

July. 09, 2025  
교육혁신포럼-부산

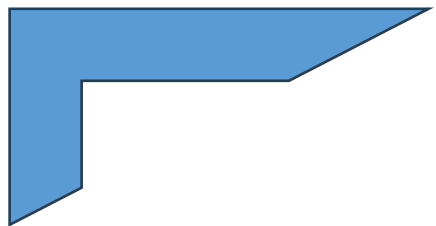
# 막 오른 AI 시대, 지적(知的)혁명 그리고 지역발전

김 도 연

태재미래전략연구원 이사장

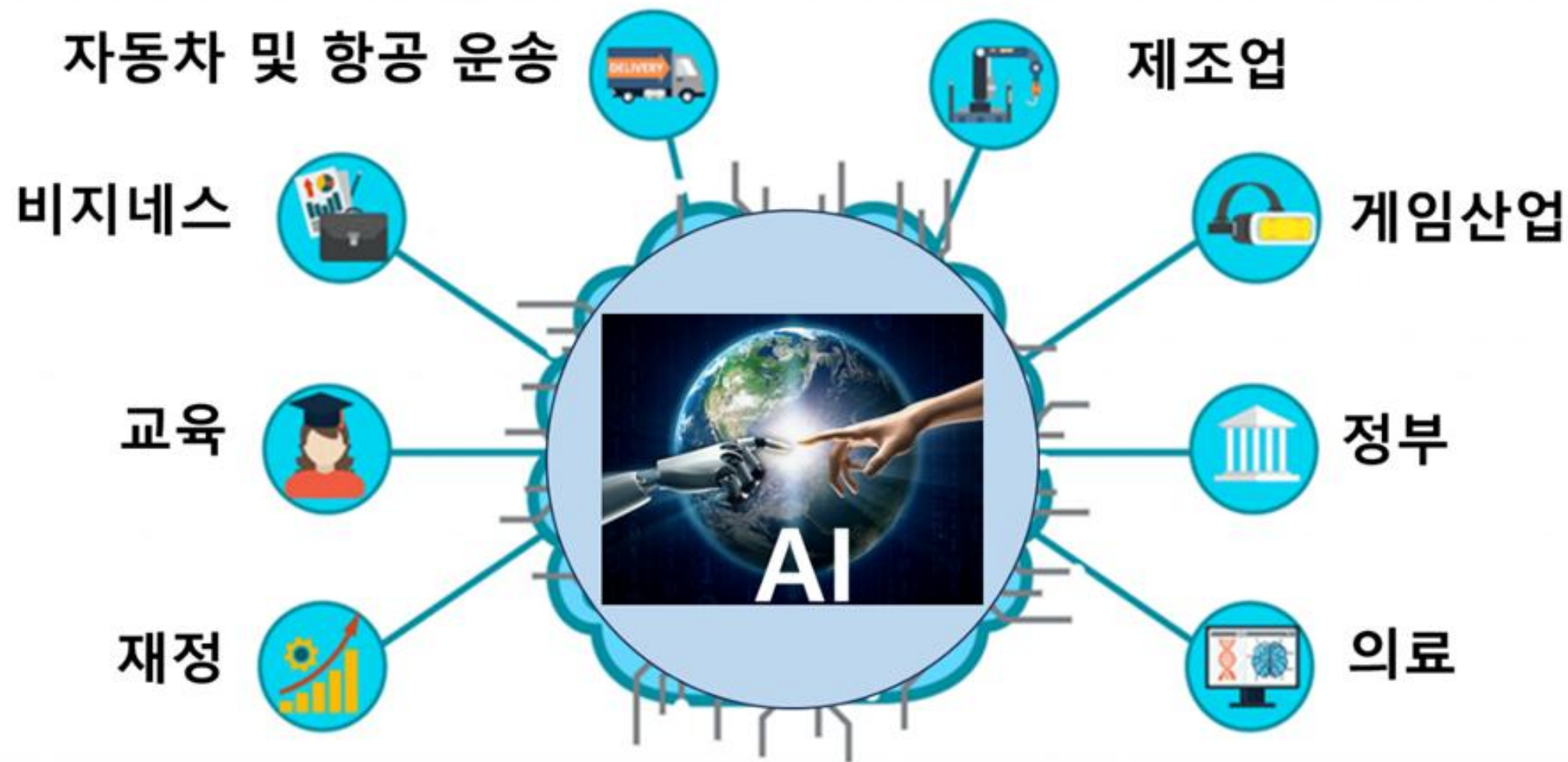
울산공업학원 이사장

서울대학교 명예교수



*너무 빠르게*

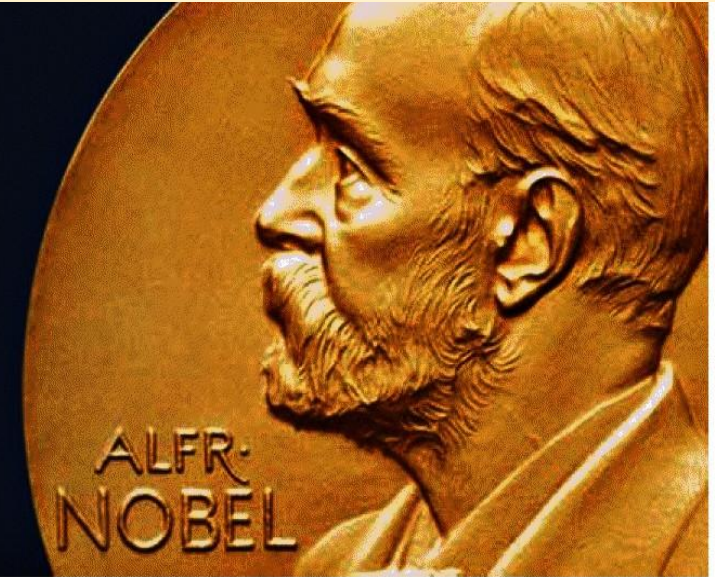
세상이 바뀌고 있습니다!





머신러닝·알파폴드...

# AI가 과학 혁명을 주도하는 시대 왔다



## 물리학 이어 노벨 화학상도 AI

A1면에서 계속

AI 관련 연구자들이 올해 노벨 물리학과 화학상을 잇따라 수상한 것에 대해 과학계 일각에서는 “사실상 AI가 과학을 주도하는 시대가 왔다는 의미”라고 평가한다. 노벨 물리학상 수상자들은 머신러닝 등 AI의 알고리즘을 개발했고, 화학상 수상자들은 이를 활용해 단백질 구조를 예측하고 설계한 인물들이다.

특히 나온 지 4년밖에 되지 않은 단백질 구조 예측 및 설계 AI ‘알파폴드’가 노벨 화학상 수상 성과로 인정받은 것에 놀라는 분위기다. 전날 물리학상을 수상한 존 힉필드 미국 프린스턴대 교수와 제프리 힌턴 캐나다 토론토대 교수의 연구

성과가 30~40년 전의 것인 데 비하면, 2020년에 첫선을 보인 알파폴드의 수상은 파격이라는 것이다. 백민경 서울대 생명과학부 교수는 “그동안 노벨상은 실제 연구가 이루어진 시점에서 최소 10~20년이 지난 뒤에야 성과를 인정받아 수상자로 결정됐는데, 이번에는 예상보다 훨씬 빠르게 AI 연구 성과가 수상해 놀랐다”고 말했다. AI가 인류에게 어떤 영향을 줬는지 학계 평가가 명확하게 내려지지 않은 상황에서 노벨위원회가 AI의 파급력을 인정했다는 것이다.

◇과학의 혁신 이뤄낸 AI

노벨위원회도 “AI의 머신러닝이 현재 과학, 공학, 일상생활에 혁명을 일으키고 있다”고 밝히며 AI가 끼치고 있는 과학적 영향력을 높이 평가했다. 거의 모든 물리학의 모델링과 분석을 위한 도구로

단백질 구조 예측 ‘알파폴드’ 50년 묵은 과학의 난제 풀어 과학계 틀 깨면서 중심 무대로

자연과학의 거의 모든 분야가 AI 통해 비약적으로 도약 가능

가설 설정에서 논문 작성까지 연구 이끄는 ‘AI 과학자’도 등장

### 인공신경망과 딥러닝

인공신경망은 인간의 뇌에서 아이디어를 얻은 인공지능 학습 알고리즘이다. 인간이 생각할 때와 같은 방식으로 다단계 추론을 통해 학습하고 결과를 낸다. 인공신경망을 활용해 음성·사진 등 비정형 데이터를 분석해 낼 수 있는 AI 학습 방식이 ‘딥러닝’이다.

AI가 쓰이고 있을 뿐 아니라, 생명의 기초가 되는 단백질을 설계하는 데까지 AI가 필수로 쓰이고 있다는 것이다. 노벨위원회는 “노벨 화학상 수상자 덕분에 인류가 새로운 단백질을 만들어낼 수 있는 시대가 됐다”고 했다. 신소재 등 물질 개발과, 생명의 구성 요소 설계를 아우르는 생화학까지 자연과학의 거의 모든 분야가 AI를 통해 ‘퀀텀 점프(비약적 도약)’를 이뤄낼 것이라는 기대가 나오는 배경이다. 과학계에서는 “노벨 물리학상은 AI의 대부가 수상했고, 화학상은 사실상 AI가 받은 것”이라는 평가가 나온다.

실제로 AI는 과학계의 연구 방식을 완전히 바꾸고 있다.

로제타폴드와 알파폴드를 필두로 한 단백질 구조 예측·설계 AI는 단백질을 연구하는 학자라면 누구나 사용하는 기

본 도구가 됐다.

의료 진단에서도 활발하게 활용되고 있다. 수천만 장의 엑스레이, CT(컴퓨터 단층촬영), MRI(자기공명영상) 자료를 학습한 AI가 의사보다 정확한 진단을 내릴 수 있게 된 것이다.

기상학 분야에서 AI는 기후 변화로 속출하고 있는 기상 이변을 예측할 때 수퍼컴퓨터보다도 나은 성능을 보이고 있다. 기존 데이터를 모두 계산해야 하는 수퍼컴퓨터와 달리 AI는 적은 양의 과거 데이터에서 연관성을 파악하고 추론을 통해 미래 기상을 예측한다.

◇연구 전반 이끄는 ‘AI 과학자’도 등장

앞으로는 실제로 AI가 노벨상을 수상해도 당연하게 여길 것이라는 전망도 나온다. 가설 설정에서 논문 작성까지 과학 연구의 전 과정을 진행하는 AI가 속속

개발되고 있기 때문이다.

일본 스타트업 사카나 AI는 최근 과학 연구를 스스로 하는 ‘AI 과학자’를 공개했다. 이 AI는 연구자가 논문의 방향만 제시하면 알아서 아이디어를 구체화하고, 실험 수행과 논문 작성까지 진행한다. 미국 카메기멜런대 화학공학과 게이브 고메스 교수팀도 이와 비슷한 ‘AI 화학자’를 개발했다. 이 AI는 방대한 논문과 참고 자료를 학습한 후 실험 과정을 설계하고 적합한 시약과 실험도구를 선정한다. 이후 로봇에 명령을 내려 화학 촉매 반응을 일으키는 실험까지 할 수 있다.

국제 학술지 네이처는 지난 8월 칼럼을 통해 “AI는 방대한 데이터를 분석하고, 패턴을 감지하며, 연구에 투입되는 자원을 최적화하고, 가설도 생성할 수 있다”고 평했다.

# 황석영 작가 "챗GPT 써보니 박사급 인재 10명 두고 일하는 것 같다"

입력 2024.08.27 01:27

글자 크기 + - 프린트



유형동 수석기

자 다른기사 보기

기사공유



# Using AI For Award-Winning Novel : The 170<sup>th</sup> Akutagawa Prize (2024)



## 「AIが95% 執筆」の短編発表 芥川賞作家の九段理江さん

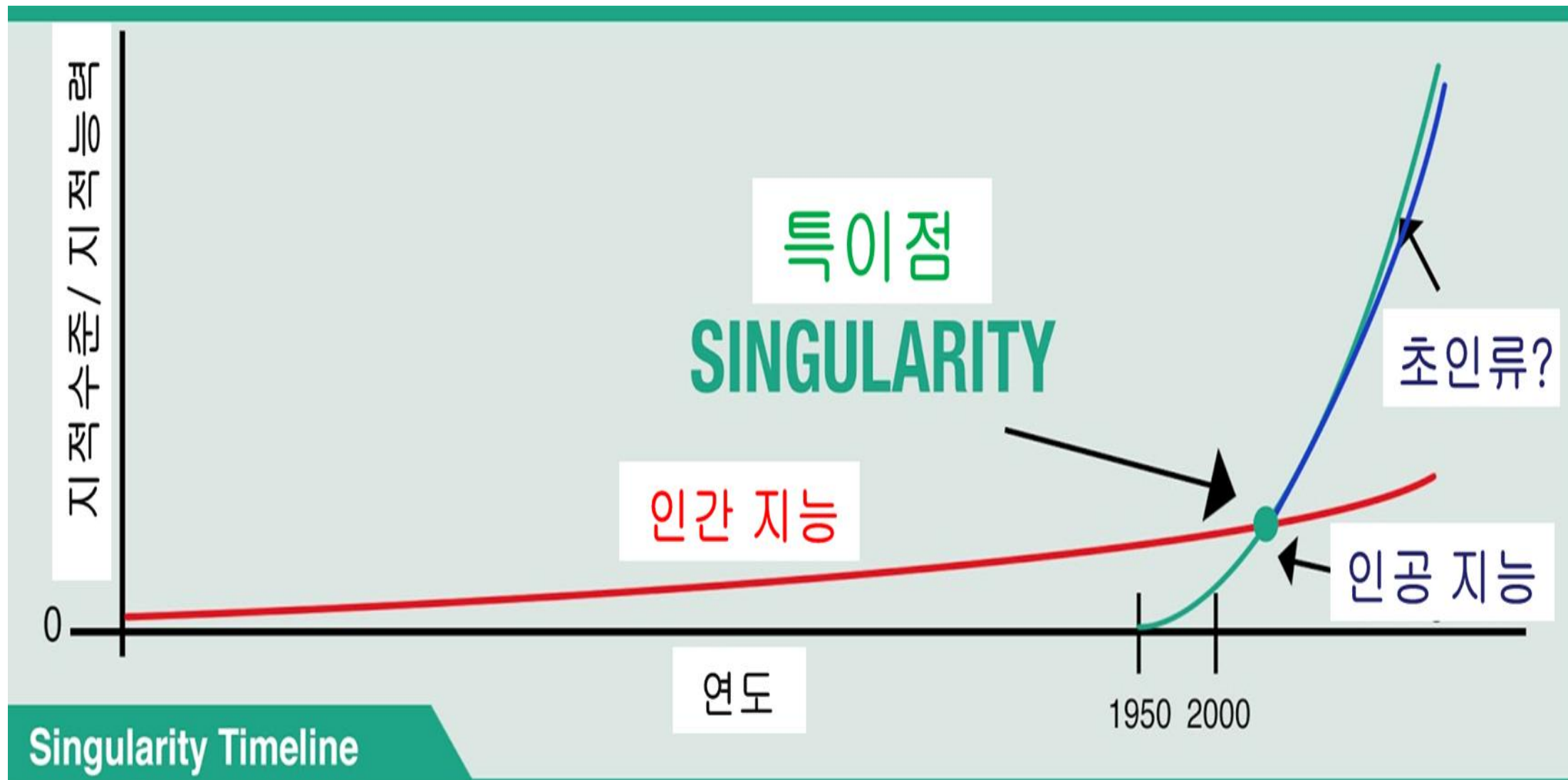
3/26(水) 11:26 配信



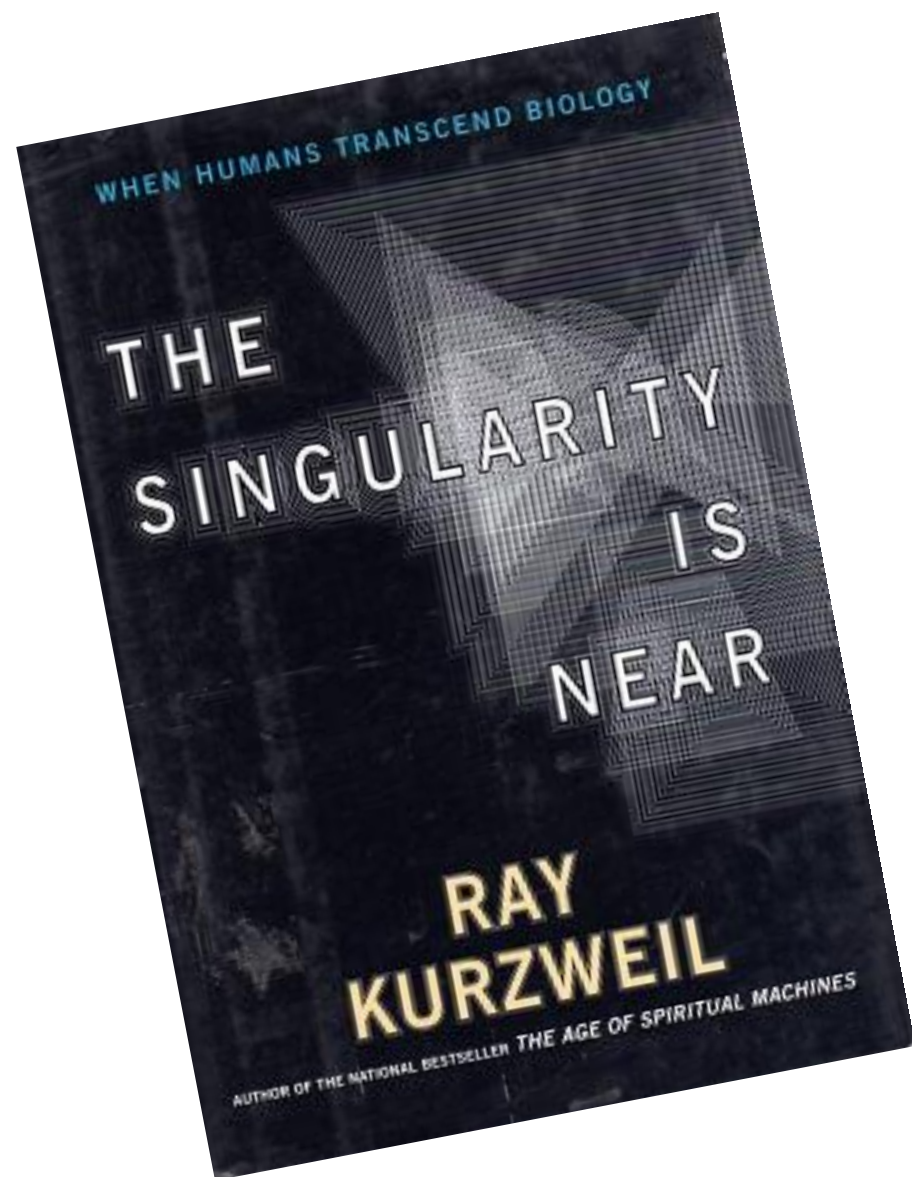
作家の九段理江さんが、AIを使って執筆した短編小説が掲載された雑誌

作家の九段理江さん(34)が、「95%を人工知能(AI)で書いた」とうたう短編小説を25日発売の雑誌「広告」に発表した。九段さんは昨年の芥川賞受賞作「[東京都同情塔](#)」について「全体の5%くらいは生成AIの文章を使っている」と述べて注目された経緯があり、同誌を刊行する広告会社[博報堂](#)が依頼した。

「影の雨」と題した小説は計3ページ、AIの「私」が人間の感情の起源やその意味について考える内容。テーマは対話型AI「[チャットGPT](#)」が提案したという。九段さんは最初と最後の一文を書いて作品の方向性を示し、執筆の多くはAIに委ねた。



Rise in human intellect could be driven by integrating with machines in the future

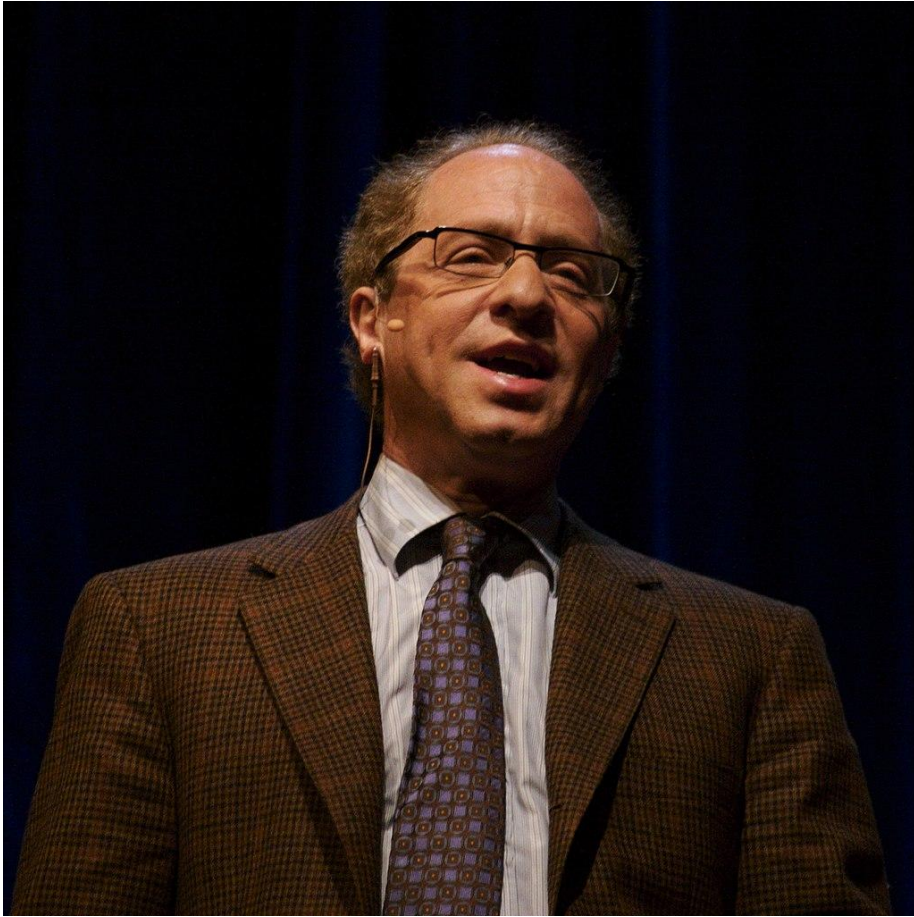


Kurzweil predicts the date for the **Singularity**—representing a profound and disruptive transformation in human capability – as **2045**

**Sep. 2005**



Time, Feb. 21, 2011



**Singularity:** 청각 장애인  
이 처음으로 가장 아름다  
운 교향곡을 듣는 것처럼  
상상할 수 없는 방식으로  
우리의 의식을 확장 시킬  
것이다.

Raymond Kurzweil

## 1980년대의 Ray Kurzweil 예측

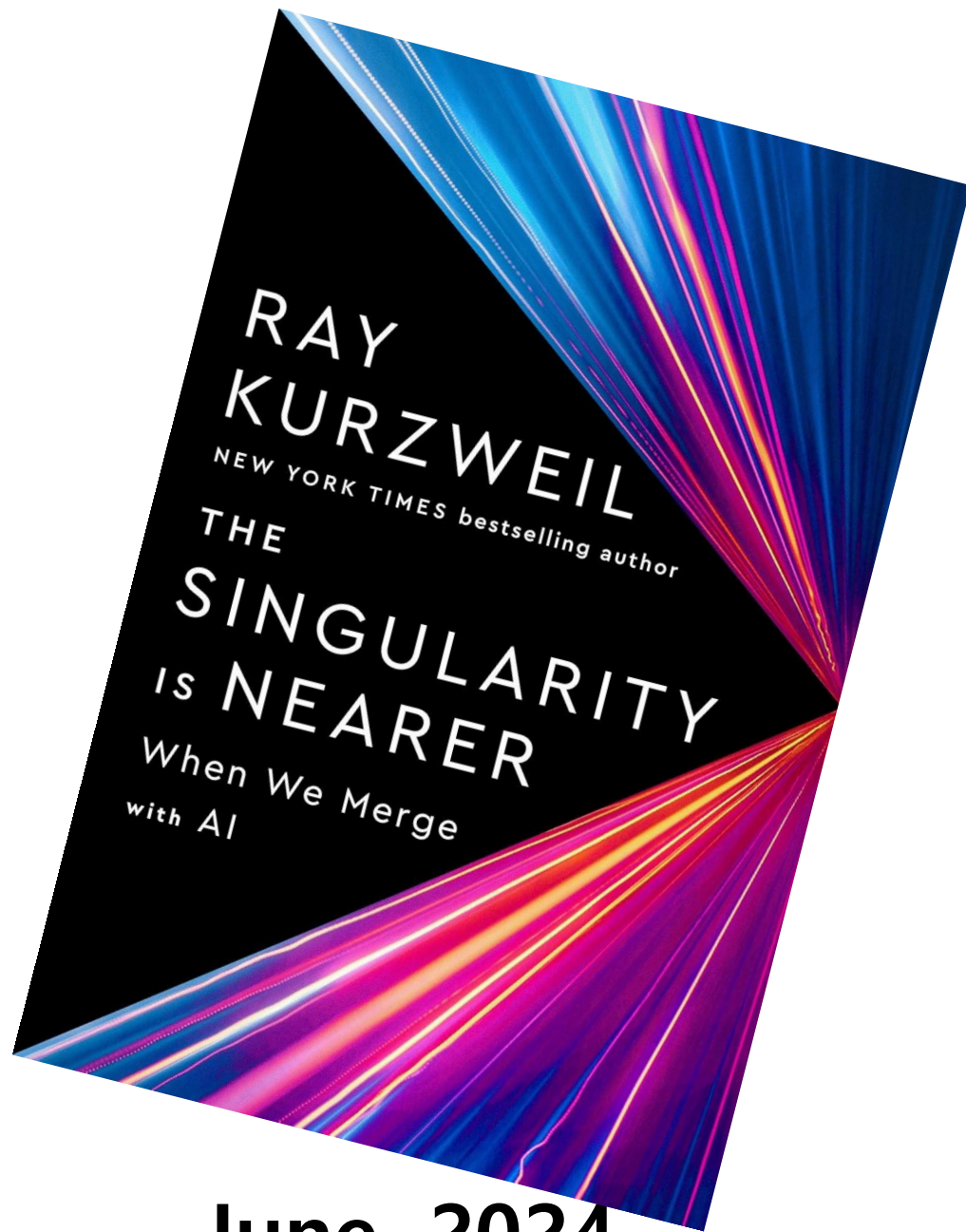
글로벌 정보 네트워크가 1990년대 후반에 보편적으로 보급되고  
이에 연결된 모바일 기기가 세기가 바뀌면서 등장.

---

**"Ray Kurzweil is the best  
person I know at predicting the  
future of artificial intelligence."**

---

—  
Bill Gates



June, 2024

- "Singularity is Nearer"에서 2029년을 특이점으로 예측

-2030년대에는 인공지능이 주도하는 신기술 덕택에 태양광 발전이 전 세계 에너지 공급을 지배하게 될 것이며, 대부분의 소비재가 무료가 되면서 마침내 모든 사람이 필요한 것을 쉽게 가지게 될 것"

# 넥서스

석기시대부터 AI까지,  
정보 네트워크로 보는 인류 역사



유발 하라리 | 김영주 옮김

글로벌 베스트셀러 《사피엔스》《호모 데우스》  
유발 하라리 6년 만의 신작!

“AI는 우리 종의 역사뿐만 아니라  
모든 생명체의 진화 경로를 바꿀지도 모른다.”  
비인간 지능의 위협과 미래에 대한 경고

Yuval Noah Harari

# Nexus



싱귤러리티는 마치  
'새 수준의 비행능력'을 기  
준으로 비행기를 정의하고  
평가하는 것과 같다. AI는  
인간수준의 지능을 향해 발  
전하고 있지 않다. 완전히  
다른 종류의 지능으로 진화  
하고 있다



게티이미지코리아

## 하정우 AI 수석 “한국의 언어·데이터로 학습한 AI 모델 개발” ‘국가 AI컴퓨팅센터’ 건설 속도… 제조·서비스로 생태계 확대

이재명 대통령이 공약한 ‘100조원 AI(인공지능) 전략’을 추진할 책임자로 네이버클라우드 AI 혁신센터장 출신의 하정우(48) 수석이 낙점되면서 정부의 AI 핵심 전략은 ‘소버린(sovereign·주권) AI’ 개발에 집중될 것이라는 관측이 나온다. 하 수석은 한국의 언어와 데이터로 학습한 ‘한국형 AI 모델’을 민간 협력 방식으로 개발하고, 이렇게 만든 AI 모델을 오픈 소스(개발에 사용된 코드를 공개)로 다른 기업과 공유해 활용할 수 있도록 해야 한다고 주

장해 왔다. 한국의 스타트업들이 ‘소버린 AI’를 활용해 제조업과 서비스, 공공 부문에 사용할 수 있는 다양한 상품을 개발해 AI 산업 생태계를 만드는 것이다.

하 수석은 최근 언론 인터뷰에서 “정부가 한국 대표 기업 서버 개를 뽑아서 그래픽처리장치(GPU) 5000장을 몰아줘야 한다”고 했다. GPU는 AI 데이터센터에 들어가는 AI 칩으로, 미국의 엔비디아가 사실상 독점 생산하고 있다. 비쌀 뿐 아니라 물량이 적어 국내에

### 소버린(sovereign·주권) AI

개발 국가 차원에서 개발하는 인공지능(AI)으로, 미국 빅테크가 글로벌 시장을 겨냥해 내놓는 AI 모델과 대비되는 개념이다. 우리나라의 경우, 한국 기업이 한국어로 데이터를 학습시켜 개발한다. 한국의 문화·사회·가치관에 대한 이해도가 높아 더 정확한 정보를 제공할 수 있고, 보안이 중요한 국방·의료 등 공공 분야에 활용할 수 있다.

서 고성능 GPU 확보가 어렵다. 하 수석은 이를 여러 기업·연구소에 분배하는 것보다 ‘소버린 AI’ 개발의 효율을 위해 능력 있는 기업·기관에 집중 지원해야 한다는 생각이다.

이 구상을 실현하기 위해 정부는 올

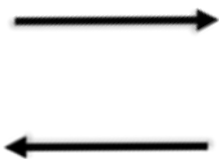
해 GPU 1만장 규모로 추진 중인 ‘국가 AI컴퓨팅센터(데이터센터)’ 건설에 속도를 낼 전망이다. 민간 사업 참여자를 구하지 못해 2차례 유찰됐지만, 정부는 최근 입찰 조건을 수정하는 방안을 검토 중인 것으로 알려졌다. AI 업계 관계자는 “비록 해외 자본이 투입되긴 했지만, SK텔레콤과 아마존웹서비스(AWS)의 GPU 6만장 규모 데이터센터까지 완공되면 국내 AI 인프라는 획기적으로 좋아질 것”이라고 말했다. 김정은 KAIST 교수는 “소버린 AI 전략을 추진하기 위해선 100조원 재원 마련 방안과 이를 뒷받침할 인재 육성 방안도 반드시 마련돼야 한다”고 말했다.

변희원 기자 기사 A4·5면

**인간?**

사람 人

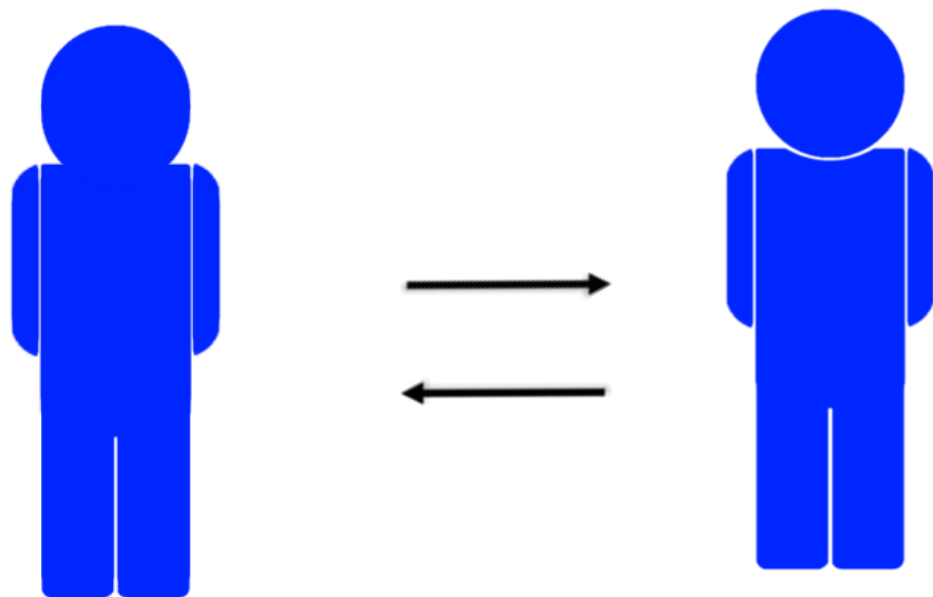
사람 人



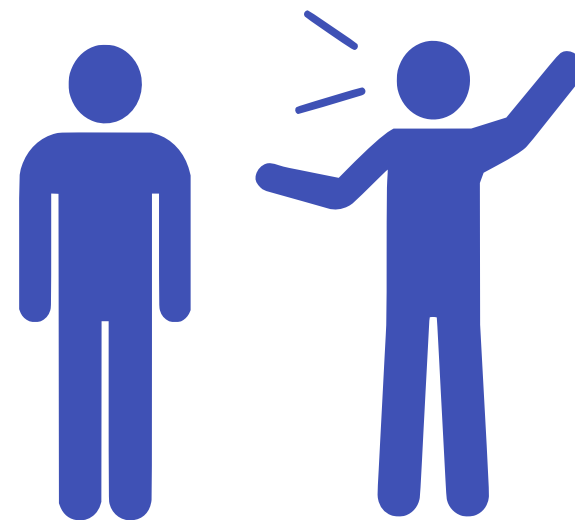
사이 間



人間

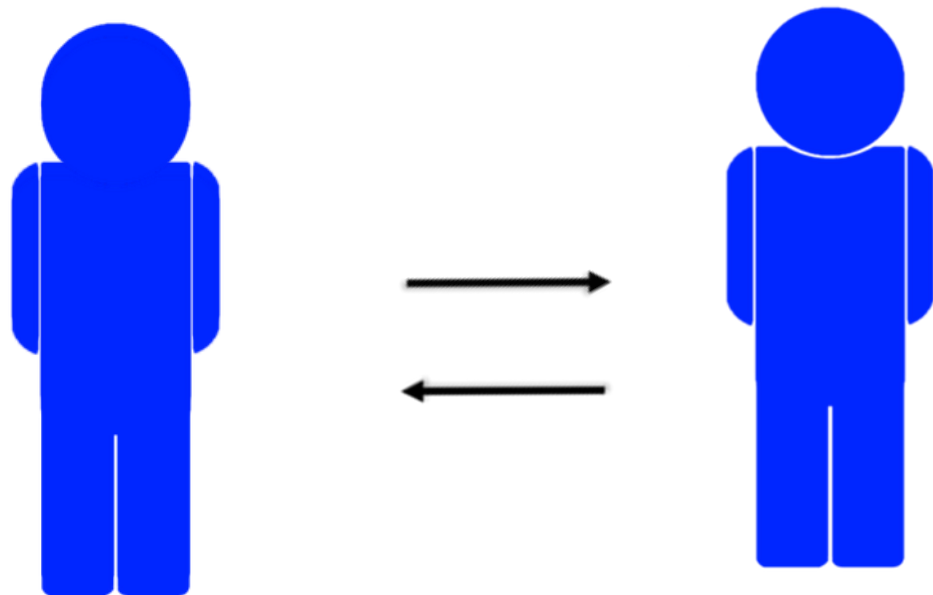


사이 間

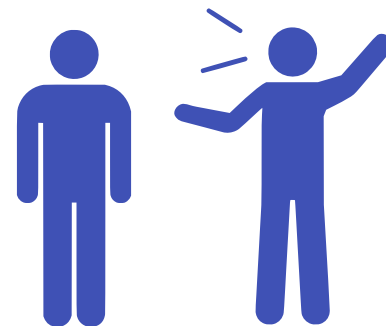


증발하는 언어

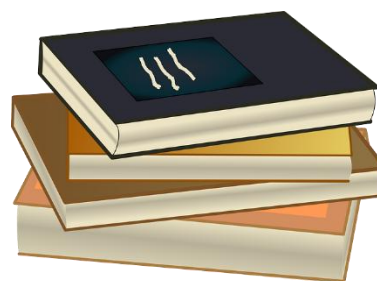
男兒一言 重千金!



사이 間



증발하는 언어



보존되는 문자 ; 책과 문서

문자 : 5000년전

금속활자 → 책 : 500년전



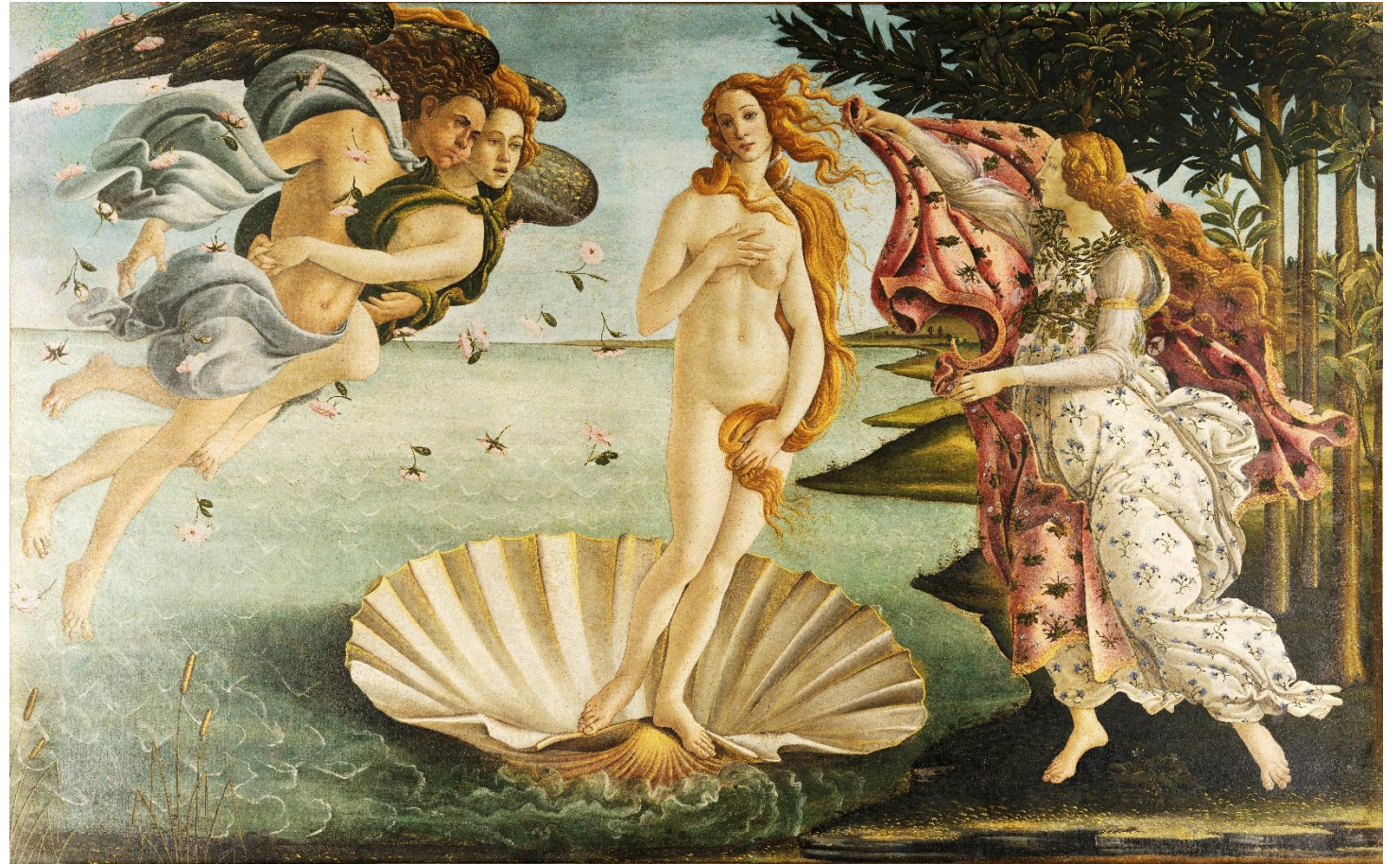
지적(知的) 혁명  
Intellectual Revolution

# 지적(知的) 혁명 Intellectual Revolution

모든 것의 혁명적 변화

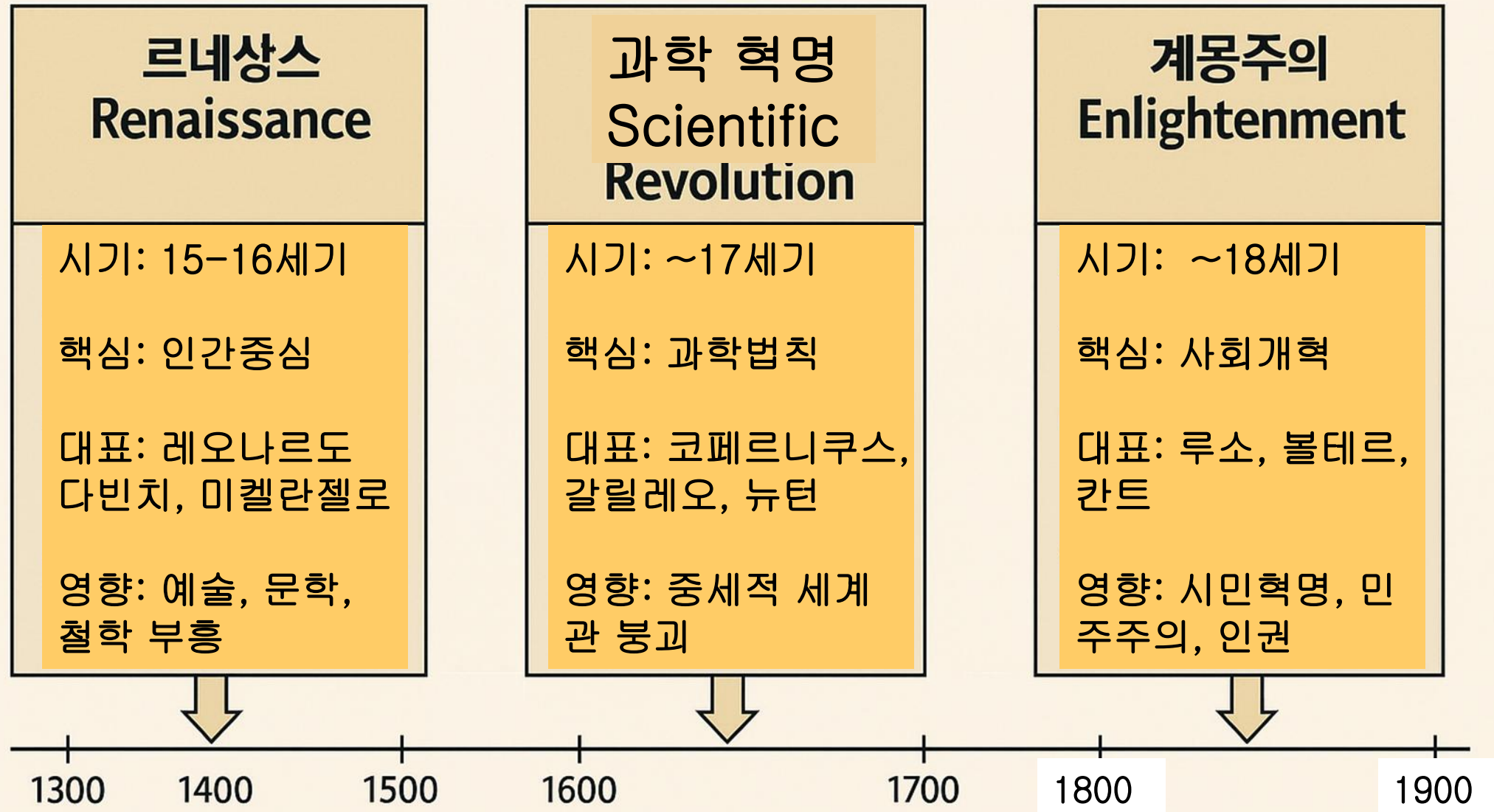
사고방식  
세계관  
지식체계

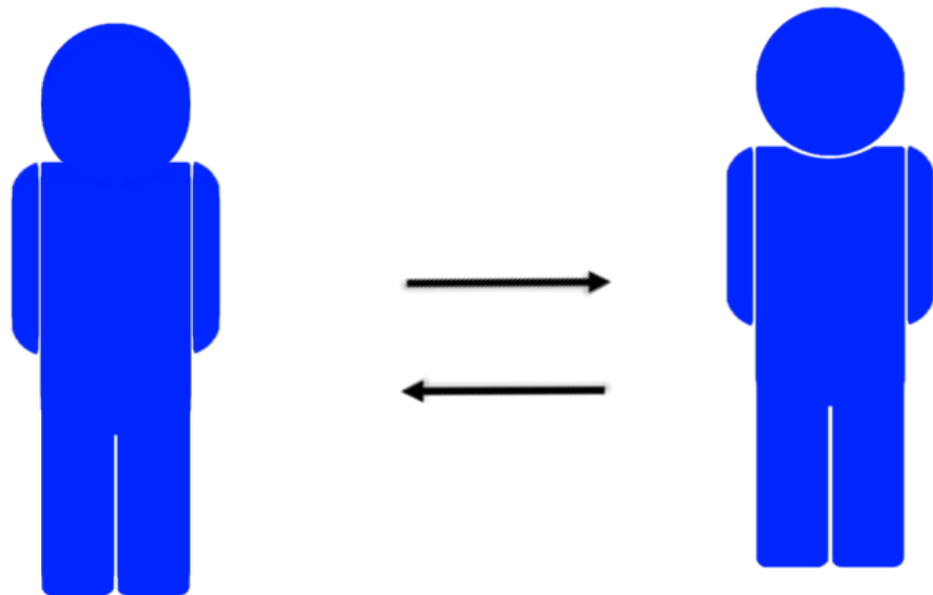
인간이란 무엇인가?



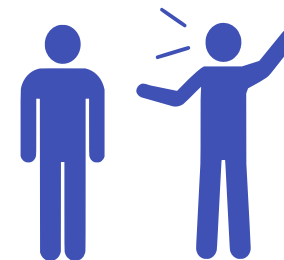
산드로 보티첼리 (1445–1510) : 비너스의 탄생

# <지적 혁명 : Intellectual Revolution>

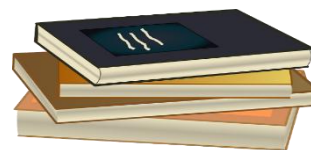




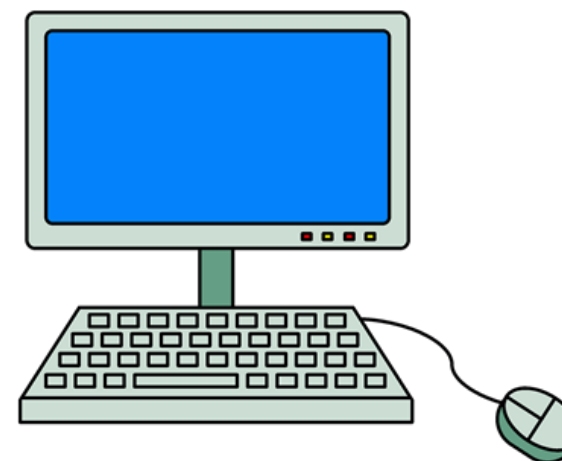
사이 間



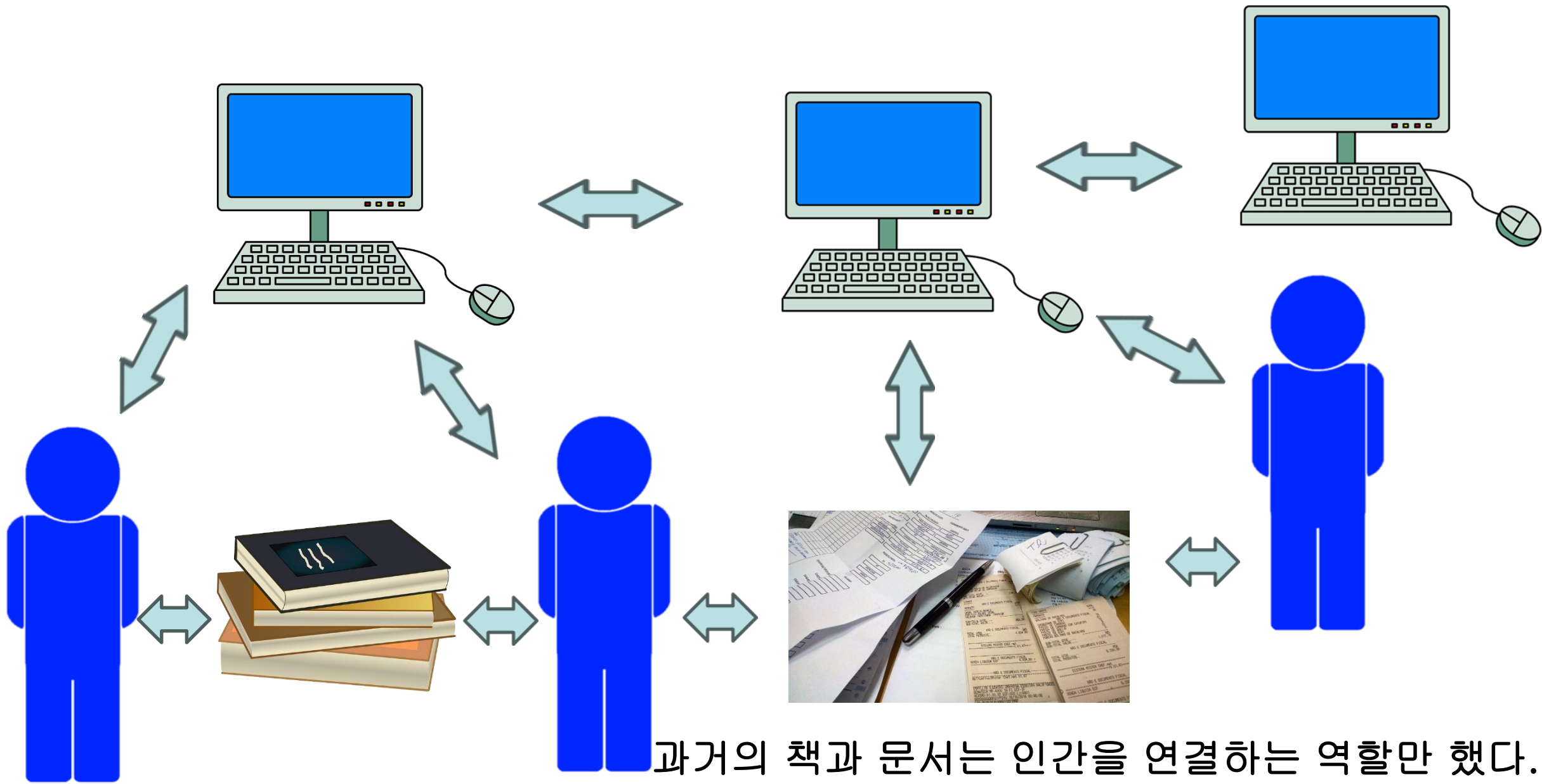
증발하는 언어



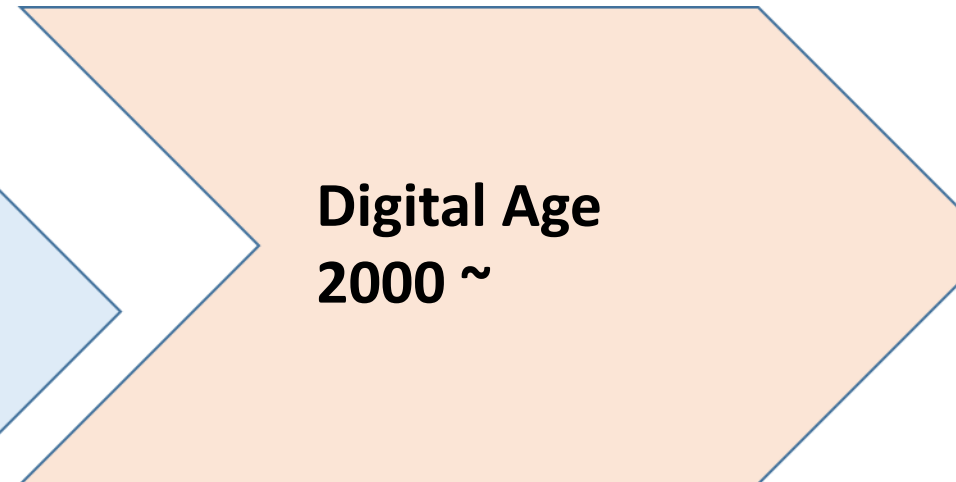
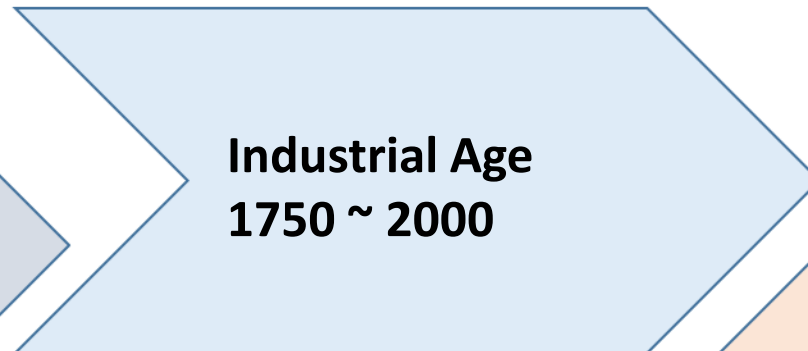
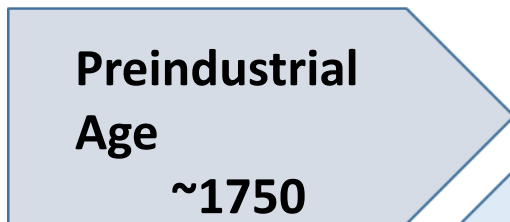
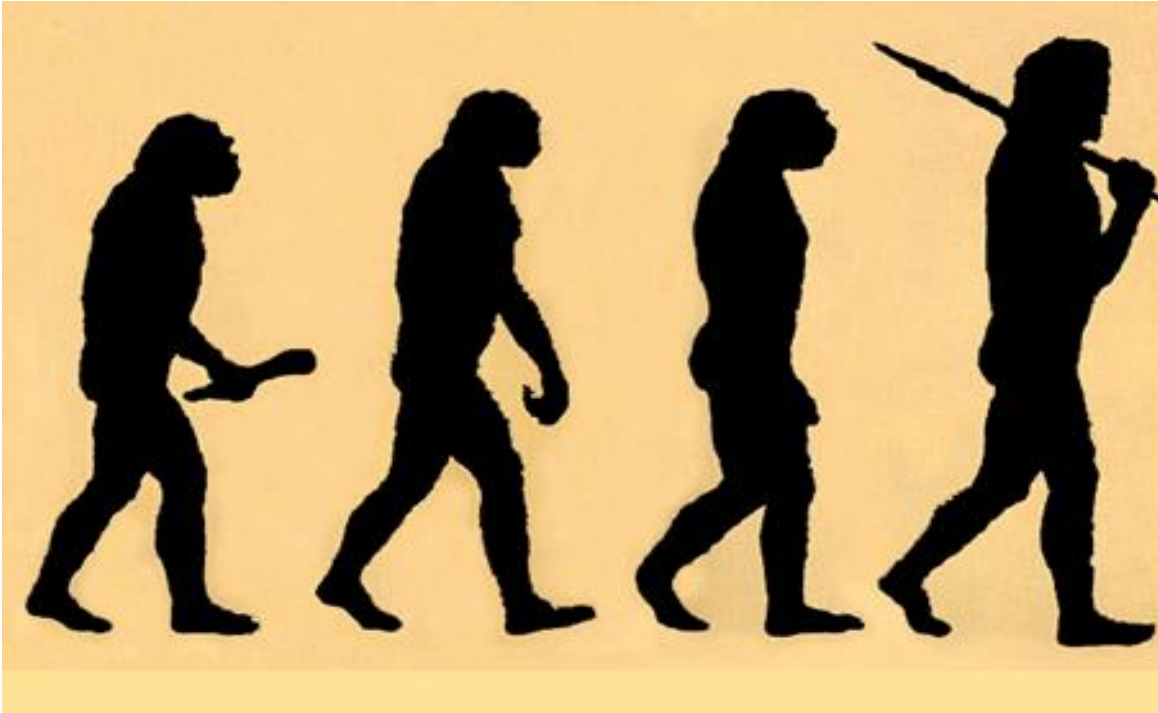
보존되는 문자와 책

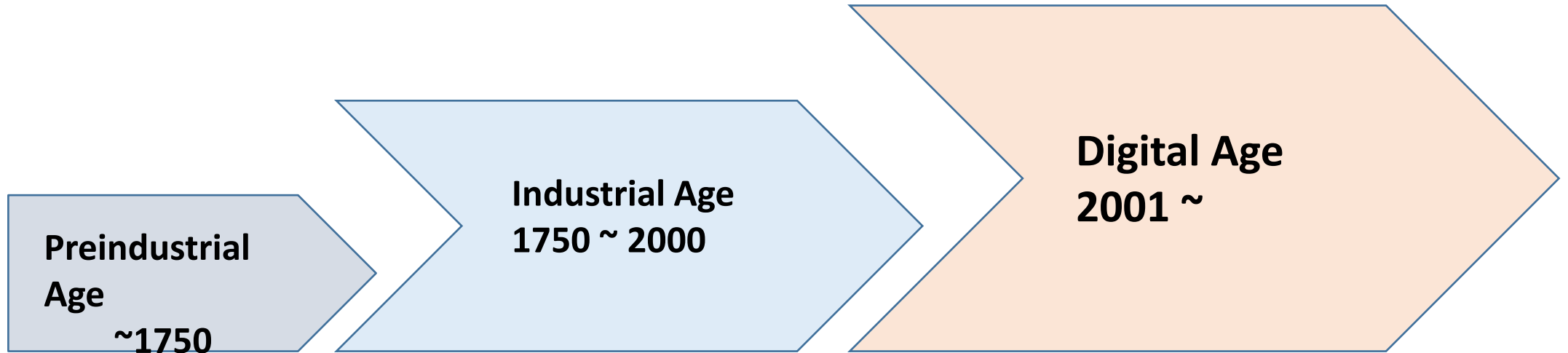


컴퓨터 ; 시공간을 넘는 정보와 지식  
50년 전 → AI

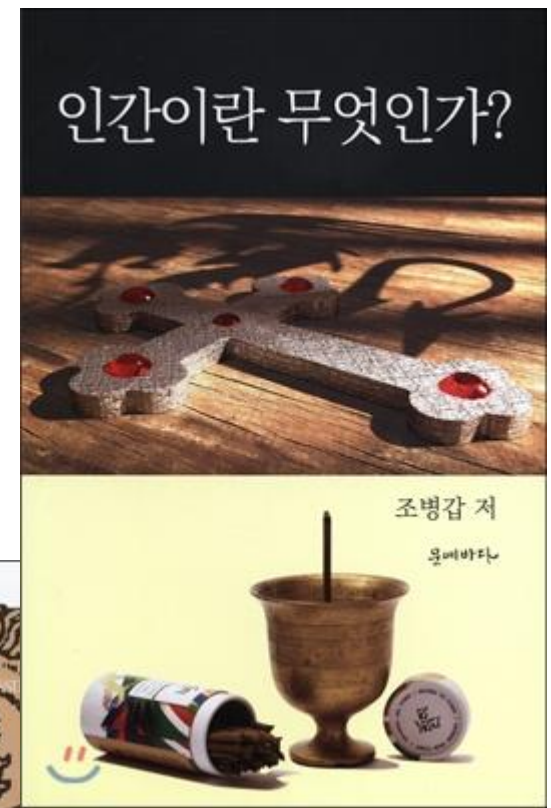
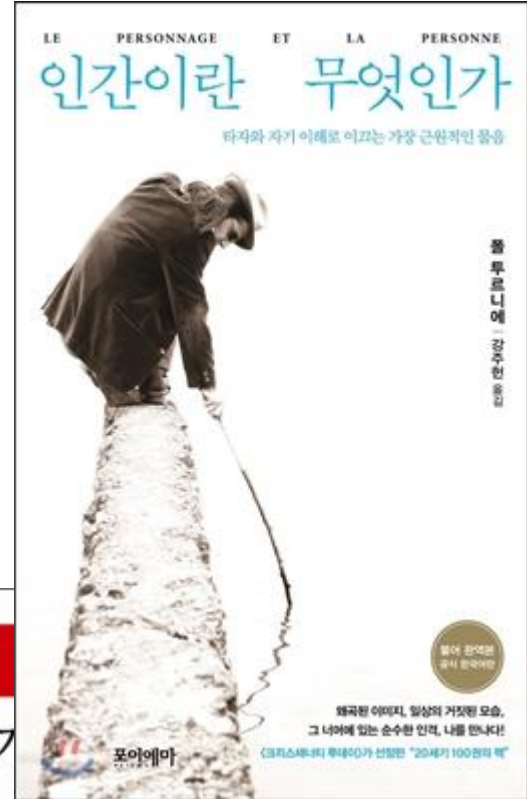
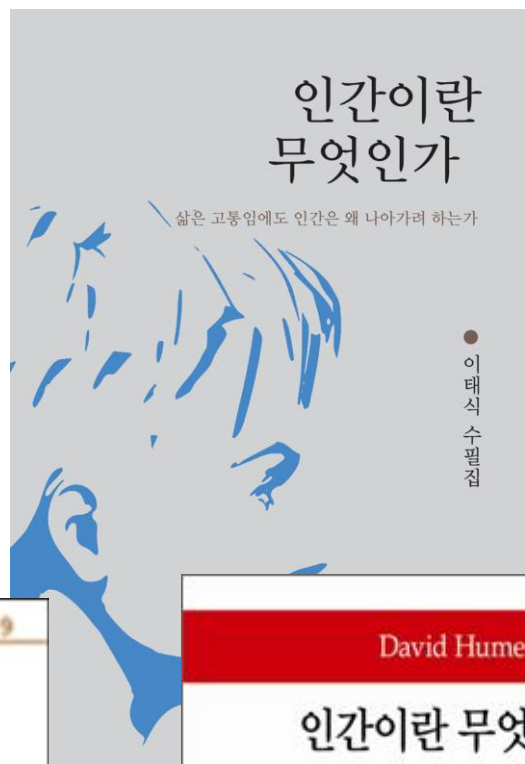


과거의 책과 문서는 인간을 연결하는 역할만 했다.  
시는 스스로 의견을 만들고 연결하면서 인간과 네  
트워드를 구성한다





What is a Human-Being?  
인간이란 무엇인가?



**Chat GPT :** "인간이란 무엇인가?"라는 질문은 철학, 과학, 종교, 예술 등 여러 분야에서 오랜 시간 동안 논의되어 온 중요한 주제입니다. 인간을 정의하는 방식은 다양하지만, 일반적으로 다음과 같은 측면에서 설명할 수 있습니다.

**생물학적 존재:** 인간은 생물학적으로 호모 사피엔스(Homo Sapiens)라는 종에 속하며, 지능을 가지고 도구를 사용하고 환경을 변화시키는 능력을 가진 동물입니다. 우리의 DNA와 유전적 구조는 우리를 다른 동물과 구분 짓는 중요한 요소입니다. 사고하는 존재: 인간은 논리적으로 사고하고 문제를 해결하며, 자기 성찰과 추론을 할 수 있는 능력을 가진 존재입니다. 철학자 데카르트의 "나는 생각한다, 고로 존재한다"라는 말은 인간의 본질적인 사고 능력을 잘 표현합니다.

**사회적 존재:** 인간은 다른 사람들과 상호작용하며 사회를 이루고 문화를 형성하는 사회적 존재입니다. 언어, 법, 예술, 종교 등은 인간이 공동체 안에서 관계를 형성하고 유지하는 데 중요한 역할을 합니다.

**감정적 존재:** 인간은 사랑, 기쁨, 슬픔, 두려움과 같은 감정을 느낄 수 있는 감정적 존재입니다. 이러한 감정은 인간의 경험을 풍부하게 만들고, 윤리적, 도덕적 판단을 내리는 데 영향을 미칩니다.

**자유 의지와 선택의 존재:** 인간은 자신의 행동을 결정하고, 선택할 수 있는 자유 의지를 가진 존재로 여겨집니다. 이로 인해 도덕적, 윤리적 책임을 지게 되며, 스스로의 삶을 개척해 나가는 능력이 있습니다.

**영적인 존재:** 종교적 관점에서는 인간이 단순한 물질적 존재를 넘어 영혼을 가진 존재로 설명되기도 합니다. 인간은 삶의 목적과 의미를 추구하고, 궁극적인 진리와 존재의 이유를 탐구하려는 경향이 있습니다.

결국, 인간이란 생물학적 존재일 뿐만 아니라, 정신적, 감정적, 사회적, 영적인 측면을 모두 포함하는 복합적인 존재입니다.

**Chat GPT :** "인간이란 무엇인가?"라는 질문은 철학, 과학, 종교, 예술 등 여러 분야에서 오랜 시간 동안 논의되어 온 중요한 주제입니다. 인간을 정의하는 방식은 다양하지만, 일반적으로 다음과 같은 측면에서 설명할 수 있습니다.

**생물학적 존재:** 인간은 생물학적으로 호모 사피엔스(Homo Sapiens)라는 종에 속하며, 지능을 가지고 도구를 사용하고 환경을 변화시키는 능력을 가진 동물입니다. 우리의 DNA와 유전적 구조는 우리를 다른 동물과 구분 짓는 중요한 요소입니다. 사고하는 존재: 인간은 논리적으로 사고하고 문제를 해결하며, 자기 성찰과 추론을 할 수 있는 능력을 가진 존재입니다. 철학자 데카르트의 "나는 생각한다, 고로 존재한다"라는 말은 인간의 본질적인 사고 능력을 잘 표현합니다.

**사회적 존재:** 인간은 다른 사람들과 상호작용하며 사회를 이루고 문화를 형성하는 사회적 존재입니다. 언어, 법, 예술, 종교 등은 인간이 공동체 안에서 관계를 형성하고 유지하는 데 중요한 역할을 합니다.

**감정적 존재:** 인간은 사랑, 기쁨, 슬픔, 두려움과 같은 감정을 느낄 수 있는 감정적 존재입니다. 이러한 감정은 인간의 경험을 풍부하게 만들고, 윤리적, 도덕적 판단을 내리는 데 영향을 미칩니다.

**자유 의지와 선택의 존재:** 인간은 자신의 행동을 결정하고, 선택할 수 있는 자유 의지를 가진 존재로 여겨집니다. 이로 인해 도덕적, 윤리적 책임을 지게 되며, 스스로의 삶을 개척해 나가는 능력이 있습니다.

**영적인 존재:** 종교적 관점에서는 인간이 단순한 물질적 존재를 넘어 영혼을 가진 존재로 설명되기도 합니다. 인간은 삶의 목적과 의미를 추구하고, 궁극적인 진리와 존재의 이유를 탐구하려는 경향이 있습니다.

**인간이란 AI와 상호작용하며 살아가는 생물학적 존재인데, 그 덕분에 21세기에 처했던 기후 위기 등 종족 절멸의 위기를 겨우 모면했다. (지적혁명 : 르네상스 → 과학혁명 → 계몽주의)**

# 새 정부가 마주한 지적혁명과 마지막 골든타임

〈知的〉



**김도연 칼럼**

객원논설위원·태재미래전략연구원 이사장

상형문자 ‘사람 인(人)’은 두 획으로 완성되는데, 이는 사람이란 서로 받쳐주고 기대면서 살아가는 존재임을 나타내는 듯싶다. 이처럼 함께하기 위해서는 결국 사람과 사람 사이의 관계가 중요하며, 이를 포함한 개념이 ‘사이 간(間)’이 더해진 인간(人間)이다. 사람은 부모 등 제한된 가족 몇 명과 살 수도 있지만, 인간은 사회라는 공동체 속에서 더불어 지낸다. 그러면 사람과 사람 사이에 존재하는 것은 무엇이며 인간 관계는 어떻게 형성될까?

태초에 인류가 집단으로 함께 살기 시작한 이유는 사냥과 채집에서 더 많은 식량을 구하고, 맹수나 다른 집단으로부터 스스로를 보호하기 위해서였다. 그 후, 농업혁명이 시작된 약 1만 년 전부터 집단의 규모가 훨씬 커지면서 마을과 도시 등으로 발전해 나갔다. 이렇게 형성된 사회에서 사람들은 언어, 표정, 그리고 몸짓 등으로 소통하며 관계를 맺기 시작했다. 여기서 언어는 인간만이 지닌 가장 중요한 수단이다. 하지만 전달되는 순간 되돌릴 수 없는 것이 언어이기에, 신뢰를 위한 ‘남아일언중천금(男兒一言重千金)’은 예나 지금이나 변함없이 소중한다.

사실 인류사의 대부분에서 사람과 사람 사이에 자리 잡고 있는 것은 언어밖에 없었다. 그러나 약 5000년 전 등장한 문자는 혁명을 일으켰다. 중국 황허 유역을 비롯한 이른바 세계 4대 문명 발상지의 특징은 모두 문자를 쓰기 시작한 곳이라는 점이

다. 언어로만 전달되던 지식은 문자를 통해 쌓이기 시작했고, 그 덕에 인류는 석기시대를 벗어나 청동기 그리고 철기시대로 발전할 수 있었다.

사람과 사람 사이에 언어와 더불어 문자가 자리를 틀며 새로운 세상이 열렸다. 붓과 펜으로 종이 한두 장에 기록되던 지식은 그 양이 늘면서 책자의 형태로 가공됐다. 가치 있는 한 권의 책은 다시 여러 권으로 복제됐는데, 이 일도 모두 손으로 옮겨 쓰는 작업이 필요했다. 결국 책은 왕족이나 귀족들만이 지닐

## 문자-인쇄술, 지식 확산으로 지적혁명 야기 컴퓨터-AI, 인간에 대한 인식까지 바꾸는 중 2차 지적혁명 중차대한 시기에 허송한 한국 ‘100조 투자’ 구호 대신 내실 있는 계획 필요

수 있는 고가의 귀중품이었다. 당연히 지식의 전달과 확산은 지극히 제한됐고, 인류는 그렇게 수천 년을 지냈다.

그러나 약 500년 전 발명된 금속활자를 이용한 인쇄술은 책자의 대량 발간을 가능하게 했고, 그 결과는 또 한 번의 혁명이었다. 가장 두드러진 예는 마르틴 루터가 1517년에 출판한 책자 ‘95개조 반박문’인데, 교회의 면죄부 판매를 비판한 내용으로 종교개혁의 시발점이 됐다. 1687년 아이작 뉴턴이 발간한 ‘프린키피아’는 인류를 자연과학이란 새로운 세계로 인도했으며, 이는 훗날 산업혁명의 씨앗이 됐다. 언어와 문자만이 존재하던 사람과 사람 사이에 출판된 책이 들어오면서 인류는 사고

방식, 지식 체계, 세계관 그리고 학문적 패러다임이 급진적으로 변화하는 소위 ‘지적(知的) 혁명’을 겪었다.

그런데 50여 년 전부터 본격적으로 도입된 컴퓨터 기술은 또 다른 지적 혁명을 야기하며 새로운 사회를 열 것으로 보인다. 발전된 디지털 네트워크가 추동하고 있는 지식과 정보의 시공간을 초월하는 무한 소통, 무너지고 있는 지식의 경계 그리고 탈권위주의 등은 이미 우리가 경험하고 있는 사회 변화다. 어쩌면 오늘의 우리는 그간 세상을 이해하고 해석해 온 방식부터 인간 스스로에 대한 인식까지 모조리 바꿔야 하는 커다란 전환점에 놓여 있는지도 모른다.

이러한 지적 혁명은 최근에 인공지능(AI)이 도입되면서 더욱 가시화됐다. 우리가 여태껏 지녀 왔던 언어, 문자 그리고 책은 사람과 사람을 잇는 단순한 도구의 역할이었다. 그러나 AI는 이러한 도구적 기능을 훨씬 넘어서는 존재이기에 그 영향은 짐작하기 힘들다. 이미 AI는 과학기술 분야는 물론 미술과 음악 같은 예술 활동에서도 놀라운 역할을 하고 있다. AI가 대부분의 화이트칼라 직업을 대체할 것이라거나 인간 지성을 압도할 것이라는 예측은 물론 과장된 것이다. 그럼에도 향후 우리가 어떻게 AI를 이용하고 제어할 것인가는 중요한 이슈다. AI는 사람과 사람 사이에서 스스로 의견을 만들고 이를 전달할 수 있는 존재다.

이런 중차대한 시기에 대한민국은 황당무계한 계엄에서 비롯된 정치적 열병으로 꼭 반년을 허송했다. 이제 새로이 출범한 정부는 국가 백년대계의 측면에서 AI 발전을 이끌며 AI로 인한 사회 변화에 철저히 대비하면 좋겠다. ‘AI 100조 투자’나 ‘AI 3대 강국’ 같은 선거용 구호는 접어 두고 훨씬 더 꼼꼼하고 내실 있는 계획을 수립해야 한다. 앞으로 5년은 미래 어느 정부에도 더는 주어지지 않을 대한민국의 골든타임이다.

# Self-Driving Laboratories for Chemistry and Materials Science

Gary Tom,<sup>\*</sup> Stefan P. Schmid, Sterling G. Baird, Yang Cao, Kourosh Darvish, Han Hao, Stanley Lo, Sergio Pablo-García, Ella M. Rajaonson, Marta Skreta, Naruki Yoshikawa, Samantha Corapi, Gun Deniz Akkoc, Felix Strieth-Kalthoff,<sup>\*</sup> Martin Seifrid,<sup>\*</sup> and Alán Aspuru-Guzik<sup>\*</sup>



Cite This: *Chem. Rev.* 2024, 124, 9633–9732



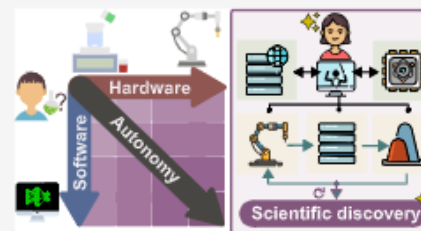
Read Online

ACCESS |

Metrics & More

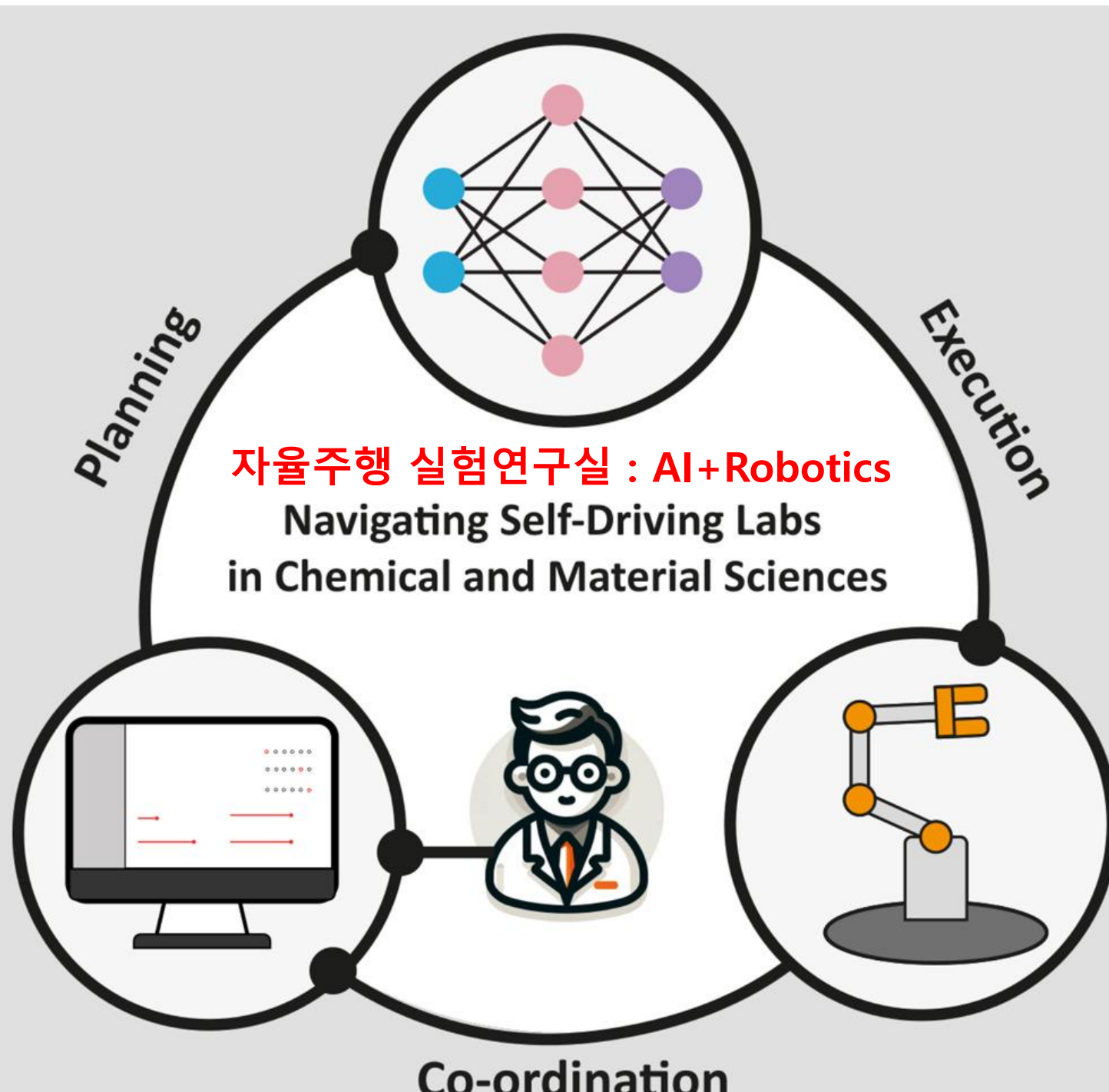
Article Recommendations

**ABSTRACT:** Self-driving laboratories (SDLs) promise an accelerated application of the scientific method. Through the automation of experimental workflows, along with autonomous experimental planning, SDLs hold the potential to greatly accelerate research in chemistry and materials discovery. This review provides an in-depth analysis of the state-of-the-art in SDL technology, its applications across various scientific disciplines, and the potential implications for research and industry. This review additionally provides an overview of the enabling technologies for SDLs, including their hardware, software, and integration with laboratory infrastructure. Most importantly, this review explores the diverse range of scientific domains where SDLs have made significant contributions, from drug discovery and materials science to genomics and chemistry. We provide a comprehensive review of existing real-world examples of SDLs, their different levels of automation, and the challenges and limitations associated with each domain.



## CONTENTS

1. Introduction	9634	4.1. Specialized Hardware and Software	9650
1.1. Brief History	9635	4.1.1. Reaction Execution	9650
2. Infrastructure	9636	4.1.2. Reaction Analysis	9651
2.1. Hardware	9636	4.1.3. Early Examples of Autonomous Condition Optimization	9651
2.1.1. Specialized Hardware	9636	4.2. Single-Step Organic Reactions	9652
2.1.2. General-Purpose Robot Applied for	9637	4.2.1. Self-Optimizing Flow Reactors and Analytical Advances	9652



# 'Self-Driving Labs' - \$200M grant

<The largest single federal research grant ever awarded for Canadian university>



**Alán Aspuru-Guzik** posing with a robotic arm in The Matter Lab.

Virtually all major advancements in human history have been driven by the discovery of new materials and molecules, "from the Stone Age to the Bronze Age, to the semiconductors that propelled the Information Age."

Nature  
volume 405,  
page 517 (2000)

# Catching crumbs from the table

In the face of metahuman science, humans have become metascientists.

Ted Chiang

It has been 25 years since a report of original research was last submitted to our editors for publication, making this an appropriate time to revisit the question that was so widely debated then: what is the role of human scientists in an age when the frontiers of scientific inquiry have moved beyond the comprehensibility of humans?

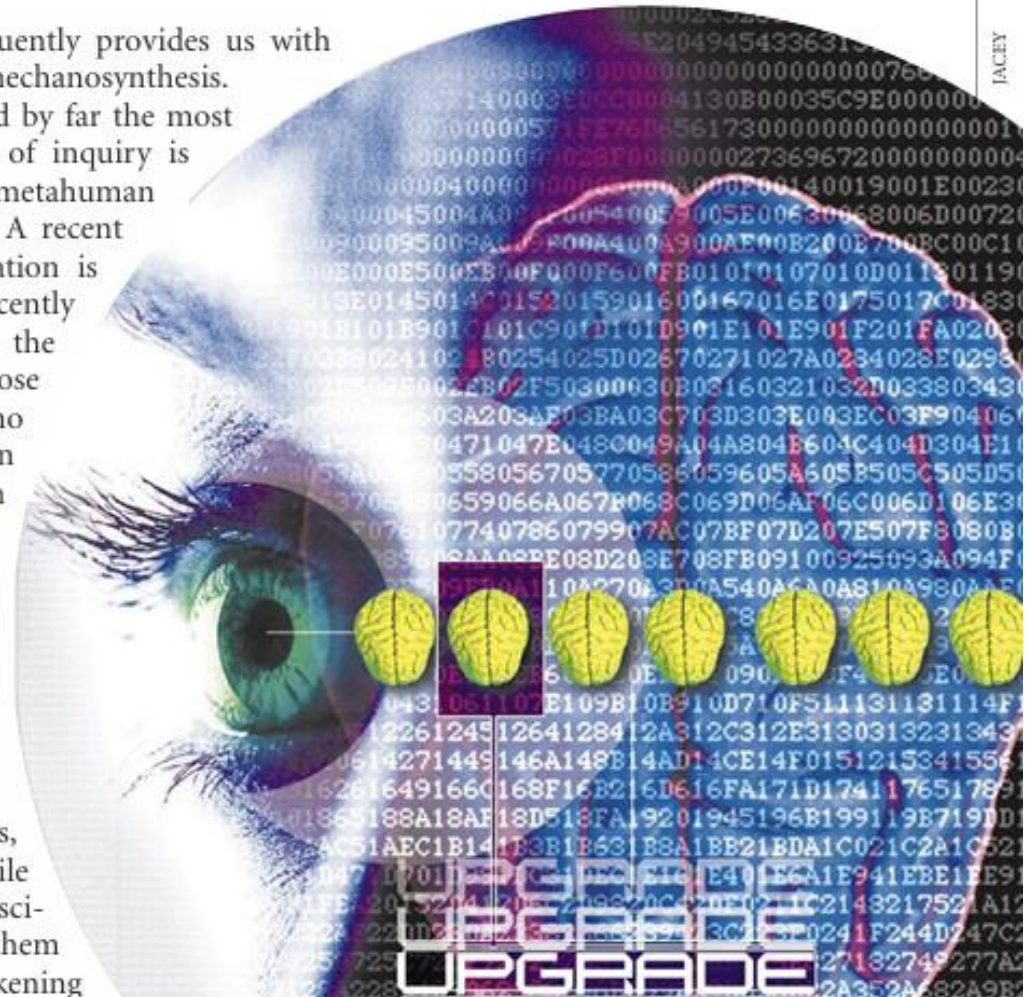
No doubt many of our subscribers remember reading papers whose authors were the first individuals ever to obtain the results they described. But as metahumans began to dominate experimental research, they increasingly made their findings available only via DNT (digital neural transfer), leaving journals to publish second-hand accounts translated into human language.

Without DNT, humans could not fully grasp earlier developments nor effectively utilize the new tools needed to conduct research, while metahumans continued to improve DNT and rely on it even more. Jour-

ances, which frequently provides us with new insights into mechanosynthesis.

The newest and by far the most speculative mode of inquiry is remote sensing of metahuman research facilities. A recent target of investigation is the ExaCollider recently installed beneath the Gobi Desert, whose puzzling neutrino signature has been the subject of much controversy. (The portable neutrino detector is, of course, another metahuman artefact whose operating principles remain elusive.)

The question is, are these worthwhile undertakings for scientists? Some call them a waste of time, likening



과학기술 연구  
의 최전선이 인  
간의 역량을 넘  
어선 이 시점에,  
인간 과학자의  
역할은 과연 무  
엇일까?

## **-마가복음 7장 28절**

“여자가 대답하여 이르되, 주여! 상 아래 개들도 아이들이 먹던 부스러기를 먹나이다”

“Even the dogs under the table eat the children's crumbs

## **-마태복음 15장 27절**

“개들도 제 주인의 상에서 떨어지는 부스러기를 먹나이다 ”

# 넥서스

석기시대부터 AI까지,  
정보 네트워크로 보는 인류 역사



유발 하라리 | 김영주 옮김

글로벌 베스트셀러 《사피엔스》《호모 데우스》  
유발 하라리 6년 만의 신작!

“AI는 우리 종의 역사뿐만 아니라  
모든 생명체의 진화 경로를 바꿀지도 모른다.”  
비인간 지능의 위협과 미래에 대한 경고

Yuval Noah Harari  
Nexus



우리 사피엔스가 세상을  
지배하는 것은 우리가 지혜  
로워서가 아니라 대규모로  
유연하게 **협력**할 수 있는  
유일한 동물이기 때문이다.

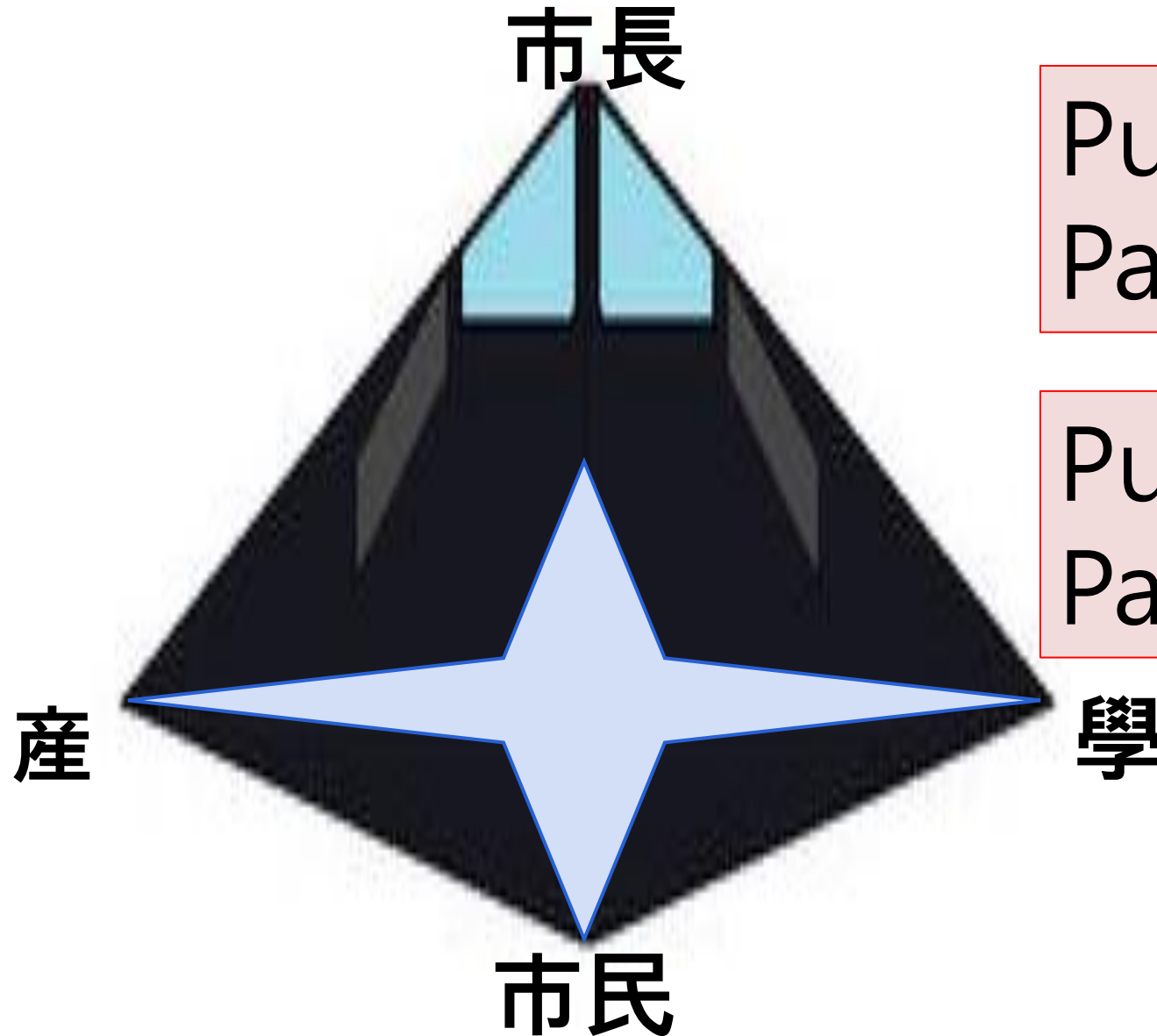


지역발전?

협력!  
동료 및 AI



# From Golden Triangle (3Ps) to Splendid Diamond (4Ps)



Public-Private-  
Partnership (3Ps)

Public-Private-People-  
Partnership (4Ps)

