



과학을 위한 AI(AI4SCIENCE) 연구의 패러다임을 바꾸다

AI for Science(AI4Science) Transforming the Research Paradigm

- 강호준 소프트웨어정책연구소 AI정책연구실 선임연구원 | hjk_rep@spri.kr
- 유재흥 소프트웨어정책연구소 AI정책연구실 책임연구원 | jayoo@spri.kr

EXECUTIVE SUMMARY

이 보고서는 인공지능(AI)이 과학연구의 전 과정에 가져온 혁신적 변화를 분석하여, AI 기반 연구 패러다임의 특성과 각 연구 단계별 활용 사례, 정책적 시사점을 제시하고자 하였다.

AI는 경험, 이론, 계산, 데이터 주도에 이은 제5의 과학 혁명의 핵심 동력으로, 인간 연구자의 인지적 한계를 보완하고 지식 창출 과정 자체를 재정의를 하고 있다. 특히 AI는 방대한 데이터에서 패턴을 발견하고, 학제 간 경계를 넘나드는 지식 연결을 수행하며, 가설 생성부터 실험 수행, 데이터 분석에 이르는 연구 전 주기를 통합적으로 지원하는 지능형 연구 동반자로 진화하고 있다. 이러한 변화는 연구의 속도와 규모를 기하급수적으로 확장시켰을 뿐만 아니라, 연구 접근성을 높여 고가 장비나 전문 지식 없이도 첨단 연구에 참여할 수 있는 환경을 만드는 데 기여하고 있다.

나아가 AI는 장기간 미해결로 남아있던 과학적 난제들을 해결하고, 인간이 상상하지 못한 새로운 연구 영역을 개척하며, 실시간 글로벌 협업을 가능케 하는 연구 인프라로 자리 잡고 있다.

이에 대응하여 우리나라도 산업 경쟁력의 원천인 과학기술 분야의 연구 효율성 제고와 세계적 연구 성과를 달성하는 데 AI를 적극 활용하는 정책 기반을 구축해야 한다. 이를 위해 AI 주도의 연구 패러다임을 재정립하고, 연구 단계별 AI 활용 가능성을 다방면으로 탐색할 필요가 있다. 아울러, AI의 기술적 한계와 오류 가능성에 대한 명확한 인식과 올바른 연구 윤리를 바탕으로 연구 현장에 활용할 수 있도록 정책적, 기술적 지원이 수반되어야 한다. 이를 바탕으로 과학기술 연구의 새로운 '운영체제'로서 과학기술 특화 AI 모델 개발, 연구 데이터 및 인프라 공유, 연구 산출물의 신뢰성 검증 기술 개발을 병행하여 안전하고 믿을 수 있는 모두를 위한 과학기술 AI(AI for Science & Technology) 실현 환경을 선도적으로 구현해야 할 것이다.

This report aims to analyze the transformative changes that artificial intelligence(AI) has brought to the entire scientific research process, presenting the characteristics of AI-driven research paradigms, use cases at each research stage, and policy implications.

AI serves as the core driving force of the fifth scientific revolution following empirical, theoretical, computational, and data-driven approaches, complementing the cognitive limitations of human researchers and redefining the knowledge creation process itself. In particular, AI is evolving into an intelligent research companion that discovers patterns in vast datasets, performs knowledge connections across interdisciplinary boundaries, and provides integrated support throughout the entire research cycle from hypothesis generation to experimentation and data analysis. These changes have not only exponentially expanded the speed and scale of research but have also contributed to creating an environment where cutting-edge research can be conducted without expensive equipment or specialized expertise by enhancing research accessibility.

Furthermore, AI is establishing itself as a research infrastructure that solves long-standing scientific challenges, pioneers new research domains beyond human imagination, and enables real-time global collaboration.

In response, South Korea must also establish a policy foundation that actively utilizes AI to enhance research efficiency in science and technology—the source of industrial competitiveness—and achieve world-class research outcomes. To this end, it is necessary to reestablish AI-driven research paradigms and explore the possibilities of AI utilization across various research stages. Additionally, policy and technical support must be provided to ensure proper application in research settings, based on a clear understanding of AI's technical limitations and potential for errors, as well as sound research ethics. Building on this foundation, we must proactively implement a safe and reliable AI for Science & Technology environment for all by developing science and technology-specialized AI models as the new 'operating system' for scientific research, sharing research data and infrastructure, and developing reliability verification technologies for research outputs.

I 연구 배경

1-1. 소프트웨어의 발전과 연구 혁신

○ 소프트웨어 기술의 발전은 연구자료 접근성 제고, 연구 생산성 도구 확대, 연구 데이터 공유 및 글로벌 협력 등을 촉진해 연구 생태계 활성화에 기여해 옴

- 인터넷과 소프트웨어의 확산은 자료 접근성과 연구 효율성을 제고
 - 인터넷 기반 학술 검색 엔진의 등장으로 연구자들은 문헌 탐색의 시간을 줄이고, 지식 통합에 집중할 수 있게 됨
 - * 온라인 학술 정보 검색 사이트인 Google Scholar는 2004년 출시된 이후 2025년 9월 기준 매월 1억 명 이상이 이용하는 사이트로 성장(Similarweb, 2025)¹
 - 논문 서지 관리, 각종 통계·데이터 분석 소프트웨어 및 온라인 기반 협업 소프트웨어 등이 도입되어 연구 생산성을 높이고 연구자 간 협업 활성화
 - * 1982년 최초의 서지 관리 소프트웨어 Reference Manager가 개발된 후 현재 EndNote, Zotero, Mendeley, RefWorks 등 다양한 서지 관리 SW가 연구자들 사이에서 필수 도구로 자리매김
 - * 1980년대 컴퓨터 비전문가도 쉽게 통계·데이터 분석을 할 수 있게 도와주는 소프트웨어(VisiCalc(1979), SPSS/PC+(1984), MS-EXCEL(1985) 등) 확산
 - * 2006년 출시된 온라인 기반 협업 소프트웨어인 Google Workspace(문서 작성, 원격 회의 도구 등 포함)는 2024년 기준 30억 명 이상이 사용 중²
- 분산 컴퓨팅은 연구 인프라의 공동 활용을 가능케 하여 글로벌 협력 촉진
 - 소프트웨어 최적화를 통해 대규모 컴퓨팅 자원이 필요한 모의실험(시뮬레이션) 등을 보다 효과적으로 수행함으로써 연구 혁신 달성
 - * 스탠퍼드대학교 한 연구팀이 Folding@Home 프로젝트³는 세계에 흩어진 개인 PC 기반 분산 네트워크 컴퓨팅⁴ 환경을 구축해 슈퍼컴퓨터급 시뮬레이션을 수행함으로써 초고난도 단백질 시뮬레이션 실현(Zimmerman et al., 2021)

¹ https://pro.similarweb.com/#/digitalsuite/websiteanalysis/overview/website-performance/*/999/1m?webSource=Total&key=scholar.google.com

² Google Workspace(2025.9.11. 접속), <https://workspace.google.com/learning/intl/ko-kr/why-google-workspace-kr?hl=ko>

³ 전 세계 자원봉사자들의 개인 PC를 연결해 작은 계산 단위로 분산 처리하여 슈퍼컴퓨터급 성능을 구현하는 분산 컴퓨팅 시스템으로, 팬데믹(2020년 3~4월)에는 최고 연산량이 1.22~2.43EF 규모에 도달(2025년 기준 세계 최고 슈퍼컴퓨터 1.74EF)

⁴ 여러 대의 컴퓨터를 네트워크로 연결해 한 가지 일을 나눠서 동시에 처리하는 기술 각 컴퓨터의 결과가 합쳐져 전체 결과 도출

- 쉽게 확보할 수 없는 대규모 데이터를 소프트웨어와 오픈 플랫폼을 통해 공유함으로써 다양한 국가의 연구자가 참여해 새로운 연구와 연구 재현성 검증, 신기술 개발에 활용할 수 있도록 기여

* 유럽 입자물리연구소(CERN)는 2010년부터 42개국 170여 개의 컴퓨팅 센터를 연결, 고성능 분산 컴퓨팅 시스템 구축 후 물리학자들에게 컴퓨팅 자원 제공

○ 소프트웨어를 통해 지식의 접근성 향상에 기여

• 고도의 전문 지식이 필요했던 과학적 문제들이 직관적 소프트웨어 인터페이스를 통해 일반인도 손쉽게 접근하여 연구에 기여할 수 있는 환경 마련

* (예시) 워싱턴대학교 연구팀이 2011년 에이즈 단백질 구조 예측을 위해 개발한 온라인 게임에 일반인 24만 명이 참여하여 10년간 미해결 난제를 3주 만에 해결(Khatib et al., 2011)

• 최근에는 첨단 컴퓨팅 기술과 알고리즘 융합을 통한 학제 간 연구 확산

- 최신 컴퓨팅 기술과 알고리즘의 결합으로 획기적 과학 지식 발견

* (MIT-칼텍 공동연구) 고도화된 소프트웨어 신호처리 알고리즘과 컴퓨팅 기술을 물리학에 접목하여 아인슈타인 예측 중력파를 100년 만에 관측, 2017년 노벨 물리학상 수상(Abbott et al., 2016)

- 분산 네트워크 기술로서 클라우드가 핵심 컴퓨팅 기술로 자리매김하였으며 최근 차세대 기술로 양자 컴퓨팅이 부상

* (중국과학원⁵) 중국의 CSTCloud⁶는 중국과학원의 연구망을 묶어 2023년 기준 3.11PB⁷의 연구 데이터를 클라우드에 모아 공개하고 있으며 클라우드 기반 분석 도구를 활용해 연구 데이터를 같은 공간에서 계산·분석·공유까지 한번에 수행

* (Kipu Quantum과 IonQ) 양자컴퓨팅 기술⁸을 활용하여 양자화 실험을 통해 생물학 분야 최고 난제인 단백질 접힘 문제 최적화에 새로운 접근법 제시(Romero et al., 2025)

⁵ 중국과학원(Chinese Academy of Sciences, CAS)은 AI 연구에서 글로벌 최상위 기관으로 평가받고 있으며 2025년 네이처 인덱스(논문 영향력 평가 지수)에서 미국 하버드대학교를 제치고 2년 연속 1위

⁶ CSTCloud: 중국과학원에서 주도하는 국가급 연구 데이터·컴퓨팅 인프라로 연구 데이터 커먼즈 및 사이버 인프라를 제공하는 플랫폼

⁷ 중국인터넷네트워크정보센터(CNIC), (2023), Digital RI for Open Science: The National Practice in CSTCloud

⁸ 단백질 접힘을 격자 퍼즐 형태로 바꿔 각 방향 전환을 양자컴퓨터 큐비트에 담고, 양자컴퓨팅 알고리즘을 활용해 단계마다 힌트를 조정하여 최적화

1-2. AI가 가져온 연구 혁신

○ AI가 다양한 학문적 난제 해결로 인류 지식의 지평을 넓히는 중

- AI가 정보과학을 넘어 과학 분야 전반에 적용되며 난제로 여겨졌던 문제들을 해결할 수 있는 도구로 부상
- 생물학 분야에서 50년 난제로 여겨졌던 단백질 접힘 문제⁹를 AI 예측 모델을 활용해 해결하여 2024년 관련 연구자들이 노벨 화학상을 수상 [참고1]
 - 구글 딥마인드의 데미스 허사비스(Demis Hassabis), 존 점퍼(John M. Jumper)가 AlphaFold를, 데이비드 베이커(David Baker) 워싱턴대학교 교수가 RosettaFold를 개발해 단백질 구조 예측과 새로운 단백질 설계에 기여한 공로를 인정받음

○ 인간의 개입 없이 AI가 스스로 연구 전(全) 단계를 수행하기 시작

- 초기 수준이나 과학연구에서 인간의 개입이 없이 AI가 연구 전 단계에서 스스로 과학적 발견을 수행하는 단계에 진입
 - * (예) Sakana AI(2025)가 개발한 연구 AI 에이전트는 스스로 가설 제안, 실험 설계, 데이터 분석, 시각화, 논문 작성과 자동 피어리뷰(Peer Review)를 통해 논문을 반복적으로 개선하는 과정 수행 후 ICLR¹⁰ 워크숍에 논문 승인

○ AI 양강인 미국과 중국은 AI 활용한 과학기술 연구를 전폭 지원

- (미국) 국가 데이터 및 AI 컴퓨팅 자원을 결집하여 연구 커뮤니티에 공유
 - 미국 내 연구자, 특히 AI 및 과학 분야 연구자들에게 연방정부의 컴퓨팅 인프라, 데이터, AI 도구, 교육 및 지원을 제공하는 '국가 AI 연구 자원(NAIRR)' 프로젝트 추진
 - * 국가 AI 연구 자원(National AI Research Resource, NAIRR)¹¹ 프로젝트는 2020년 국가 AI 이니셔티브법에 따라 AI 연구와 혁신 가속을 목표로 11개의 연방 기관과 25개 이상의 민간 파트너(산업, 비영리, 자선단체 포함)가 참여해 2024년 1월부터 운영 중

⁹ 아미노산이 실처럼 길게 이어진 폴리펩타이드 사슬이 구부러지고 접혀서 고유의 3차원 입체 구조 형성 과정

¹⁰ ICLR(International Conference on Learning Representations) 인공지능 세계 3대 학회

¹¹ 국가 AI 연구 자원(National AI Research Resource, NAIRR): 미국의 인공지능 연구 생태계 조성을 위해 설계한 AI 연구 인프라 지원 프로그램

- (중국) 국가 주도로 과학 특화 AI 플랫폼(ScienceOne)을 개발 [참고2]
 - 중국의 대표적 국책 AI 연구기관인 중국과학원(CAS)은 과학기술 분야의 연구 전 단계를 지원하기 위해 과학특화 AI 플랫폼을 개발·배포
 - 과학연구 전반을 혁신하고 가속화하기 위해, 수학, 물리, 화학, 생물학, 천문학, 지구과학 등 6대 기초과학 분야를 아우르는 통합형 AI를 활용해 연구 패러다임 전환 및 융합 연구 지원

○ 이 보고서에서는 AI의 연구 혁신 현상의 다각적 분석 및 정책적 시사점 제시

- AI가 경험, 이론, 계산, 데이터 주도에 이은 제5의 과학 패러다임으로 부상하며 가져온 연구 생태계의 근본적 변화를 종합적으로 조망
- 연구의 전 주기(가설 형성 → 실험 설계 → 데이터 수집 → 데이터 분석)에 걸친 AI의 혁신적 활용 사례와 한계점 진단 후 인간과 AI가 협력하는 새로운 연구 생태계를 조성하기 위한 정책 방안 제시

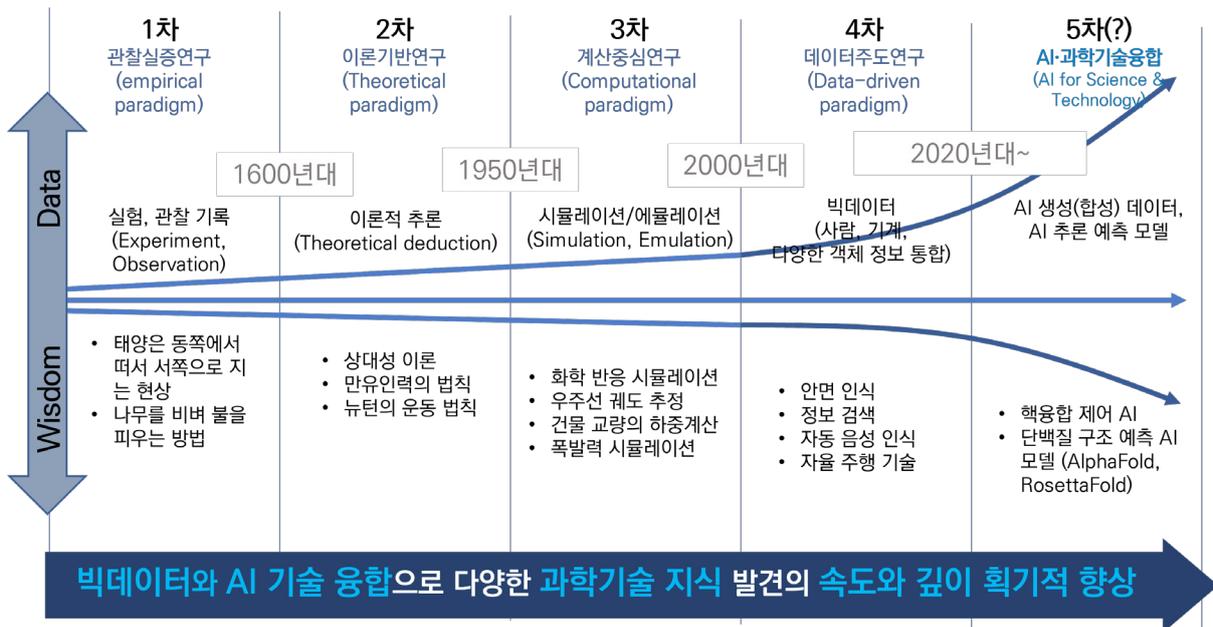
II AI가 이끄는 연구 혁신

2-1. 연구 패러다임의 전환: AI가 이끄는 5번째 과학 혁명

○ AI 시대의 과학연구 패러다임도 변화

- 인류의 과학적 발견은 경험에서 출발해 이론, 계산, 데이터에서 AI 주도 변화
 - 중국과학원의 연구진들은 AI가 여러 과학 분야에 적용되어 획기적인 발전을 이루고 기존 연구 패러다임으로 해결할 수 없었던 문제를 해결하는 연구 패러다임을 'AI4Science'로 명명(Xu et al., 2023)

[그림 2-1] AI가 불러온 연구 패러다임의 변화



출처: Xu et al, 2023 토대로 SPRI 재구성

2-2. 연구 단계별 AI의 혁신

1) 연구 단계 분류

○ 연구의 개념과 의미: 데이터에서 지식과 지혜를 발견하고 창출하는 과정

- 연구는 가설 형성, 실험 설계, 데이터 수집, 분석 등 연구 단계 거쳐 새로운 과학적 지식과 통찰을 창출하는 일련의 과정
- AI 시대의 연구는 빅데이터 해석을 통한 지혜의 창출로 패러다임 전환 중
 - “지혜”란 단순 정보나 지식을 넘어 의미 있는 해석과 예측까지 아우르는 고차원의 의사결정 역량
 - AI 시대의 연구는 “AI가 과학의 전 과정에 참여하여 인간과 협력적으로 연구를 수행하는 것”을 의미

○ 연구의 본질은 창의적이고 반복적인 탐구 과정

- 연구의 근본적 특성: 반복적 지식 창출
 - 연구는 기존 지식에 대한 비판적 검토 → 새로운 가설 수립 → 실험적/이론적 검증 → 타당성 평가의 순환 과정
 - 단계별로 얻은 결과는 이전 단계로 피드백되어 지속적으로 실패와 수정, 재시도를 통해 점진적으로 진리에 접근하는 반복적인 특성
- 연구의 창의적 본질: 미지의 영역 개척
 - 연구의 본질은 아직 존재하지 않는 지식을 창조하는 창의적 활동으로 기존 패러다임을 뛰어넘는 혁신적인 사고와 예상치 못한 연결고리 발견 필요
 - 서로 무관해 보이는 분야 간 융합을 통해 새로운 통찰의 창출이 필요

○ 연구 단계의 분류

- 연구 단계는 순차적 연구 진행의 맥락을 반영할 수 있게 구분
 - △연구 문제 및 목적 설정 △연구 접근법 선택 △연구 설계 계획 △자료 수집 △자료 분석 △결과 해석 등 일반적으로 6단계로 구분

- 이는 인간 중심의 전통적 연구 패러다임에서 각 단계별 명확한 구분과 순차적인 연구 진행이 필요했던 맥락을 반영(Creswell, 2017)
- AI4Science 시대를 맞아 전통적 연구 단계 간 경계 해체 및 통합적 접근법 등장하는 등 연구 패러다임도 변화
 - AI의 병렬 처리 능력과 실시간 피드백 시스템이 기존 선형적 연구 단계를 순환형 구조로 전환, 연구 단계 간 경계가 통합(Wang et al., 2023)
 - 새로운 AI 기반 연구 프레임워크는 가설 형성 △실험 설계 △데이터 수집 △분석의 4단계로 재구성할 수 있으며, 각 단계가 상호 연동되어 동시다발적 진행도 가능(Xu et al., 2023)
- 이 보고서에서는 AI 시대의 혁신적 연구 단계를 반영하여 4단계로 AI가 과학연구에 가져오는 근본적 변화와 혁신 사례를 체계적으로 분석·제시

2) 가설 형성 단계

○ (문헌 탐색) 방대한 문헌 탐색을 효율화하고 지식의 연결성을 식별

- 연구 출판물이 급증하는 상황에서 연구자들은 특정 주제와 관련성 있는 논문을 식별하고 논문 간 관계성 파악에도 어려움을 겪음
 - * 미국 국가과학재단(NSF(2023)) 따르면 전 세계 과학기술 분야 논문 출간 수는 2010년에 195만 편 → 2022년 334만 편으로 71% 증가
 - * 학술 출판 규모도 1950년 전 세계 저널 약 1만 종에서 2019년 8만 종으로 급증
- Trueblood et al.(2025) 연구결과에 의하면 연구자들은 매년 증가하는 논문 숫자가 연구자들에게 업무적 부담으로 작용한다고 보고
 - * 연구자들이 임용과 승진 시 필요한 연구 성과의 양적 평가가 연구자에게 더 많은 논문을 생산해야 한다는 강한 압박으로 작용한다고 분석
- AI는 연구자 의도를 파악하고 맥락적으로 관련된 문헌을 자동으로 추천해 줌으로써 연구 초기 문헌 조사 단계에서 효율성을 개선
 - * “좋은 논문을 찾고 쉽게 이해할 수 있는 방식으로 정보를 제시하는데 지금까지 사용했던 어떤 방법보다 낫다” (MIT 대학원생, Nature의 설문 조사 응답 중, 2025)

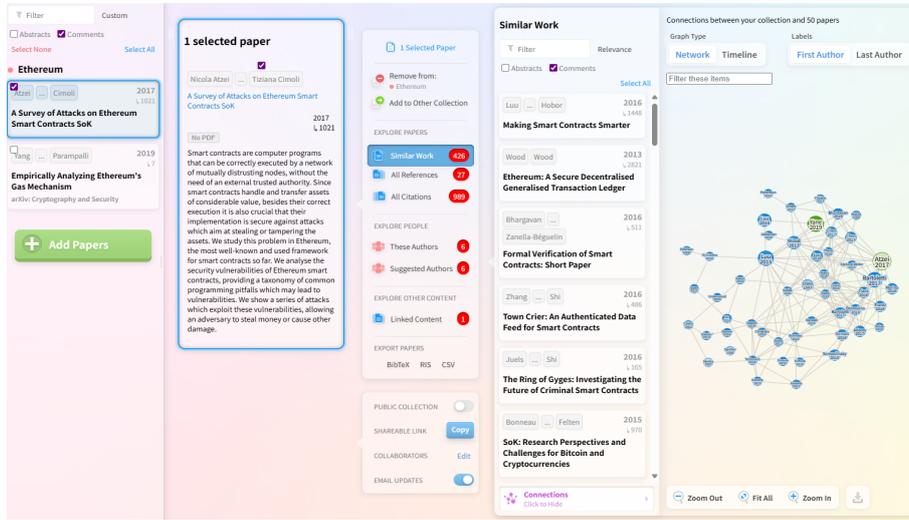
- 2010년 중반부터 연구 문헌 탐색을 지원하는 Semantic Scholar, Elicit, Perplexity, Research Rabbit 등 유·무료 AI 도구들이 등장 [참고3]

[표 2-1] 주요 AI 기반 문헌 탐색 도구 예시

구분	Semantic Scholar	Elicit	Perplexity	Research Rabbit
공개일	2015년	2023년	2022년	2021년
설립사	Allen Institute for AI(AI2)	Elicit, Public Benefit Company	Perplexity AI, Inc	Litmap Ltd
주요 기능 및 특징	AI 기반 논문 요약, 추천, 추출, 자동 요약 및 의미적 관계 분석, 세부 논문 통계	AI 기반 논문 검색·요약·텍스트·데이터 추출, 자동화 논문 리뷰 지원	실시간 웹검색+AI 대화형 질의·응답, 동적 검색/요약, 출처 자동 인용	시각적 논문·저자 네트워크 맵, AI 기반 추천·연관 논문 탐색, 컬렉션/공유/인용 트래킹
데이터 규모	2억 건 이상 논문	1억 2천만 건 이상 논문	실시간 웹+논문+뉴스	1억 건 이상
과금	무료	무료(일부 유료)	무료(일부 유료)	무료

- 실시간으로 웹과 논문, 뉴스와 대규모 논문 데이터베이스(DB)를 결합하여 연구의 최신 동향 파악 및 연구 공백 식별에 효율성을 높여줌
 - AI 기반 문헌 탐색 플랫폼들은 최소 1억 건 이상의 논문들을 검색하여 다양한 최신 연구뿐만 아니라 논문 간의 연결성을 빠르게 분석
 - 대표 참고 논문을 제시하면 AI가 요약, 논문들의 연간 관계를 시각화
 - * (예) Research Rabbit 플랫폼은 사용자가 핵심 논문(Key paper)을 제시하면 AI가 논문의 요약, 관련된 저자와 연계된 논문들의 관계성을 네트워크 형태로 시각화하여 핵심 논문을 기반으로 가장 연계성이 높은 논문들의 파악을 용이하게 함
- 하지만 동일 검색 조건에도 검색 시점에 따라 결과에 편차가 발생할 수 있으니 AI의 자동 스크리닝과 인간 연구자의 최종 검증을 결합한 접근 필요
 - * Bernard et al.(2025) 연구에서 Elicit을 활용한 문헌 탐색 시 매번 다른 숫자의 논문들이 도출되었음을 보고 (최초 탐색: 246건, 두 번째: 169건, 3회: 172건)
- 또한 AI 기반 문헌 탐색 도구들은 출판사의 공개 논문(Open access)과 저자 공개본에만 접근이 가능해 비공개를 포함한 전체 문헌군을 대표하기 어려움

[그림 2-2] Research Rabbit 논문 네트워크 그래프



출처: Research Rabbit(2025.9. 기준)

○ (아이디어 발굴) AI가 논문을 분석해 새로운 연구 주제와 아이디어 제안

- 대규모의 논문과 공공 데이터베이스를 지식 그래프(Knowledge graph)¹²로 만들어 더 큰 지식을 연결함으로써 창의적 주제 및 아이디어 발굴
 - 플로리다 주립대 연구팀은 논문 초록을 분석해 생의학 지식 그래프를 구축해 연구자가 관련 연구 파악을 쉽게 할 수 있도록 지원
 - * AI를 활용해 PubMed¹³에 올라온 3,400만 편의 논문 초록을 분석 후 구축된 지식그래프를 활용하여 COVID-19 팬데믹 기간 초기 두 달 동안 활용 가능한 약물 후보의 1/3을 발굴하였고 실제 임상 시험에서도 검증(Zhang et al., 2025)
- 최고 수준의 연구자들도 AI가 제안하는 아이디어들을 연구 단계에서 검토
 - 독일 막스플랑크연구소는 AI 기반 연구 아이디어 생성시스템인 SCiMuse를 구현하였고 리더급 연구자들도 일부 아이디어의 유용함을 인정
 - * Gu and Krenn.(2025)의 연구에서 GPT-4와 5,800만 편 규모의 과학 논문으로 구축된 지식 그래프를 결합하여 생성된 연구 아이디어를 연구소 그룹 리더 110명에게 평가하게 한 결과 4,451개의 제안 중 1,107개가 흥미롭다고 판단

¹² 다양한 정보를 관계 중심으로 엮어서 정리해 둔 지식관계의 망

¹³ 미국 국립 보건원 산하 국립의학도서관에서 운영하는 세계 최대의 생의학 학술 데이터베이스로 총 3,800만 개 이상의 생의학 논문을 보유 중

○ (AI 기반 가설 생성) AI가 학술 데이터를 기반으로 과학 분야 가설 생성 지원

- (가설 설계) AI가 대형언어모델(LLM)과 반복 학습을 통해 데이터에서 해석 가능한 가설을 자동으로 생성하고 검증
 - Zhou et al.(2025)는 AI를 활용해 초기 가설을 평가하고 개선하는 과정을 자동화하여 가설의 품질은 점진적으로 높이고, 이를 통해 숙련된 연구자도 놓칠 수 있는 새로운 가설을 AI가 발견할 수 있음을 보임
 - 다양한 분야의 연구에서 AI에게 전문 지식과 실험 데이터를 학습시키거나 연구자 네트워크 정보를 결합하여 가설을 생성한 결과 전문가 평가에서 준전문가 수준 이상의 품질을 보이는 가설 도출
 - * (천문학) 호주국립대학교와 유럽우주국 공동연구팀은 GPT-4에 천문학 논문 1천 편을 제공하여 60개의 가설을 생성 후 은하천문학 전문가가 평가하게 한 결과 생성된 가설 수준이 준전문가 급이라고 평가(Ciucă et al., 2023)
 - * (재료과학) Gottweis al.(2025)의 연구에서는 GPT-4를 활용해 재료과학 논문에서 추출한 실험 데이터 결과와 기존의 재료 특성과 합성 조건을 결합하여 가설을 생성했으며, 생성된 가설이 준전문가 수준에 해당한다고 평가

3) 실험 설계

○ (AI 기반 실험 설계) AI가 실험 설계를 도우며 최적화와 자율실험을 수행

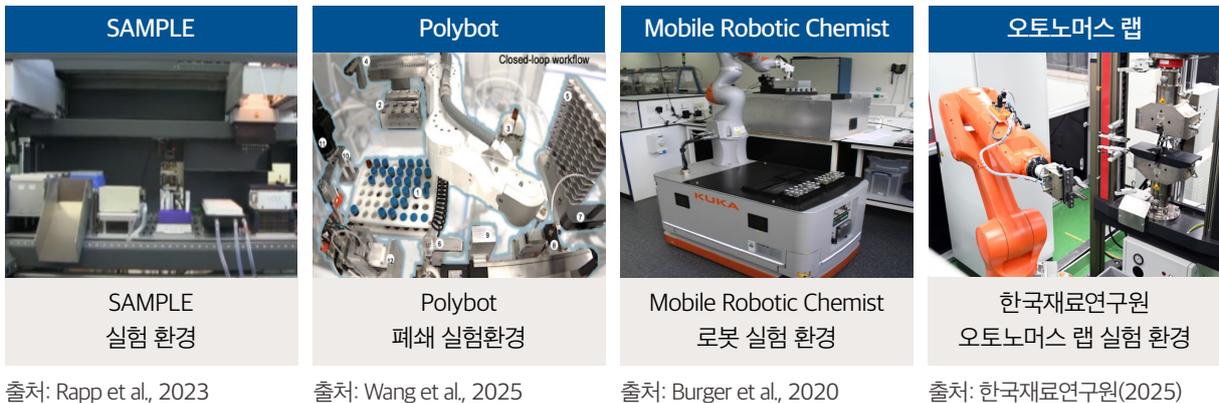
- (실험 설계) 연구 목표에 따라 실험 조건과 변수 조합을 자동으로 최적화
 - AI는 생물 바이오와 같은 복잡한 실험 설계에도 적용 가능성을 보임
 - * MIT와 브로드연구소의 연구(Narayanan et al., 2025)는 초기 실험 데이터를 바탕으로 AI를 활용해 세포·배아·배양 배지의 최적 조합을 예측하고, 다시 실험, 결과 분석을 반복한 결과 기존 실험 설계법 대비 3배 적은 실험으로 생존율 60 → 80%
 - 인간의 직관과 AI 기술을 결합해 실험 설계의 최적화도 시도
 - * 브록헤이븐 국립연구소와 미국 국립표준기술연구소 공동연구팀은 AI를 활용해 “인간의 직관”을 수치화해 실험 설계에 적용, 단백질 구조 분석 기반 약물 반응 실험 조건을 최적화하여 오차를 10배 낮춤(Carbone et al., 2023)

○ (자율실험실) AI와 로봇이 결합해 연구의 전 과정을 자율적으로 수행 [참고4]

- Bhatt et al.(2024)는 전통적 실험에서 과학자들은 주로 수작업으로 과업을 진행하여 분석 속도가 느리고 숙련도에 따라 연구결과의 비일관성을 지적

- 최근 생명공학, 화학, 신소재 분야 등에서 자율실험실을 도입해 전통적 실험에서의 문제를 개선하고 연구 품질을 높일 수 있는 연구 혁신을 추진
 - (생명공학) 위스콘신-메디슨대학교 연구팀은 AI와 로봇을 결합한 SAMPLE¹⁴ 플랫폼 활용, 단백질 공학 실험 자율화
 - * AI가 단백질의 서열-기능 관계를 학습하고 새로운 서열을 설계하면 자동화 로봇이 실험을 수행하며 결과를 AI에 피드백하여 기존 방식 대비 안정적인 서열 도출(Rapp et al., 2023)
 - (화학) 미국의 아르곤 국립연구소 연구팀은 Si 기반 자율실험 플랫폼 Polybot을 개발하여 전도성 고분자 박막¹⁵의 가공 조건을 최적화
 - * 로봇 시스템이 실험 단계를 자동 수행하고 AI가 중요도에 기반한 최적화 기법을 실시하여 실험을 자율적으로 수행 가설-검증 주기를 월 단위에서 일 단위로 단축(Wang et al., 2025)
 - (신소재) 영국의 리버풀대학교 및 우리나라 재료연구원은 신소재 개발에 AI를 활용하여 소재 개발 과정을 최적화하는 지능형 실험실 구축
 - * 영국 리버풀대학교 연구팀은 Mobile Robotic Chemist를 개발해 태양광 수소¹⁶ 생산을 위한 광전기화학 전극¹⁷ 소재 최적화(Burger et al., 2020)
 - * 한국재료연구원(KIMS, 2025)은 신소재 개발 연구의 전주기 자동화 연구 시스템 ‘오토노머스 랩(autonomous lab)’ 구축¹⁸

[그림 2-3] AI를 활용한 자율실험실



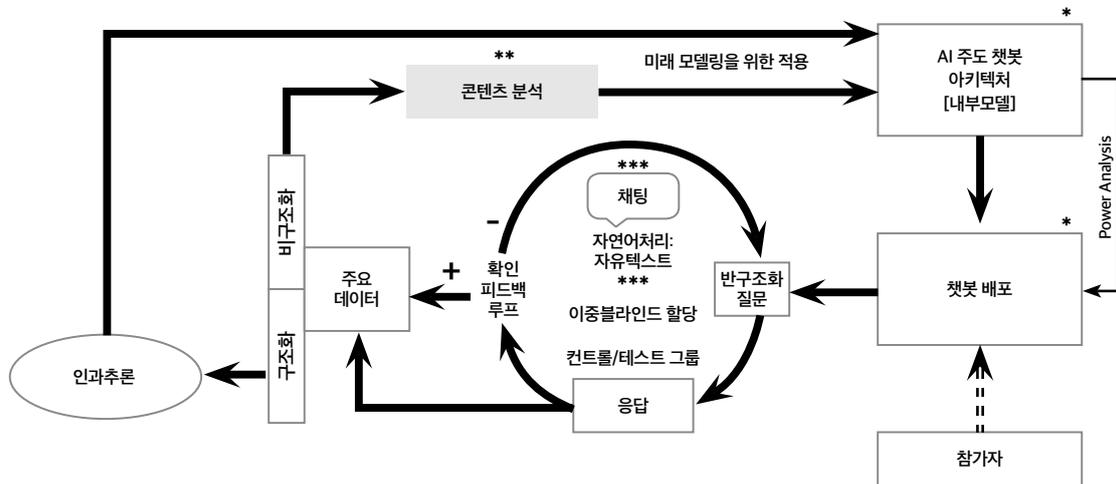
14 Self-driving Autonomous Machines for Protein Landscape Exploration
 15 전자소재 분야에서 활용되는 단어로 전기가 통하는 플라스틱을 아주 얇게 퍼 바른 막을 의미
 16 태양에너지로 만든 전기를 이용해 물을 분해하여 생산한 친환경 수소
 17 빛 에너지를 흡수하여 물 분해나 이산화탄소 변환 같은 화학 반응을 일으키는 특수 반도체 전극
 18 한국재료연구원(2025.6.29.), 재료研, 인공지능 기반 전주기 자동화 연구 시스템 개발

4) 데이터 수집

○ (AI 기반 데이터 자동 수집) 연구 목적에 맞는 데이터를 빠르고 정확한 수집

- 사람이 직접 설문·측정·기록 → AI가 설계·수집·검증까지 자동화
 - AI를 통해 데이터 수집의 속도(실시간성), 범위 확대(규모·커버리지), 정확도·재현성(오류·누락 감소), 기록을 표준화(메타데이터 자동 저장)
- (사회과학(설문) 사례) 대화형 AI 에이전트로 대규모 응답 실시간 수집+검증
 - Cingillioglu et al.(2024)는 대면·전화·온라인 설문 수작업 입력을 AI 에이전트로 대체·보완한 결과 데이터의 실시간성·정확성이 상승함을 보고*
 - * IBM Watson Assistant를 활용하여 1,223명 대상 블라인드 테스트¹⁹를 진행한 후 정량 및 정성 데이터의 품질을 확인한 결과 모두 개선

[그림 2-4] AI 에이전트 기반 사회과학 데이터 수집 프로세스



출처: Cingillioglu et al., 2024를 토대로 SPRI 재구성

¹⁹ 연구의 주관적 편향을 최소화하기 위해 실험 대상자(피험자)와 실험을 진행하는 연구자 모두가 누가 어떤 처치(예: 실제 약 vs. 위약)를 받는지 모르는 상태로 진행되는 실험 방식

- (자연과학 공학 사례) AI로 실험 데이터 수집 자동화
 - (신소재 후보 물질 탐색) 구글 딥마인드는 신소재 발굴을 가속화하는 AI 도구인 GNoME(Graph Networks for Materials Exploration)을 개발
 - * AI를 활용해 신소재를 새로운 후보 물질들을 자동으로 먼저 빠르게 선별하고 선별된 물질들을 정확한 컴퓨터 계산으로 확인한 후 다시 학습하는 반복 루프로 데이터를 스스로 모아 소재 발견 효율을 10배 높임(Merchant et al., 2023)
 - (신소재 합성 A-Lab) 로봇과 AI가 결합해 자동화된 실험으로 데이터 수집
 - * 로봇이 시료를 계량 및 혼합 후 가열된 결과를 측정하는 실험을 반복해 자동으로 데이터를 모으고 AI가 결과를 해석해 다음 실험 조건을 스스로 정하여 17일 동안 355회 실험을 했고 새로운 무기물 41종을 합성(Szymanski et al., 2023)

○ (데이터 분류) AI로 대규모 원시 데이터의 자동 분류 효율성과 정확도 개선

- AI는 천문 분야, 신소재 분야, 생물학 분야의 원시 데이터를 사건과 특성, 패턴에 맞춰 자동으로 분류 및 정제하고 불필요한 데이터를 제거하거나 압축하여 분석 속도와 정확도를 향상
 - (천문 분야) 막스플랑크연구소 연구팀은 AI 모델 DINGO-BNS²⁰를 활용해 기존 수 시간 걸리던 중성자별 병합의 중력과 관측 데이터의 분류, 정제, 분석을 단 1초 만에 완료하는 효율 달성(Dax et al., 2025)
 - * 기존 방법 대비 분석 데이터의 신뢰도를 평균 30%↑, 전체 분석 시간은 1초로 단축
 - (신소재 분야) Wang(2025)은 AI 모델을 활용하여 X선 회절 데이터를 기반으로 복합 세라믹 코팅 시편²¹의 상 구성을 자동 분류하여 재료 분석 효율 향상
 - * 여러 조성²²의 코팅 시편²³ XRD²⁴ 데이터를 수집하고 이를 특징 추출²⁵을 거쳐 LGBM²⁶ 분류기에 입력 후 분류 기존 수동 분석 대비 정확도 99% 달성

²⁰ DINGO-BNS(Deep INference for Gravitational-wave Observations from Binary Neutron Stars)

²¹ 표면에 특정 재료를 덧입힌 시험용 재료 샘플

²² 재료를 구성하는 화학 원소들의 종류와 비율

²³ 실험이나 측정을 위해 준비한 재료의 작은 조각

²⁴ X선 회절 측정으로 얻은 데이터로 재료의 원자 배열과 결정 구조를 분석하는 데 사용

²⁵ 원시 데이터에서 의미 있는 수치나 패턴을 뽑아내는 과정 여기서는 XRD 패턴에서 피크의 위치 및 세기 등을 수치화

²⁶ LGBM(Light GBM): 마이크로소프트가 개발한 빠르고 효율적인 기계학습 알고리즘

- (생물학) Kefeli et al.(2024)은 AI 모델로 미생물 게놈 데이터에서 항생제 내성 유전자²⁷를 자동으로 식별하고 분류해 분석 속도와 정확도 상승

* 1만 개 이상의 박테리아 샘플 유전체 서열 데이터²⁸를 사용해 서열을 나누어 수치화한 뒤 이를 그래프 신경망²⁹ 구조로 변환하고 유전자 간 연결 관계를 학습시킨 결과, 수작업 분석 대비 독립 검증 데이터셋 정확도 96% 달성

○ (AI 기반 데이터 품질 관리) AI가 데이터 수집 오류와 이상치를 탐지하고 교정

• AI가 복원 오차·예측 오차 등 정량 지표와 통계 기법을 활용해 이상 여부를 자동 판별하고 데이터 품질을 관리(Vajda et al., 2024)

* 부다페스트대학교 연구팀은 서버 지표에서 하루와 주간처럼 주기적으로 발생하는 패턴을 통계 기법으로 제거한 후 AI를 통해 이상치만 예측하여 데이터 센터의 문제를 더 빨리 발견하고 잘못 판별된 이상치를 낮춰 수집되는 데이터 품질을 향상시킴

• (원격 실험 제어) AI가 원격지 실험 장비를 자동으로 제어하고 모니터링하여 연구자가 물리적 제약 없이 실험을 수행할 수 있도록 지원

- 실험실 내부에 ‘로봇·자동화 장비+AI 서버’를 구축해 과학자는 PC, 스마트폰으로 실험을 어디서든 원격 제어가 가능하여 실험 데이터의 품질 향상

* MIT(2025) 연구팀은 음성 명령 인식과 ChatGPT 코드 실행 기능을 결합한 CRES³⁰ 시스템을 개발해 로봇 팔, 펌프, 밸브 등 실험 장비를 원격·자동 제어함으로써 야간·반복 작업 부담을 줄이며 원격 실험 제어의 자동화 수준을 향상

5) 데이터 분석

○ (데이터 분석) AI를 활용해 데이터 분석의 속도, 정확도, 직관성 제고

• (쉬운 AI 모델링) 비전문가도 고성능 딥러닝 모델을 쉽고 빠르게 설계·적용

- AI를 이용한 데이터 분석은 복잡한 통계 지식, 수학적 기반, 프로그래밍 기술을 요구하여 비전문가들이 최신 AI·ML 모델에 접근하는 데 어려움을 느낌

²⁷ 항생제에 저항하는 능력을 부여하는 유전자. 세균이 항생제 환경에서 살아남게 함

²⁸ 생물의 DNA 구성 순서를 나타낸 데이터

²⁹ 데이터 항목을 “노드”로 보고 그 관계를 “엣지”로 연결해 분석하는 인공지능 알고리즘

³⁰ Copilot for Real-World Experimental Scientist: LLM을 활용한 대화형 실험관리 시스템

- 최근 데이터 전처리부터 AI 모델의 학습, 모델 튜닝, 배포까지 전 과정을 자동화하는 다양한 AutoML 기술³¹들이 등장해 특정 학문 분야에 특화된 AI 모델을 보다 쉽게 개발·활용할 수 있도록 지원
 - * (재료설계) 독일의 드레스덴 공대 연구팀이 재료의 물성값을 예측하는 모델링을 실시할 때 수작업 모델보다 AutoML을 적용한 결과, 기존 대비 더 좋은 성능을 보인 모델의 개발했으며 모델의 훈련 시간은 평균 15분 소요(Conrad et al., 2022)
 - * (지질학) 사우디아라비아 Mubarak and Koeshidayatullah(2023)은 AutoML을 활용해 셰일 비율·공극률 예측 정확도를 약 3%p 향상, 암석 분류 정확도를 98% 달성, 오일샌드 유정 로그³² 데이터 분석에 약 400초 소요되는 AI 모델 개발
- (자연어 기반 질의 및 응답) 자연어 질의로 데이터 분석의 용이성 향상
 - 자연어 인터페이스와 생성형 AI 기반 데이터 분석 기술의 발전으로 연구 현장에서 데이터 활용 방식 변화
 - * Zhang et al.(2024)의 설문조사에 따르면 자연어 인터페이스(NLI)³³는 질의 번역 정확도 85~90%, SQL 분석 시간 전통 코딩 방식 대비 94% 단축
 - * 생성형 AI는 이미지, 표, 그래프 등 다양한 형식의 데이터를 이해·분석하며, 코드 기반 대비 4배 빠른 분석 속도 달성 가능(Inala, J et al., 2024)

○ (과학적 예측) AI가 데이터 해석을 넘어 과학적 현상과 법칙을 예측

- (패턴 기반 예측) AI가 대규모 데이터에서 숨겨진 패턴을 발견하여 기존에 알려지지 않은 과학적 현상과 법칙을 예측
 - 연구자들이 직접 데이터를 분류할 경우 많은 시간이 걸리고 미세한 신호 발견이 어려우나 AI를 활용해 방대한 데이터에서 사람이 찾을 수 없는 숨겨진 패턴을 찾아내 예측 가능
 - * 전남대학교가 참여한 국제공동연구에서는 AI를 활용한 방대한 일일 강수량 자료에서 인간의 영향으로 인한 기후변화의 신호를 포착(Ham et al., 2023)
 - AI가 복잡한 분자와 물질 구조를 정밀하게 예측해 그로부터 도출되는 특성과 기능을 바탕으로 신소재 및 신약 후보를 단기간에 발굴

³¹ WAutoML(Automated Machine Learning) 도구로는 Auto-sklearn, AutoCluon, AutoKeras, H2O AutoML, AlightAutoML 등 오픈소스에 더해 Google, MS, Amazon 등에서 제공하는 상용 도구도 다양

³² 땅속 깊은 곳의 오일샌드층(모래에 기름이 섞여 있는 층)을 뚫고 들어간 구멍에서 암석의 종류, 기름 함량, 물리적 성질 등을 측정해서 기록한 데이터

³³ Natural Language Interface(NLI): 사용자가 일상 언어로 질문을 입력

* (신소재) 마이크로소프트 연구팀은 기계학습 모델과 전통적인 물리 기반 모델을 클라우드 고성능 컴퓨팅 환경과 결합하여 3,259만 개 이상의 후보 물질을 신속하게 탐색하고 58만 개의 안정적인 것으로 예측되는 물질을 도출(Chen et al., 2024)

* (신약) 구글 딥마인드의 알파폴드3는 확산 모델 기반 반복 정제를 통해 DNA, RNA, 리간드, 이온 간 상호작용을 3D 구조로 보여줌으로써 단일 단백질 구조 예측에서 복합적 생체 환경 내 구조 예측으로 확대(Abramson et al., 2024)

- (멀티모달³⁴ 융합 예측) AI가 이미지, 텍스트, 수치 데이터 등 다양한 형태의 정보를 통합 분석하여 과학적 결과를 예측
 - ‘작은 우주’와 같은 인간의 신체 내에서의 다양한 현상을 이미지화하고 학습하여 병리학 같은 분야에서 적용
 - * 부산대학교, 하버드 의대, MIT 공동연구팀은 1억 개 이상의 병리 이미지와 118만 쌍의 병리 이미지-주석 데이터를 이용해 사전 학습한 병리학 분야 특화 멀티모달 생성 AI(PathChat)를 개발해 89.5%의 임상 정확도 달성(Lu et al., 2024)
 - 한편, 기후, 자연, 천체와 같은 ‘거대 우주’에서 발생하는 현상과 법칙을 이해하는 데 멀티모달 데이터를 활용한 AI 연구도 진행
 - * 하버드 의대의 연구에서 대기질과 건강 예측을 위해 멀티모달 AI 프레임워크를 개발하여 AI가 단순히 오늘 미세먼지 농도를 예측하는 데에 그치지 않고, 기상 변화가 앞으로 미칠 영향과 그로 인한 건강 위험까지 함께 예측(Niu et al., 2025)

2-3. AI 활용 연구 한계점

○ AI가 연구의 전 단계에서 혁신을 불러오고 있지만 여전히 환각, 정보 오류와 같은 AI의 기술적 한계와 AI 기술의 오남용, 윤리적 활용 등의 문제도 존재

○ 생성 AI 기술의 신뢰성 한계

- (환각 오류) 생성 AI가 “그럴듯한 허구”를 만들어 거짓된 논리를 삽입함으로써 검증 없이 활용할 경우 연구 신뢰성을 저하³⁵

³⁴ 텍스트, 이미지, 음성 등 여러 종류의 데이터를 동시에 이해하고 처리하는 인공지능

³⁵ Ji et al., (2023), Survey of Hallucination in Natural Language Generation

- 생성 AI의 산출물은 확률을 기반으로 예측된 텍스트 또는 이미지의 조합된 결과로 원천적으로 환각(hallucination)의 완벽한 제거는 불가³⁶하며 다양한 방법으로 환각을 최소화하기 위한 방법*들이 개발되어 적용 중

* 검색증강생성(RAG), 인간피드백강화(RLHF), 출력 제한(사실 검증 모듈 추가) 등

- (허위 인용·요약 오류) 생성형 AI를 활용한 문헌 연구의 요약, 인용(수치, 참고문헌 등)은 사실과 다를 수 있어 이를 그대로 활용할 경우 연구 신뢰성 저하

- 논문 인용을 생성하는 과정에서 거짓 참고문헌과 서지 오류 확인³⁷

* Chelli et al., (2024)는 의료 분야의 문헌 고찰 예시에서 LLM이 25%를 넘는 허위 인용을 산출해 연구를 왜곡할 위험이 있다고 지적³⁸

- (데이터³⁹ 편중) 연구 지원 AI 도구가 접근 가능한 학술 원문은 출판사나 저자가 공개한 논문에 제한되어 상용 구독 저널의 경우 접근이 제한됨

- 주요 유·무료 학술 논문 데이터베이스⁴⁰에 공개된 논문이 지역, 분야별로 차이가 있어 특정 데이터베이스 의존 시 편향된 결과가 가능⁴¹

* Maddi et al.(2025)의 연구에서 유럽·북미·오세아니아가 과대표, 아프리카와 아시아가 과소대표되는 경향이 나타나고 고소득국이 과대표되는 경향이 있다고 지적

○ AI 의존으로 인한 연구 윤리 문제 대두

- (AI 오용) AI를 활용해 생성된 콘텐츠를 그대로 논문으로 작성하거나 논문의 심사 과정에 AI를 악용함으로써 연구 윤리를 침해

- 생성 AI를 활용해 빠르게 논문 작성이 가능하고 이를 검증하기 위한 체계나 방법이 미흡한 상황에서 부실 논문들의 양산 우려가 높아지고 있음

³⁶ Karpowicz, (2025), On the Fundamental Impossibility of Hallucination Control in Large Language Models

³⁷ Walters and Wilder, (2023), Fabrication and errors in the bibliographic citations generated by ChatGPT

³⁸ Chelli et al., (2024) Hallucination Rates and Reference Accuracy of ChatGPT and Bard for Systematic Reviews: Comparative Analysis

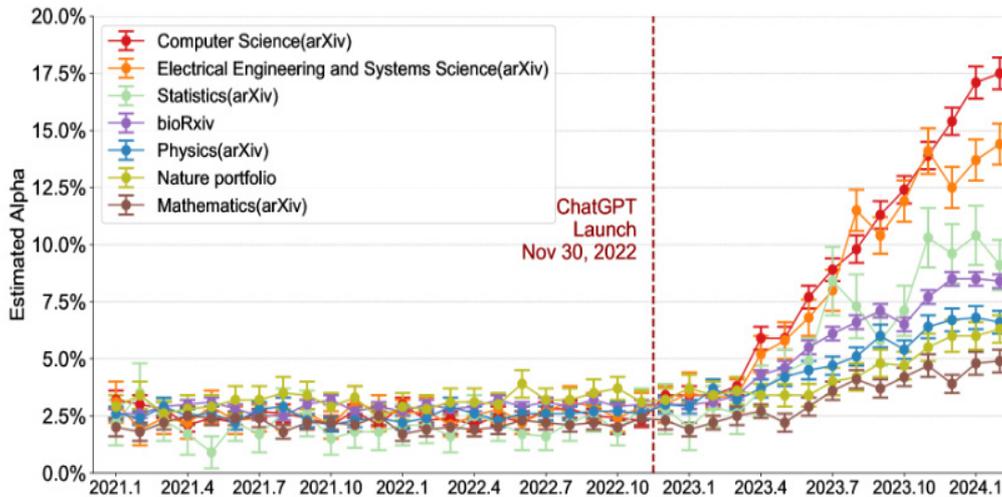
³⁹ Open Access: 누구나 무료로 읽을 수 있도록 공개된 학술 논문이나 연구자료

⁴⁰ 특정 논문이 어떤 다른 논문들에 의해 얼마나 많이 인용되었는지 추적할 수 있게 하여, 그 논문의 영향력을 평가하는 데 사용되는 데이터베이스로 Web of Science(WoS), Scopus, OpenAlex 등이 있음

⁴¹ Maddi et al.,(2025), Geographical and disciplinary coverage of open access journals: OpenAlex,

- * 세계적 학술출판사 네이처는 2023년 한해 1만 건 이상의 논문이 철회되는 등 생성 AI 확산으로 조작 또는 부실 논문이 급증하고 있음을 경고⁴²
- * 미국 스탠퍼드대학교 연구팀은 2020년 1월부터 2024년 2월까지 약 96만 편의 논문을 분석한 결과, 컴퓨터 과학 분야에서 AI가 사용된 것으로 추정되는 논문의 비율은 2021년 1월 약 2.5%에서 17.5%로 7배 급증했음을 발견(arXiv, 2024⁴³)

[그림 2-5] ChatGPT 이후 과학 논문 발간 추이 분석



출처: Liang et al.,(2024), arXiv

- 최근, AI를 활용한 논문 심사(리뷰)를 하는 관행을 악용한 사례도 등장
 - * 일부 연구자들은 ‘보이지 않는 AI 프롬프트’를 통해 AI 심사자로부터 의도적으로 호의적인 평가를 유도하는 데 성공함으로써 AI 기반 연구 평가 시스템의 조작 가능성과 신뢰성 문제가 대두됨(Nikkei Asia, 2025)
- (비판적 사고 감소) AI 의존으로 인한 연구자의 독립적 사고 능력 저하 우려
 - 대학원 과정이나 박사 후 단계의 신진 연구자들이 연구자로서 갖추어야 할 기초 역량을 충분히 습득하고 체화하기 전에 AI 도구의 편의성에 의존
 - * MIT의 신경과학연구팀에 따르면 대화형 AI 도구를 장기간 사용한 사용자들의 인지 과제 수행 능력이 AI 사용 전에 비해 평균 15~20% 저하(Nataliya et al., 2025)

⁴² Nature(2023.12.12.), More than 10,000 research papers were retracted in 2023 — a new record

⁴³ Liang et al.,(2025.4), Mapping the Increasing Use of LLMs in Scientific Papers, <https://arxiv.org/html/2404.01268v1>

- (전공 지식 축적 부족) AI가 대체할 수 없는 전문성 개발 저해 가능성
 - 특정 연구 분야가 형성해 온 맥락과 암묵적 규범을 이해하고 체화하는 능력은 인간 연구자만의 고유한 전문성 영역으로 AI 도구에 과도하게 의존할 경우 이러한 이해 능력이 제대로 발달하지 못할 위험
 - * AI는 인간의 명시적으로 언어화되지 않은 암묵적 행동 패턴 해석 어려움을 겪기에 인간 연구자의 역할 대체 불가(Ismail A et al., 2024)

○ AI 활용 연구의 지적재산권 경계 모호

- AI가 생성한 결과물 등의 저작권이 누구에게 귀속되는지에 대한 법적 기준이 명확하지 않아 연구자들이 AI 콘텐츠를 활용한 연구 성과물의 지적재산권 보호 및 상업적 활용에 있어 예측 불가능한 법적 분쟁에 휘말릴 위험
 - 기존의 주요 표절 검사 도구들이 인간이 작성한 텍스트의 유사성 검출에는 상당한 정확도를 보이지만, 생성형 AI가 만들어낸 고도로 정교한 텍스트의 경우 기존 알고리즘으로는 AI 생성 여부를 제대로 식별하지 못하는 한계
 - * OpenAI의 CEO인 샘 알트만(Sam Altman)이 2023년 Business Insider와의 인터뷰에서 “AI가 생성한 텍스트를 100% 완벽하게 탐지하는 것은 기술적으로 근본적인 한계가 있어 사실상 불가능에 가깝다”고 공개적으로 밝힘

III

요약과 시사점

3-1. 요약

○ 연구 패러다임의 전환: 다섯 번째 과학 혁명과 AI4Science

- 최근 과학계는 AI4Science로 명명되는 혁신적 연구 패러다임의 등장과 함께 다섯 번째 과학 혁명의 시대로 진입하고 있음
 - 인류의 과학적 탐구는 경험적 관찰(1차) → 이론적 모델링(2차) → 계산과 시뮬레이션(3차) → 빅데이터 기반 통합(4차)을 거쳐, 이제 AI 주도(5차)라는 질적 비약의 국면에 들어섬

○ 연구 단계별 AI의 혁신

- (가설 형성) 실험 및 관찰 데이터의 패턴을 바탕으로, 인간이 해석 가능한 가설을 자연어로 도출하는 기능이 구현되어 과학적 상상력의 경계를 확장함
 - 대형언어모델(LLM)과 AI 기반 지식 그래프가 논문과 빅데이터의 은닉된 관계를 실시간으로 분석해, 연구자가 쉽게 발견할 수 없는 창의적 아이디어와 연구 주제를 자동으로 제안함
- (실험 설계) AI가 연구 목표에 부합하는 실험 조건과 변수 조합을 자동으로 추천·설계하여 반복적 실험 프로세스의 효율성이 비약적으로 증대됨
 - 실험 데이터에 대한 실시간 분석과 피드백을 바탕으로 최적의 다음 실험을 신속히 결정하는 적응형 실험의 구현이 가능해짐
- (데이터 수집·관찰) AI 에이전트가 고품질·대용량 데이터를 효율적으로 수집하며, 설문과 인터뷰 등도 자동화하여 대규모 실시간 데이터 확보가 용이함
 - 실시간 품질 관리 시스템이 오류와 이상 데이터를 즉시 탐지·교정해 전반적 데이터 신뢰도를 대폭 향상시킴

- (데이터 분석) 대규모 데이터 분석, 자연어 기반 질의응답, 멀티모달 형식의 인터랙티브 분석 도구로 분석의 효율과 깊이, 용이성을 확대
 - 텍스트, 이미지, 수치 등 다양한 데이터 융합·통합 분석을 통해 기존에 없던 종합적 예측과 해석이 가능해짐

○ AI4Science는 과학연구의 생태와 본질적 방법론에 도약적 변화를 창출

- AI는 단순 자동화 도구 수준을 넘어 과학적 창의성, 문제 해결, 새로운 지식 생산의 본질적 파트너로 부상
- AI-driven science의 발전으로 향후 인간과 기계의 협업을 통한 전례 없는 속도와 깊이의 과학혁신이 실현될 것으로 기대

3-2. 정책적 시사점

○ AI가 연구 개발 과정의 필수적 도구로 자리매김 중

- 연구 아이디어 기획, 가설 설정, 실험 검증, 연구결과 작성 및 성과 배포에 이르기까지 연구 전 단계에 걸쳐 AI의 활용이 증가하고 있음
- 인구 구조 변화에 따른 연구 인력의 감소 예상되는 상황에서 디지털 기술을 통한 연구 생산성 향상이 중요해지고 있음
 - 우리나라는 인구 1천 명당 연구원 수가 세계 1위(23년)⁴⁴이나 노동생산성 측면에서 OECD 대비 낮아⁴⁵ 연구자당 연구 생산성 제고가 필요
- 연구 지원 도구로서 AI를 이해하고 바르게 사용할 수 있는 환경 조성 필요

⁴⁴ 과학기술정보통신부(2024.12.29.), 우리나라 '23년 연구개발투자는 총 119조원

⁴⁵ 지표누리(2023년 기준), 우리나라 시간당 노동생산성은 \$51.0, 미국 83.6달러, 독일 83.3달러, 프랑스 81.8달러 등 선진국 대비 낮은 편, <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4202>

○ 인프라로서 연구용 AI에 대한 접근성 확대

- 연구 데이터, AI 컴퓨팅 인프라뿐만 아니라 연구 개발 과정에서 활용될 수 있는 AI 서비스 및 도구, 설비 등 연구자들에게 접근 가능한 수준으로 제공
 - 연구용 데이터, AI 컴퓨팅 인프라를 확장하여 전국 대학과 연구기관이 공평하게 접근할 수 있는 AI 연구 클라우드를 구축
 - * 미국은 2024년 ‘국가 AI 연구 자원(NAIRR)’ 구축을 위한 파일럿 프로젝트에 착수해 연구 목적의 정보, 데이터, 클라우드 인프라 등을 공유하고 있으며 에너지부, 우주항공국, 국립보건원, 국립해양대기청 등이 대규모 의료, 과학연구 데이터 제공
 - 지방대학과 중소 연구기관도 최신 GPU 자원과 고성능 AI 도구를 동등하게 활용할 수 있도록 지원하여 수도권과 지방, 대형 대학과 소규모 기관 간의 연구 역량 격차 완화
 - AI대학원, AI융합연구센터 등 권역별 AI 연구 허브를 통해 인근 대학들이 공동으로 AI 연구 자원을 공유할 수 있는 협력 네트워크를 구축

○ 대학, 대학원, 연구원들을 AI 도구 활용 및 연구 윤리 교육 강화

- 소프트웨어 중심대학, AI 대학원 등 AI 교육 현장에서 연구 도구로서 AI 대한 올바른 사용 지침 등 윤리적 AI 활용 교육 확산 필요
 - 생성 AI를 오남용 함으로써 표절과 연구결과 왜곡, 연구자 및 연구 기관 신뢰성 저하 등 연구 윤리적 측면의 인식 제고와 가이드라인 공유 필요

○ AI 교육 강화를 통한 연구원 직무 역량 향상

- 산업, 학계, 교육계 등 연구 개발을 주 임무로 하는 실무자들을 대상으로 AI 활용 역량 강화 및 연구 생산성 향상을 위한 AI 교육 강화
- 연구 분야별 특성에 맞는 맞춤형 AI 활용 가이드라인과 모범 연구 사례를 개발해 AI 활용 노하우를 공유 함으로써 연구원의 전반적인 AI 역량 증진
 - 연구자들을 대상으로 AI 활용 교육과정을 체계적으로 제공하여 기본적인 AI 도구 사용법부터 고급 활용 기술까지 단계별로 역량을 강화
 - 연구원의 재직자 교육, 단기 교육 및 훈련 과정에 AI 교육을 적극 지원하고, 지속적 AI 역량 강화를 위한 교육 지원 체계 마련 필요

○ AI 연구 지원 도구 개발 지원

- AI4Science를 지원할 수 있는 SW·AI 도구 및 기술 개발 지원
 - 연구 기획, 가설 설정, 데이터 준비, 실험 검증, 자율실험실, 보고서 작성 및 배포 등에 적용 가능한 소프트웨어 및 AI 도구 연구 개발 지원
 - 자연 공학뿐만 아니라, 인문·사회·예술 분야에 이르기까지 다양한 분야에서 AI를 활용한 '과학적 연구' 수행 지원

- 연구 지원 AI 도구의 신뢰성, 안정성 확보에 지원하여 AI 도구 신뢰성을 검증하고 윤리적 AI 활용을 촉진
 - 문헌 연구의 신뢰성 확보를 위한 유·무료 논문 데이터베이스의 품질 제고 및 해양, 지질, 우주, 전체 등 각종 과학연구에 활용이 가능한 공공 데이터를 활용한 특화 AI 모델 개발 지원
 - 국내 주요 학술 데이터베이스와 연동되는 AI 생성 정보 판별 시스템 구축하거나 연구자들이 실시간으로 AI가 제시한 참고문헌과 데이터의 진위를 확인할 수 있는 통합 플랫폼 등 연구 콘텐츠 품질 및 신뢰성 검증 환경 구축

○ 모두의 AI 전략의 일환으로서 연구 생태계 참여자들이 쉽고, 편리하고, 합리적 비용으로 연구 지원 AI 도구 및 인프라에 접근할 수 있는 환경 구축

참고1 구글의 생명 분야 단백질 구조 예측 인공지능 알파폴드(AlphaFold)

생명과학의 난제를 해결한 구글의 인공지능 알파폴드(AlphaFold)

◆ 알파폴드(AlphaFold)

- 2018년 최초 출시, 생명과학 분야의 단백질 구조 예측 인공지능
 - 2016년 구글 딥마인드는 바둑을 제패한 알파고의 차기 프로젝트로 생명과학 분야의 단백질 구조 예측 AI 모델인 알파폴드(AlphaFold)를 개발
 - 2018년 12월 알파폴드1은 세계 단백질 구조 예측 대회(CASP13)에서 1위를 차지하며 주목받았으며 2020년, 11월 알파폴드2가 CASP14 대회에서 개선된 성능으로 재차 우승 차지
 - 단백질 구조 예측 대회에서 2019년까지의 최고 성과는 정확도 40% 수준에 머물렀으나 알파폴드2는 정확도를 90% 이상으로 끌어올림
 - 2021년 알파폴드는 오픈소스로 공개 2022년 CASP15에 딥마인드는 참가하지 않았으나 상위권 팀들은 거의 모두 알파폴드의 수정 버전 사용
 - 알파폴드는 수백만 개의 복잡한 3D 단백질 구조를 밝혀냈으며, 과학적 연구를 가속화하기 위해 2억 개 이상의 단백질 구조 예측에 대한 개방형 액세스를 제공하는 AlphaFold DB를 공개하여 관련 연구 촉진

[그림 4-1] Nature AlphaFold 표지



출처: Nature Volume 630 Issue 8016

[그림 4-2] 세계 단백질 구조 예측대회 모델 예측 중앙값



출처: Google Deepmind 블로그

참고2 중국과학원의 '과학을 위한 AI 플랫폼' 사이언스원(ScienceOne)

중국과학원의 ScienceOne(磐石) 플랫폼 개요와 특징

◆ 개요

- 중국과학원(Chinese Academy of Sciences, CAS) 자동화연구소 및 기타 연구기관들이 공동 개발한 지능형 과학연구 플랫폼
 - 가설 수립부터 프로그램 계획, 시뮬레이션 추론, 실험 검증, 법칙 발견에 이르는 과학연구의 전 과정을 지원하는 학문적 '운영체제' 표방
- 2025년 4월 처음으로 '사이언스원'을 공개하고 7월 26일, 2025 세계인공지능대회(WAIC)에서 공식 발표
- 과학연구 전반을 혁신하고 가속화하기 위해, AI와 과학의 통합을 통한 연구 패러다임 전환 및 융합 연구 지원

◆ 기술 특징

- 수학, 물리, 화학, 생물학, 천문학, 지구과학 등 6대 기초과학 분야를 아우르는 통합형 AI
 - 과학 문헌 추출 및 통합, 과학 지식 표현 및 추론, 과학 도구 편성 및 계획 등 핵심 역량 확보
 - '이기종 혼합 전문가 아키텍처'를 채택하여 AlphaFold(단백질 구조 예측), MatterGen(재료 설계 모델) 등 기존의 우수한 과학 전문 모델들을 융합
 - 300개 이상의 과학 계산 도구 자동 호출 및 관리, 1억 7천만 편 이상의 과학 논문 및 실시간 오픈소스 정보 이해 및 지능적 분석, 실험 시뮬레이션, 데이터 통합 및 법칙 발견 지원, 향후 자율적 연구 계획 수립 및 수행

◆ 주요 기능

- (S1-Literature 어시스턴트) 과학 문헌을 종합 정리, 개념 매핑 및 학술 인용 추적과 같은 심층 분석 도구를 제공할 수 있는 AI 문헌 연구 지원
- (S1-ToolChain 스케줄러) 물리적 시뮬레이션부터 통계 데이터 처리까지 300개 이상의 전문 과학 도구를 자동으로 실행하여 원활하고 효율적인 워크플로를 형성할 수 있는 연구 워크플로우 오케스트레이터 역할 수행

[그림 4-3] ScienceOne 플랫폼 S1-Literature, S1-Toolchain 화면



◆ 모델 공개

- ScienceOne-AI/S1-Base-8B, ScienceOne-AI/S1-Base-32B 모델 공개
 * 알리바바(Alibaba)의 Qwen3-8B/32B 모델을 기반으로 개발(25.4월 공개)

[표 4-1] S1 모델 파라미터 크기별 특징 비교

모델	S1-Base-8B(기본모델: Qwen3-8B)	S1-Base-32B(기본모델: Qwen3-32B)
주요 특징	<ul style="list-style-type: none"> - 고등학교부터 대학원 수준의 과학 커리큘럼 기반 교육 및 다중 분야 강화 훈련 - 과학 분야(수학, 물리, 화학, 지구과학, 천문학, 생물학) 핵심 이론과 법칙 학습 - 1억 7천만 편 논문 데이터 학습 - 다중 모달(파동, 스펙트럼, 필드 등) 과학 데이터 이해 - Mixture-of-Experts(MoE) 아키텍처 활용 - 32k 토큰 이상 context window 지원 - 경량화되어 엣지-제한적 자원 환경에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> - 동일 훈련방식 및 고품질 추론 데이터로 정밀 미세 조정 - S1-Base-8B보다 큰 모델 크기로 더 강력한 연산력 및 복잡한 과학 문제 해결 - 동일하게 1억 7천만 편 논문 기반 학습 및 다중 모달 데이터 대응 - MoE 구조 적용 - 고도화된 합성적 추론 및 복합과학 인지 능력 - 동일 32k 토큰 context window 지원 - 대규모 서버 및 고성능 컴퓨팅 환경에서 최적
활용 목적	엣지 디바이스, 제한적 자원 환경 과학 추론, 경량 모델로 빠른 응답 및 간단 연구 지원	대규모 복합 문제 해결, 심층 과학연구, 다학제적 고난도 과제 중심
성능 차이	중간 규모 과학 문제에 최적화, 빠른 처리 속도와 낮은 연산 요구	더 복잡한 논리 추론과 다중 도메인 연계에서 월등한 성능 발휘
공개	Apache 2.0 오픈소스 라이선스	Apache 2.0 오픈소스 라이선스

참고3 연구 과정에 활용하는 AI 도구 사례

[표 4-2] 연구 과정에 활용하는 AI 도구 정리

	도구	주요 기능	비용
가설 형성 및 아이디어 기획	Semantic Scholar	논문 요약(TLDR), 인용/저자 네트워크, 관련 논문 추천, API	무료
	Elicit	의미 기반 문헌 검색, 자동 요약·핵심 추출	무료/유료 플랜
	Perplexity	실시간 웹+학술 검색, 출처 인용, 대화형 Q&A	무료/유료 플랜
	Consensus	의미 기반 문헌 검색, 자동 요약·핵심 추출	무료/유료 플랜
	Connected Papers	인용·연관 논문 시각화, 연구 네트워크 탐색	무료/유료 플랜
	Sci Space	논문 검색, PDF 요약, 논문 요약, 연구 전반 프로세스 지원	무료/유료 플랜
	Scite	의미 기반 문헌 검색, 자동 요약·핵심 추출	무료/유료 플랜
	Scholarly	의미 기반 문헌 검색, 자동 요약·핵심 추출	무료/유료 플랜
	Saltlux Goover	국내 연구 특화 AI 검색, 다국어 지원	무료/유료 플랜
	Research Rabbit	논문·저자 네트워크 시각화, 컬렉션/알림, 연관 논문 추천	무료
	IKraph	생의학 연구를 위한 지식 그래프, 정보 추출 및 아이디어 생성	무료
SciMuse	연구 아이디어 생성	무료	
실험 설계	Opentrons Protocol Designer	노코드 프로토콜 설계·시뮬레이션, 랩웨어 라이브러리	도구 무료 (로봇 장비 별도)
	ChemOS	자율실험 오케스트레이션(실험 계획·실행·피드백 루프)	무료
데이터 수집	Qualtrics CoreXM	텍스트 분석·대시보드, 자동 워크플로우	유료
	Apify	웹 데이터 수집	무료/유료 플랜
	IBM watsonx Assistant	대화형 에이전트 수집	무료/유료 플랜
데이터 분석	AutoGluon	AutoML	무료
	Power BI Copilot	프롬프트로 리포트·페이지 초안 생성	유료
	Optuna	블랙박스 실험·하이퍼파라미터 최적화, Sampler/Pruner, 시각화	무료
	JMP	요인설계·반응표면·혼합물 DOE, 자동 분석/시각화	유료
	Lumivero	질적자료 분석 소프트웨어, AI 활용 문서 요약, 자동코딩/자동 인사이트	유료
논문 작성	Jenni AI	자동 논문 초안, 글쓰기 도우미	무료/유료 플랜
	Wordvice AI	문법·스타일 교정, 학술적 글쓰기 보조	무료/유료 플랜
	PaperPal	문법 교정, 학술 저널 맞춤	무료/유료 플랜

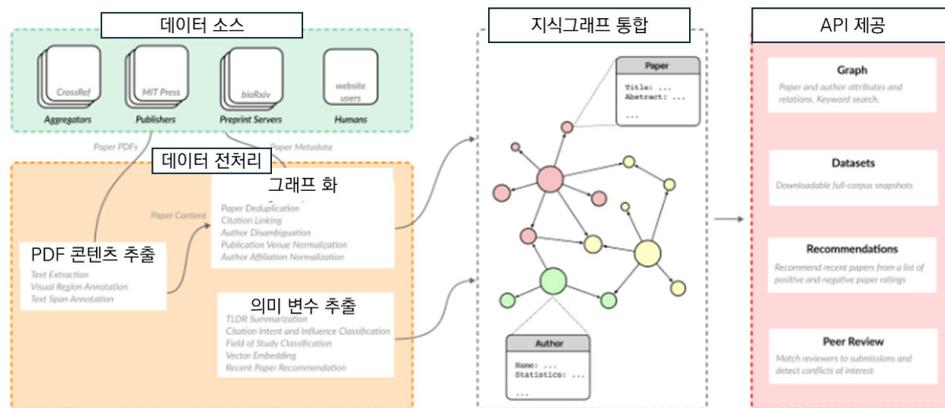
참고4 AI에 기반한 문헌 탐색 아키텍처 - Semantic Scholar

AI 기반 문헌 탐색

◆ AI 기반 문헌 탐색 예시 - Semantic Scholar

- 개요
 - Semantic Scholar는 2015년 미국의 앨런 인공지능연구소가 출시한 AI 기반 과학 학술 문헌 검색 플랫폼
 - 전 세계 2억 편 이상의 논문, 8천만 명 저자, 24억 개의 인용 관계 구축
- 작동구조(Architecture)
 - (데이터 수집) 50개 이상의 출처에서 매일 데이터 수집하며 수집 데이터는 논문의 제목, 저자, 소속기관, 학술지명, 발표일, PDF 원문 링크 수집
 - (데이터 전처리) PDF에서 구조화된 데이터를 추출함 먼저 PDF를 읽어 텍스트를 추출하여 문장을 복원하고 페이지 안의 표, 그림, 단락 위치를 식별해 시각화된 자료들을 추출하여 주석 처리한 후 제목, 저자명, 본문, 캡션 등에 주석을 넣어 의미를 부여
 - (지식그래프 통합) 논문, 저자, 기관, 학술지 등 실세계의 체계를 고유한 ID로 연결하여 지식 그래프를 구축
 - (API 제공) 논문을 요약하여 한 줄로 제공하고 인용의 의도를 분류하여 배경을 설명하고 방법론 및 결과 비교 제공

[그림 4-4] Semantic Scholar 검색 엔진 아키텍처



출처: Kinney et al, 2025 재구성

참고5 자율실험실 개념, 역사, 분류

자율실험실(Self-Driving Laboratory)

◆ 정의: 하드웨어와 데이터 기반 의사결정(소프트웨어)을 통합해 과학적 방법의 적용을 가속화하는 것을 목표로 하는 시스템(Tom et al., 2024)

- 개념적 특징

- (하드웨어 자율성) 실험 시행의 자동화 수준을 의미하며 단일 작업 자동화부터 여러 작업이 연결된 워크플로우, 자동화된 실험실을 포함
- (소프트웨어 자율성) 실험 선택 및 계획의 자동화 수준을 의미하며 데이터 기반의 단일 반복 실험 설계부터 알고리즘이 스스로 최적화하는 방식 포함

- ◆ 자율실험실의 역사

- (개념의 기원) 20세기 중반의 실험실 자동화에서 시작되었으며 초기 개념은 특정 결과를 최적화하기 위한 체계적 접근법인 실험계획법에 중점
- 시기별 주요 발전 과정
 - * 1960년대: 록펠러대학교 연구팀이 기계식 컴퓨터로 제어되는 자동화 합성 플랫폼 최초 시연
 - * 1980년대: Zymark의 실험실 로봇 상용화
 - * 1990년대: 머신러닝 기술이 발전하며 실험 계획과 실시간 실험 최적화에 적용
 - * 2000년대: 피드백 제어 시스템으로 실험 설계 및 실행을 수행한 초기 사례 등장
 - * 2010년대: 재료, 신약 개발 등 다양한 분야로 확장

◆ 자율성의 수준 분류: 하드웨어와 소프트웨어의 자율성 수준 조합에 따라 레벨 0~5로 분류되며 현재 기술 수준은 2~3레벨로 평가

하드웨어 소프트웨어	수동	작업/실험 단위 자동화	자동화된 워크플로	자동화된 실험실
	기본 방식 모든 수동 실험	단일 작업 또는 실험	여러 작업 또는 실험의 체인화	완전 자동화 실험
인간 선택	레벨 0	레벨 1	레벨 2	레벨 2
탐색: 사람 실험 선택: 사람				
단일 반복	레벨 1	레벨 2	레벨 3	레벨 3
탐색: 사람 실험 선택: 컴퓨터				
다중반복	레벨 2	레벨 3	레벨 4	레벨 4
“피드백 제어”, 탐색: 사람 실험 선택: 컴퓨터				
생성형	레벨 4	레벨 4	레벨 4	레벨 5
컴퓨터가 전과정 생성·최적화				

출처: Tom et al, 2024 재구성

참고문헌

1. 국내문헌

- 과학기술정보통신부(2024.12.29), 우리나라 '23년 연구개발투자는 총 119조 원
- 조선일보 (2025), AI에 통째로 숙제 맡겼다가 큰일 ... 이제 대학이 꼭 잡아낸다
- 지표누리 (2023), 시간당 노동생산성, <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4202>
- 한겨레 (2025, “챗GPT 활용” 적발 기술도 잇따라 ... 변형 사용 땀 무용지물
- 한국과학기술연구원 (2021.05), 2021 융합 연구 리뷰 - AI로봇이 스스로 소재를 개발한다고?
- 한국재료연구원 (2025.06), 재료研, 인공지능 기반 전주기 자동화 연구 시스템 개발

2. 국외문헌

- Abbott et al (2016), Observation of gravitational waves from a binary black hole merger
- Abramson et al (2024), Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold3
- Bernard et al (2025), Using artificial intelligence for systematic review: the example of elicited
- Bhatt et al (2024), Enhancing Laboratory Efficiency: Implementing Custom Image Analysis Tools for Streamlined Pathology Workflows
- Burger et al (2020), A mobile robotic chemist
- Carbone et al (2023), Emulating expert insight: A robust strategy for optimal experimental design
- Chen et al (2024), Accelerating Computational Materials Discovery with Machine Learning and Cloud High-Performance Computing: from Large-Scale Screening to Experimental Validation

- Cingillioglu et al (2024), Running a double-blind true social experiment with a goal oriented adaptive AI-based conversational agent in educational research
- Ciuca et al (2023), Harnessing the power of adversarial prompting and large language models for robust hypothesis generation in astronomy
- Conrad et al (2022), Benchmarking AutoML for regression tasks on small tabular data in materials design
- Creswell et al (2017), Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches
- Dax et al (2025), Real-time inference for binary neutron star mergers using machine learning
- Gottweis et al (2025), Towards an AI co-scientist
- Gu et al (2024), Interesting scientific idea generation using knowledge graphs and llms: Evaluations with 100 research group leaders
- Ham et al (2023), Anthropogenic fingerprints in daily precipitation revealed by deep learning
- Inala et al (2024), Data analysis in the era of generative AI
- Kefeli et al (2024), Generalizable and automated classification of TNM stage from pathology reports with external validation
- Khatib et al (2011), Crystal structure of a monomeric retroviral protease solved by protein folding game players
- Lu et al (2024), A multimodal generative AI copilot for human pathology
- Merchant et al (2023), Scaling deep learning for materials discovery
- MIT Department of Materials Science and Engineering (2023), Accelerating research with AI-assisted experiments
- Mubarak and Koeshidayatullah (2023), Hierarchical automated machine learning (AutoML) for advanced unconventional reservoir characterization
- Narayanan et al (2025), Accelerating cell culture media development using Bayesian optimization-based iterative experimental design
- National Science Foundation (2024), National Center for Science and Engineering Statistics 2023, U.S. trends and international comparisons (NSB-2023-33)
- Nature (2025), AI for research: the ultimate guide to choosing the right tool
- Niu et al (2025), Medical multimodal multitask foundation model for lung cancer screening
- Rapp et al (2024), Self-driving laboratories to autonomously navigate the protein fitness landscape
- Romero et al (2025), Protein folding with an all-to-all trapped-ion quantum computer
- Szymanski et al (2023), An autonomous laboratory for the accelerated synthesis of novel materials
- Tom et al (2024), Self-driving laboratories for chemistry and materials science
- Trueblood et al (2025), The misalignment of incentives in academic publishing and implications for journal reform
- Vajda et al (2024), Machine learning-based real-time anomaly detection using data pre-processing in the telemetry of server farms
- Wang et al (2025), Autonomous platform for solution processing of electronic polymers
- Wang et al (2023), Scientific discovery in the age of artificial intelligence
- Wang (2025), Training a convolutional neural network for exoplanet classification with transit photometry data
- Xu et al (2023), Artificial intelligence for science bridging data to wisdom
- Zhang et al (2024), Natural language interfaces for tabular data querying and visualization
- Zhang et al (2025), A comprehensive large-scale biomedical knowledge graph for AI-powered data-driven biomedical research
- Zhou et al (2024), Hypothesis generation with large language models
- Zimmerman et al (2021), SARS-CoV-2 simulations go exascale to predict dramatic spike opening and cryptic pockets across the proteome