈 기술 구현 등으로 더욱 고도화될 전망
  - 스마트랩은 연구개발이나 실험에 소요되는 시간을 대폭 단축하고 원거리 협력을 가능하게 함으로써 과학기술 혁신을 가속화하는 한편, 스마트랩 장비, SW, 시설 등 그 자체로 새로운 시장이 창출될 전망
  - 영국, 일본 등은 이러한 점에 주목하여 셀프드라이빙랩 구축, 실험 자동화 및 데이터 분석 고도화 등에 대한 정부 지원을 적극 실시
- 우리 정부 역시 과학기술정보통신부를 중심으로 연구개발 과정에 AI, 디지털트윈 등의 디지털기술을 접목하여 기술혁신을 가속화하는 정책 실시 중<sup>20)</sup>
  - 디지털 바이오, 디지털 소재, 데이터 기반 연구장비 실험 등 연구분야별 특성에 따라 디지털 융합 고도화 전략을 수립하고, 로봇 소재실험, 인공지능 기반 바이오 공정 자동화 등 실험실 단위에 디지털 기법을 접목한 지능형 실험실 구축한다는 계획
- 그러나 이러한 정책은 우선 국가 재원이 투입되는 공공연구기관 등 비영리 연구기관을 중심으로 하고 있어 향후 이를 산업계로 확산시킬 수 있는 방안 마련 필요
  - 기초연구 이외에도 실험, 시제품, 실용화 단계에서도 스마트랩이 확산될 수 있도록 기업 공동활용이 가능한 기구축 장비·시설을 자동화·디지털화하는 한편, 중견·중소기업의 스마트랩 구축을 적극 지원할 필요
  - 스마트랩을 구성하는 장비, AI 소프트웨어, 통합 플랫폼 등에 대한 연구개발 및 상용화를 지원함으로써 글로벌 스마트랩 시장에서 우리나라의 지위를 공고히 할 수 있는 방안 필요

20) 과학기술정보통신부, 연구개발 디지털화 촉진방안 발표, 2022.09.20.

- 이러한 측면에서 최근 산업통상자원부가 발표한 「AI + R&D 추진전략」<sup>21)</sup>이 산업계에 중요한 해결방안을 제시할 수 있을 것으로 판단됨
  - AI를 연구개발(R&D) 및 산업혁신 동력으로 활용하며, 단편적인 AI 활용이 아니라 R&D와 관련한 생태계 전반에 AI를 심는 것을 목표로 하고 있음
  - R&D 생산성 저하, 연구인력 부족, 기술 패권 경쟁 등 우리 산업이 당면한 문제를 전산업에 AI를 적용함으로써 해결하고자 하는 방안 제시
  - 가장 주목되는 부분은 'AI 기반 연구설계 솔루션'과 'AI 자율실험실'로, R&D 분야에 AI를 도입함으로써 시간과 비용을 줄여 낮은 R&D 생산성을 높이고, 파괴적 성과 창출 기대

[AI 기반 연구설계 솔루션]

[자율실험실 AI]



21) 산업통상자원부, 산업현장 기술혁신 가속화를 위한 「AI + R&D 추진전략」 발표, 2024.10.17.

## 〈참고문헌〉

- 과학기술정보통신부, 연구개발 디지털화 촉진방안 발표, 2022.09.20.
- e4ds, 키사이트, 삼성반도체 인도 연구소에 5G 솔루션 제공, 2024.07.23.
- Energium, 위험하고 복잡한 촉매 실험, 인공지능·자동화로 해결한다, 2024.01.18.
- HelloDD.com, AI·로봇 연구원 24시간 실험도 'OK'... '무인연구실' 현실?, 2022.01.18.
- JW중외제약, 제약사가 만드는 지속가능한 미래 ... AI 속에 '해답' 있다, 2024.01.26.
- LG화학, R&D 생산성 제고 및 안정성 확보를 위한 Smart Lab 적용 사례, 2023.07.21.
- MTN 뉴스, 'AI가 만드는' 한국타이어, 연구개발에 미래기술 적용, 2024.08.23.
- 한국타이어, 연구개발에 미래기술 적용, 2024.08.23.
- 헤럴드경제, "AI+로봇, 사람없이도 24시간 가동" 효율 500배 ↑... '스마트연구실' 등장, 2024.04.04.
- 理化学研究所, ヒューマノイド ロボットとAIによる自律細胞培養, 2020.12.04.
- Shimadzu Coporation, 世界初のロボット対応LCとLC-MSを含む「自律型実験システム」を島津製作所と有用性検証, 2021.12.10.
- BYK, BYK Additives plans cutting-edge innovation, laboratory, and seminar complex in Wesel, 2024.03.22.
- Carnegie Mellon University, Carnegie Mellon University and Emerald Cloud Lab to Build World's First University Cloud Lab, 2021.08.31.
- Carnegie Mellon University Cloud Lab, The Future of Automated Science is at CMU, <https://www.cmu.edu/future-of-science/cloud-lab/index.html>
- Carnegie Mellon University College of Engineering, AI Coscientist automates scientific discovery, 2023.12.20.
- Emerald Cloud Lab, <https://www.emeraldcloudlab.com/>
- EVONIK, A step closer to the paperless laboratory <https://corporate.evonik.com/en/a-step-closer-to-the-paperless-laboratory-23374.html>
- EVONIK, Speed circuit for coating formulations shortens development time, 2017.03.07.
- Imperial, The Institute for Digital Molecular Design and Fabrication – DigiFAB <https://www.imperial.ac.uk/digital-molecular-design-and-fabrication/>
- KIST, Smart labs for bespoke synthesis of nanomaterials are emerging, 2024.05.07.
- Lab Horizons, The Smart Labs Are Here, and they're Making Nanomaterials to Order, 2024.05.17.
- SciTechDaily, Automating Scientific Discovery: Carnegie Mellon's AI Coscientist Transforms Lab Work, 2023.12.20.
- SHIMADZU, Elevating experimental design through automation, 2023.11.14.
- University of Liverpool, Artificial Intelligence for Chemistry hub <https://www.liverpool.ac.uk/research/artificial-intelligence-for-chemistry/>
- University of Liverpool, Unique facilities, purpose-built for innovation <https://www.liverpool.ac.uk/materials-innovation-factory/>

※ 한국산업기술진흥원 산업기술정책단 정책기획실 이재진 선임연구원 / doublej@kiat.or.kr  
 ※ 본 자료에 수록된 내용은 작성자의 개인 의견으로 기관의 공식 견해가 아님을 밝힙니다.