

융합연구리뷰

Convergence Research Review

한상수, 김동훈 (한국과학기술연구원 계산과학연구센터)
인공지능, 소재개발에 침투하다

권영만 (한국과학기술연구원 융합연구정책센터)
국내외 인공지능 R&D 정책 동향

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 인공지능, 소재 개발에 침투하다
- 35 국내외 인공지능 R&D 정책 동향



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2019 January vol.5 no.1

발행일 2019년 1월 10일

발행인 김주선

편집인 최수영·권영만

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4980 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



● 인공지능, 소재개발에 침투하다

2015년 전후, 본격적으로 인공지능을 통한 소재개발연구가 급격히 발전하였다. 인공지능은 기존 계산과학 방식과는 다른 방법(소재 물성 데이터베이스에서 소재 정보와 물질간의 상관관계를 찾고, 새로운 소재의 물성을 예측)으로 소재개발연구 분야에 새로운 패러다임을 제공하고 있다.

이에, 본 호 1부에서는 소재 개발 분야에서 인공지능의 활용과 의미, 인공지능을 활용한 소재연구 동향, 실제 연구사례 및 발전방향 등을 살펴보고자 한다. 구조정보 데이터베이스와 소재물성 정보 데이터베이스의 소개를 통해 인공지능을 통한 소재개발연구의 가장 기본적인 툴(tool)을 설명하고, 인공지능 모델 개발 3단계(샘플구성→기계학습 모델 개발→검증)를 통해 미지 소재들의 물성을 매우 빠른 속도로 예측해 볼 수 있다. 하지만 현재까지는 대부분 소재정보로부터 물성을 예측하는 “정방향” 설계 방식에 머물러 있다. 연구자가 원하는 물성을 입력하여 소재 정보를 출력하는 “역방향” 설계 방식이 개발되면 소재 개발의 패러다임을 바꿀 수 있는 큰 파급력을 지닐 것으로 예측되며, 이를 위해 더 많은 연구의 투자가 이루어질 것이다.

본 호를 통해 2~3년 사이 인공지능 기술이 활발히 개척된 소재개발연구 분야의 동향과 실 연구사례 등을 소개하면서 해당 분야에서 인공지능 기술의 확장가능성을 살펴볼 수 있었다. 인공지능을 보다 효과적으로 활용하기 위해 소재 전문가와 수학/통계/전산/전자공학 등의 전문가와 협업이 중요함에 따라 소재 분야 내 인공지능을 통한 분야 간 융합을 기대해 본다.

● 국내외 인공지능 R&D 정책 동향

2016년 3월 전 세계가 주목한 프로바둑기사 이세돌과 알파고의 바둑 대결을 통해 인공지능기술의 성장과 그 능력에 수많은 사람들이 열광하고 한편으로는 두려워했다. “한 세기 전 전기의 발견과 이를 통한 혁명으로 증기기관이 대체됐듯, 인공지능은 21세기의 전기”가 될 것이라는 의견과 함께, 인공지능은 더 이상 먼 미래의 기술이 아닌 시대가 되었다. 이를 계기로 수많은 국가에서 인공지능전략과 R&D 정책을 새로이 수립하였고, 분야의 선구자가 되기 위해 정책적 노력을 기울이는 중이다.

이에, 본 호 2부에서는 우리나라, 미국, 중국, 일본, 캐나다, 프랑스, 싱가포르의 인공지능 R&D 정책 및 국가별 전략을 알아보고, 이에 따른 시사점을 도출해내고자 하였다. 우리나라의 경우 2016년 3월, 지능정보산업 발전 전략부터 시작해 2018년 5월, 인공지능(AI) R&D 전략까지 일련의 전략 수립을 통해 인공지능기술의 발전을 이끌고 있다. 미국은 현 정부의 색채에 따라 자국민 및 자국 산업을 위한 인공지능 정책을 우선시하고 있으며, 중국은 중앙정부 주도의 공격적 투자와 지원을 통해 미국과 더불어 인공지능 분야 세계 1위를 목표로 하고 있다. 일본과 프랑스는 인공지능 기술의 공공분야 적용을 위한 전략을 중점적으로 추진 중이며, 캐나다와 싱가포르는 범국가적 차원의 클러스터 및 이니셔티브 조직을 통해 민간과 정부의 동시다발적 성장 전략을 구축하였다.

본 호를 통해 인공지능 주요 선도국의 인공지능 R&D 정책 동향을 살펴봄으로써 우리나라의 전략과 비교가 가능하였으며, 인공지능은 단기간 연구개발로 끝나는 기술이 아님과 동시에 타 분야와의 융합을 통해 시너지를 창출해 낼 수 있는 기술로, 지속적이고 일관성 있는 정책 및 전략 수립을 통해 인공지능 4대 강국으로의 도약을 기대해 본다.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2019 January vol.5 no.1



01

인공지능, 소재 개발에 침투하다

한상수, 김동훈 (한국과학기술연구원 계산과학연구센터)

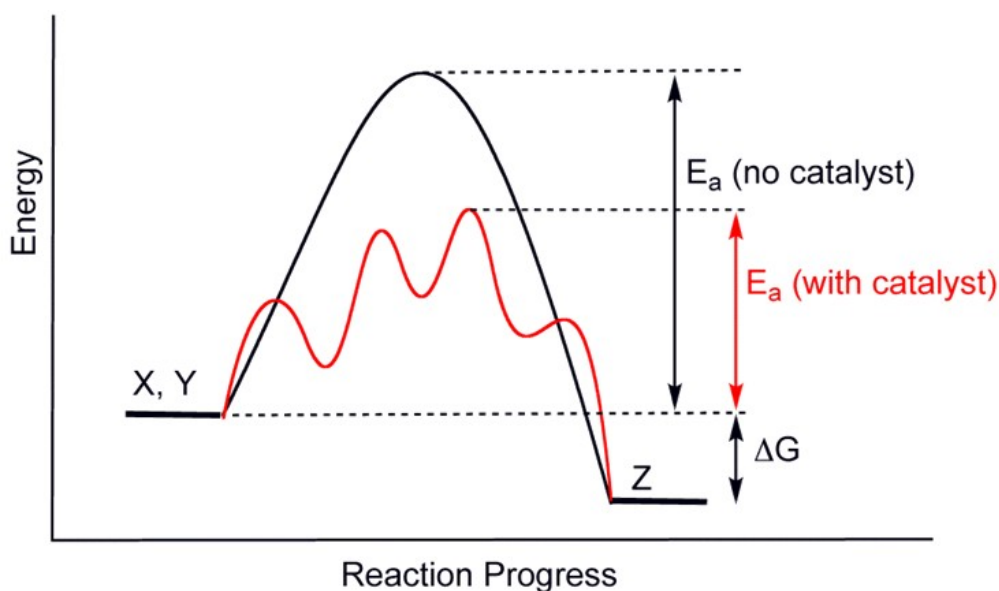
I 서론

최근 계산과학을 이용한 신소재 개발의 성공사례가 많아지면서 이에 대한 관심 또한 늘고 있다. 계산과학을 이용한 소재 설계 방식은 주로 소재의 조성 및 원자(결정)구조 정보로부터 물성(property)을 예측하는 방식이다. 이때 예측하고자 하는 물성이 무엇인지에 따라 제일원리계산(First-principles calculation), 분자동역학(Molecular dynamics), 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-carlo simulation) 등의 다양한 계산과학 시뮬레이션/모델링 기술이 활용될 수 있다. 이러한 계산과학 기술은 양자역학, 고전역학, 통계역학 및 열역학 등에 기반을 두고 있다. 즉, 계산과학을 이용한 소재 설계 방식은 “인과관계”에 기초한 principle 기반의 연구 방식이라 부를 수 있다.

2016년 알파고(AlphaGo)와 프로기사 이세돌 9단의 공개 대국은 인공지능(Artificial Intelligence, AI)에 대한 전 국민의 뜨거운 관심을 불러일으켰다. 더불어 이 사건은 국내 소재 개발 연구자에게도 인공지능에 대한 큰 관심을 전파하는 계기가 되기도 하였다. 사실 인공지능은 그 이전부터 국내외에서 많은 분야에서 연구되어지고 있었다. 소재 분야에서 인공지능에 대한 연구는 세계적으로도 2015년 전후에야 본격적으로 진행되는 등 타 분야에 비해 상대적으로 늦게 시작되었다. 하지만 지난 2~3년간 소재분야에 인공지능은 급격히 발전하였다. 그럼, 왜 소재 연구자들이 이토록 인공지능에 열광(?)하는가? 가장 큰 이유는 빠른 예측 속도에 있다. 촉매(Catalysis) 소재 개발에 예를 들어 설명해보자. 촉매는 사전적 의미로 화학반응 과정에서 소모되거나 변화되지 않으면서 반응속도를 빠르게 하는 물질을 말한다(그림 1). 즉, 새로운 촉매를 개발할 때 촉매 소재 표면에서 반응물(그림 1의 X, Y)이 생성물(Z)로 화학반응이 일어날 때 에너지차(ΔG)와 에너지 장벽(E_a) 정보로부터 이 화학반응이 열역학적으로 일어날 수 있는지 그리고 얼마나 빨리 일어날 수 있는지를 예측할 수 있다. 현재 촉매 설계에 가장 많이 활용하는 계산과학기술은 양자역학에 기반을 둔 제일원리계산이다. 이 방법을 이용하면 화학반응의 에너지차와 에너지장벽을 높은 정확도로 예측할 수 있다는 점에서 매우 유용하게 활용될 수 있다. 그리고 그 결과는 실험 연구자에게도 직접적으로 도움을 줄 수 있다. 하지만 제일원리법으로 이러한 촉매반응 경로를 예측하는데 많은 계산시간이 소요된다는 어려움이 있다. 특히 에너지 장벽 계산에 많은 시간이 소요된다. 우리 연구팀의 경험으로 보통 합금계 촉매 표면에서 화학반응 경로를

완전히 이해하는데 대략 6개월의 시간이 필요하다. 이 6개월이란 시간은 경우에 따라서는 실험을 진행하는 것이 제일원리계산을 진행하는 것보다 더 빠르다. 반면, 인공지능을 이용하면 이 6개월이란 시간을 몇 분 (minute)으로 단축시킬 수도 있다.

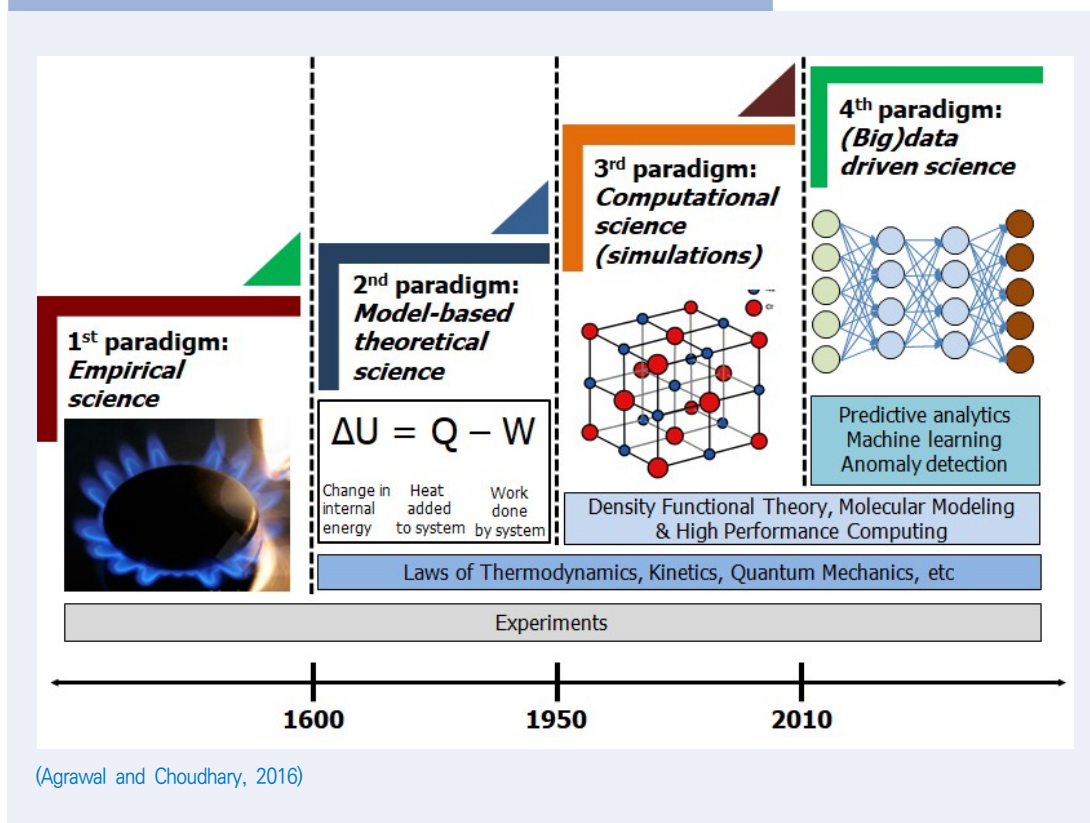
그림 1 촉매 소재의 기본 개념



(위키피디아)

그럼 기존 계산과학기술에 비해 인공지능이 빠른 예측 속도를 제공할 수 있는가? 기본적으로 인공지능의 예측 방식은 기존 계산과학 방식과 다르다. 인공지능의 예측 방식은 소재 물성 데이터베이스(Database, DB)에서 소재(조성 및 구조 등) 정보와 물성간의 “상관관계”를 찾고, 이를 기반으로 새로운 소재의 물성을 예측하는 방식이다. 이때 양자역학, 고전역학, 통계역학과 같은 principle은 전혀 사용되지 않는다. 이런 이유로 인공지능/빅데이터 기반 소재 설계 기술은 소재 개발 분야의 새로운 패러다임을 제공할 수 있다. 그림 2는 인공지능/빅데이터 기반 소재개발 기술을 4차 패러다임으로 규명하고 있다. 즉, 경험 및 시행착오적 시험에 의존한 1차 패러다임, 열역학 기반의 2차 패러다임, 컴퓨터시뮬레이션(계산과학) 기반의 3차 패러다임, 그리고 인공지능/빅데이터 기반의 4차 패러다임으로 분류되고 있다.

그림 2 소재 개발 4차 패러다임 기술: 인공지능/빅데이터 기반 소재 개발



이처럼 인공지능 및 빅데이터는 소재개발 분야에도 빠르게 침투하고 있고, 소재개발의 패러다임을 바꿀 수 있다. 이러한 시점에 현재 인공지능의 연구동향 및 사례를 살펴보고, 향후 발전방안과 우리의 자세를 알아보는 것은 매우 중요하다. 이 융합연구리뷰에서는 현재 소재 분야에 많이 활용되고 있는 인공지능을 살펴보고 (2장), 관련 연구동향을 분석하고 (3장), 향후 발전방안 논의하며 (4장), 끝으로 맺음말(5장)로 구성 되어 있다.

II 소재분야 활용 인공지능 소개

인공지능을 실제 소재 연구에 활용하기 위해서는 소재 데이터베이스, 기계학습(machine learning) 알고리즘, 그리고 피쳐(feature) 혹은 디스크립터(descriptor) 세 가지 구성요소가 필요하다(Bishop, 2016). 여기서 소재 데이터베이스는 3장에서 구체적으로 다루어질 예정이므로, 이번 장에서는 기계학습 알고리즘과 피쳐/디스크립터에 대해 살펴보고자 한다.

기계학습 알고리즘은 데이터베이스의 형태와 분석하고자 하는 목적에 따라 지도학습(supervised learning)과 비지도학습(unsupervised learning)으로 구분된다(임진오, 2017). 지도학습의 경우 입력(input) 데이터와 출력(output) 데이터 모두의 정보를 학습하여 입·출력 정보사이의 모델을 개발한다. 그런 후, 그 모델을 가지고 주어진 새로운 입력값에 대하여 출력값을 예측하는 방식이다. 일반적으로 소재 설계/개발 시 소재정보(조성 및 원자구조 등)로부터 물성을 예측하는 방식이다. 대체로 이런 경우에 지도학습이 활용되어 진다. 예를 들면, 전자재료 개발 분야의 경우 소재의 결정구조 정보를 입력 변수로 하여 밴드갭(band gap)과 같은 전자구조 물성을 예측하거나(Pilania et al., 2016), 촉매 소재를 개발할 경우 소재 조성/원자구조 정보로부터 반응물의 흡착에너지를 예측하는 등의 연구에 지도학습 방법이 사용될 수 있다.

한편, 비지도학습은 출력값 정보 없이 입력값 데이터의 특정한 통계적인 패턴(pattern)이나 클러스터링(clustering)과 같은 분류(classification) 분야에 효율적으로 사용 가능하다. 한 예로서, 소재의 결정구조 유사함을 판단하여 상태도(phase diagram)로 나타내는 연구가 있다(Long et al., 2007). 표 1은 이러한 기계학습 방법의 분류와 그 분류에 따른 응용 분야가 정리되어 있다.

표 1 기계학습 알고리즘 종류 및 응용

Machine learning	Algorithm	Applications
Supervised learning	Regularized least squares Support vector machines Kernel ridge regression Neural networks Decision trees Genetic programming	Predict processing- structure property relationships; Develop model Hamiltonians; Predict crystal structures; Classify crystal structures; identify descriptors
Unsupervised learning	K-means clustering Mean shift theory Markov random fields Hierarchical cluster analysis Principal component analysis Cross-correlation	Analyze composition spreads from combinatorial experiments; Analyze micrographs; Identify descriptors; Noise reduction in data sets

(Muller et al., 2016.)

다음으로 피쳐 혹은 디스크립터에 대해 살펴보자. 보통 소재 기계학습 분야에서는 input 정보를 피쳐 혹은 디스크립터라 부르고, 출력은 특성(property)이라고 부른다. 한 예로서 인공지능을 이용하여 촉매 소재 설계를 하고자 할 때 원자구조 혹은 전자구조 정보에서 반응물의 흡착에너지를 예측하고자 한다. 이 경우, 원자구조 혹은 전자구조가 피쳐/디스크립터가 되는 것이다. 우리는 기계학습 방법을 활용할 때 우선 피쳐와 특성을 결정해야 한다. 특성은 예측하고자 하는 물성으로 처음부터 명확하게 결정되지만, 피쳐를 정하는 것은 연구자의 주관적인 판단에 크게 의존한다(김치호, 2018). 만약 흡착에너지의 예에서 촉매 소재의 원자/전자구조 외에 조성, 시편의 모양 및 크기, 결함 종류 및 농도 등을 피쳐 구성 요소로 함께 고려한다면 예측 정확도가 더욱 높은 관계 모델을 세울 수도 있을 것이다. 반면 실험적으로 오늘 측정된 흡착에너지 값이 어제의 측정치보다 더 크다고 해서 측정 날짜나 요일을 피쳐로 이용한다면 엉뚱한 모델이 만들어진다. 이처럼 피쳐를 선정할 때는 반드시 전문적 기술 지식(domain knowledge)이 활용되어야 한다. 이렇게 전문적 기술 지식을 이용하여 피쳐를 선택하는 것을 피쳐 엔지니어링(feature engineering)이라고 부르는데 기계 학습을 이용하는데 있어 가장 중요한 단계로 여겨지고 있다.

III 빅데이터 및 인공지능 활용 소재연구 동향

인공지능을 소재개발에 활용하기 위해서는 대규모의 소재정보 데이터베이스가 전제되어야 한다. 사회과학, 금융권과 같은 영역에서 인공지능 연구가 매우 활발하게 진행되는 이유도 바로 데이터베이스 구축이 용이하기 때문이다. 과학 분야 내에서는 바이오 연구 분야에서 빅데이터의 활용가치를 가장 빠르게 인지하고 데이터베이스 구축이 오래전부터 체계적으로 이루어져왔다. 이에 비하면, 소재분야는 구조나 물성의 데이터베이스 구축이 비교적 늦게 시작되었지만, 지난 10여 년간 상당히 빠른 속도로 데이터 수집이 이루어지고 있다. 소재분야에서 데이터베이스 구축현황을 미리 소개하고, 이를 이용하여 어떠한 인공지능 연구들이 최근에 이루어졌으며 그 영향력은 어떠한지 차례로 소개한다.

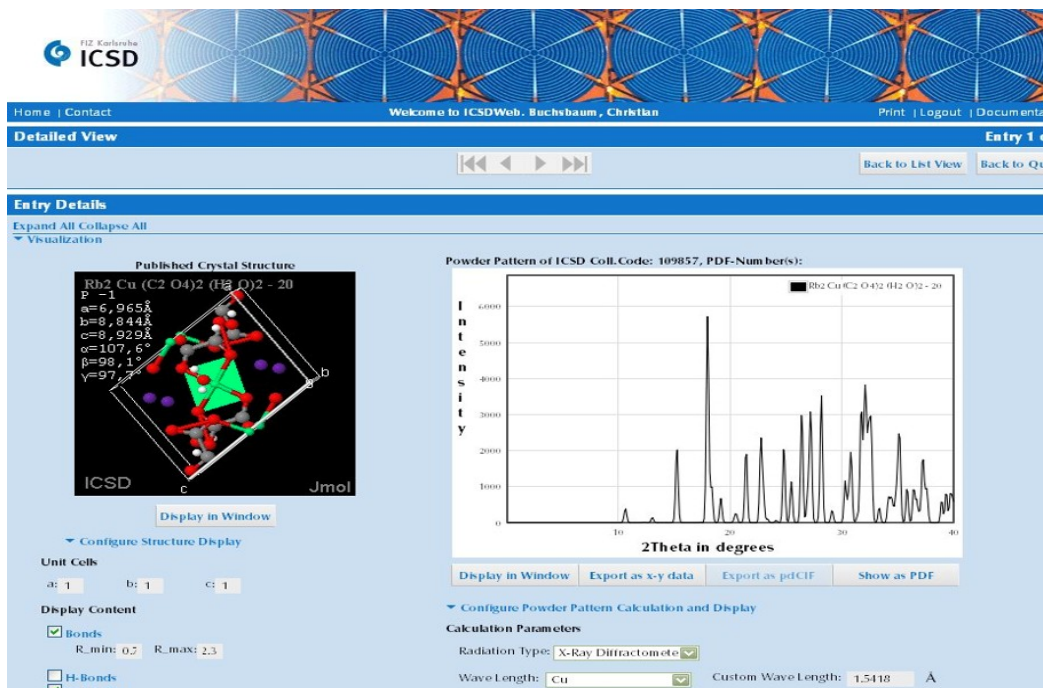
3.1. 소재관련 데이터베이스 구축

3.1.1. 구조정보 데이터베이스

소재정보학에서 가장 우선적으로 구축되어야 하는 데이터베이스는 존재 가능한 모든 소재들의 구조정보이다. 이는 실험적으로 이미 찾아지거나 사용되고 있는 소재들은 물론이고, 가상으로 만들어질 수 있는 소재들을 모두 포함한다. 가장 큰 구조정보 데이터베이스인 ICSD, CSD, Chem Spider를 차례로 소개하고, 추가 사례들 중 일부는 아래 표2에 정리하여 나타내었다.

▶ ICSD (Inorganic Crystal Structure Database; 무기결정구조 데이터베이스)

그림 3 ICSD 공식 홈페이지

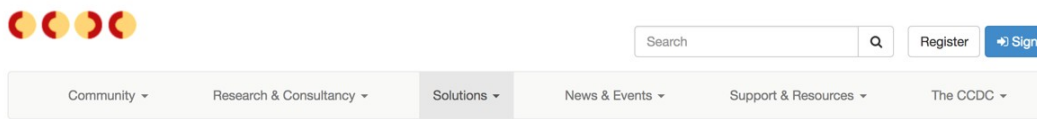


(<https://icsd.fiz-karlsruhe.de/search/>)

FIZ Karlsruhe 기관의 주도 하에 수집된 세계 최대의 무기재료 결정구조 데이터베이스이다. 단원소 물질, 광물, 금속, 금속간 화합물 등 존재가능한 모든 무기재료를 정의하고, 구조 정보 (좌표, 스페이스 그룹, Pearson 기호, Wyckoff 순서)들을 축적한다. 현재 188,000 개의 소재가 등록되어 있으며, 해마다 평균 4,000개 이상의 새로운 소재들과 관련 정보들이 추가되고 있다.

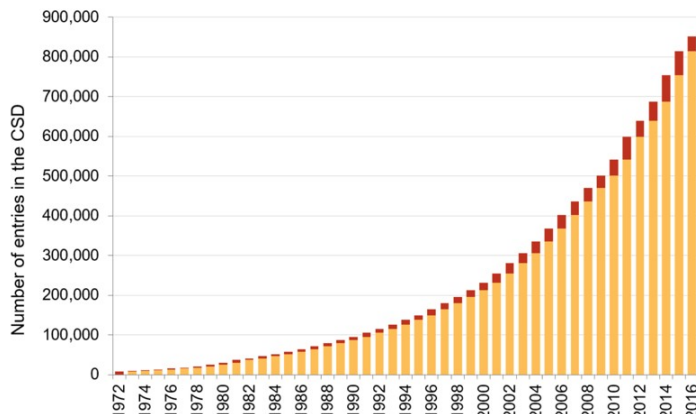
▶ CSD (Cambridge Structural Database; 캠브리지 구조 데이터베이스)

그림 4 CSD 공식 홈페이지



The Cambridge Structural Database (CSD)

The Cambridge Structural Database (CSD) is a highly curated and comprehensive resource.
 Established in 1965, the CSD is the world's repository for small-molecule organic and metal-organic crystal structures. Containing over 900,000 entries from x-ray and neutron diffraction analyses, this unique database of accurate 3D structures has become an essential resource to scientists around the world.
 With comprehensive and fully retrospective coverage of the published literature you can have full confidence that your CSD searches are returning all crystal structure matches. The CSD also contains data published directly through the CSD as [CSD Communications](#) that are not available anywhere else.



(<https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/>)

- Download CSD System case studies
- Read the CSD System data sheet
- Take the next step: request an evaluation
- View CSD statistics
- View the CSD user guide, tutorials and technical documentation
- View the supported platforms
- Visit the CSD Support Page

영국 캠브리지 결정학 데이터 센터(Cambridge Crystallography Data Centre)의 주도 하에 수집된 세계 최대의 유기물 구조 데이터베이스이다. 주로 작은 유기물 분자들이나 또는 금속-유기물 화합물에 대하여 구조 정보를 축적해 두고 있다. 현재 900,000개에 달하는 소재들이 등록되어 있으며, 해마다 출판 자료를 기반으로 평균 30,000개 이상의 새로운 소재들이 추가 등록되고 있다.

▶ Chem Spider

영국왕립화학회(Royal Society of Chemistry) 주도 하에, 화학 구조의 이용가능한 정보원과 이와 관련된 정보를 하나의 검색 저장소에 종합하고 색인을 할 목적으로 개발되었다. 총 480여개의 데이터원으로부터 60,000,000개의 독특한 화학 물질을 저장해두고 있다.

그림 5 Chem Spider 공식 홈페이지

(<http://www.chemspider.com/>)

표 2 추가적인 구조정보 데이터베이스 사례들

DB 이름	분류	수집 데이터 종류	URL	유료/무료
American Mineralogist Crystal Structure Database	광물, 문헌값	구조 정보	rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php	무료
Pearson's Handbook: Crystallographic Data	결정성 소재, 실험값	구조 정보	N/A (Hard copy sources)	유료
Crystallography Open Database	유/무기 소재, Metal-Organic Framework (MOF) (단, biopolymers 제외), 문헌값	구조 정보	www.crystallography.net	무료

(Hill et al., 2016.)

3.1.2. 소재물성 정보 데이터베이스

ICSD, CSD, Chem Spider 등에서 구축된 소재 구조정보 데이터베이스를 기반으로 다양한 소재 물성정보 데이터베이스 (예: 열역학 성질, 전기/자기/기계적 성질 등)가 구축되어 있다. 아래에 대표적인 세 가지 소재물성 정보 데이터베이스를 소개하고, 추가 사례들은 표3에 정리하여 나타내었다.

▶ Open Quantum Materials Database(OQMD)

미국 노스웨스턴 대학 (Chris Wolverton 교수팀)의 주도 하에, ICSD 내의 무기재료를 대상으로 DFT 총에너지 계산데이터 470,000여개를 구축하였으며, 현재도 개발/유지되고 있다. 해당 플랫폼 환경에서는 계산된 총에너지를 기반으로 재료의 생성에너지, 상태도와 같은 핵심적인 열역학 성질을 제공한다. 데이터를 사용자의 목적에 맞게 제공하기 위해서, 해당 API(Application Programming Interface)를 다운로드 하도록 되어있으며, 성분별 소재검색, 위상 다이어그램 만들기, 기저상태 화합물 결정, 결정구조 시각화, 전체 데이터베이스 다운로드 등의 API 기능을 제공하고 있다. 본 데이터베이스는 합금 촉매, 리튬 이온 배터리, 고효율 나노구조 열전소자 등 분야에 사용되는 재료들을 스크리닝(screening)하는데 널리 활용되고 있다.

그림 6 OQMD 공식 홈페이지

OQMD:
The Open Quantum Materials Database

Home Materials Analysis Documentation Download

Newsflash: OQMD v1.1 is out! (Download it here.)

Welcome to the Open Quantum Materials Database

The OQMD is a database of DFT-calculated thermodynamic and structural properties. This online interface is for convenient, small-scale access; for a more powerful utilization of the data, we recommend downloading the entire database and the API for interfacing with it, from the link below.

You can...

- Search for materials by composition,
- Create phase diagrams using the thermochemical data in OQMD,
- Determine ground state compounds at any composition,
- Visualize crystal structures, or
- Download the entire database (and the API) for your own use!

Tweet @TheOQMD to ask what is stable at a composition, or to get a simple phase diagram!

Current status

OQMD v1.1 has been released! Download it here.
The database now contains 471857 entries. In addition calculations of new structures are constantly ongoing!
Recently added compounds include: EuPaSe, PrPaSe, PaReHg, AcLaPa, KPaMo

@ChrisWolverton1 here is your Pb-Te-Sr-Se #phasediagram!

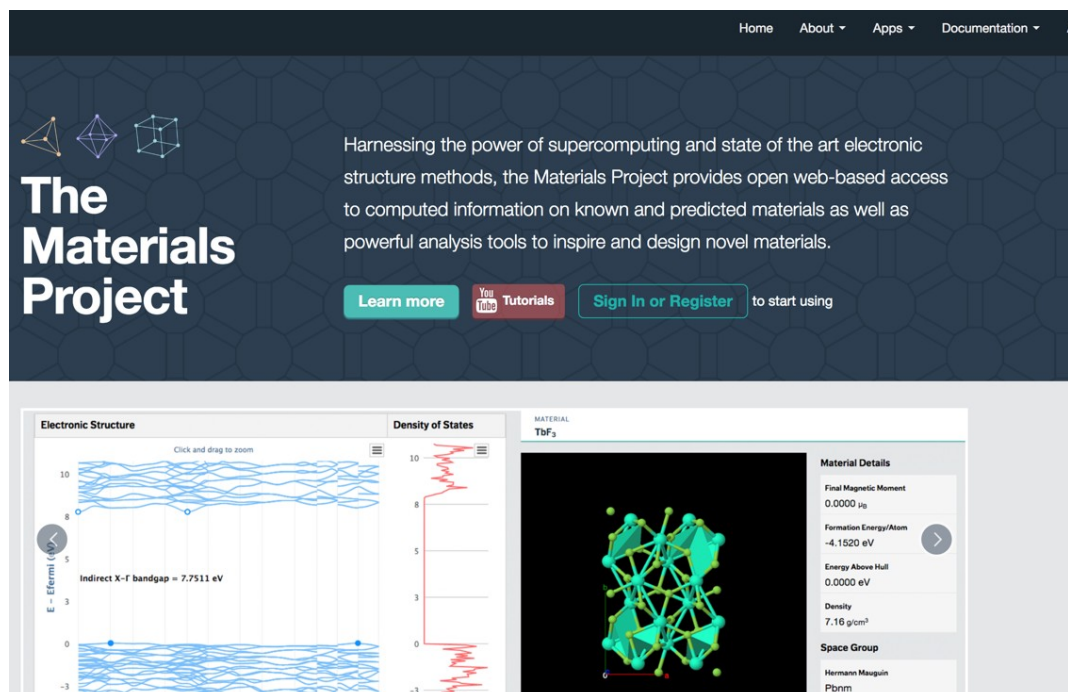
@ChrisWolverton1 LiFeO2: stable, dH=-1.98 eV/at E_g=1.54 V=9.03A^-3/at

(<http://oqmd.org/>)

▶ Materials Projects

미국 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory, 이하 LBNL) 소속 Gerbrand Ceder, Kristin Persson 교수팀의 주도 하에, ICSD 내의 무기재료 (70,000여개)를 대상으로 다양한 소재 기초물성을 확보해 두었다. LBNL 뿐만 아니라, 오크리지 국립 연구소(Oak Ridge National Laboratory), 아르곤 국립연구소(Argonne National Laboratory), 샌디에이고 슈퍼컴퓨팅 센터 등이 적극 협조하여 데이터베이스를 구축하고 있다. 앞서 소개된 OQMD와 차별적인 부분은 저장하고 있는 소재물성이 더 다양하다. OQMD의 경우 열역학 성질 (예: 생성에너지)을 집중적으로 데이터베이스화 시켰지만, Materials Project는 열역학 성질은 물론이고 자기적 성질 (예: 자기 모멘트 크기), 전기적 성질 (예: 밴드 다이어그램, density of states (DOS)), 기계적 성질 (예: 체적 탄성율, 전단 탄성율)까지 데이터베이스화 하였다.

그림 7 Materials Project 공식 홈페이지

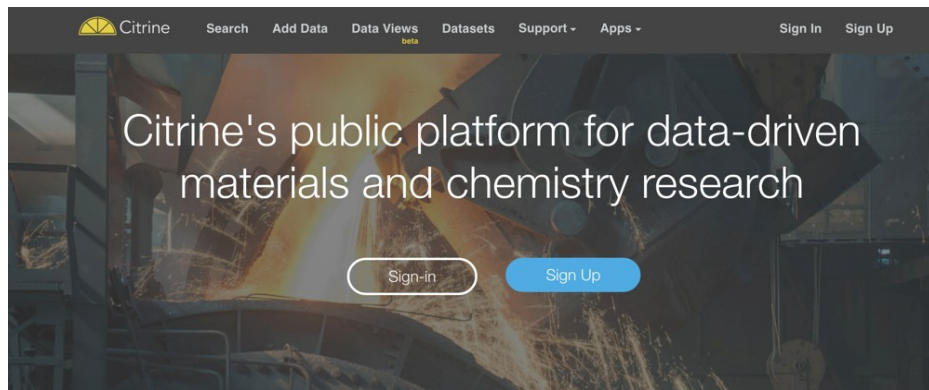


(<https://materialsproject.org/>)

▶ Citrination Materials-Data Analytics Platform

Citrine Informatics社에서 무료로 공개된 세계 최대의 재료 데이터 플랫폼이다. 앞서 소개된 OQMD, Materials Projects 그리고 AFLOWLIB과 같은 데이터베이스에는 ICSD에서 제공하는 구조정보를 기반으로 제일원리 계산값이 저장되어 있다. 반면, Citrination 플랫폼이 기존 데이터베이스들과 차별화되는 점은 크게 다음 두 가지이다. (1) 논문, 특히, 기존 데이터베이스 등의 많은 데이터 (정형, 비정형)를 망라하고, 계산데이터 뿐만 아니라 사용가능한 실험데이터까지 모두 포함시켰다. (2) 데이터 수집에 그치지 않고, 수집된 데이터를 이용해 기계학습을 수행하는 기능을 내장시킴으로써 데이터베이스 내에 존재하지 않는 물질에 대해서도 물성 예측이 가능하게 하는 기능을 제공하고 최종적으로는 연구자들이 원하는 물성을 가지는 적절한 소재를 찾아주는 “역방향 소재설계” 기능을 추가하고 있다.

그림 8 Citrination Platform 공식 홈페이지



Here's what you can do with Citrination



Search

Explore the world's largest database of materials and chemicals information, including: polymers, alloys, semiconductors, and many more.

(<https://citrination.com/>)



Add Data

Store, share, and visualize your raw data and literature reviews.



Analyze

Use your data to construct a machine learning model to fill in missing values in your data and create optimally designed experiment sets.

표 3 추가적인 물성 데이터베이스의 사례들

DB 이름	분류	수집 데이터 종류	URL	유료/무료
AFLOWLIB	재료물성, 계산	172,000 재료, 기초 열역학, 전기, 기계적 물성	aflowlib.org	무료
CatApp	촉매, 계산	다양한 금속 표면 상의 에너제틱스 (반응물, 생성물 에너지, 활성화 에너지 등)	suncat.stanford.edu/catapp	무료
CINDAS High Performance Alloys Database	항공우주 재료 (합금), 계산/실험	열안정성, 기계적 강도	cindasdata.com	유료
DOE Hydrogen Storage Materials Database	수소 저장, 계산/실험	수소 저장 용량	www.hydrogenmaterialssearch.govtools.us	무료
Harvard Clean Energy Project	유기물 태양전지, 계산	태양전지 관련 물성	cepdb.molecularspace.org	무료
Thermoelectrics Design Lab	열전소자, 문헌값	열전성능 변수	www.tedesignlab.org	무료
CALPHAD databases	금속, 계산	열역학 상태도	www.thermocalc.com/products-services/databases/thermodynamic	유료
Computational Materials Repository	일반 재료, 문헌값	프로젝트 별로 상이함	cmr.fysik.dtu.dk	무료
NoMaD Repository	일반 재료, 계산	총에너지	nomad-repository.eu	무료

(Hill et al., 2016.)

3.2. 인공지능을 활용한 소재개발 연구

3.2.1. 활용방식

앞서 구축된 거대한 데이터베이스를 활용하여 2015년 이후로 인공지능 연구가 국내외에 매우 적극적으로 이루어지고 있다. 인공지능이 소재의 구조와 물성간의 상관관계를 잘 예측하게 된다면, 향후 소재개발 방식의 패러다임을 바꿀 수가 있다. 기존의 시행착오 기반의 실험접근법(Edisonian approach)을 극복하고, 인공

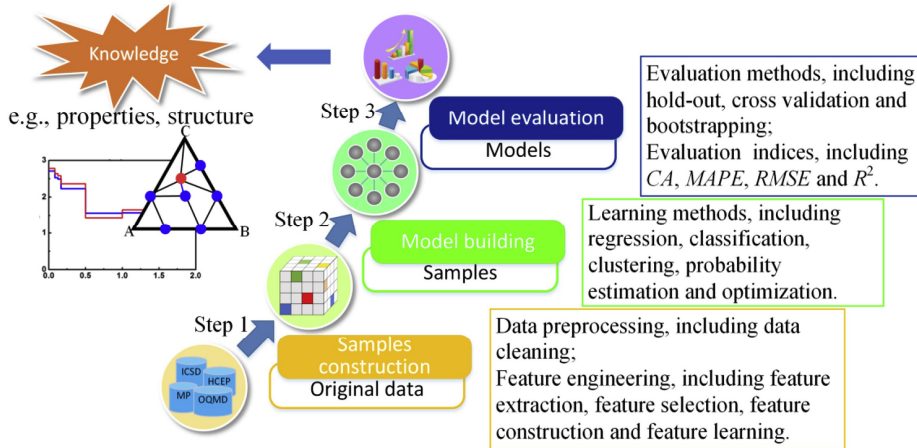
지능을 활용하여 고성능의 재료들을 선별하여 탐색이 가능하기 때문이다. 인공지능 모델을 소재연구에 적용하는 방식에 대해 아래에 소개한다.

▶ 인공지능 모델 개발의 3단계

인공지능 모델 개발은 크게 3단계로 구성된다(Liu et al. 2017). 첫 번째 단계는 샘플 구성(Sample construction)이며, 이 부분은 앞서 설명된 데이터베이스 구축에 해당된다. 현재 시점에서 데이터베이스 구축은 데이터의 일관성을 높이기 위해서 계산과학 방법론들을 활용하여 주로 수집되지만, 향후에는 실제 실험결과들을 통해 더 방대한 데이터베이스를 수집함이 바람직하다. 이 과정에서 예상되는 가장 큰 문제점은 데이터 내에 불필요하거나 부정확한 데이터들이 포함되어 있는데, 이는 모델의 개발이나 성능 평가에 방해 요소로 작용한다. 이와 같은 데이터들을 구분 및 제거(cleaning)하는 작업을 이 단계에서 함께 진행한다. 샘플 구성(Sample construction)에서는 데이터 수집과 더불어, 기계학습 모델에 입력값으로 활용될 피쳐를 결정하는 작업도 함께 진행된다. 피쳐를 결정하는 작업은 소재연구자들의 직관과 도메인 지식이 필수적으로 요구된다. 최근에는 기계학습의 정확도를 최대화시키기 위한 방향으로 피쳐 생성을 자동화하고 이를 최적화하는 연구도 현재 활발히 진행 중이다.

두 번째 단계는 기계학습 모델 개발이다. 앞서 샘플 준비과정을 통해서 학습에 활용된 입력값과 출력값이 정의되면 다양한 기계학습 알고리즘들을 통해 모델을 개발할 수 있다. 다만 입력값과 출력값이 정의되지 않은 상태에서도 비지도학습(unsupervised learning)을 통해 구분화(classification) 문제들을 풀어낼 수 있다. 마지막 단계는 모델의 검증단계이다. 검증 단계에서는 모델의 물성예측 정확도를 확인한다. 우연에 의해 높은 정확도가 나오는 경우를 방지하기 위해서 cross-validation 등과 같은 방법을 활용한다. 개발된 기계학습 모델이 기준 이상 (여기서 기준은 연구의 성격에 따라 연구자에 의해 결정되는 경우가 많음)의 수준으로 정확하다면, 데이터베이스에 없는 미지의 소재들로 확장하여 물성을 매우 빠른 속도로 예측해볼 수 있다.

그림 9 소재개발용 인공지능 모델 개발의 3단계



1) Sample Construction (DB 구축 및 data curation), 2) Modeling building, 3) Model evaluation

3.2.2. 실제 연구 사례들 소개

지난 3년간 기계학습 모델이 소재물성 예측에 빠른 속도로 침투되어 왔다. 관련된 연구들과 실제 신소재가 개발되었던 성공 사례들을 아래에서 살펴본다.

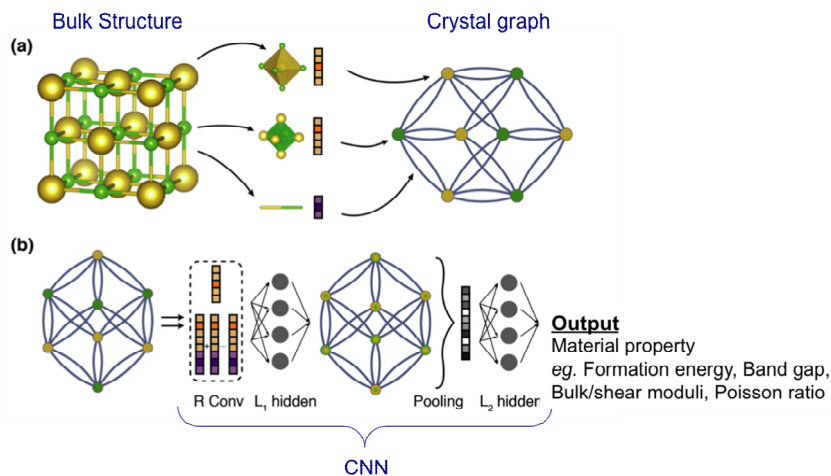
▶ 소재의 벌크상태 물성 예측 연구

미국 MIT 재료과 Jeffrey C. Grossman 교수팀은 소재의 벌크상태 물성 예측에 특화된 Crystal Graph Convolutional Neural Network(CGCNN) 인공지능 알고리즘을 개발하였다(Xie and Grossman, 2018). 소재의 결정구조와 물성간의 상관관계를 훌륭하게 학습하기 위해서는 소재의 구조정보를 암호화시키는 것이 첫 번째 단계이자 성공의 관건이다. Grossman 교수 연구팀은 소재의 구조정보를 암호화시키기 위해서 Crystal graph의 개념을 도입하여 결정성 소재의 구조정보를 매우 유연하게 암호화시키는데 성공하였다(그림8).

본 연구에서는 상기 소개된 Materials Project(LBNL 주도하 개발된 물성 데이터베이스) 내에 있는 소재 정보 전체(약 70,000여개)를 학습시켰으며, 소재의 가장 기초적인 고유물성인 열역학적, 전기적, 기계적 성질들을 주로 학습대상으로 정하였다. 예를 들면, 벌크 생성에너지(bulk formation energy), 절대 에너지(absolute energy), 밴드갭(band gap), 페르미 에너지(Fermi energy), 체적 탄성율(bulk moduli), 전단

탄성율(shear moduli), 포아송 비율(Poisson ratio) 등이 포함된다. 소재의 물성예측 정확도는 전반적으로 매우 우수하게 나타났으며, 연구진은 범밀도함수론(density functional theory)이 실험대비 가지는 에러율 보다 기계학습 예측 에러가 더 낮음을 보여주어, 기계학습이 소재물성 예측에 주요 기술로 자리매김할 수 있음을 보였다 (그림10).

그림 10 CGCNN 도식도 및 성능평가 결과 요약.



(c) Prediction accuracy

Property	# of train data	Unit	MAE _{model}	MAE _{DFT}
Formation energy	28 046	eV/atom	0.039	0.081–0.136 [28]
Absolute energy	28 046	eV/atom	0.072	...
Band gap	16 458	eV	0.388	0.6 [32]
Fermi energy	28 046	eV	0.363	...
Bulk moduli	2041	log(GPa)	0.054	0.050 [13]
Shear moduli	2041	log(GPa)	0.087	0.069 [13]
Poisson ratio	2041	...	0.030	...

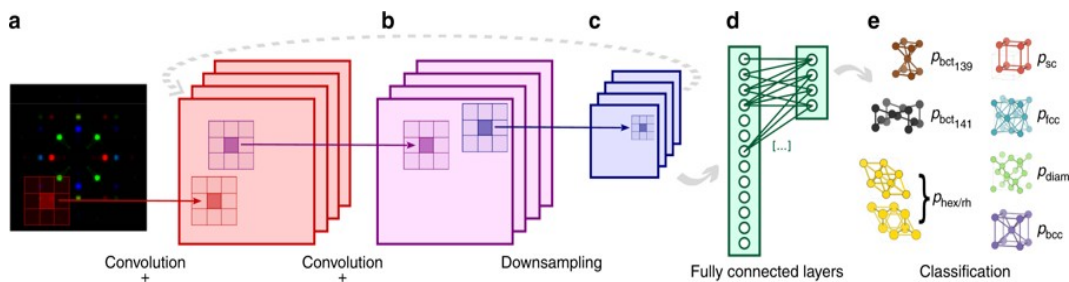
(a) 소재의 결정구조 정보의 그래프 표현화 (b) Crystal graph의 CNN 과정을 통한 벌크물성 예측 도식도 (c) CGCNN 모델의 소재물성 예측 정확도 (MAE=mean absolute error)

▶ 소재 결정구조 구분화(Crystal Structure Classification) 연구

독일 Fritz-Haber 연구소 소속 Angelo Ziletti, Matthias Scheffler 교수팀은 기계학습 모델을 개발하여 소재의 회절패턴(x-ray diffraction pattern)과 결정구조의 상관관계를 학습하였다(Ziletti et al., 2018). 이러한 상관관계 학습이 성공적으로 이루어진다면, 미지의 재료에 대하여 회절패턴을 찍어본 후에, 기계학습 모델을 통해 소재의 구조정보를 알아낼 수 있는 장점이 있어 학계 및 산업계에 미치는 영향이 매우 클 것으로 기대된다.

연구진의 핵심 아이디어는 회절패턴을 이미지 그 자체로 바라본 것이다. 인공지능 알고리즘은 사실 소재 연구 이전에 이미지 분석처리 (얼굴 분석 등)에 매우 특화되어 발전되어 왔으므로, 현재 개발된 딥러닝 알고리즘 (convolutional neural network 기반)들은 이미지 분석 및 구분에 특화되어있다. 연구진은 이러한 사실을 인지하고 회절패턴을 이미지화 시켜서 다양한 소재에 대하여 결정구조를 구분해내는데 성공하였다. 개발된 알고리즘은 결함(defects)이 많이 존재하는 소재의 경우에도 적용이 가능함을 보여, 실제 학계나 산업계에 서의 활용 가치는 매우 클 것으로 판단된다.

그림 11 결정구조 구분화 연구에 사용된 CNN 도식도



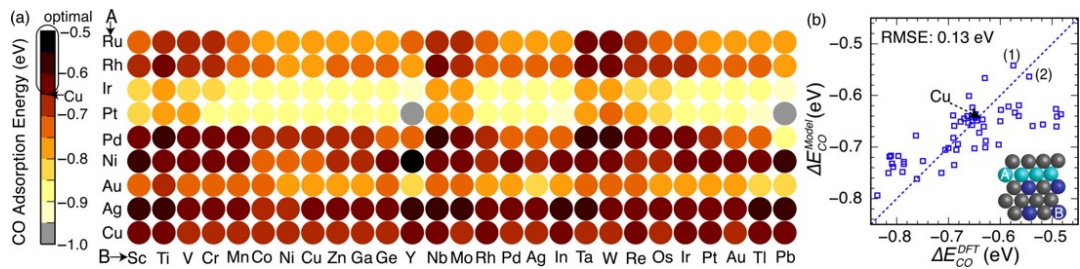
(a) 이미지 물질의 diffraction pattern, (b-d) Convolution, pooling, fully-connected layer 과정, (e) 결정구조 구분화 작업

▶ 이산화탄소 환원용 촉매개발 가속화 연구

미국 버지니아 공대 Hongliang Xin 교수 연구팀은 촉매 CO₂ 환원용 합금촉매 개발 연구에 기계학습법을 도입했다(Ma et al., 2015). 촉매 표면상의 흡착에너지는 화학반응성의 디스크립터로 널리 알려져 있다. 그러나 흡착에너지 값은 다양한 반응물 및 흡착사이트 종류를 값비싼 양자계산을 기반으로 계산하여야 얻을 수

때문에 매우 많은 컴퓨팅 자원과 시간을 요구한다. 이 연구팀은 이원계 합금 재료에 대하여, 전기음성도 및 몇 가지의 d-밴드 성질들과 반응물 (본 연구에서는 CO) 흡착에너지의 상관관계를 인공지능망 알고리즘으로 학습시켰다. 그 결과 개발된 기계학습 모델을 기반으로 전혀 학습된 적이 없는 촉매재료들의 흡착에너지를 매우 정확하고 빠르게 예측하였다(제공 평균 에러 0.13 eV). 촉매 분야는 촉매재료 후보군, 화학반응 종류, 화학반응 경로 등이 너무나 다양하고 복잡하기 때문에 일일이 실험이나 계산을 진행하여 신재료를 찾아내기가 매우 힘든 분야이다. 통계적 기계학습법의 도입은 이러한 한계를 극복시켜 신촉매 재료 개발이 더욱 가속화될 것으로 기대된다. 2015년 Xin 교수팀의 연구 이후로 지난 3년간 다양한 반응을 촉진시키기 위한 촉매 개발 연구에 기계학습법이 적용되었으며, 그 사례들 중의 일부를 아래의 표3에 정리하였다.

그림 12



- a. 기계학습 모델로 예측된 코어-셸 합금 표면상 CO 흡착에너지.
- b. 기계학습 모델과 DFT 계산방법론의 흡착에너지 예측값 비교

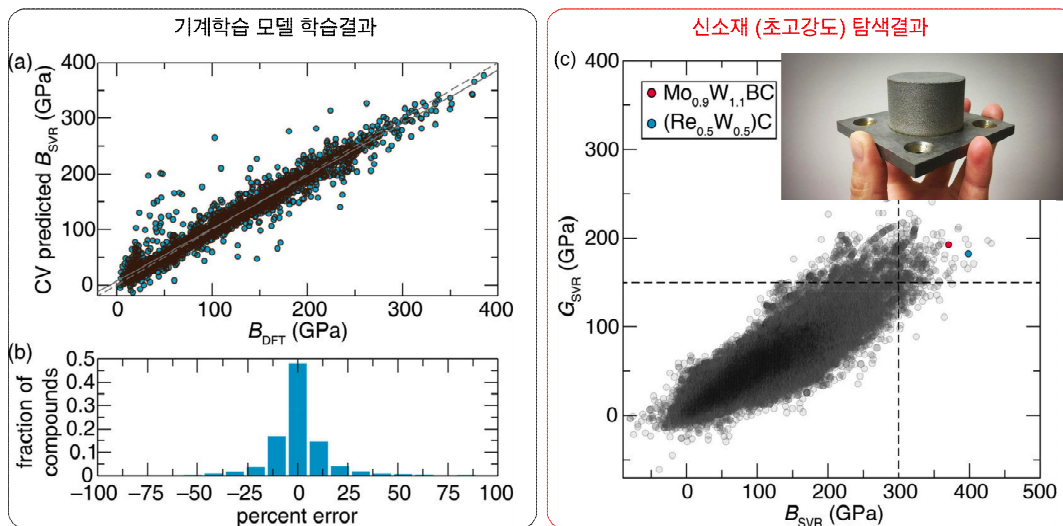
표 4 촉매개발 연구에 기계학습이 적용된 사례들

연구팀	사용된 기계학습 알고리즘	기계학습 인풋 (흡착에너지 예측용)	화학반응	참고문헌
Toyota. Ryoji Asahi 박사팀	local similarity kernel	표면구조 정보 (metric 개발, local structural similarity)	NO 분해반응	J. Phys. Chem. Lett. 8, 4279-4283 (2017)
Carnegie Mellon Univ. Zachary W. Ulissi 교수팀	TPOT regression	구조정보, 원자번호, 전기음성도, 배위수	이산화탄소 전기환원	Nat. Catal. 1, 696-703 (2018)
Univ. of Massachusetts. Ashwin Ramasubramaniam 교수팀	gradient boosting regression	d-band 성질, 배위수	이산화탄소 전기환원	J. Phys. Chem. C 121, 5612-5619 (2017)
Penn. State Univ. Thomas P. Senftle 교수팀	LASSO	산화물 생성에너지, 산소 공공 생성에너지	반응 특정하지 않음 (single-atom catalyst)	Nat. Catal.1, 531-539 (2018)
KIST 한상수, 김동훈 박사팀	Graph CNN	주기율표 상 원소성질들	질소전기환원 (암모니아 생성)	arXiv1812:02949
KAIST 정유성 교수팀	kernel Ridge Regression	d-band 성질 (Muffin theory)	이산화탄소 전기환원	Chemical Science 9, 5152-5159 (2018)

▶ 초고강도 소재 탐색 가속화 연구

미국 텍사스 휴스턴 대학 Jakoah Brgoch 교수팀은 초고강도(super-hardness)의 기계적 성질을 가지는 신소재 탐색을 위해 기계학습을 활용하였다(Tehrani et al., 2018). 재료의 강도(hardness)를 평가하기 위한 기준 물성은 체적 탄성률(bulk moduli)와 전단 탄성률(shear moduli)이다. 연구팀은 2,572개의 재료를 샘플링(sampling)하여, 체적 탄성률과 전단 탄성률을 각각 정확하게 예측할 수 있는 기계학습 모델을 성공적으로 개발하였다. 이를 활용하여 총 118,287개의 화학 결합물에 기계학습 모델을 적용하여 체적 탄성률 300GPa 이상, 전단 탄성률 150 GPa 이상인 재료를 선별하여 실험에서 테스트하였고, 그 결과 Mo_{0.9}W_{1.1}BC, (Re_{0.5}W_{0.5})C 두 종류의 카바이드 재료를 발굴해내었다. 실제 실험에서 약 12만개에 달하는 실험을 시행착오를 겪으면서 진행하는 것은 사실상 불가능한데, 기계학습 모델을 통해서 실험에서 테스트해야하는 재료를 높은 확률로 정해줄 수 있다. 소재 개발의 가속화를 실현한 좋은 예시 가운데 하나이다.

그림 13 초고강도 재료 탐색을 위한 기계학습 모델 소개

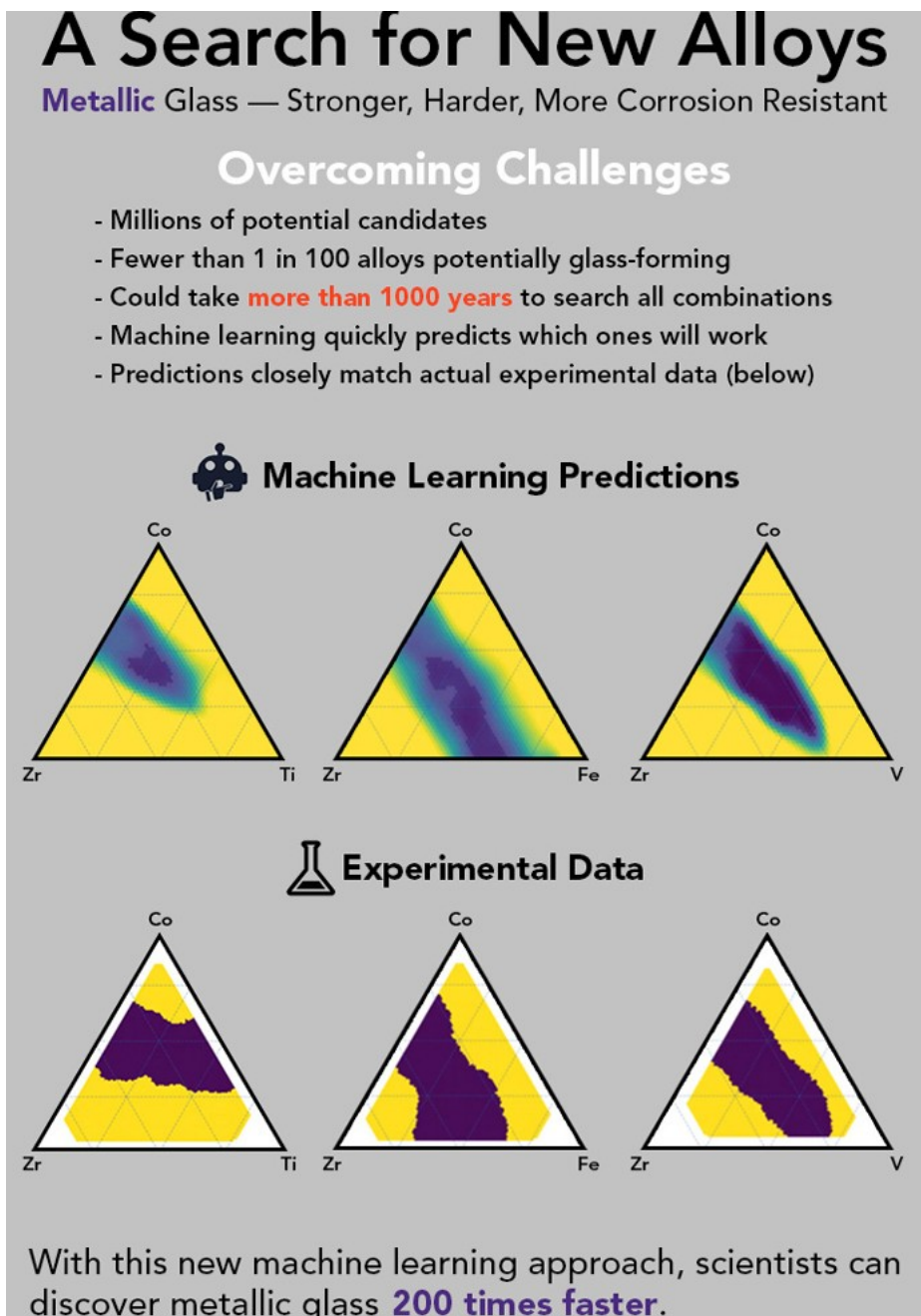


(a) 기계학습 모델 학습결과 (b) 모델의 정확도 (c) 약 12만여개의 소재에 학습된 기계학습 연구 적용 및 성공적 탐색 사례

▶ 비정질 금속(Glass former) 탐색 가속화 연구

미국 스탠포드 대학교 Apurva Mehta 교수팀과 노스웨스턴 대학 Christopher Wolverton 교수팀은 새로운 비정질 금속(metallic glass)을 발굴해내는 작업에 기계학습을 도입하였다(Ren et al., 2018). 비정질 금속은 결정성이 강한 금속 대비 높은 기계적 강도와 취성을 보이기 때문에 활용가치가 크다. 실제 3원계나 4원계의 금속들에서 비정질화되는 금속들이 발견이 되는 경우가 많은데, 탐색하여야하는 재료영역(원소조합 및 조성)이 너무 방대해서 연구의 진행이 매우 더딘 실정이다. 연구진은 3원계 금속들(A-B-C)의 매우 다양한 조성에서 물질이 비정질 형성능력(glass forming ability)를 가질 수 있는지를 예측하는 기계학습 모델을 만들었다. 아래 그림14에서는 Co-Zr-Ti, Co-Zr-Fe, Co-Zr-V 계열 3원계 금속재료들이 어떤 조성에서 비정질 금속으로 존재할 수 있는 가능성이 큰지에 대해 기계학습으로 예측한 결과를 보여준다. 예측된 재료들은 실험검증을 통해 실제 비정질 형성체(glass former)가 실제로 될 수가 있음을 확인하였으며, 연구진은 해당 연구 분야 소재 발굴의 속도를 약 200배 개선시키는 효과가 있다고 밝혔다.

그림 14 기계학습 활용한 고성능의 비정질 금속 탐색. 3원계 금속 물질들을 예시로, 기계학습 모델과 실험 예측 (glass forming ability) 결과 비교.

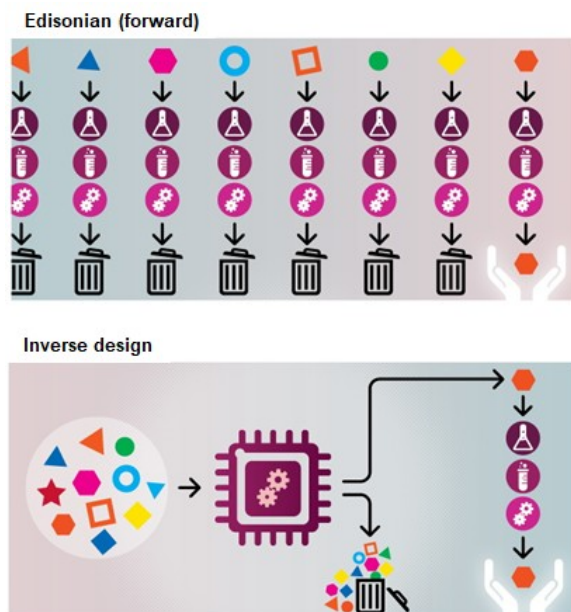


IV 소재 인공지능기술 발전방향

3장에서 살펴본 바와 같이 현재 인공지능 기술은 소재개발의 다양한 분야에 활용되고 있다. 여기서 관련 자료를 보면 대부분 최근(2~3년 이내)에 발표되었다는 점에 주목할 필요가 있다. 서두에서 언급한 바와 같이 소재분야에 인공지능 기술은 타 분야에 비해 늦게 시작되었다. 우리는 그 이유를 소재 데이터베이스에서 찾을 수 있다. 즉, 불과 몇 년 전 까지만 하더라도 소재 데이터베이스의 중요성을 잘 깨닫지 못하고 있었다. 그러던 중 캘리포니아 대학교(University of California, Berkeley)의 재료과학자인 Gebrand Ceder 교수는 2000년 초반 인간게놈 프로젝트(Human Genome Project)에서 영감을 얻어 고용량(High-throughput), 데이터 중심(Data-driven) 접근방식을 통한 소재개발 아이디어를 생각해냈다. 이를 계기로 2011년 미국에서 '소재게놈이니셔티브(Material Genome Initiative, MGI)'가 론칭되었고, 이를 기반으로 소재 데이터베이스가 체계적으로 구축되기 시작하였다. 그리고 소재 데이터베이스가 확보한 연구그룹을 중심으로 인공지능을 소재개발에 활용하기 시작하였다.

그럼 앞으로 소재 분야에서 인공지능 기술이 어떤 방향으로 진행될지 생각해보는 것도 매우 중요하다. 현재 소재 분야에서 인공지능 기술은 소재 조성 및 구조 정보로부터 소재 물성을 예측하는 방식이다. 비록 인공지능 기반 소재 설계 방식은 기존 계산과학 시뮬레이션기술을 사용할 때보다 예측 속도가 빨라 좀 더 효율적이라는 장점을 지니고 있지만, 여전히 시행착오(trial-and-error)법에 기반 한 에디소니안(Edisonian) 접근 방식에 머물러 있다(그림 15). 즉, 현재의 인공지능 기술로는 본인이 원하는 소재 물성이 나올 때까지 소재 정보(조성 및 구조 등)를 바꿔보면서 예측해보는 방식이다.

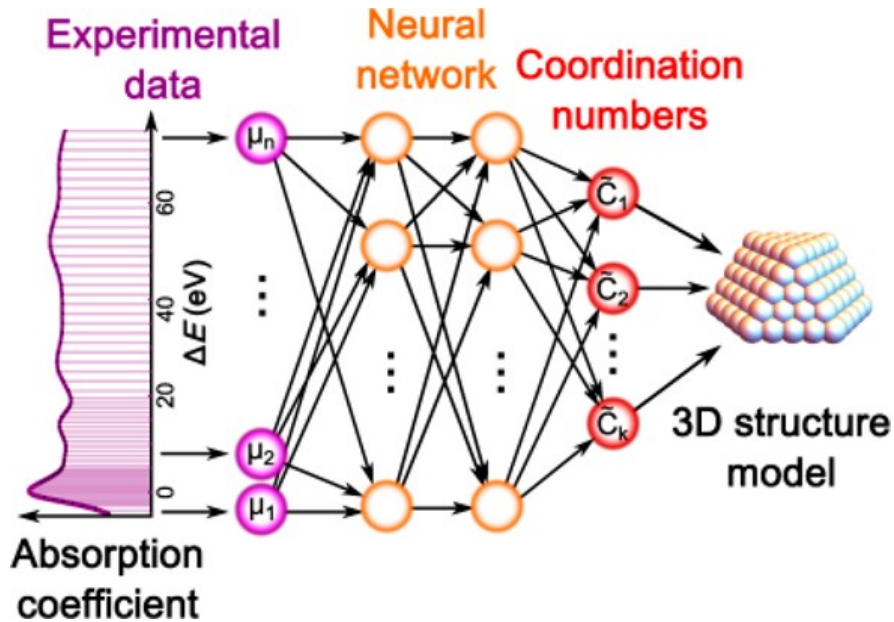
그림 15 정방향 및 역방향 소재 개발 방식의 개념도



(Ceder and Persson, 2013) 원본 그림을 조금 수정함

하지만 내가 원하는 물성을 입력 정보로 하고 이때 그 물성을 갖는 소재 정보를 출력해주는 소재설계 기술이 개발이 되면 기존 에디소니안 접근방식에서 탈피할 수 있고, 더 나아가 소재개발의 새로운 패러다임을 제공해줄 수도 있다. 기존 소재 정보로부터 물성을 예측하는 방식을 “정방향” 설계방식(forward design)이라 한다면, 그 반대인 물성에서 소재 정보를 예측하는 방식을 “역방향”(inverse design)이라 부를 수 있다. 향후에는 이런 역방향 소재 설계에 인공지능이 할 일이 많은 것으로 판단한다. 역방향 소재 설계 방식의 한 사례를 최근 미국 스토니브룩 대학의 Frenkel 교수팀의 연구에서 찾아볼 수 있다(그림 16). 보통 소재 전문가들은 새로운 소재를 합성하면 이 소재의 구조 정보 등을 확인하기 위해 X-ray 등의 분석 장비를 이용한다. 즉, 이러한 방식은 “정방향” 접근 방식이다. 하지만, Frenkel 교수팀은 나노입자의 X-ray 물성 데이터 베이스를 구축하고, 이를 기반으로 x-ray 스펙트럼과 나노입자 구조/크기와의 상관관계를 인공지능망(neural network) 모델로 구축하였다. 이렇게 구축된 인공지능 모델을 이용하여 미지 나노입자 소재의 엑스레이 스펙트럼 정보를 가지고 그 나노입자의 원자구조 및 크기 등의 정보를 출력할 수 있게 되었다.

그림 16 인공지능 이용 역방향 소재 설계의 한 사례



(Timoshenko et al., 2017)

인공지능 기반 역방향 소재 설계 기술 개발에는 많은 어려움이 있을 수 있다. 기본적으로 입력 정보인 소재물성 변수보다 출력 정보인 소재정보(조성, 구조, 모양 등)의 변수가 많기 때문이다. 즉, 인공지능 모델에서 합축된 정보로부터 많은 정보를 뽑아야 하는 어려움이 있다. 3차 연립방정식을 해답을 찾기 위해서는 적어도 3개의 방정식이 필요한데, 한 개의 방정식만 가지고 3차 연립방정식을 풀라는 것과 유사한 문제이다. 이런 점에서 기존 인공지능 기술만으로 역방향 소재 설계기술을 개발하기에 한계가 있을 수 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 기존 모델링/시뮬레이션 기술과 인공지능 기술의 접목을 모색할 필요도 있다.

인공지능 기술은 기존 계산과학 시뮬레이션/모델링 기술에 비해 예측 속도가 훨씬 빠르기 때문에 소재 개발에 매우 효과적이다. 하지만 인공지능기술을 이용해서 신소재를 성공적으로 개발했다는 사례는 현재까지 매우 제한적이다. 아직 소재분야에 인공지능 기술을 활용하지가 얼마 되지 않았기 때문이 근본 원인이긴 하다. 이러한 이유로 현재 소재 분야의 인공지능 기술은 소재 예측 연구보다는 아직 소재-물성간의 상관관계 모델의 정확성을 높이는 연구에 집중되어 있다. 이러한 정확성 향상 연구는 소재 예측에서 매우 중요하다.

신뢰성이 없는 예측은 사실 큰 의미가 없다. 정확하지도 않은 소재 설계를 누가 믿겠는가? 이러한 정확성을 향상시킬 수 있는 방안 중 첫째가 소재 데이터베이스의 양을 늘리는 것이다. 이때 논문, 특허 등의 발표된 문헌 정보만으로 데이터베이스를 구축하는 것보다는 실패된 결과도 포함되어 있는 연구노트 수준에서의 결과를 데이터베이스화하는 것이 중요하다. 성공된 결과만으로 구성된 데이터베이스는 이미 편향된(biased) 정보를 포함되어 있다는 것을 의미한다. 인공지능의 정확성을 높이기 위해서는 이러한 편향성을 줄이는 것이 매우 중요하다. 이런 점에서 소재 데이터베이스는 실패된 결과도 함께 구축할 필요가 있다.

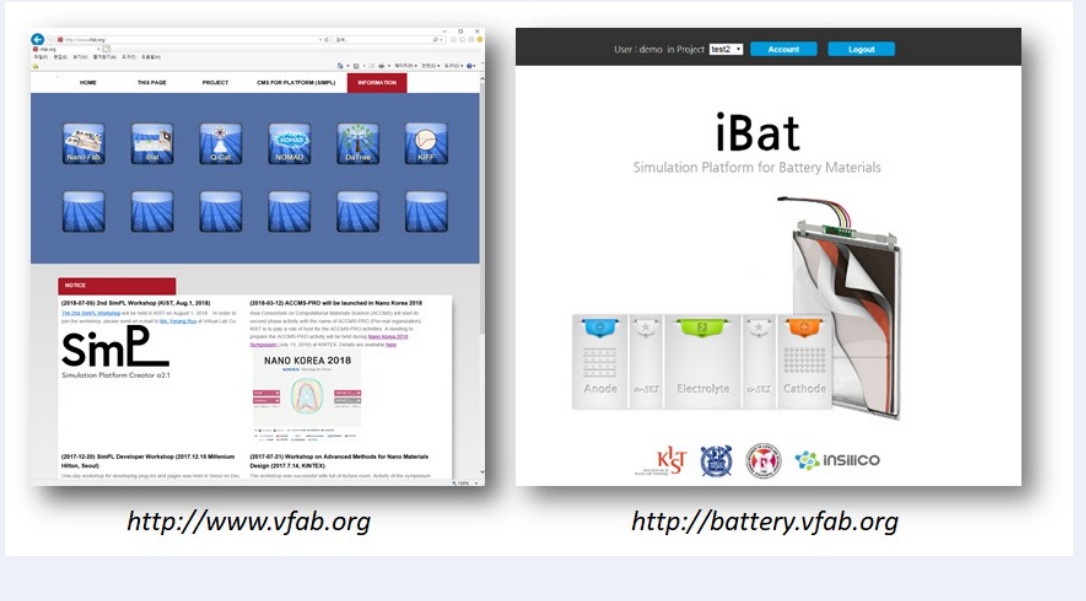
소재 연구자는 새로운 인공지능 알고리즘을 개발하는 것보다는 표 1에서 제시한 기존 알고리즘을 활용하여 소재의 물성 등을 예측하는 연구(소재-물성 간 모델 개발)에 중점을 두고 있다. 하지만 기존 인공지능 알고리즘을 소재 분야에 응용 시 한계도 분명히 있다. 본 연구팀의 경험으로는 인공지능 기술을 이용하여 임의의 소재에 대해 물성을 예측할 때 그 임의의 소재군이 확보된 데이터베이스 범주 내에 있을 시 높은 정확성을 보이지만, 데이터베이스 범주 밖에 있을 시에는 상대적으로 낮은 정확성을 보인다. 즉, 현재 많이 활용되는 인공지능 모델 대부분은 내삽(interpolation) 문제는 높은 정확성을 보이지만, 외삽(extrapolation) 문제에는 상대적으로 낮은 정확성을 보인다. 구체적인 예로서, 데이터베이스에 여러 조성의 인터메탈릭(intermetallic) 이원계 합금에 대한 정보만 있고, 이를 기반으로 인공지능 모델을 개발했다면, 이 데이터베이스에 없는 조성의 인터메탈릭 이원계 합금의 물성은 높은 정확성을 가지고 예측할 수 있다. 하지만 코어-셸(core-shell) 구조의 합금 물성은 인터메탈릭 합금의 경우보다는 낮은 정확성을 보인다. 물론 이러한 문제는 소재 데이터베이스에 코어-셸 구조 합금의 물성을 포함시키면 어느 정도 극복될 수 있다. 하지만 이렇게 되면 다시 예측 문제는 외삽이 아닌 내삽의 문제로 귀결된다. 향후 인공지능 기술은 저차원의 데이터베이스 정보로부터 고차원의 정보를 예측하는 방향으로 진행될 것이다. 이런 점에서 소재 데이터베이스의 양을 늘리는 전략만으로는 소재 인공지능 기술의 정확성을 향상시키는데 분명한 한계가 있다. 표 1의 인공지능 알고리즘은 근본적으로 수학/전산/통계/전자공학 등의 소재 외 분야 응용을 위해서 개발된 것이다. 즉, 소재 개발 본연의 목적으로 개발된 인공지능 알고리즘은 아쉽게도 현재까지는 없다. 단지 기존 알고리즘을 활용할 뿐이다. 이런 점에서 소재 연구자도 소재 분야에 특화된 인공지능 알고리즘 개발에도 관심을 가질 필요가 있다. 물론, 현실적으로 이런 연구는 소재 연구자에게 어려움이 있다. 따라서 소재 인공지능 기술 분야는 수학/전산/통계/전자공학 등의 타 분야 전문가와의 협업이 무엇보다 중요한 분야이다.

새로운 인공지능 알고리즘 및 모델을 개발하는 것도 중요하지만 개발된 기술을 누구나 손쉽게 활용할 수 있도록 하는 것도 매우 중요하다. 보통 계산전문가와 실험전문가 사이에는 괴리감이 존재한다. 따라서 계산

전문가들이 개발한 인공지능 기술을 실험전문가가 바로 사용하기에 어려움이 있을 수 있다. 이러한 계산-실험의 장벽을 낮추어 줄 수 있는 기술로 GUI(graphical user interface)를 기반으로 한 플랫폼이 있다. 플랫폼의 영향력은 컴퓨터 운영체제인 윈도우즈(Windows)의 등장으로 쉽게 이해할 수 있다. 윈도우즈가 나오기 전 컴퓨터 운영체제로 우리는 도스(DOS)를 사용했고, 이것은 많은 사람에게 편리함을 제공하지는 못하였다. 만약에 윈도우즈와 같은 사용자 편의의 플랫폼이 개발되지 않았다면 컴퓨터 사용이 지금보다 적었을 것이라는 주장에 부정하는 이는 많지 않을 것이다.

보통의 실험 전문가는 임의의 원자, 미세구조 및 조성 등의 소재정보로부터 물성값이 어떻게 되는지를 알고 싶어 한다. 그들은 개발된 인공지능 기술이 어떻게 개발되었는지, 어떤 알고리즘을 이용했는지, 어떻게 작동되는 지 등의 기술적인 부분은 크게 관심을 갖질 않는다. 그리고 보통의 경우에는 그럴 필요도 없다. 데이터베이스에 본인이 원하는 소재의 물성값이 있는지, 데이터베이스에 없다면 그 값을 예측해주시기를 바랄 뿐이다. 인공지능 및 소재 빅데이터를 플랫폼화 하면 인공지능 등의 기술적인 부분은 숨기고, 누구나 손쉽게 소재 물성을 검색 및 예측할 수가 있게 된다. 소재 빅데이터를 플랫폼화 하는 기술은 세계 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그 예로서, 미국의 Materials Project(www.materialsproject.org)와 OQMD (The Open Quantum Materials Database, www.oqmd.org)이 있고, 유럽의 경우 독일을 중심으로 NOMAD(Novel Materials Discovery, www.nomad-coe.edu)가 있으며, 가까운 일본의 경우에도 재료 연구소(NIMS)를 중심으로 MAT Navi라는 플랫폼이 있다. 이러한 플랫폼은 소재 빅데이터를 체계적으로 관리하고, 사용자가 손쉽게 소재 정보를 검색할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 하지만 데이터베이스 외 소재의 물성을 예측하는 인공지능 기능을 포함하고 있지는 않다. 국내에서는 본인의 소속된 KIST 계산과학 연구센터에서는 다양한 소재분야의 물성을 예측할 수 있는 플랫폼(www.vfab.org)을 개발 및 개발 중에 있다(그림 17). 이 플랫폼은 주로 제일원리계산 및 분자동역학 등의 계산과학 시뮬레이션 기술을 기반으로 소재 물성을 예측하는 기능을 제공하고 있다. 하지만 이 중에서 이차전지소재 설계 플랫폼인 ibat(battery.vfab.org)에는 기존 계산과학 시뮬레이션기술 외에 자체적으로 구축한 이차전지소재 물성 데이터베이스와 이를 기반으로 하여 간단한 데이터마이닝(data mining) 기능도 제공하고 있다. 현재 이 플랫폼에 인공지능 기술을 기반으로 소재 물성을 예측하는 기능 개발도 계획하고 있다.

그림 17 KIST에서 개발 중인 시뮬레이션 플랫폼



V 결론

본 리뷰는 4차 산업혁명의 핵심기술 중 하나인 인공지능이 소재 분야에 어떻게 활용되고 있고, 향후 어떻게 활용될 것인지, 그리고 이를 위해 우리는 어떤 준비를 해야 하는지에 대해 살펴보았다. 비록 인공지능이 소재분야에 본격적으로 활용된 지는 불과 몇 년이 되지 않았지만 급속도로 빠르게 발전하고 있다. 현재 인공지능을 이용한 소재 설계 연구 대부분은 소재정보로부터 물성을 예측하는 “정방향” 설계 방식에 머물러 있다. 향후 몇 년 내에 많은 소재분야에서 이러한 정방향 소재설계 인공지능 기술이 개발 될 것이고, 많은 연구자들이 손쉽게 이용할 수 있을 것이다. 하지만 그 반대인 내가 원하는 물성을 입력하여 소재 정보를 출력하는 “역방향” 설계 방식은 아직 세계적으로도 초기이다. 역방향 설계 기술이 개발이 되면 소재 개발의 패러다임을 바꿀 수 있는 큰 파급력을 지니고 있다. 따라서 이 분야에 대한 많은 투자가 필요하다.

인공지능의 성패는 데이터베이스가 결정한다 해도 과언이 아니다. 미래는 소재 데이터베이스를 보유하는 소수의 연구팀이 소재 분야를 리드할 것으로 판단된다. 이런 점에서 우리도 이에 대한 체계적인 준비를 해야 한다. 본인의 최근 학회에 참석해보면 소재 분야 인공지능 기술의 발전 속도는 학교/연구소에 비해 기업이 상대적으로 빠르다는 느낌을 받는다. 이는 기업에서 보유한 소재 데이터베이스의 양이 학교나 연구소의 단일 연구팀의 것보다 근본적으로 차이나기 때문이다. 따라서 단일 연구소나 기업 내에서 해결하기 보다는 대학, 연구소, 수요기업 등이 연대해 데이터와 기술을 상호 보완하는 방식으로 접근할 필요가 있다. 소재 개발에 필요한 데이터의 경우 물론 많은 양을 수집하는 것도 중요하지만, 질적인 측면도 중요하다. 데이터 처리능력과 이에 소요되는 시간과 노력을 고려하면 연구개발의 방향에 따라 초기부터 데이터의 질적인 측면을 고려해 수집하는 선택과 집중 전략에 맞는 개발이 필요하다.

인공지능을 효과적으로 활용하기 위해서는 데이터를 축적해 표준화하는 동시에 이를 시뮬레이션 할 수 있는 모델과 처리 기술도 필요하다. 인공지능을 통한 소재개발이 소재 연구뿐만 아니라 알고리즘, 컴퓨팅, 빅데이터 및 플랫폼 기술 등 광범위한 분야에 걸쳐져 있다는 뜻이다. 즉, 소재 전문가와 수학/통계/전산/전자공학 등의 전문가와의 협업이 중요하다. 또한, 소재 전문가도 기존 인공지능 알고리즘을 활용만 하겠다는 생각에서 벗어나 소재 분야에 특화된 알고리즘 개발에도 신경을 쓸 필요가 있다. 물론 그러한 알고리즘 개발 또한 타 전공자와의 협업이 매우 중요하다.

저자_ 한상수 (Sang Soo Han)

• 학력

한국과학기술원 신소재공학 박사
한양대학교 재료공학 석사
한양대학교 재료금속공학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 책임연구원
前) 한국표준과학연구원 선임연구원
前) California Institute of Technology 박사후연구원

저자_ 김동훈 (Dong Hun Kim)

• 학력

MIT Materials Science and Engineering 박사
포항공과대학교 신소재공학과 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 선임연구원
前) 한국과학기술연구원 박사후연구원

참고문헌

- 1) Agrawal, A., & Choudhary, A. (2016). Perspective: Materials Informatics and Big Data: Realization of the “Fourth Paradigm” of Science in Materials Science. *APL Materials*, 4, 053208(1)–(10).
- 2) Bishop, C. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer-Verlag, New York.
- 3) 임진오. (2017). 기계학습을 이용한 소재 연구. *물리학과 첨단기술*, 9월호, 22–26.
- 4) Pilia, G., Mannodi-Kanakkithodi, A., Uberuaga, B. P., Ramprasad, R., Gubernatis, J. E., & Lookman, T. (2016). Machine Learning Bandgaps of Double Perovskites. *Scientific Reports*, 6, 19375(1)–(10).
- 5) Long, C. J., Hatrick-Simpers, J., Murakami, M., Srivastava, R. C., & Takeuchi, I. (2007). Rapid Structural Mapping of Ternary Metallic Alloy Systems Using the Combinatorial Approach and Cluster Analysis. *Review of Scientific Instruments*, 78, 072217(1)–(6).
- 6) Muller, T., Kusne, A. G. & Ramprasad, R. (2016). Machine Learning in Materials Science: Recent Progress and Emerging Applications. *Reviews in Computational Chemistry*, vol. 29, Chap. 4, 186–273.
- 7) 김치호. (2018). 기계 학습 이론을 활용한 재료 연구: 현황과 전망. *물리학과 첨단기술*, 1월호, 12–17.
- 8) Hill, J., Mulholland, G., Persson, K., Seshadri, R., Wolverton, C. & Meredig, B. (2016). Materials Science with Large-Scale Data and Informatics: Unlocking New Opportunities. *MRS Bulletin*, 41, 399–409.
- 9) Liu, Y., Zhao, T., Ju, W., & Shi, S. (2017). Materials Discovery and Design Using Machine Learning. *Journal of Materiomics*, 3, 159–177.
- 10) Xie, T., & Grossman, J. C. (2018). Crystal Graph Convolutional Neural Networks for an Accurate and Interpretable Prediction of Material Properties. *Physical Review Letters*, 120, 145301(1)–(6).
- 11) Ziletti, A., Kumar, D., Scheffler, M., & Ghiringhelli, L. M. (2018). Insightful Classification of Crystal Structures Using Deep Learning. *Nature Communications*, 9, 2775(1)–(10).

- 12) Ma, X., Li, Z., Achenie, L. E. K., & Xin, H. (2015). Machine-Learning-Augmented Chemisorption Model for CO₂ Electroreduction Catalyst Screening. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 6, 3528–3533.
- 13) Tehrani, A. M., Oliynyk, A. O., Parry, M., Rizvi, Z., Couper, S., Lin, F., Miyagi, L., Sparks, T. D., & Brgoch, J. (2018). Machine Learning Directed Search for Ultraincompressible, Superhard Materials. *Journal of the American Chemical Society*, 140, 9844–9853.
- 14) Ren, F., Ward, L., Williams, T., Laws, K. J., Wolverton, C. Hatrick-Simpers, J., & Mehta, A. (2018). Accelerated Discovery of Metallic Glasses through Iteration of Machine Learning and High-Throughput Experiments. *Science Advances*, 4, eaaq1566(1)–(11).
- 15) Ceder, G., & Persson, K. (2013). The Stuff of Dreams. *Scientific American*, 309, 36–40.
- 16) Timoshenko, J., Lu, D., Lin, Y., & Frenkel, A. I. (2017). Supervised Machine-Learning-Based Determination of Three-Dimensional Structure of Metallic Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 8, 5091–5098.



02

국내외 인공지능 R&D 정책 동향

권영만 (한국과학기술연구원 융합연구정책센터)

I 인공지능

1927년 프리츠 랑 감독의 메트로폴리스 영화에는 사람들을 선동하여 지상세계를 파괴하려는 계획을 실행할 인공지능을 탑재한 로봇 마리아가 등장한다. 이후 스타워즈 시리즈의 R2D2, 2001:스페이스 오디세이의 할(HAL) 등 인공지능을 탑재한 로봇은 영화 속에서 꾸준히 등장했고, 2002년 스티븐 스필버그 감독이 연출한 마이너리티 리포트에서는 2054년의 워싱턴을 배경으로 프리크라임(pre-crime) 시스템이 범죄가 일어날 시간 및 장소, 범죄자를 사전에 예상하여 범죄를 예방한다. 영화 바이센테니얼 맨(bicentennial man), A.I., 그리고 엑스마키나(ex machina)를 통해 인공지능과 감정을 가진 로봇이 인간과 같이 공존할 수 있을지에 대한 물음이 던져지기도 했다. 이렇게 지난 수십 년간 영화에서 상상으로 인간의 지능과 동일시 또는 그보다 뛰어나게 그려지던 인공지능은 영화에서 만큼의 지능과 이를 뒷받침할 하드웨어를 갖고 있는 것은 아니지만 2019년 오늘날의 기술이 되어 우리의 실생활에 녹아들고 있다.

비교적 최근에 들어서 인공지능 기술에 대한 전 세계적 관심이 나타난 것처럼 보이지만 실제로는 두 번의 인공지능 흑한기(AI winter)¹⁾를 경험한 역사가 있는 기술이다.

1956년 다트머스 컨퍼런스(Dartmouth Conference)에서 존 맥카시(John McCarthy) 교수가 처음으로 인공지능(Artificial Intelligence: AI)이라는 용어를 사용했으며, “학습의 모든 부분과 지능의 특징을 정확하게 설명할 수 있다면 이를 시뮬레이션 할 수 있는 기계 또한 만들 수 있다”고 믿었다(Childs, 2011). 이렇게 시작된 인공지능은 학술적, 이론적 성숙기를 지나 21세기에 들어서 이를 보다 정밀하고 신속하게 구현할 수 있는 하드웨어의 뒷받침과 딥러닝 기술로 인해 여러 분야에 적용 가능한 확장성으로 인해 빛을 발하기 시작했다.

1) 첫 번째 흑한기('74~'80): 해당 시기 인공지능의 적용분야는 지극히 제한적이며, 추론·탐색을 통한 문제풀이 한계 및 인공지능경망 Perceptron의 비선형 문제 풀이 한계 등의 비판 확산을 통한 재정적 지원 중단

두 번째 흑한기('87~'93): 데스크탑 컴퓨터의 비약적 성능발전 및 가격하락으로 인한 인공지능 전문가 시스템 대체로 인한 인공지능 관련 연구의 몰락

국내외를 막론하고 인공지능은 4차 산업혁명의 기반기술이자, 우리의 삶을 크게 변화시킬 것이라는 의견에는 큰 이견이 없어 보인다. 스탠퍼드 대 교수이자 랜딩닷컴(Landing.AI) 창업자 앤드류 응(Andrew Ng)은 “한 세기 전 전기의 발견과 이를 통한 혁명으로 증기기관을 대체했듯, 인공지능은 21세기의 전기”가 될 것이라 했다.

세계 각국은 국가별 인공지능전략 수립 또는 대처방안에 관한 보고서를 지속적으로 발행해내며 앞으로의 인공지능 기술과 관련 분야에서 마주칠 수 있는 기회 및 위험요소들을 최대한 발굴하여 다음 세대의 경제 및 사회 발전을 이루고자 하고 있다. 본 리뷰에서는 국내 인공지능 R&D 정책 동향을 시작으로, 미국, 중국, 일본, 캐나다, 프랑스, 싱가포르의 인공지능 정책 및 국가전략을 알아보았으며, 이에 따른 시사점을 도출해내고자 하였다.

2) 2017년 설립된 회사로 기업에 필요한 인공지능 컨설팅, 파일럿 프로젝트를 통한 기업구조 변화, 인공지능 담당 부서 설립지원 등 기업에 필요한 인공지능 솔루션을 제공한다.

II 국내 인공지능 R&D 정책 동향

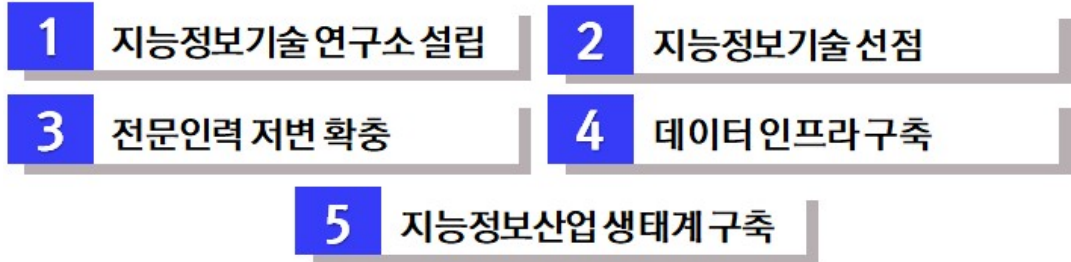
국내에서 대중들의 인식 속에 인공지능이 각인을 남긴 것은 2016년 3월 이세돌과 알파고의 바둑 대결에서 당연시 여겨졌던 이세돌의 5전 전승 또는 4승 1패로의 승리가 1승 4패로 뒤바뀐 순간일 것이다. 이를 계기로 정부에서는 「지능정보산업 발전 전략」(2016.03), 「지능정보사회 중장기 종합대책」(2016.12), 「4차 산업혁명 대응계획」(2017.11) 등(그림 1) 지속적으로 큰 틀에서 지능정보사회 및 관련 기술의 성장을 대비한 정책적 노력을 하였고, 올해 5월에는 대통령직속 4차산업혁명위원회 제1호 심의안건으로 「인공지능(AI) R&D 전략」을 발표하였다.

그림 1 국내 인공지능 관련 정책 수립 과정



2016년 3월 발표된 「지능정보산업 발전 전략」에서는 지능정보 플래그십 프로젝트, 전문 인력 확충, 데이터 인프라 구축, 산업 생태계 조성 등을 위해 향후 5년간 총 1조원의 투자 전략을 발표했다. 세계 최고 수준의 기술 역량 확보를 위해 선택과 집중을 통해 ① 언어지능, ② 시각지능, ③ 공간지능, ④ 감성지능, ⑤ 요약창작 분야의 플래그십 프로젝트를 추진하고자 하였으며, 기술입증을 통해 정책적 지원의 성과를 도출하고자하였다.

그림 2 지능정보산업 발전 전략 5대 중점 과제

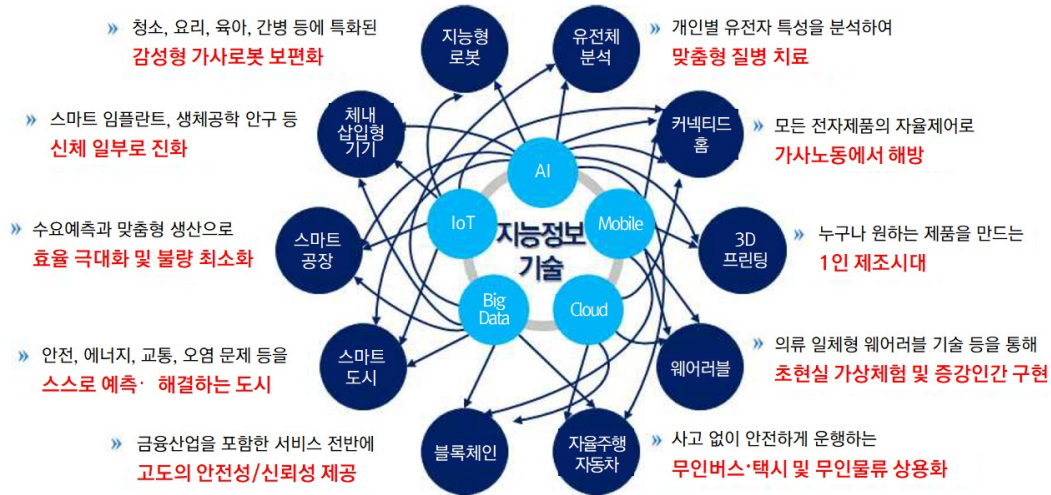


2016년 12월, 관계부처 합동으로 발표된 제4차 산업혁명에 대응한 「지능정보사회 중장기 종합대책」은 인공지능을 포함한 지능정보기술의 발전으로 인한 산업·경제·사회 전반에 구조적 대변혁을 촉발할 것이 예상되어 관련 지능정보기술의 선제적 도입·확산에 대한 대응책을 마련하고 있다. 이 중 인공지능 기술은 지능정보기술의 원천기술로 분류하여 기술개발 목표를 차별화하고 있으며, 추가로 “인간 정보처리 활동의 원리를 분석하는 기초 기술과 ICT를 통해 이를 구현하는 인공지능 소프트웨어 및 하드웨어 기술”로 구분정의하고 있다. 인공지능기술 내에서, 선진국과 기술격차를 보이는 언어·시각·감성·공간 등 인지기술 분야는 2023년 글로벌 수준 확보를 목표로 하고 있으며, 학습추론기술 분야는 추격대신 차세대 기술을 개발하는 것에 집중하는 목표를 잡았다.

해당 목표를 달성하기 위해 인공지능 영역의 국내 최고 수준 대학원(연구실)을 선정하여 10년간 집중지원과 인공지능의 역기능을 이용한 사이버테러 방지 보안시스템 개발 및 관리 인력 육성 등을 통한 인재확보와 관련된 대책도 마련되었다.

그림 3 지능정보기술과 타 산업기술의 융합 예시

【 지능정보기술과 타 산업·기술의 융합 예시 】



(과학기술정보통신부 2017)

다만 해당 종합대책은 인공지능을 5개 지능정보기술(인공지능, IoT, 빅데이터, 클라우드, 모바일) 중 한 가지 기술로 타 지능정보 기술과의 융합을 전제로 한 포괄적 전략을 제시하고 있다는 점에서 인공지능만을 위한 정책이라고 하기에는 한계점을 가진다.

2017년 11월, 「4차 산업혁명 대응계획」에서는 인공지능 소프트웨어와 같은 지능화 기술이 각 분야의 기반기술과 융합하여 범용으로 영향을 미치는 핵심동인으로 파악하여 미래 제품과 서비스의 경쟁력을 좌우하는 핵심요소라고 판단했다. 이를 위해 데이터 및 인공지능 관련 기초연구를 확대하고, 설명 가능한 인공지능과 같은 지능화 기술의 고도화를 추진 및 차세대 선도 기술 개발을 추진하였다. 하지만 해당계획에서 역시 인공지능은 지능정보기술의 일부로, 타 지능정보 기술과의 융합을 전제로 해당 전략이 제시되었으며, “인공지능 기반 신약개발혁신”, “인공지능 기반 후보물질 예측”, “인공지능 기반 스마트팜 고도화” 등 ‘인공지능+산업분야’를 통한 성장동력 확보에 초점이 맞추어져있다.

앞선 세 번의 대응과는 달리, 2018년 5월, 대통령직속 4차산업혁명위원회에서는 제1호 심의안건으로 인공지능기술만을 위한 「인공지능(AI) R&D 전략」을 발표하였다.

인공지능 R&D 전략은 인공지능 기술의 비약적인 발전으로 국내외적으로 경제성장과 사회난제 해결의 돌파구가 마련될 것으로 기대하며, 인공지능이 향후 경제사회 전반을 혁신할 근본 기술임을 고려하여 국민 삶의 질과 국가 경쟁력 제고를 위해 인공지능 기술력 확보는 필수라는 배경 아래 수립되었다.

정부는 인공지능 국내현황에 대해 ① 경쟁국 대비 인공지능 기술경쟁력이 취약하고, ② 양질적으로 인공지능 우수인재가 부족하며, ③ 개방·협력 기반의 인공지능 기술혁신 기반 미비가 주요 한계점이라고 하였다(과학기술정보통신부 2018). 이를 극복하기 위해 장기공공분야 전략적 집중과 인재양성, 그리고 인공지능 혁신의 자생적 발현을 위한 개방형 연구 기반을 조성(그림 4 참고)하는데 초점이 맞춰졌다.

그림 4 인공지능 R&D 전략 상 문제점 극복 방안

기술	<p>장기·공공 분야에 전략적으로 집중</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고위험·차세대 기술 분야에 대해 중장기 투자 지속 - 공공·응용(AI+X) 영역에서 대규모 혁신이 촉발되도록 지원 강화
인재	<p>AI 인재가 산업 전반의 혁신을 이끌도록 인재양성에 총력</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI 핵심·차세대원천 기술을 개발할 수 있는 고급연구인력 양성 - AI를 활용한 신제품·서비스를 창출할 수 있는 융복합 인재 양성
기반	<p>AI 혁신이 자생적 발현되도록, 개방형 연구 기반 조성</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI데이터, 컴퓨팅 자원이 제공·활용되고 연구역량이 결집되는 체계 구축 - 자율적 경쟁과 협업이 가능한 AI 기술혁신의 장 마련

(과학기술정보통신부 2018) 재구성

이를 통해 세계적 수준의 인공지능 기술력 및 R&D 생태계 확보를 위해 2022년까지 2.2조원을 투자할 계획이다. 이를 통해 세계 4대 인공지능강국 도약, 우수 인재 5천여 명 확보, 인공지능 데이터 1.6억여건 구축을 전략적 목표로 하고 있다. 또한 기술, 인력, 기반을 중점으로 3대 중점 추진 방안을 마련, 이를 통해 국내 인공지능 기술 역량의 대도약과 인공지능을 통한 4차 산업혁명시대의 성장동력을 확충한다(그림 5 참고).

그림 5 I-KOREA 4.0 실현을 위한 인공지능 R&D 전략



(관계부처 합동 2018)

III 해외 정책 동향

1. 미국

인공지능과 관련된 기술이 가장 앞선 것으로 평가되는 미국은 관련된 정책을 체계적으로 추진해나가고 있다. 또한, 구글(Google), 페이스북(Facebook), 애플(Apple), 아마존(Amazon) 등과 같이 인공지능 기술을 이미 본인들의 분야에 접목하여 세계와 업계를 동시에 선도하는 혁신적 기업들이 즐비하므로, 민간의 역량을 지원하는데 중점을 두고 있다.

2016년 5월 3일, 미국 연방정부의 인공지능과 관련된 활동을 지원하기 위해 머신러닝 및 인공지능 소위원회(Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence: 이하 MLAI)를 백악관 직속 과학기술정책국(Office of Science and Technology Policy: 이하 OSTP) 소속 국가과학기술심의회(National Science and Technology Council: 이하 NSTC) 내에 새로이 신설했다. 이후 2016년 6월 15일, MLAI는 네트워킹 및 정보기술연구발전 소위원회(Subcommittee on Networking and Information Technology Research and Development: 이하 NITRD)에 「국가 인공지능 R&D 전략 계획」(The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan)을 수립하도록 지시하였고, 2016년 10월, NSTC는 인공지능과 관련된 두 가지 보고서를 발표하였다.

첫 번째 「국가 인공지능 R&D 전략 계획」보고서를 통해 정부내외에서 지원하는 인공지능 연구의 목표를 설정하고, 모든 연구의 궁극적인 목표는 사회에 다양한 긍정적 이점을 제공하는 동시에 인공지능으로 인한 부정적 영향을 최소화하는 인공지능 관련 지식과 기술을 창출해내는 것이라고 명시하고 있다. 또한, 그림 6에서와 같이 인공지능 R&D 7대 전략 수립을 통해 미국의 전략적 인공지능 발전 토대를 마련하였다.

그림 6 국가 인공지능 R&D 7대 전략

- 1 인공지능 연구 장기적 투자 지속
- 2 인간-인공지능 효과적 협업 방안 개발
- 3 인공지능의 윤리적·법적·사회적 함의에 대한 이해 및 접근
- 4 인공지능 시스템의 안전 및 보안성 확보
- 5 인공지능 학습/테스트를 위한 공공 data set 및 환경 개발
- 6 표준 및 벤치마크를 통한 인공지능 기술 측정 및 평가
- 7 국가 인공지능 R&D 인력 수요에 대한 이해 확립

(NITRAD 2016)

NSTC의 두 번째 보고서인 「인공지능 미래를 위한 준비」(Preparing for the Future of Artificial Intelligence)에서는 관련 기관 간 인공지능과 관련된 기술적 및 정책적 자문을 제공하고, 산업계, 학계, 연방정부에서 일어나는 인공지능 기술개발을 모니터링하기 위해 발표되었다. 해당 보고서에서는 공청회와 공공워크숍을 통해 전문가와 일반국민을 대상으로 인공지능과 관련된 여러 주제에 대한 의견을 수집하여, 총 7개 분야 23개의 권고안(표 1 참고)을 제시하고 있다.

표 1 인공지능 미래를 위한 준비 7개 분야 23개 권고안 목록

분야	권고안
공공이익을 위한 인공지능 활용	1. 민간 및 공공기관은 인공지능과 머신러닝의 책임 있는 활용을 통해 사회에 이익을 창출할 수 있는 방안을 검토해야한다.
	2. 연방 기관은 인공지능 공개훈련데이터와 공개데이터표준에 우선순위를 두어야한다.
연방정부에서의 인공지능	3. 연방정부는 주요 기관에서 인공지능을 적용하여 각 기관의 임무역량 제고 방안을 찾아야한다.
	4. NSTC MLAI는 정부 내 인공지능 실무자들의 학습공동체를 구성하여야한다.

분야	권고안
인공지능과 규제	5. 기관은 인공지능 활용 제품에 대한 규제 설정 시, 적절한 고위급 기술전문가를 활용해야한다.
	6. 기관은 기술현황에 대한 다양한 관점을 가진 연방기관 인력을 양성하기 위해 폭넓은 인력 할당 및 교환 모델을 사용해야한다.
	7. 교통부는 관련 업계 및 연구자들과 협업하여 안전, 연구 및 기타 목적을 위한 데이터 공유를 확대할 수 있는 방안을 모색해야한다.
	8. 미국 정부는 확장가능성이 높고, 자율비행항공기 및 유인항공기 모두 충분히 수용할 수 있는 첨단/자동 항공교통관리시스템을 개발하고 실행하는데 투자해야한다.
	9. 교통부는 완전자율주행차량과 무인항공시스템을 교통시스템에 안전하게 통합하는 것을 가능케 하는 규제 프레임워크의 개발을 지속해야한다.
연구 및 노동인력	10. NSTC MLAI는 인공지능의 발전을 모니터링 하고 주요 현황에 대해 고위 관리자에 정기적으로 보고해야한다.
	11. 정부는 다른 국가의 인공지능 주요 현황을 모니터링 해야 한다.
	12. 산업계는 업계에서의 전반적 인공지능 발전상황과 빠른 시간 내 실용화 가능한 기술에 대해 정부가 항상 최신 정보를 인지할 수 있도록 정부와 협업해야한다.
	13. 연방 정부는 기초 및 장기적 인공지능 연구에 우선순위를 두어야 한다. 14. NSTC MLAI 소위원회와 과학기술공학교육위원회(CoSTEM)는 공동으로 인공지능 연구자, 전문가, 사용자 등 인공지능 인력의 규모, 우수성, 다양성을 적절히 증가시키는 조치를 개발하기 위한 인공지능 인력 파이프라인 연구를 시작해야 한다.
인공지능, 자동화, 경제	15. 대통령실은 미국 고용 시장에 대한 AI와 자동화의 영향을 추가로 조사하고 권고한 정책들의 대응 개요를 제시하는 후속 보고서를 금년 말까지 발표해야 한다.
공정성, 안전, 거버넌스	16. 개인의 중대한 결정에 관한 의사결정지원을 위해 인공지능 기반 시스템을 사용하는 연방 기관은 증거기반 검증과 확인에 기초하여 시스템의 효율성과 공정성을 보장하기 위해 각별한 주의를 기울여야 한다.
	17. 개인의 중대한 결정에 인공지능 기반 시스템을 사용하는 주 정부 및 지방정부에게 보조금을 주는 연방 기관은 연방 보조금으로 구입한 인공지능 기반 제품이나 서비스가 상당히 투명한 방식으로 성과를 내고 효율성과 공정성에 기반하여 지원되도록 보조금 조건을 검토해야 한다.
	18. 학교와 대학은 인공지능 커리큘럼의 핵심 부분으로 윤리학과 보안, 프라이버시, 안전과 관련된 주제들, 머신러닝, 컴퓨터 사이언스, 그리고 데이터 사이언스를 포함시켜야 한다.
	19. 인공지능 전문가, 안전 전문가, 각 전문가 단체는 성숙한 인공지능 안전 공학 분야 발전을 목표로 지속적 협력을 해야 한다.
범국가적 고려사항 및 보안	20. 미국 정부는 인공지능 관련 국제 참여에 대한 범정부 차원의 전략을 수립하고, 국제적 참여 및 모니터링이 필요한 인공지능 분야 목록을 작성해야 한다.
	21. 미국 정부는 인공지능 R&D에 대한 정보를 교환하고 협력을 촉진하기 위해 주요 국제 이해당사자 (외국 정부, 국제기구, 산업계, 학계, 그리고 기타 관계자)와 긴밀히 교류해야 한다.
	22. 기관의 계획과 전략은 인공지능이 사이버 보안에 미치는 영향과 사이버 보안이 인공지능에 미치는 영향을 설명해야 한다.
	23. 미국 정부는 국제인도법에 부합하는 자율 및 반자율 무기에 대한 정부 차원의 단일 정책 개발을 완성해야 한다.

(김희연 2016, Executive Office of the President NSTC Committee on Technology 2016)

또한, 2016년 12월, 백악관 대통령실에서 직접 내놓은 「인공지능, 자동화, 그리고 경제」(Artificial Intelligence, Automation, and the Economy) 보고서에서는 기술의 발전이 국가경제와 GDP의 실질적인 성장 동력이며, 기술을 통한 생산성 증가로 평균 임금 및 노동자의 삶의 질 향상이 이루어지고 있다고 명시했다. 인공지능주도의 자동화를 통해 추가적인 경제성장이 가능할 것으로 내다보고 해당 보고서에서는 3개 전략(그림 7)을 제시했다.

그림 7. 인공지능, 자동화, 그리고 경제 보고서 내 3개 전략

- 1 인공지능의 이익창출을 위한 지속적 투자 개발
- 2 미래일자리를 위한 교육
- 3 전환기노동자지원 및 역량 강화

(Executive Office of the President 2016)

위 3개 전략을 통해 미 정부는 인공지능을 통한 사회변화를 대비하고 있으며, 특히 인공지능 관련 기술 연구개발뿐만 아닌 신규인력양성 및 기존인력의 교육을 통한 미래사회에 필요한 인재 공급에 초점이 맞춰져 있다.

트럼프 정부가 들어선 이후, 미국의 인공지능 정책은 국내 산업과 자국민들을 위한 정책으로 그 초점이 맞춰졌으며, 2018년 5월 백악관은 주요 산업계 대표를 초청하여 미국 산업계를 위한 인공지능 정상회의(Summit on Artificial Intelligence for American Industry)를 개최하였다. 이 자리를 통해 트럼프 정부는 미 국민을 위한 인공지능(Artificial Intelligence for American People)을 발표, 6대 부문별 인공지능 정책(그림 8)을 소개하였다.

그림 8 미 국민을 위한 인공지능 6대 정책

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 인공지능 R&D 예산 우선 지원 | 2 인공지능 혁신을 위한 규제 장벽 제거 |
| 3 미래 인재 양성 | 4 전략적 군사 우위 확보 |
| 5 정부 서비스 부문 인공지능 기술 활용 | 6 국제적 인공지능 협상 주도 |

(The White House 2018)

이를 통해 역사상 최초로 2019년 회계연도 신청(안)에 인공지능, 자동 및 무인 시스템을 정부 R&D 우선 과제로 명시하였으며, 수준 높은 STEM 교육 제공을 위한 matching fund 조성, 군사안보전략에 인공지능의 중요성 명시, 미-영/미-프 간 국제적 인공지능 R&D 협력을 위한 과기협정 체결 추진 등 범정부적 인공지능 정책을 추진하고 있다. 또한, 백악관, 기관, 산업계, 학계 간 인공지능 R&D 계획 수립, 조정, 소통 촉진을 위해 NSTC 산하 인공지능 특별위원회(Select Committee on Artificial Intelligence)를 신설하였다.

2. 중국

전 기술 분야에서 국가주도의 공격적인 투자를 늘리며 세계에서 영향력을 늘려가는 중국은 인공지능에서도 수많은 성과를 창출해내고 있다. 특히 양적투자를 바탕으로 현재 미국과 함께 G2로의 성장을 이루었고, 앞으로의 4차 산업시대로 전환함에 있어 관련 산업과 기술의 질적 향상도 목표로 하고 있다.

중국에서 인공지능이 처음 정책적으로 명시되기 시작한 것은 2014년 6월, 시진핑 주석이 중국과학원 제17대 원사대회 연설에서 산업고도화의 주요 동력인 인공지능의 발전 계획이 필요하다고 언급하면서부터이다. 이후 2015년 5월, 중국 국무원은 4차 산업혁명을 통해 제조업을 고도화하는 방안의 「중국제조2025」(中国制造2025)를 발표하며 향후 30년간 3단계3)에 걸쳐 산업구조를 고도화할 계획을 발표하였다. 이 중심에는 제조 산업과 인공지능의 결합이 있으며 중국최초로 인공지능이 국가적 정책 일부로 포함되었다.

3) 1단계(~2025년): 핵심경쟁력 보유 및 노동생산성 제고, 2단계(~35년): 글로벌 제조 강국의 중간 수준 도달, 3단계(~45년): 주요 산업 및 시장 혁신적 선도

2016년 5월에는 중국 최초로 인공지능을 위한 단독 정책·전략으로, 국가발전개혁위원회, 과학기술부 등을 중심으로 하는 「인터넷+인공지능 3개년 행동실행방안」(互联网+人工智能, 三年行动实施方案)이 발표되었다. 이를 통해 2016년부터 2018년까지 인공지능을 사회경제발전의 원동력으로, 인공지능과 관련된 핵심기술 연구개발, 상용화 프로젝트 진행, 기초자원 서비스 플랫폼 구축(XinhuaNews, 2016)을 인공지능 산업에 포괄적으로 포함시켜 정부 지원 계획과 방향성을 제시하였다. 또한 인공지능 활용을 위한 6대 주요 대책을 제시하여 자금지원부터 인재양성, 국제협력까지 전방위적 계획(표 2)을 수립하였다.

표 2 인터넷+인공지능 3개년 행동실행방안 6대 주요 대책

기본 원칙	주요 내용
자금지원	· 중앙예산내의 기금, 특정건설기금, 사업 전형 기금 등을 통한 지원 · 국가 주요 과학기술 계획 등 다양한 경로를 최대한 활용하여 재정기금 유치
표준체계	· 인공지능 분야와 표준 시스템을 융합하여 기초적인 공통 특성, 상용성, 산업화 적용, 네트워크 보안, 개인정보보호 등의 기술 표준 구축 및 개선
지식재산권	· 인공지능 중점 기술과 응용 분야에 대한 특허 범위 강화
인재양성	· 인공지능 유관 연구기관과 고등교육학교·교육기관 및 전문가에게 시에 대한 기본 지식과 적용방법을 교육
국제협력	· '일대일로'와 같은 국가 중대 전략과 결합하여 경쟁 우위를 촉진하기 위한 대외확장 정책 추진
조직적 운영	· '인터넷+' 관련 부처 간 회의체계 활용 및 AI 전문가와 핵심 기업 간 정기 회의를 통해 긴밀한 소통체계 유지

(정보통신기술진흥센터, 2017)

2016년 「인터넷+인공지능 3개년 행동실행방안」을 통해 최초의 인공지능 종합계획발표 이후 2017년 7월에는 인공지능 국가전략화를 위한 「차세대 인공지능 발전계획」(新一代人工智能发展规划)을 발표하였다. 해당 계획에서 중국은 인공지능이 국제사회의 새로운 경쟁영역으로 부상하고 있으며, 국가경쟁력 제고 및 국가안보를 위한 전략적 기술로써 인공지능 관련 핵심기술, 인재양성, 표준정립, 법안마련 등의 대책이 필요하다고 기술했다. 해당 계획은 4대 기본원칙(표 3)에 따라 총 3단계의 전략적 목표(그림 9)를 설정하여 2030년까지 인공지능 선도국가 도약이라는 비전을 제시한다.

표 3 차세대 인공지능 발전계획 4대 원칙

기본 원칙	주요 내용
기술 중심	· 글로벌 인공지능 개발 트렌드 파악을 통한 미래 지향적 R&D 구현 · 장기적 지원을 통한 이론·방법론·시스템 혁신 달성
시스템 레이어	· 기초 연구, 기술 R&D, 산업 개발 및 상업적 응용의 다양한 특성에 따라 대상 시스템 개발 전략 수립 · 제도 개혁과 정책 환경 재정비를 통한 이미 진행 중인 프로젝트와 새로운 미션을 유기적으로 연결하여 장기적인 개발 능력 유지 및 혁신 역량 구축
시장 주도	· 시장규칙을 따르는 범위 내에 인공지능 기술 상용화 가속 · 인공지능을 통한 정부와 시장간 노동 분열에 대한 이해도를 높여, 관련 계획 및 방침, 정책지원, 보안, 시장 규제, 환경 구축, 윤리규정제정 등에 있어 정부의 역할 확립
오픈소스(개방)	· 산학연 간 오픈소스 공유 개념을 확립하여 데이터 공유를 장려 · 인공지능관련 글로벌 R&D에 적극 참여 및 글로벌 스케일의 혁신자원 배분 최적화

(중화인민공화국중앙인민정부 2017)

첫 번째 단계로 2020년까지 인공지능의 전반적 기술 개발 및 적용을 선진국 수준으로 맞추며, 인공지능 산업을 새로운 중요 경제 성장점으로하여 사회 혁신 달성과 혁신형 국가 진입을 목표로 하고 있다. 두 번째 단계로는 2025년까지 인공지능 기초 이론에서 주요 성과 발표를 통한 인공지능 선진국으로 발돋움을 목표로 스마트지능 사회 건설을 계획하고 있으며, 몇몇 기술 및 적용 분야에서는 선도적 단계에 위치할 것을 목표로 한다. 마지막으로 2030년에는 인공지능 이론, 기술, 적용 등 모든 분야에서 세계를 선도하며, 중국을 인공지능 혁신 센터로 발전시켜 경제 강국 및 혁신적 국가로의 변모를 목표로 하고 있다.

그림 9 차세대 인공지능 발전계획 전략적 목표 3단계



(중화인민공화국중앙인민정부 2017) 재구성

같은 해 12월, 중국 공업신식화부는 인공지능과 실물경제의 심층융합을 위해 「중국제조2025」와 「차세대 인공지능 발전계획」을 구체화하는 「차세대 인공지능 산업 발전 촉진 3개년 행동계획(2018~2020)」(促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018~2020))을 발표했다. 해당 계획은 시스템 레이아웃, 핵심혁신, 협업혁신, 개방 및 질서라는 4대 원칙 아래 2020년까지 총 네 가지 목표(표 4)를 제시하였다.

표 4 차세대 인공지능 발전계획 4대 원칙

목표	주요 내용
1. 지능-네트워크 연결 제품 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 시장수요를 기반으로 혁신적 인공지능 탑재 제품 및 서비스 개발을 통해 인공지능 기술의 산업화 필요 · 보건, 교통, 농업, 금융, 물류, 교육, 문화, 여행 등 통합적 인공지능 사용방안 강구 · 지능형 커넥티드 자동차 지능형 서비스 로봇, 지능형 무인비행체, 의료 영상 진단시스템, 영상 식별 시스템, 스마트 언어 번역 시스템, 스마트 가전 등의 제품 육성
2. 인공지능 핵심 기반 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 인공지능 어플리케이션을 위한 소프트웨어 및 이를 구동하는 하드웨어 개발 필수 · 스마트 센서, 신경망 네트워크 칩, 오픈소스 플랫폼 등
3. 스마트 제조 공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 지능형 제조 혁신을 위한 인공지능 기술의 활용 · 자기진단시험정렬 등 인공지능 기술 접목 로봇공정, 분산형 컨트롤 시스템 등과 같은 산업용 로봇의 발전 · 신규 지능형 제조공정 개발
4. 인공지능 개발 환경 개선	<ul style="list-style-type: none"> · 2020년까지 AI 표준체계 구축, 외부 시범테스트 플랫폼 구축 및 평가 테스트 서비스 제공 · 지능형 네트워크 인프라(예. 5G) 구축을 통한 90% 이상 지역의 광대역 접속 제공

(중국공업신식화부, 2017)

3. 일본

전통적 로봇 강국인 일본은 지속적 저성장 및 고령화 사회의 돌파구로 인공지능을 전략적으로 사용하는 정책을 펼치고 있다. 일본은 캐나다에 이어 두 번째로 국가 인공지능 전략을 수립한 국가로, 2016년 4월, “미래를 위한 투자 - 공공과 민간의 대화 자리”에서 아베 총리의 지시에 따라 인공지능기술전략위원회가 설립되었다. 컨트롤타워 역할을 하는 인공지능기술전략위원회는 총무성, 문부과학성, 경제산업성 소속 총 5개의 국립R&D기관(그림 10)을 관리하며 인공지능기술의 발전을 위해 관련 연구를 진흥함과 동시에 관련 산업체와 유기적 소통을 담당한다.

그림 10 인공지능기술전략위원회 관리 및 인공지능 담당 5개 기관 조직도

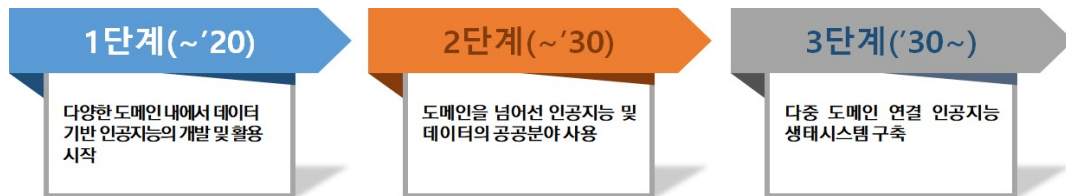


(NEDO 2017) 재구성

해당 위원회는 2017년 3월 산업화 로드맵을 포함한 「인공지능기술전략」(人工知能技術戰略)을 발표하였다. 해당 전략의 서론에서 일본은 현재 ① R&D 투자 미비로 인한 인공지능 기술 관련 논문 발표 수 하락, ② 여러 분야에 충분한 양의 데이터가 있음에도 불구하고, 이의 디지털화 미비 및 개인정보보호 및 사용 규제에 따른 데이터 활용 미비, ③ 인공지능 인재 부족, ④ 개방형 혁신을 위한 융합형 프로젝트 부족, ⑤ 인공지능 구현을 위한 하드웨어 산업의 경쟁력 둔화가 일본의 인공지능 혁신을 가로막고 있다고 자체적으로 평가했다.

이를 극복하기 위해 “서비스를 위한 인공지능”(AI technology as a Service: AIaaS)이라는 틀 안에서 소사이어티 5.0 이니셔티브의 3개 영역(생산성, 건강·보건복지, 모빌리티)에 대해 중점으로 인공지능 개발을 촉진하는 총 3단계 발전 전략(그림 11)을 제시했다.

그림 11 인공지능 기술 전략 발전 3단계 목표



(NEDO, 2017) 재구성

이와 동시에 총 5개 분야에 관련하여 세부 실행 방안을 제시하고 있다(표 5).

표 5 인공지능 기술 전략 5개 분야 주요 내용

분야	내용
R&D	<ul style="list-style-type: none"> · 인공지능 기술 R&D의 핵심은 사회와의 연결 · 산업기술총합연구소(AIST), 이화학연구소(RIKEN), 정보통신연구기구(NICT) 3개 기관 간 협력을 통한 단일목표 설정 · 산학관 참여 인공지능 R&D 프로젝트 추진
인력 양성	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 인력 처우 개선 · 신규 인력 양성을 위한 교육 프로그램 신설 · 대학-기업 간 협업을 통한 필요 인력 양성 · JST 기금을 통한 인력 양성
산학관 보유 데이터 공유 환경 조성	<ul style="list-style-type: none"> · 체계적 데이터 관리 및 활용을 통한 사회적 발전 도모 · 데이터 손실 방지 및 실용화 전 단계 시험을 위한 산학관 공동 데이터 관리 방안 마련 · 민간 부문 보유 데이터의 활용 및 적용 방안 강구
스타트업 지원	<ul style="list-style-type: none"> · 개방형 혁신을 통한 스타트업 지원 강화 · 스타트업 창업자 확보 및 씨앗자금 지원
인공지능 기술 개발 관련 이해도 향상	<ul style="list-style-type: none"> · 사회적 우려 완화 노력(인공지능은 서비스용 및 보조적 역할임을 확립) · 규제 지양 · 개발자, 사용자 등 사회 전 구성원의 인공지능에 대한 이해도 향상 필요

(NEDO, 2017)

같은 해 7월 일본 총무성은 인공지능 R&D 가이드라인을 발간, 일본정부의 인공지능 5대 기본철학(그림 12 참고)과 9대 R&D 원칙(표 6 참고)을 발표했다.

그림 12 인공지능 R&D 가이드라인 5대 기본철학



(총무성, 2017) 재구성

표 6 인공지능 R&D 가이드라인 9대 원칙

분류	원칙
인공지능 네트워킹의 발전 및 유익성에 관한 원칙	협력성 - 인공지능 시스템 간 상호연결성 및 운용성에 관한 원칙
인공지능 시스템의 위험 완화에 관한 원칙	투명성 - 인공지능 시스템 입출력물의 검증 및 판단 근거의 설명에 관한 원칙
	통제가능성 - 사용자의 인공지능 시스템 통제가능성에 관한 원칙
	안정성 - 사용자의 생명, 신체, 자산 등에 위해금지에 관한 원칙
	보안성 - 인공지능 시스템의 보안확립에 관한 원칙
	사생활 - 사용자의 사생활 침해 금지에 관한 원칙
	윤리 - 인공지능 시스템 연구개발 시, 인간 존엄성과 자주성 존중에 관한 원칙
인공지능 기술 사용자의 수용성 향상에 관한 원칙	사용자 지원성 - 사용자 지원 및 적절한 선택기회 제공에 관한 원칙
	책임성 - 이해관계자간 인공지능 시스템의 책임성 충족에 관한 원칙

(총무성, 2017) 재구성

비록 해당 가이드라인은 법적 구속력이 있거나 ‘인공지능법’은 아니더라도, 인공지능의 유익성을 홍보함과 동시에 위험성을 감소시키고자 하는 일본 정부 내부의 가이드라인을 마련했다는 데 의의가 있다.

2018년에 들어 일본 정부는 내각부 내 「인간중심 인공지능 사회원칙검토회의」⁴⁾(人間中心のA I社会原則検討会議)를 구성하여, 2018년 5월 제1차 회의를 시작으로 2018년 12월까지 제8차 회의를 진행하였다. 2018년 6월 제2차 회의에서 공식적으로 인공지능을 2019년 6월에 확정하게 될 ‘통합혁신전략’의 일부분으로 채택하였고, 최근 진행된 제8차 회의에서는 「인공지능 활용 7대 기본원칙」(人工知能の活用に關する7つの基本原則)(표 7 참고)을 확정함으로써 관련 법률 정비를 추진할 계획이다.

4) 인공지능이 사회에서 보다 좋은 방향으로 사용되어, 기본 원칙이 되는 ‘인간중심의 인공지능사회’를 구축하고, 해당 회의에서 마련된 원칙을 G7 및 OECD 등의 국제회의에 제공하는 것을 목적으로 한다. 인공지능 기술 및 중장기적 연구개발 현황, 이용·활용방안 등에 대해 산학민관의 협력을 통해 다각적 시야에서 인공지능과 관련된 여러 이슈에 대해 조사 및 검토를 실시하는 목적으로 설립되었다. (내각부)

표 7 인공지능 활용 7대 기본원칙

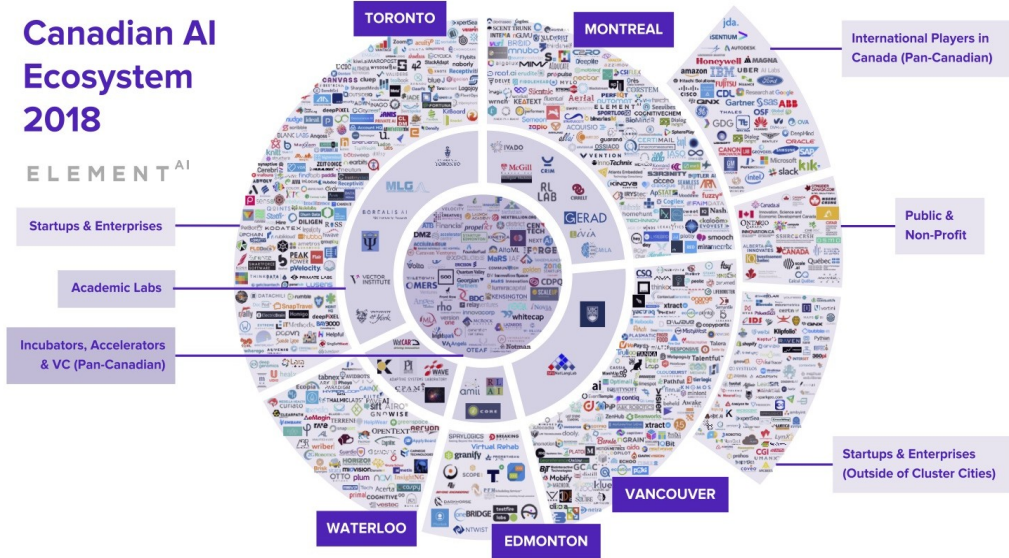
원칙	내용
1. 인간중심	인간의 기본적 인권 침해 금지
2. 교육·활용	누구나 이용 가능하도록 충실한 교육 실시
3. 프라이버시 확보	개인정보 관리 노력 요구
4. 시큐리티 확보	보안조치 확인
5. 공정경쟁 확보	공정한 경쟁환경 유지
6. 공정성, 설명책임, 투명성	인공지능 활용 기업은 결정과정에 대한 설명 책임 부과
7. 혁신	국경 초월 데이터 이용환경 정비

(산케이뉴스, 2018)

3. 캐나다

북미에서 인공지능의 역사가 시작된 곳은 미국이지만, 캐나다도 연구인력 육성을 중점적으로 추진하면서, 국가적차원에서 연구 확산에 주력하고 있다. 2017년 3월 세계 최초로 국가 차원의 인공지능 전략, 「범캐나다 인공지능 전략」(Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy)을 발표하였으며, 향후 5년간 1억 2,500만 캐나다 달러를 투자하여 캐나다 전체를 인공지능 클러스터로 육성한다는 계획이다. 해당 전략의 추진과 정책 실현을 위해 캐나다고등연구원(Canadian Institute for Advanced Research: 이하 CIFAR)이 주축이 되어 토론토 Vector Institute, 몬트리올 Montreal Institute for Learning Algorithms, 에드몬톤의 Alberta Machine Intelligence Institute와 함께 연계하여 인공지능의 사회적 확산을 촉진하고 있다.

그림 13 캐나다 인공지능 생태계 맵



(JF GAGNE 2018)

「범캐나다 인공지능 전략」의 4대 목표(그림 14)를 통해 캐나다 정부는 인공지능 분야에서 선두주자로서 나아가 글로벌 리더로 자리매김하기 위하여 딥러닝과 같은 핵심기술 개발과 고급인력을 양성하며, 클러스터 지원을 통해 통합적 연구 환경을 조성하고 있다.

그림 14 범캐나다 인공지능 전략 4대 목표

- 1 인공지능 분야 연구자 및 전문가 양성
- 2 에드몬톤, 몬트리올, 토론토 내 인공지능 센터 간 협업을 통한 과학적 우수성 확보
- 3 인공지능 발전에 따른 경제적, 윤리적, 정책적, 법적 리더십 강화
- 4 인공지능 연구 커뮤니티 지원

(CIFAR 2017)

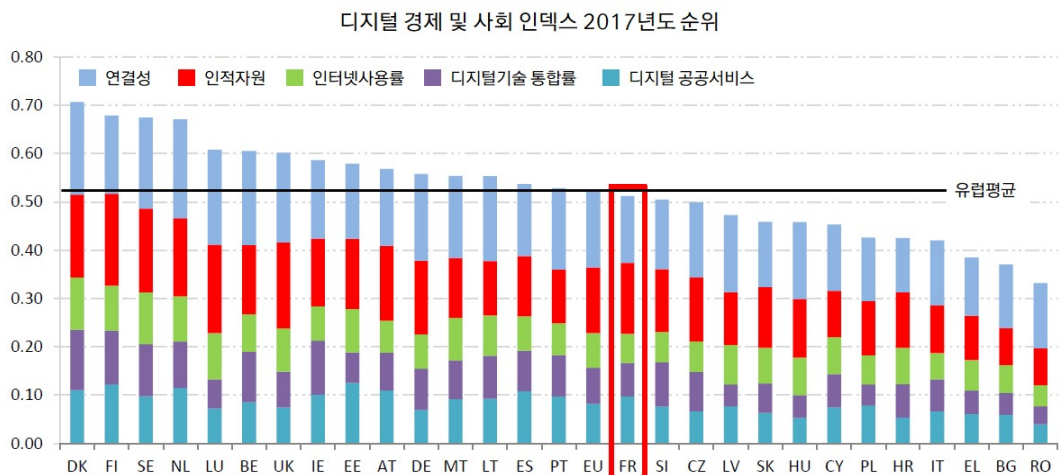
4대 목표를 추진함과 동시에 연구 커뮤니티와의 협업을 통해 5년 후에는 인공지능 연구와 교육 분야에서 캐나다의 국제적 위상을 높이고, 학계의 연구 능력을 향상시켜 생산성을 제고하며, 캐나다로 인공지능 관련 고급인력을 유치하여 캐나다 국민의 공익을 위해 인공지능이 사용되는 것을 기대하고 있다.

또한, 캐나다의 인공지능 친화적 정책으로 인해 이미 많은 기업의 인공지능 연구소가 캐나다에 문을 열었으며, 인공지능 전진기지로서의 역할을 담당하고 있다. DeepMind는 2017년 7월 에드몬톤에 첫 해외 인공지능 연구소를 설립하였으며, 구글 또한 2016년 몬트리올에 인공지능 연구소를 설립하였다. 국내 기업들 (LG 및 삼성) 또한 토론토와 몬트리올에 인공지능 연구소를 설립하여 캐나다 정부의 인공지능 친화 정책과 풍부한 인재 풀(pool)을 통한 인재 확보 혜택을 누리고 있다.

4. 프랑스

유럽연합 내 디지털 기술 및 사회적용 분야에서 유럽평균보다 낮은 수준으로 평가(그림 15 참고)를 받는 프랑스는 이미 2016년부터 미래산업에 관련된 로드맵을 제시하며 인공지능에 대한 준비를 오랜 기간 동안 진행해왔다.

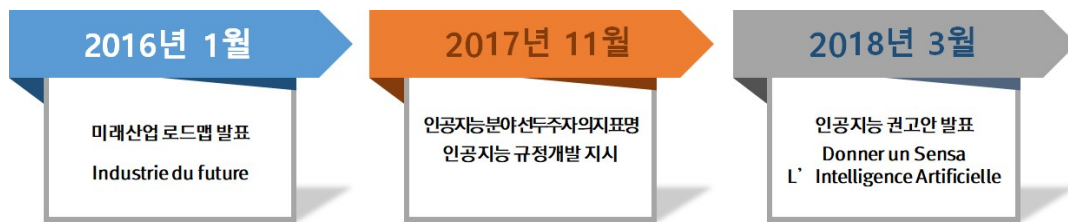
그림 15 디지털 경제 및 사회 인덱스 2017년도 순위



(EU Commission 2017) 재구성

현재 인공지능 분야에서만큼은 유럽연합 내에서 선두주자로 알려져 있으며, 2018년 3월, 인공지능을 통한 디지털 경쟁력 향상을 위해 「인류를 위한 인공지능」(Artificial Intelligence for Humanity)이라는 국가 인공지능 전략을 발표하였다.

그림 16 프랑스 인공지능 관련 정책 변화



(정보통신기술진흥센터, 2018) 재구성

해당 전략을 발표하는 자리에서 프랑스의 마크롱(Macron) 대통령은 “인공지능이 미래를 위한 약속과 같아 보이지만 실제로는 이미 혁명적인 변화를 불러일으키고 있으며, 이러한 변화는 전례 없는 기회를 불러옴과 동시에 엄청난 책임감을 요구하고 있으며, 프랑스는 이러한 기회를 다잡기 위해 인공지능과 관련한 체계를 구축하려 한다”고 발표했다. 이를 위해 2022년까지 인공지능 분야에 총 15억 유로를 투입할 예정⁵⁾이며 주로 인공지능 기초과학 연구와 관련 스타트업 및 기업을 지원하는데 쓰일 예정이다.

마크롱 대통령의 인공지능에 관한 강력한 의지는 국무총리 에두아르 필리프(Édouard Philippe)를 필두로, 필즈상 수상 수학자이자 에손느(Essonne) 지역 의원인 세드릭 빌라니(Cédric Villani)가 책임을 맡은 Villani 보고서 「의미 있는 인공지능을 위해: 프랑스와 유럽의 전략」(For a Meaningful Artificial Intelligence: Towards a French and European Strategy)을 바탕으로 수립되었다. 해당 보고서는 총 여섯 파트로 구성되어있으며 인공지능을 통한 경제, 연구, 일자리, 고용, 윤리, 통합 사회구성 등 전 분야를 총 망라하고 있다.

5) 총 15억 유로의 사용처에 대한 자세한 내용은 당시 공개되지 않았지만, 연구에 7억 유로, 인공지능 스타트업과 기업에 매년 1억 유로, 프랑스 공공투자은행 (BPI France)을 통해 7천만 유로, 인공지능 산업 프로젝트에 약 4억 유로를 투자할 계획인 것으로 알려졌다.

표 8 Villani 보고서 6대 파트 주요 내용

파트	주요 내용
1. 데이터 기반 경제정책	<ul style="list-style-type: none"> · 정부, 경제참여자, 공공연구기관 등 모두를 위한 유럽의 방대한 데이터 활용 및 순환 실현을 위한 데이터의 공공화 방안 마련 · 인공지능 전략 또한 유럽의 개인정보보호 규정(General Data Protection Regulation)에 명시된 것과 같은 높은 보호 수준 요구 · 프랑스 내 인공지능 참여자의 인증을 위한 (가칭)“인공지능 혁신상” 신설 · 의료, 환경, 교통이동, 국방·안보 분야 전략적 집중 요구 · 공익과 경제성장을 위한 인공지능의 활용 · 주 정부의 적극적 인공지능 활용을 통한 공공정책 발전 도모
2. 신속하고 실현가능한 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 인공지능과 수학에서 절대적 강자이지만 미국으로 심각한 두뇌유출이 일어나는 현실 직시 · 공공고등교육기관 내 독립적이지만 네트워크가 형성 가능한 인공지능 연구기관 마련 · 자국민 및 해외 인재 유치를 위한 ‘매력적인’ 연구 공간 조성 · 연구기관의 투명한 운영, 효율적 소통 및 네트워크 구성을 위한 국가적 지원책 필요 · 공공연구기관 연구자들에게 경제적 지원을 통한 연구자 유인 및 지속적 확보 방안 마련
3. 인공지능의 영향력 예상 및 통제 방안 - 일자리 및 고용 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 인공지능의 발전으로 기업체 및 산업체의 변화는 불가피한 상황, 이에 따른 유연한 대책마련 시급 · 앞으로 대부분의 직업은 인공지능 또는 기계와 함께 공동으로 이루어질 것이므로 기술에 대한 노동자의 이해도 향상 필요 · 인공지능에 대한 전 단계 교육과 평생학습을 통해 노동자들의 사회적 도태 방지 · 기술을 통한 변화는 순식간이지만 관련 공공정책은 변화의 속도가 느림으로, 변화에 능동적 대처 요구
4. 인공지능을 통한 생태 친화적 경제구축	<ul style="list-style-type: none"> · 인공지능의 생태계 구축이 아닌 환경과 생태계에 인간이 미치는 영향을 논의하기 위한 인공지능 사용방안 마련 · 파리협정과 같은 기후문제에도 인공지능 기술 활용 도모 · ‘녹색인공지능’을 통한 에너지 사용 최적화, 이산화탄소 감축 방안 등 환경 문제 해결
5. 인공지능의 윤리	<ul style="list-style-type: none"> · 현재의 인공지능 윤리는 인간의 가치와 사회적 규범 보다는 인공지능 알고리즘에 관한 논쟁이 대다수 · 인공지능 또한 편견과 차별을 학습할 수 있으므로, 설명 가능한 인공지능(Explainable AI)에 대한 연구 필요 · 인공지능 연구자, 공학자, 사업체 운영자 등 인공지능을 직접적으로 활용하는 사람들에 대한 윤리적 교육 또한 필요 · 인공지능 윤리 위원회 설립 추진
6. 포괄적 및 다양한 인공지능	<ul style="list-style-type: none"> · 모두를 위한 인공지능 기술 필요(인공지능 기술에 대한 이해도에 따라 인구 간 장벽 생성 가능) · 모두를 위한 인공지능 교육 필요 · 인공지능 기반 사회 계획을 통한 사회전방위적 인공지능혁신 프로그램 필요

(AI for Humanity, 2018)

Villani 보고서 내용을 토대로 마련된 프랑스의 인공지능 4대 계획은 그림 17과 같다.

그림 17 프랑스 인공지능 4대 계획



(AI for Humanity, 2018) 재구성

해당 계획을 통해 ① 프랑스 내 4~5개 인공지능 연구기관 네트워크를 마련하여 국가 차원에서 이를 관리 및 육성하고, ② 보건 분야와 같이 인공지능기술이 바로 적용 가능한 분야의 데이터 제공을 실시하며, ③ 투명하고, 설명가능하며, 차별하지 않는 인공지능의 사용 및 개발을 확립한다.

5. 싱가포르

동남아시아 국가 중 가장 선진국으로 분류되는 싱가포르는 얼리어댑터 성향 정부의 혁신적 움직임이 가장 활발한 국가이다. 이미 지난 2005년 '지능국가'(Intelligent Nation)로 거듭나기 위해 ICT개발 10년 계획 「iN2015」를 발표하였고, 2014년에는 세계 최초의 스마트국가(Smart Nation)로의 도약을 목표로 스마트 국가플랫폼 구축계획을 세웠다(임정연, 2016). 스마트국가 달성을 위해 싱가포르 정부는 '디지털 경제, 디지털 정부, 디지털 사회'를 3대 기둥으로 확립하고 각 분야에 필요한 핵심 기술의 발전을 위해 범정부 이니셔티브를 추진해나가고 있다. 그 중 하나로 인공지능과 데이터 과학을 집중적으로 육성하여 싱가포르의 성장발판으로 이용하고자 한다.

2017년 5월 싱가포르 정부는 인공지능 싱가포르(AI Singapore: AISG)라는 국가 인공지능 프로그램을 개시하여 국립연구재단(National Research Foundation: NRF)을 통해 향후 5년간 1억5천만 싱가포르 달러를 투입하여 국가 인공지능 역량을 강화하는 목표로 진행 중이다. 해당 프로그램에는 경제개발이사회(Economic Development Board: EDB), 통합건강정보시스템(Integrated Health Information Systems: IHIS), 정보통신미디어개발청(Infocomm Media Development Authority: IMDA), 스마트국가 및 디지털 정부 사무소(Smart Nation and Digital Government Office: SNDGO), SG이노베이트(SGInnovate)가 주축이 되어(그림 18) 인공지능 연구, 기술, 혁신 3대 분야에 집중지원하고 있다.

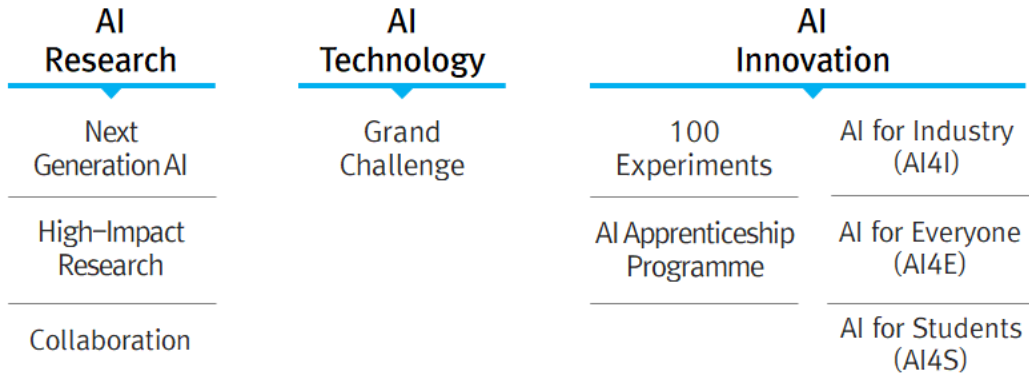
그림 18 AISG 참여자 및 연구파트너



(AISingapore, 2018) 재구성

인공지능 연구(AI Research) 분야는 차세대 과학혁신과 돌파구를 위한 심층능력 배양을 위한 투자, 인공지능 기술(AI Technology) 분야는 사회경제가 직면한 주요 도전과제 해결을 위해, 인공지능 혁신(AI Innovation) 분야는 국가 내 인공지능 인력 지원 및 기술의 적용 확산을 위해 각각 세부 프로그램을 진행하고 있다(그림 19).

그림 19 3대 분야별 프로그램



(AISingapore, 2018) 재구성

2018년 6월, 싱가포르 통신정보부는 인공지능을 활용한 산업 증가와 이에 따른 법적 및 윤리적 책임 이슈 증가에 대처하고자 3개의 인공지능 거버넌스 및 윤리를 위한 이니셔티브(Opengov, 2018)를 추가로 발표했다. ① 신규 자문위원회를 정보통신미디어개발청 내에 신설하여 인공지능과 데이터의 윤리적 사용에 대해 도움을 줄 것이며, ② 개인정보보호위원회(Personal Data Protection Commission: PDPC)을 구성하여 책임감 있는 인공지능 개발과 활용을 유도하고, ③ 싱가포르경영대학(Singapore Management University: SMU) 내 인공지능 및 데이터 사용 거버넌스 연구 프로그램을 통해 이해관계자 간 관련 정책 및 규제 이슈 해결방안 마련으로 이루어져 있다.

IV 결론 및 시사점

2017년부터 전 세계 주요국가에서는 인공지능 기술의 발전과 활용 증진 및 사회 적용을 위한 활성화 정책을 수립하고 있다(그림 20 참고). 핵심 원천기술 개발에서부터 인재 양성, 데이터 공유 기반 마련, 윤리 까지 인공지능과 관련된 다양한 분야에 대한 내용을 공통적으로 포괄하고 있지만, 국가별로 중점을 두는 핵심 분야는 조금씩 차이가 나타난다.

그림 20 국가별 국가인공지능 정책 수립 시기 연대표



미국의 경우 50년대 초반 인공지능에 대한 이론적 아이디어의 발현과 함께 이를 실현하기 위한 연구에 지속적인 정부의 투자가 이루어졌으며, 두 번의 인공지능 흑한기를 극복, 현재는 하드웨어의 발전과 민간부문의 투자에 힘입어 산업부문에서의 활발한 인공지능 기술 적용을 통한 제3의 황금기를 맞이하고 있다. 국가과학기술심의회(NSTC) 내 머신러닝 및 인공지능 소위원회(MLAI)를 신설함과 동시에 역사상 최초로 2019년 회계연도 신청(안)에 인공지능을 정부 R&D 우선과제로 명시하기도 하였다. 현 트럼프 정부에서는

대통령의 미국우선주의 원칙에 의해 미 국민과 미 산업의 발전을 위한 인공지능이라는 색채를 명확히 했으며, 2018년 5월 백악관 주제 인공지능 정상회의(Summit on Artificial Intelligence)를 통해 인공지능의 중요성에 대해 대내외적으로 확고히 하였다. 또한 정부중심 인공지능 지원 분야와 민간중심 인공지능 집중 분야를 명확히 구분하여 산업과 정부가 동시에 개별 인공지능 분야의 전문성을 키워간다는 점이 특징이다.

중국은 국가주도의 공격적 과학기술분야 투자와 추진력을 통해 이미 지난 2016년 「인터넷+인공지능 3개년 행동실행방안」을 발표하였다. 해당 행동실행방안은 국가인공지능 정책은 아니었지만 인터넷과 인공지능 기술을 묶어 2018년까지 인공지능을 사회경제발전의 원동력으로 사용한다는 방안을 마련했음에 의미가 있다. 2017년 7월 「차세대 인공지능 발전계획」을 통해 본격 인공지능을 국가전략기술로 확정하였고 기술, 시스템, 시장(경제), 개방 4대 원칙에 따라 2030년까지 3단계의 전략적 목표를 확립하였다. 인공지능 기술의 수준은 미국, 캐나다, 프랑스와 같이 주요 선진국에 근접, 도달, 추월을 목표로 하고 있으며, 특히 타 국가와는 달리 인공지능 산업규모를 구체적으로 제시했다는 것에 의미가 있다. 이는 「중국제조2025」와 맞물려 산업계에 인공지능 기술을 활발히 투입 및 활용하여 시너지를 창출해내겠다는 중국의 전략이 돋보인다.

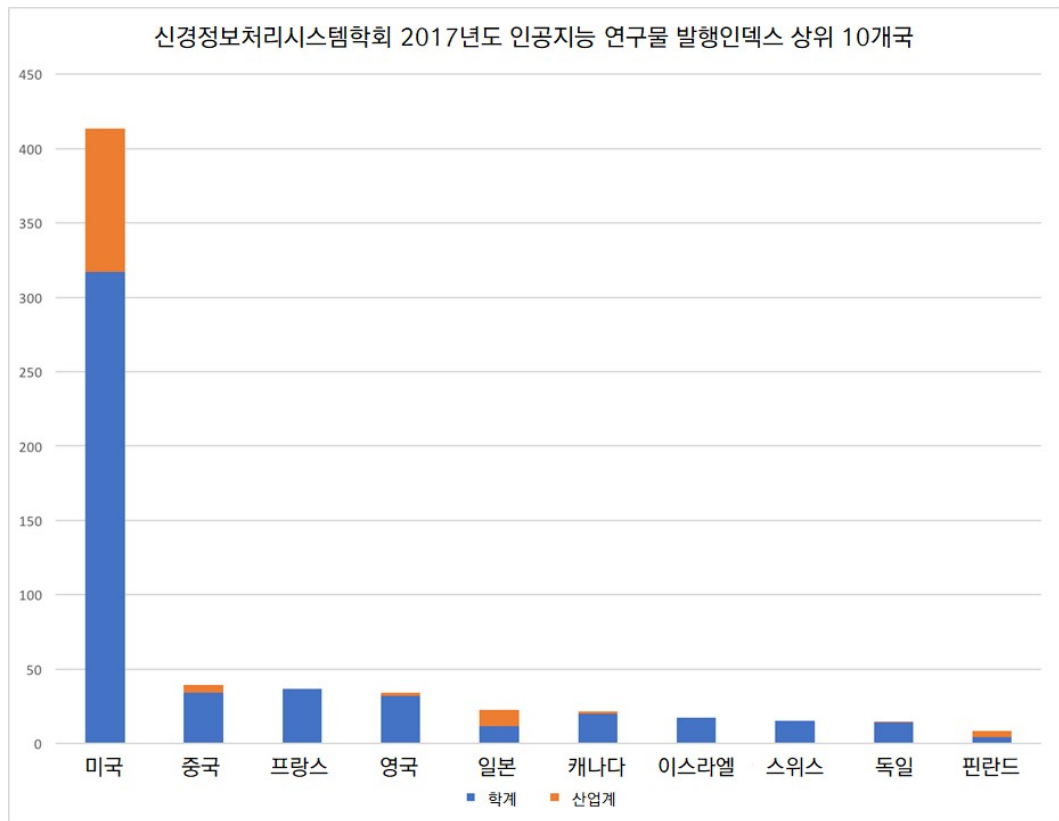
일본은 사회문제 극복을 위해 인공지능 기술을 발전 및 활용하는 방안에 대해 지속적으로 정부정책을 가다듬고 있다. 2017년 3월, 아시아국가 중 최초 및 세계 두 번째로 국가 인공지능 전략을 수립하였고, 통합 컨트롤타워인 인공지능기술전략위원회를 통해 총무성, 문부과학성, 경제산업성 소속 5개 국립R&D기관별 역할을 정립하여 인공지능 기술 개발, 산업 활용방안, 사회 적용방안을 동시에 추진하고 있다. 타 국가 대비 일본은 “서비스를 위한 인공지능”(AI technology as a Service: AIaaS) 활용에 중점을 두어 서비스가 제공 되는 어떠한 영역이든 인공지능이 활용될 수 있도록 초영역 인공지능 생태계 구축을 최종 목표로 하고 있다.

캐나다는 전 세계 최초로 인공지능 국가 전략을 수립하여 국가 전체를 인공지능 클러스터화 시키고 있다. 이에 따른 원스톱(one-stop)형식의 인공지능 연구, 개발, 인재양성, 산업연계, 일자리 및 공공 분야 적용까지 한곳에서 이루어지고 있으며, 인공지능을 국가의 미래 먹거리로 빠르게 선점하여 수많은 인공지능 두뇌를 흡수하고 있다. 「범캐나다 인공지능 전략」을 통해 3개 도시(토론토, 몬트리올, 에드몬톤)을 중점적으로 인공지능 생태계를 구축하고 있으며, 인공지능 분야 석학과 두뇌를 최우선적으로 유치하여 인재양성을 촉진함과 동시에 인재 풀(pool)을 확보하여 인공지능 분야의 선두주자로 자리를 잡고 있다. 이러한 클러스터형 인공지능 허브(hub) 구축은 국내에는 존재하지 않는 사례지만, 국내에서 특정지역을 중심으로 인공지능 기반 단지 조성이 충분히 가능하다는 점에서 선행사례로 참고할 필요가 있다.

프랑스는 유럽연합 국가 중 인공지능 정책의 선두주자 격으로 2018년 3월 국민을 넘어선 「인류를 위한

인공지능」 전략 발표를 통해 프랑스를 유럽의 인공지능 허브로 부상시키려는 마크롱 대통령의 강력한 의지를 천명했다. 필즈상 수상 수학자 세드릭 빌라니의 빌라니 보고서를 바탕으로 수립된 프랑스의 인공지능 정책은 타 국가의 인공지능 정책에서 민간부문과의 협업을 강조함과는 다르게, 정부차원의 강력한 프로그램 및 정책 마련 등을 중요시하고 있다. 2017년, 인공지능 최고 권위 학회 신경정보처리시스템학회(NIPS) 기준 이미 프랑스는 미국과 중국의 뒤를 이어 인공지능 연구물 발행 세계 3위 자리를 수성하며 인공지능 연구 강국으로 발돋움하고 있다.

그림 21 신경정보처리시스템학회(NIPS) 2017년도 인공지능 연구물 발행 상위 10개국



(Medium 2017) 재구성

프랑스의 인공지능 정책은 유럽연합과는 별개로 철저히 정부주도하에 공격적 투자를 바탕으로 이루어지고, 인류를 위한 인공지능이라는 거대 슬로건아래 유럽의 인공지능을 주도하겠다는 점에서 주목할 만한 가치가 있다. 또한, 타 국가와 달리 인공지능의 윤리와 관련된 법안을 수립할 예정이기에 이와 관련된 내용을 참고할만한 가치가 있다.

싱가포르는 동남아 국가 최초로 국가 인공지능 정책을 수립하여 '디지털 경제, 디지털 정부, 디지털 사회' 구축을 위한 범정부 이니셔티브를 구축추진 중에 있다. 인공지능 싱가포르(AI Singapore: AISG) 프로그램을 통해 연구, 기술, 혁신 3대 분야에 집중 지원하여 사회구성원 모두에게 도움이 되는 인공지능 사회 구현을 목표로, 세계 최초 스마트국가로 도약을 위한 투자를 아끼지 않고 있다. 또한, 국가 내 가용 가능한 연구소 및 대학을 모두 참여시키고, 기관별 담당 특화분야를 지정함에 따라 각 기관보유 데이터를 통한 동시다발적 인공지능 활용에 앞장서고 있다.

앞선 6개 국가는 각각의 국가 인공지능 전략을 수립하여 4차 산업혁명과 이로 인해 촉발되는 미래사회 변화에 대비하고 있다. 미국은 "그레이엄 벨이 전화를 처음 발명하고, 라이트형제가 비행기를 처음 발명할 당시 아무런 규제를 하지 않았다"는 마이클 크라시오스(Michael Kratsios) 백악관 기술 고문의 발언처럼 인공지능 또한 정부는 정책-제도적 지원책만 마련할 뿐 민간주도의 성장을 이어나간다는 기초를 확실히 하고 있다. 이에 반해 중국, 일본, 프랑스는 정부주도하에 국가 인공지능 전략 및 행동계획을 수립하였다. 캐나다, 싱가포르의 민간과 정부가 동시에 참여하여 국가전략과 클러스터, 이니셔티브를 조직하여 인공지능 정책과 산업을 동시에 육성하려는 목표를 갖고 있다.

다만, 민간주도의 미국과 정부주도의 중국은 인공지능을 통한 산업영역 확장 및 경쟁력 강화에 힘을 쏟고 있다. 2018년 5월 백악관의 인공지능 정상회의 제목에서도 보이듯 미국 산업계를 위한 인공지능 정상회의(Summit on Artificial Intelligence for American Industry)를 개최하였고, 해당 자리에 주요 산업계 CEO를 초청하여 인공지능의 활용 및 발전 방안에 대해 논의하였다. 중국 또한 「중국제조2025」와 인공지능을 연계한 「차세대 인공지능 산업 발전 촉진 3개년 행동계획(2018~2020)」을 통해 2030년까지 핵심 산업 1조 위안, 관련 산업 10조 위안 규모로의 성장을 목표로 하고 있다.

이에 반해, 일본, 캐나다, 프랑스, 싱가포르의 인공지능 기술의 활용을 공공분야 중심으로 집중하며, 자국민의 공공편익증진을 위한 인공지능 기술 활용에 집중하고 있다.

일본은 "서비스를 위한 인공지능"(AI technology as a Service: AIaaS)이라는 틀 안에서 인공지능 기술이 사용될 수 있도록 하고 있으며, 가장 최근에 발표된 「인공지능 활용 7대 기본원칙」에서 최우선 원칙으로

인간중심과 교육을 통한 모두의 인공지능 활용에 중점을 두고 있다. 캐나다는 지역별 인공지능 클러스터 구축을 통해 인공지능 분야 연구자 및 전문가 양성, 과학적 우수성 확보, 연구 커뮤니티 지원 등을 목표로 하고 있지만, 「범캐나다 인공지능 전략」의 최종목적은 ‘캐나다 국민의 공익을 위해 인공지능이 사용되는 것’이라고 명시하고 있다. 프랑스는 「인류를 위한 인공지능」이라는 국가 인공지능 전략의 제목에서 알 수 있듯, 인공지능을 통한 자국민과 유럽인의 사회증진에 초점을 맞추고 있다. 프랑스 인공지능 전략의 바탕이 된 Villani 보고서의 여섯 파트 또한 인공지능을 통한 경제, 연구, 일자리, 고용, 윤리, 통합 사회구성으로 산업의 부흥에 관한 내용보다는 공공사회의 주요 문제인 경제, 일자리, 고용 등에 대해 다루고 있다. 싱가포르의 국가적 인공지능 프로그램을 개시하여, 사회 전 분야에 인공지능을 도입, 자국민의 편의 증진을 위해 노력중이다. 특히 인공지능 프로그램의 주축으로 통합건강정보시스템(IHis)과 정보통신미디어개발청(IMDA)이 참여하여 인공지능을 통한 국민의 생애주기별 건강관리와 개인맞춤형 정보제공 등에 집중하고 있다.

표 9. 주요 국가 인공지능 관련 내용 정리표

국가	미국	캐나다	프랑스	중국	일본	싱가포르
주요 보고서/전략	1. 국가 인공지능 R&D 전략 계획 2. 인공지능 미래를 위한 준비 3. 인공지능, 자동화, 그리고 경제 4. 미 국민을 위한 인공지능	1. 범캐나다 인공지능 전략	1. 의미 있는 인공지능을 위한 프랑스와 유럽의 전략 2. 인부를 위한 인공지능	1. 중국제조2025 2. 인터넷+인공지능 3개년 행동실행방안 3. 차세대 인공지능 발전계획 4. 차세대 인공지능 산업 발전 촉진 3개년 행동계획 ('18-'20)	1. 인공지능기술전략 2. 인공지능 R&D 가이드 라인	1. IN2015 2. 인공지능 싱가포르
핵심 전략 및 목표	1. 인공지능 R&D 예산 우선 지원 2. 인공지능 혁신을 위한 규제 장벽 제거 3. 미래 인재 양성 4. 전략적 군사 우위 확보 5. 정부 서비스 부문 인공지능 기술 활용 6. 국제적 인공지능 협상 주도	1. 인공지능 분야 연구자 및 전문가 양성 2. 3개 도시 내 인공지능 센터 간 협업을 통한 과학적 우수성 확보 3. 인공지능 발전에 따른 경제적, 윤리적, 정책적, 법적 리더십 강화 4. 인공지능 연구 커뮤니티 지원	1. 국가 인공지능 프로그램 마련 2. 오픈 데이터 정책 마련 3. 정부차원 인공지능 법안 및 금융 제도 마련 4. 정부 차원 인공지능 윤리 법안 마련	1. 지능-네트워크 연결 제품 개발 2. 인공지능 핵심 기반 시스템 개발 3. 스마트 제조 공정 개발 4. 인공지능 개발 환경 개선	1. 서비스를 위한 인공지능 2. R&D 프로젝트 추진 3. 인력양성 4. 데이터 공유환경 조성 5. 스타트업 지원 6. 인공지능 기술 이해향상을 위한 교육	1. 스마트국가 도약 - 디지털 경제 - 디지털 정부 - 디지털 사회 2. 연구, 기술, 혁신 중심 프로그램 진행
주요 담당기관	백악관 머신러닝 및 인공지능 소위원회	캐나다고등연구원	프랑스 정부	중국공업신식화부	인공지능기술전략위원회, 내각부 인간중심 인공지능 사회발전검토회의	국립연구재단
주도주체	민간	정부(클러스터형)	정부(클러스터형)	정부	정부	정부(클러스터형)
우선육성분야	산업	공공	공공	산업	공공	공공
예산 (~'22)	(추정)연간 약 11억 \$ (약 1.24조원)	1억 2,500만 C\$ (약 1,050억원)	15억 유로 (약 1.92조원)	연간 350억 위안 (약 6조원)	(추정)연간 약 77억 엔 (약 772억원)	1억 5,000만 S\$ (약 1,235억원)

이렇듯, 전 세계가 인공지능 영역에서 주도권을 확보하기 위해서 치열한 각축을 벌이고 있다. 이러한 흐름에 대응하기 위하여 우리나라도 세계수준의 인공지능 기술력과 R&D 생태계를 확보하기 위하여 2018년 5월 「i-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능(AI) R&D 전략」을 발표하였다. 향후 5년간 2.2조 원 투자 및 인공지능 데이터 1.6억 건 구축, 우수인재 5천 명 확보, 세계 4대 인공지능 강국을 목표로 제시하였다. 이를 위하여 기술, 인재, 기반의 관점에서 국내 경쟁력을 고려하여 세계적 수준의 인공지능 기술력 확보, 최고급 인재 양성, 개방 협력형 연구기반 조성이라는 목표를 바탕으로 구체적 실천전략을 제시하였다. 선도적 인공지능 R&D 투자로 마련된 인공지능 기술혁신의 장에서 국민 삶의 질과 국가 경쟁력 제고를 위한 AI 기술혁신이 이뤄낼 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 장기적 관점의 인공지능 R&D 전략을 추진하기 위해서는 사회에서의 인공지능 기술 활용 및 관련된 규제완화, 법 개정 등 관련 세부분야도 함께 협업을 지속해야 할 것이다. 또한, 인공지능 생태계를 선도할 수 있는 강국으로 도약할 수 있도록 우리나라 인공지능의 강점과 약점을 분석하여, 전략적 협력방안도 모색해야 할 것이다.

저자_ 권영만 (YoungMan Kwoun)

• 학력

고려대학교 에너지·환경정책학 석사
University of Illinois at Urbana-Champaign
환경경제·정책학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 연구원

참고문헌

1. 과학기술정보통신부(2017). “4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책.”
2. 과학기술정보통신부(2018). “I-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능(AI) R&D 전략.” 4차산업혁명위원회 심의안 건 제1호.
3. 관계부처 합동(2018). “세계적 수준의 인공지능 기술력 확보에 2.2조원 투자, 보도자료.”
4. 김희연(2016). “미국 국가과학기술위원회(NSTC)의 인공지능(AI) 기반 준비를 위한 권고안.” 정보통신정책연구원, 정보통신방송정책 제28권 19호 통권 633호.
5. 내각부. “人間中心のAI 社会原則検討会議.” <https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/index.html>
6. 산케이뉴스(2018). “政府, 人間中心AI の7原則 国際ルール作り主導へ.” <https://www.sankei.com/politics/news/181213/pl1812130034-n1.html>
7. 임정연(2016). “스마트네이션 싱가포르 인프라 및 기술 개발.” KOTRA 해외시장뉴스, <http://news.kotra.or.kr/user/globalAllBbs/kotranews/album/2/globalBbsDataAllView.do?dataIdx=149651&column=&search=&searchAreaCd=&searchNationCd=&searchTradeCd=&searchStartDate=&searchEndDate=&searchCategoryIdx=&searchIndustryCatIdx=&page=1&row=0>
8. 정보통신기술진흥센터(2017). “중국의 AI 정책 동향.” 정보통신기술진흥센터 해외 ICT R&D 정책동향 2017-05호.
9. 정보통신기술진흥센터(2018). “프랑스 AI 권고안 리뷰와 ICT 정책 검토.” 정보통신기술진흥센터 해외 ICT R&D 정책동향 2018-01호.
10. 중국공업신식화부(2017). “促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020).” <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5960863/content.html>
11. 중화인민공화국중앙인민정부(2017) “国务院关于印发 新一代人工智能发展规划的通知.” http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm
12. 총무성(2017), “Draft AI R&D GUIDELINES for International Discussions.” http://www.soumu.go.jp/main_content/000507517.pdf
13. AI for Humanity(2018). “French Strategy for Artificial Intelligence.” <https://www.aiforhumanity.fr/en/>

14. Childs, Martin. "John McCarthy: Computer Scientist Known as the Father of AI." The Independent, Independent Digital News and Media, 1 Nov. 2011, www.independent.co.uk/news/obituaries/john-mccarthy-computer-scientist-known-as-the-father-of-ai-6255307.html
15. CIFAR(2017). "Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy." <https://www.cifar.ca/ai/pan-canadian-artificial-intelligence-strategy>
16. EU Commission(2017). "Digital Economy and Society Index 2017-France." ec.europa.eu/newsroom/document.cfm?doc_id=43007
17. Executive Office of the President(2016). "Artificial Intelligence, Automation, and Economy." <http://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/Artificial-Intelligence-Automation-Economy.PDF>
18. Executive Office of the President NSTC Committee on Technology(2016). "Preparing for the Future of Artificial Intelligence." https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf
19. JF GAGNE(2018). "Canada's AI Corridor is Maturing: The Canadian AI Ecosystem in 2018." <http://www.jfgagne.ai/blog/the-canadian-ai-ecosystem-in-2018>
20. Medium(2017). "Who's Ahead in AI Research? Insights from NIPS, Most Prestigious AI Conference." <https://medium.com/@chuvpilo/whos-ahead-in-ai-research-insights-from-nips-most-prestigious-ai-conference-df2c361236f6>
21. NEDO(2017). "Artificial Intelligence Technology Strategy: Report of Strategic Council for AI Technology." <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf>
22. NITRAD(2016). "The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan." https://www.nitrd.gov/PUBS/national_ai_rd_strategic_plan.pdf
23. Opengov(2018). "Singapore announces initiatives on AI governance and ethics." <https://www.opengovasia.com/singapore-announces-initiatives-on-ai-governance-and-ethics>
24. The White House(2018). "Artificial Intelligence for the American People." <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/artificial-intelligence-american-people/>
25. XinhuaNews(2016). "China releases 3-year guidance for Internet plus AI development." http://www.xinhuanet.com/english/video/2016-05/24/c_135383889.htm



융합연구정책센터

Convergence Research Policy Center

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
TEL. 02.958.4980