

KISDI

Premium Report

2021년 AI 주요 이슈 및 전망 : State of AI Report 2021를 중심으로

김 경 훈

정보통신정책연구원 연구위원

노 희 용

정보통신정책연구원 부연구위원



Premium Report

2021년 AI 주요 이슈 및 전망 : State of AI Report 2021를 중심으로

김 경 훈

정보통신정책연구원 연구위원

노 희 용

정보통신정책연구원 부연구위원

요약문

1. 서론	6
2. 부문별 주요 이슈	11
3. 2022년 국내 AI 전망	35
참고문헌	39

2021년 AI 주요 이슈 및 전망 : State of AI Report 2021를 중심으로

요약문

김 경 훈

정보통신정책연구원 연구위원

*khkim@kisdire.kr, 043-531-4060

*현 정보통신정책연구원

ICT데이터사이언스연구본부 미래예측분석센터

노 희 용

정보통신정책연구원 부연구위원

*heeyongnoh@kisdire.kr, 043-531-4312

*현 정보통신정책연구원

ICT데이터사이언스연구본부 미래예측분석센터

AI와 같이 짧은 주기로 발전을 거듭하는 분야에서 시의성 있고 효과적인 정책 수립을 위해서는 종합적인 관점에서 최신 동향을 빠르게 파악하는 것이 중요하다. 이에 본고에서는 연구, 인재, 산업, 정치에 이르기까지 AI 분야 최신 동향을 다각도에서 제공하는 State of AI Report의 2021년 내용을 살펴봄으로써, 글로벌 AI 최신 트렌드를 파악함과 동시에 이를 기초로 향후 12개월 내에 국내 AI 분야에서 발생할 일들을 예측하였다.

우선 연구 부문에서는 Transformer 구조가 NLP 분야를 넘어 타 분야로 빠르게 확장하고 있으며, 전 세계적으로 대형언어모델의 개발이 가속화됨에 따라 몇몇 국가에서는 그들만의 고유한 모형을 개발하고 있는 것으로 나타났다. 또한, ML 성능 최적화를 위한 JAX 프레임워크가 대중적인 ML 프레임워크로 부상하고 있다. 인재 부문에서는 1980년까지만 해도 AI 연구 실적이 전혀 없었던 중국이 오늘날 가장 많은 양질의 AI 연구를 발표하는 국가가 되었으며, 빅테크 기업이 유명 대학과의 연구 협력을 지속하면서 AI 연구의 탈민주화가 진행되고 있는 것으로 나타났다. 산업 부문에서는 AI·데이터 기업 생태계가 대형 IPO를 통해 성숙 단계에 진입하였으며, 여러 분야에서 상용화 사례가 발견되었다. 또한 AI 커뮤니티는 MLOps의 핵심이 모형 중심(model-centric)에서 데이터 중심(data-centric)으로 바뀌는 현상에 대해 주목하고 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 정치 부문에서는

AI Safety가 연구자들 사이에서 주목받고 있으며, EU의 AI 규제 법안(AIA) 발의 내용이 강조되었다.

향후 12개월 내에 국내 AI 분야에서 발생할 일들을 예상해보면 다음과 같다. 우선 연구 부문에서는 AI 학습 및 추론에 요구되는 H/W 인프라의 투자 규모가 거대화함에 따라, AI 기술개발 분야의 이분화 현상이 가시적으로 드러나게 될 것이다. 또한, 한글 맞춤형 Transformer 모형의 개발 및 배포가 가속화될 것으로 예상되는 가운데, 해외 Eleuther AI의 시도와 유사하게 Transformer 기반의 초거대 AI 모형을 오픈소스로 배포하는 사례도 등장할 것으로 예상된다. 인재 부문에서는 학령인구 절벽과 AI 개발자 임금의 양극화로 인해 지방 중소기업의 AI 전문인력 고용이 더욱 어려워질 것으로 예상된다. 산업 부문에서는 AI의 효율적 학습 및 추론을 위한 데이터 전처리 또는 가공 기업의 성장세가 두드러질 것으로 예상되며 이 중 일부 기업은 성공적인 IPO를 통해 유니콘 기업으로 성장할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, AI 기술 발전과 정부의 정책적 노력에 힘입어 산업 현장에서의 AI 도입이 그 어느 때보다도 활발해질 것으로 전망된다. 마지막으로 정치 부문에서는 전 세계적으로 신뢰할 만한 AI(Responsible AI)의 중요성이 증대됨에 따라 국내에서도 AI Safety를 전문으로 하는 기업이 등장할 것이며, EU의 AI 규제를 기초로 한 리스크 접근 방식의 다양한 AI 규제 법안이 발의되거나 가이드라인이 만들어질 것으로 예상된다.

AI Trends in 2021 and Forecasts : Focusing on State of AI Report 2021

Summary

As a paradigm shift in the artificial intelligence(AI) domain occurs frequently, it is significant to capture latest trends quickly in order to establish AI relevant policies effectively. The State of AI report is the one of renowned article which has provided timely insight for AI domain in terms of research, talent, industry, and politics. Hence, summarizing the newest version of the report (i.e., the State of AI report 2021) would be a way penetrating latest AI trends. Based on the article, we aim to look over changes in the AI domain firstly, and then prospect what will happen in the near future of Korea.

First, in the research sector, transformer structure has been rapidly expanding beyond NLP application to others. And as the advancement of large-scale language models is accelerating around the world, academia/industrial practitioners are eagerly trying to develop new models fits to their own unique languages. Additionally, the JAX is now fiercely threatening a throne of machine learning(ML) framework. In the field of talent, China, which had no AI research record until 1980, has become the country that publishes the most high-quality AI research today. In the industrial sector, AI/data company ecosystem has entered a mature stage through large scale IPOs, and commercialization cases have been found in several fields. Also, AI communities are paying attention to the phenomenon that the core of MLOps is changing from model-centric to data-

centric. Addressing the political issues, AI Safety has received a huge amount of interests among researchers. In the meantime, EU's AI Regulation Act (AIA) also has been discussed a lot.

Based on the latest AI trends and insight on the domestic surroundings, this report tries to prospect upcoming future for South Korea ambitiously but also carefully. Firstly, we have opinions on future changes in research sector as follows. As the investment scale of H/W infrastructure required for AI learning and reasoning becomes huge, there is a certain symptom that a main stream in the domestic AI ecosystem seems to be divided into two parts; (i) AI framework/solution by few major AI-tech corporates (i.e., AI tech-providers), and (ii) third parties' applications/services based on an already developed AI framework (i.e., AI utilizing service providers). In addition, we can predict that the development and distribution of the Korean-customized Transformer model would be accelerated. Similar to Eleuther AI's attempt, it is also expected that a Transformer-based super-giant AI model would be developed as an open source. For about talent cultivation, it would be harsh time for local small and medium enterprises(SMEs), when the SMEs look for AI experts due to the school-age population cliff and the polarization of AI developer wages. In the industrial sector, the market size of data preprocessing and labeling would grow remarkably as a-priori needs from AI learning or inference. Perhaps, some of these companies could grow into an unicorn company through successful IPOs. Moreover, AI techniques will be disseminated extensively to whole industries due to political supports, indicating AI driven paradigm shift will occur much frequently and change our whole life. Finally, in the political sector, as the importance of responsible AI increases worldwide, companies specializing in AI safety will appear in Korea, and various AI regulations benchmarking/conferring the EU AIA are possibly established soon, and then relevant guidelines will be proposed.

1. 서론

◆ 배경 및 목적

- (배경) VC 파트너인 Nathan Benaich와 엔젤 투자자 Ian Hogarth는 '18년부터 매년 인공지능(AI) 분야의 최신 동향 및 차년도 전망을 주요 내용으로 하는 “State of AI Report”를 발표
 - 연구(Research), 인재(Talent), 산업(Industry), 정치(Politics)에 이르기 까지 AI와 관련된 최신 동향을 다각도에서 살펴봄으로써 시의성 높고 균형 잡힌 정보를 제공
 - 지난 10월 12일에 공개된 State of AI Report 2021은 예년*과 마찬가지로 '21년의 AI 최신 동향을 연구, 인재, 산업, 정치의 4가지 부문에서 정리하고 있으며, 향후 12개월 안에 발생할 주요 사건을 전망(Prediction)

* '18년부터 '21년까지의 State of AI Report는 <https://www.stateof.ai> 에서 확인 가능

〈표 1〉 State of AI Report 2021 구성

부문	주요 내용
제1장 연구(Research)	기술적 발전과 역량
제2장 인재(Talent)	현장 인력의 수요, 공급, 집중도
제3장 산업(Industry)	AI의 상업적 응용 분야 및 비즈니스에의 영향
제4장 정치(Politics)	AI 규제에 경제적 영향과 지정학적 이슈의 부상
제5장 전망(Prediction)	향후 12개월 안에 발생할 주요 사건 전망

- 또한, 전년도에 전망했던 내용을 올해 기준으로 검토함으로써 전망의 신뢰성을 높이기 위해 노력

〈표 2〉 State of AI Report 2020 전망 내용 검토 결과

전년도(20) 전망 내용	검토 결과	이유
10조 개의 파라미터를 가진 거대 모형이 등장	O	Microsoft가 최대 32조 개의 파라미터를 가진 거대 모형을 학습하는 데 성공 * 그러나 기존의 초거대 모형보다 더 나은 성과를 보이는 것은 불명확함
어텐션(Attention) 기반 신경망 모형(Transformer)이 컴퓨터 비전 분야에서 최고 수준의 성능을 보임	O	ImageNet에서 Vision Transformer(ViT)가 1위를 차지
주요 기업들의 AI 연구소가 모기업의 전략적 판단에 의해 폐쇄	Δ	Alibaba의 AI 연구소는 내부 구조 조정의 일환으로 흐지부지됨
중국과 유럽의 국방 AI 스타트업이 향후 12개월 이내 1억 달러 이상의 자금 유치	X	자금 유치 규모 달성 실패
AI 기반 신약 개발 분야를 선도하는 스타트업이 IPO를 하거나 10조 달러 이상의 규모로 인수	O	Recursion은 4월 16일, Exscientia는 10월 1일 NASDAQ 상장
DeepMind가 구조생물학과 신약 개발 분야에서 AlphaFold를 뛰어넘는 혁신을 창출	O	Deepmind는 AlphaFold2를 발표
Facebook이 3D 컴퓨터 비전을 활용하여 AR/VR 분야에서 혁신을 창출	X	3D 컴퓨터 비전에서 주요한 변화가 없었음
NVIDIA의 Arm 인수가 완결되지 않음	O	여전히 검토 중

자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 이처럼 State of AI Report는 한 해의 주요 AI 이슈를 파악하고 근미래에 대한 통합적·미래예견적 식견을 제공

- (목적) 이에 보고는 State of AI Report 2021의 4대 부문별 주요 내용을 살펴봄으로써 '21년의 AI 최신 동향을 파악함과 동시에,
 - 이를 기초로 향후 12개월 내 국내 AI 연구인재·산업·정치 분야에서 발생할 일들에 대해 전망하는 것을 목적으로 함

◆ State of AI Report 2021 주요 내용

- 연구(Research) 부문
 - 트랜스포머(Transformer) 구조는 NLP 분야를 넘어서 타 분야로 빠르게 확장, 기계학습을 위한 범용 아키텍처로 부상
 - 대형언어모형(LLM; Large Language Models)은 수평적 확장(scale-out) 단계*에 있으며, 몇몇 국가에서는 그들만의 고유한 대형언어 모델을 원함에 따라 국유화(nationalise)가 진행
 - * 수직적 확장을 의미하는 scale-up과는 다르게 기존의 H/W 옆에 새로운 H/W 하나를 추가해서 성능을 높이는 방법
 - AI 우선 접근방식(AI-first approach)은 단백질과 RNA에 대해 높은 시뮬레이션 정확도를 보여주는 등 구조생물학(structural biology)의 지각 변동을 야기
 - 연구 생산성이 가속화되고, 연구자에 대한 대우가 높아짐에 따라 JAX*가 대중적인 ML(Machine Learning) 프레임워크로 부상
 - * Google이 만든 Python과 Numpy만을 결합한 ML 라이브러리로서, ML 성능 최적화를 위한 back-end 기능 수행

- 인재(Talent) 부문

- 1980년까지만 해도 AI 연구 실적이 전혀 없었던 중국은 오늘날 가장 많은 양질의 AI 연구를 발표
- 빅테크 기업이 유명 대학과의 연구 협력을 지속하면서 AI 연구의 탈민주화(de-democratisation)가 진행 중
- 학계에서는 컴퓨팅 자원을 놓고 치열하게 경쟁하고 있는 가운데, AI 분야 최고급 교수의 88%는 빅테크 기업으로부터 이를 위한 자금 지원을 받음

- 산업(Industry) 부문

- AI·데이터 기업 생태계는 대형 IPO들을 통해 성숙 단계에 진입하였으며, 이는 곧 AI 상용화 단계가 임박했음을 시사
 - AI 기반 신약 개발 분야의 주요 기업 2곳(Recursion, Exscientia)이 IPO를 성공적으로 완료하며, 그들의 잠재성을 입증
 - 영국 국가 전력망, 직원의 건강·안전, 물류 창고와 같이 관심사 높은 사례들에서 AI 제품이 효율적으로 사용
 - AI 커뮤니티는 생산 과정에서 편향, 레이블, 드리프트(drift)* 등 모형 성능에 영향을 미치는 데이터 이슈에 재조명
- * ML 환경에서 모형 성능 저하를 초래하는 입력 데이터의 변경 내용을 의미
- 국가별로 독자적인 반도체 공급망을 추구하고 있고, NVIDIA의 Arm 인수가 재검토됨에 따라 반도체 업계가 빠르게 변화

- 정치(Politics) 부문

- 자율 무기(autonomous weapons)가 전장에 배치되는 등 이제 AI는 군비 경쟁에 돌입
- AI 안전(AI Safety)이 매우 중요함 이슈임에도 불구하고, 주요 AI 연구소에서 전일제(full-time)로 해당 분야를 연구하는 연구자는 50인 미만
- 완전 분산(totally distributed)형 오픈소스, 프라이빗형 오픈소스, 공익기업 등 AI 거버넌스에 대한 새로운 유형의 실험들이 등장
- 유럽에서 AI 규제를 발표

2. 부문별 주요 이슈

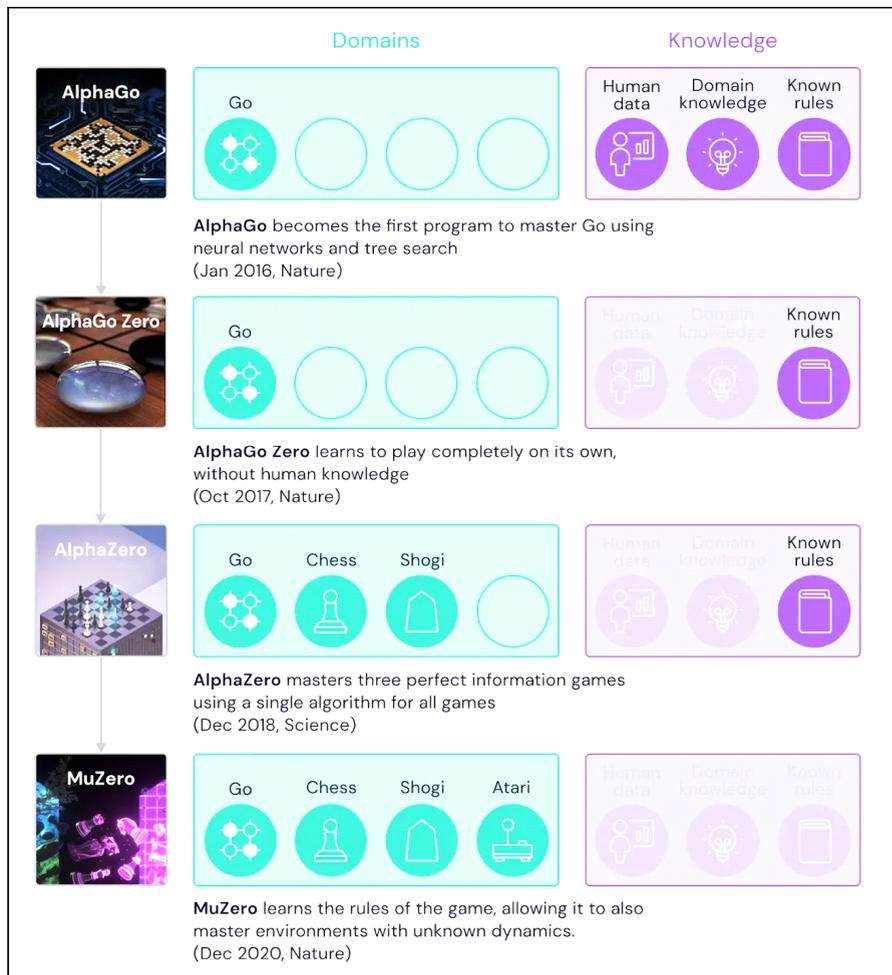
◆ 연구(Research) 부문

- NLP(자연어처리) 연구의 새로운 지평*을 연 자기지도학습(self-supervision)이 컴퓨터 비전 분야에서도 두각을 나타내고 있음
 - * BERT, GPT-3 등에서 활용
 - '21년 3월 Facebook AI에서 발표한 SEER는 13억 개의 파라미터를 가진 자기지도학습 모형으로, ImageNet에서 84.2%의 정확도를 보이며 기존 모형들 대비 월등히 뛰어난 성과를 보임
 - ※ 10억 장의 인스타그램 이미지로 사전 학습(pre-trained)
- Transformer는 음성인식(speech recognition)이나 3D 포인트 클라우드(point cloud) 분류 문제에서도 뛰어난 성능을 보임
 - Conformer는 self-attention과 CNN을 결합함으로써 각각의 모형이 갖는 단점을 보완, 가장 낮은 수준의 단어 오류율(WER; Word-Error rates)을 기록
 - 사전 학습된 Transformer가 최근 기계학습 분야에서 가장 뛰어난 성능을 보여준 것은 맞지만, 학습이 제대로 이루어지면 CNN과 다층퍼셉트론(MLP) 또한 transformer와 비슷한 수준을 나타냄
- 강화학습(Reinforcement Learning) 연구는 게임을 통해 계속해서 발전 중
 - DeepMind의 MuZero는 알파고(AlphaGo), 알파고 제로(AlphaGo

Zero), 알파제로(AlphaZero)를 잇는 강화학습 모형으로. 바둑, 체스, 일본장기(Shogi)에서 알파제로와 동등한 수준의 성과를 보일 뿐만 아니라 Atari 벤치마크에서 가장 뛰어난 성능을 보여줌

※ MuZero 이전의 모형은 이미 알려진 게임 규칙을 바탕으로 학습했지만, MuZero는 게임 규칙 그 자체를 학습함으로써 매우 복잡하고 구조화되어 있지 않은 게임에서도 우수한 성과를 나타냄

[그림-1] MuZero와 기존 강화학습 모형과의 비교

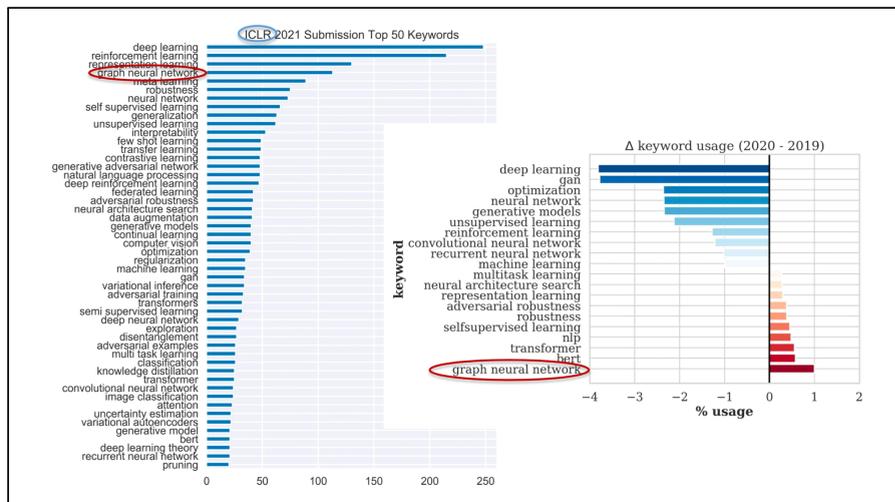


자료: Deepmind (2020, 12, 23.)

- 대규모의 텍스트 데이터를 활용한 언어모형(language model)에 대한 각국의 언어별 수요가 크게 증가하면서, 다양한 개발과 검증 시도들이 이루어지고 있음
 - 한 종류의 언어를 학습한 결과가 다른 언어의 학습에도 정적인 영향을 미칠 것이라는 다중언어모형(multilingual model)의 가정이 실제로는 언어별 변동, 데이터 불균형 문제, 컴퓨팅 자원 공유로 어려움을 겪는 원인이 되는데, 구글에서는 모형의 규모와 용량을 유의미하게 증가시킨다면 해결될 수 있음을 증명
 - 실제로 언어모형에서 가장 중요한 것은 특정 언어에 대한 많은 양의 언어 자원을 투입할 수 있느냐 없느냐의 문제에 해당하기 때문에, 영어 사전학습 모형인 GPT-3 이후 각국에서 자국의 언어를 활용한 대형언어모형(LLM; Large Language Models)의 개발과 공개에 노력을 기울이고 있음
 - ※ 중국의 Wudao, 한국의 HyperCLOVA 등이 대표적
 - 한편, 건강·법·범죄·소설 등 다양한 영역에 대한 질의·응답 세트로 구성된 새로운 벤치마킹 질문인 TruthfulQA로 다양한 언어모형을 시험한 결과, 많은 양의 파라미터를 활용하는 LLM이 상대적으로 작은 규모의 언어모형보다 낮은 성능을 보여 언어모형의 규모와 다중언어 학습에 대한 의구심을 남기기도 함
- 정점 표현 학습(node representation learning)의 방법 중 한 가지인 그래프 신경망(GNN; Graph Neural Network)이 AI 연구의 변경에서 핵심으로 부상

- 딥러닝 최고 권위 콘퍼런스인 ICLR(International Conference on Learning Representations)에서 '21년도 GNN은 4번째로 많이 사용된 키워드였으며, '19년에서 '20년 사이에 가장 증가 폭이 큰 키워드에 해당

[그림-2] Graph neural network의 키워드 순위 변화 추이



자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12,)

- GNN의 부상은 복잡한 네트워크 기반이 자료 표현 방법이 실제 현실 세계의 문제를 해결하는데 뛰어난 성능을 보여주고 있기 때문인데, 특히 시스템 동역학과 교통모형 부문에서 대표적인 성능 향상이 있었음을 보여줌

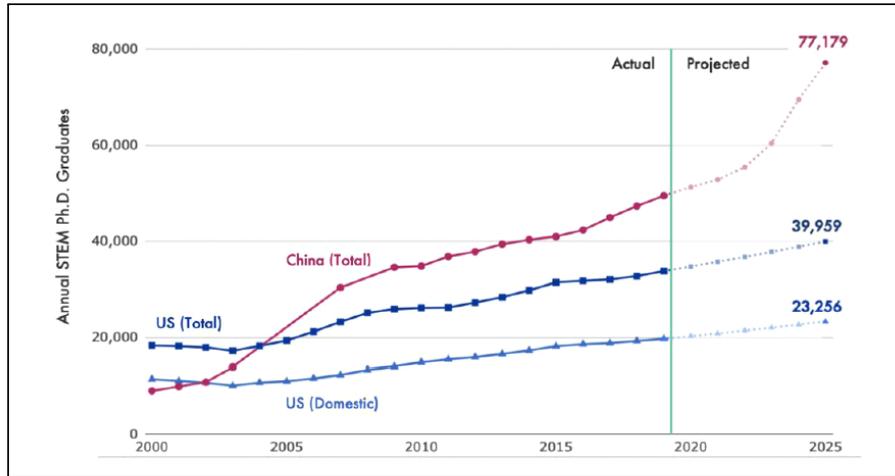
- ※ 시스템 동역학 부문에서 GNN은 공간을 분리된 셀(cell)로 구분하는 mesh-based simulation에서 활용되는데, 이는 기존 방법에 비해 빠르고, 복잡한 동역학계를 더욱 쉽게 일반화할 수 있어 시스템 동역학 수준을 한 단계 올렸다고 평가받음
- ※ 구글에서는 구글맵의 경로 서비스에서 GNN을 활용해 예상 도착 시간을 예측하는 것이 더 좋은 성능을 보여 고객 만족도가 증가했음을 밝힘

- '19년 말 구글이 Python 패키지인 JAX를 소개한 이후, JAX 기반의 라이브러리(예: Flax, Haiku, Optax, Rlax, FedJAX 등)가 파생되면서 새로운 기계학습 생태계의 강자로 자리 잡는 중
 - JAX의 경쟁력은 유명한 패키지인 numpy와 유사한 구조로 개발되어 기존 사용자들의 유입이 쉽고, 벡터화, 병렬화, 즉석 컴파일링(just-in-time compiling) 등의 추가적인 장점에서 기인함
 - PapersWithCode에 따르면 JAX 프레임워크를 활용한 연구는 매월 1%에서 5% 비증까지 증가해, 그 활용도가 빠르게 성장하고 있음을 확인할 수 있음

◆ 인재(Talent) 부문

- AI 연구 및 인재 부문에서 중국의 약진이 두드러짐
 - 1949년에 설립된 중국과학원은 1980년까지 단 한 개의 AI 연구 실적도 없었으나, 현재는 상위 25% 수준의 연구 실적을 가장 많이 발표하는 기관으로 부상하였으며, 뒤를 이어 칭화대와 북경대 또한 빠르게 성장 중
 - 중국은 지난 10년간 고등교육에 대한 정부 지출을 2배가량 늘렸으며, 그 결과 중국의 박사 졸업생은 40% 증가하였고, STEM 분야의 박사 졸업생은 '25년 기준 미국의 2배가 될 것으로 전망
- ※ '19년 기준 중국 박사 졸업생의 43%는 세계적인 수준의 Double First Class 대학에서 배출되었는데, 이는 곧 박사 인력의 증가가 단순히 양적 확대뿐만 아니라 질적 성장으로도 연결되는 것을 의미

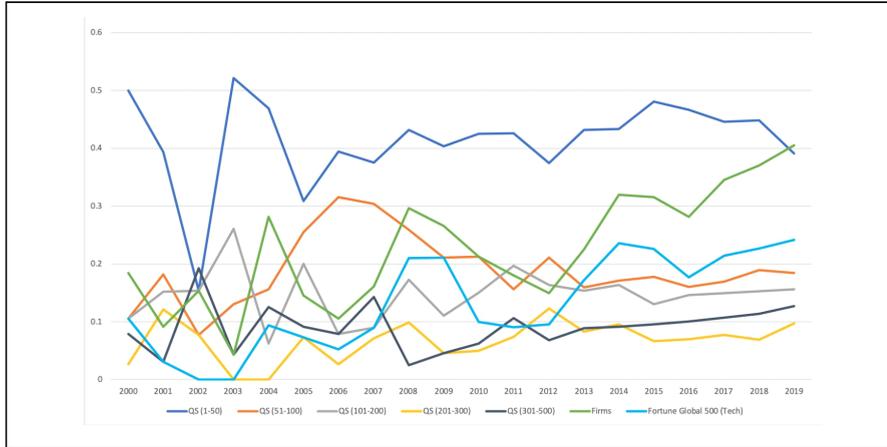
[그림-3] 미국, 중국의 연도별 STEM 박사 졸업생 수 추이



자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 칭화대와 북경대 기준 70%의 학부 졸업생이 대학원에 진출하며, 졸업 이후 해외에 나가서 공부하기를 원하는 비중은 16%에 불과
 - ※ 졸업 이후 원하는 직장으로는 화웨이가 4년 연속('16-'19년) 1위를 차지
- 타 국가 대비 인도와 브라질에서 AI 인재 채용이 빠르게 증가하고 있으며, 특히 인도에서는 여성 연구자의 참여가 확대되는 중
 - 인도에서 발간되는 AI 관련 논문에서 여성 연구자가 공동 저자로 참여하는 비중은 거의 30%로, 미국(15%) 또는 중국(4%)에 비해 월등히 높은 것으로 나타남
- AI 연구의 탈민주화(de-democratization)가 진행 중
 - '12년부터 빅테크 기업은 그들 스스로 또는 일류 대학과의 산학 협력을 통한 연구를 늘려가고 있으며, 이는 빅테크 기업이 제공 가능한 컴퓨팅 파워 역량에 기인

[그림-4] 주체별 딥러닝 논문 발간 비중

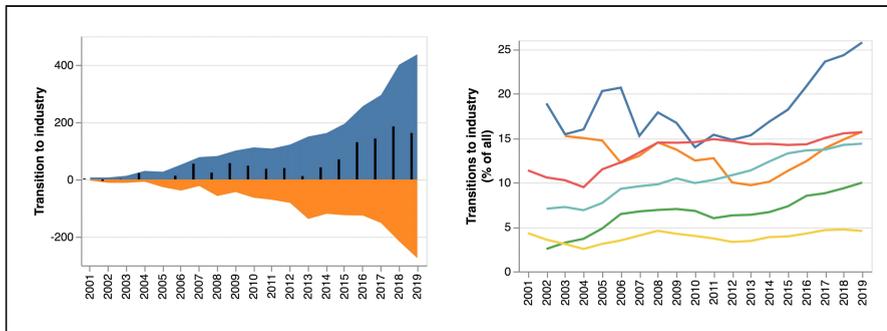


주: '18년 기준 맨 위에 있는 그래프는 QS 기준 상위 50개 대학을, 위에서 두 번째 그래프는 기업을 나타냄

자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 딥러닝 분야에서 학계에서 산업계로의 이동이 증가하고 있으며, 이러한 경향은 상위 대학에서 더 두드러짐

[그림-5] 학계-산업계 간 일자리 이동 추이



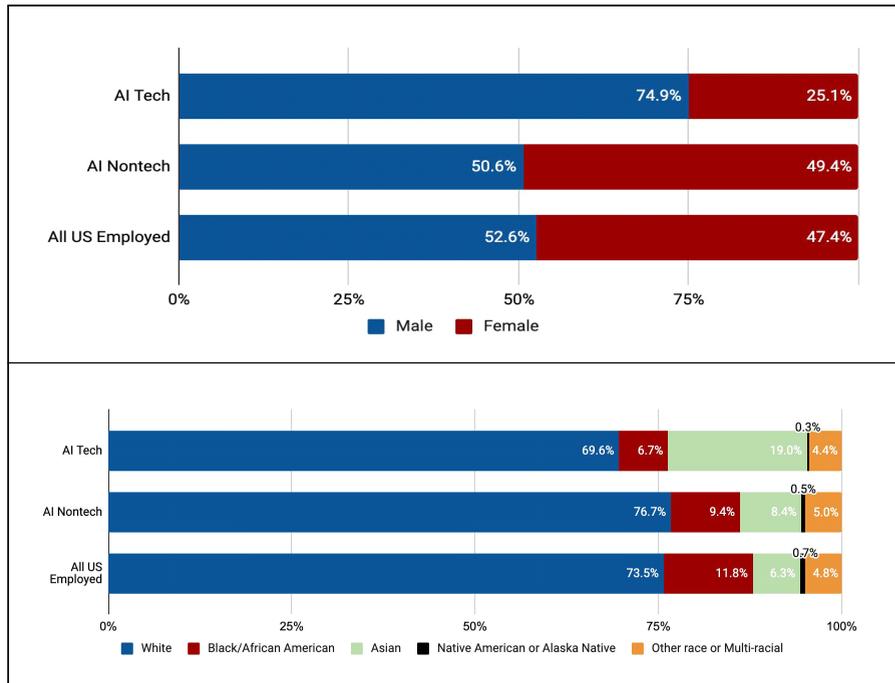
주: (左) 위 영역이 학계-산업계로의 이동을, 아래 영역이 산업계-학계로의 이동을 나타냄
(右) 맨 위의 그래프는 상위 5위 대학의 학계-산업계로의 이동 비중을 나타냄

자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 학계 교수들이 가장 많이 옮긴 기업은 Google(DeepMind), Amazon, Microsoft였으며 '19년 기준 33명의 교수가 옮긴 것으로 나타남

- ※ 33명의 교수 중 정년직(Tenured) 교수는 28명으로 85%의 비중을 차지
- ※ 지난 16년('04-'19년) 동안 교수들이 가장 많이 떠난 학교는 CMU, Georgia Tech, U of Washington, UC Berkeley 순으로 나타남
- AI 분야 최고급 교수의 88%가 빅테크로부터 연구 자금 지원을 받은 경험이 있음
- AI 기술 분야 인력과 AI 비 기술 분야 인력 사이의 성별·인종별 구성 차이가 존재
 - AI 비 기술 분야(생산·마케팅 등)와 비교하여 AI 기술 분야에서는 남성 인력과 아시아인의 비중이 높은 것으로 나타남

[그림-6] AI 기술 분야와 AI 비 기술 분야 간 성별·인종별 구성 차이



주: 위 그림은 성별 구성 차이를, 아래 그림은 인종별 구성 차이를 나타냄
 자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 미국에서 AI 인력 수요·공급이 빠르게 증가

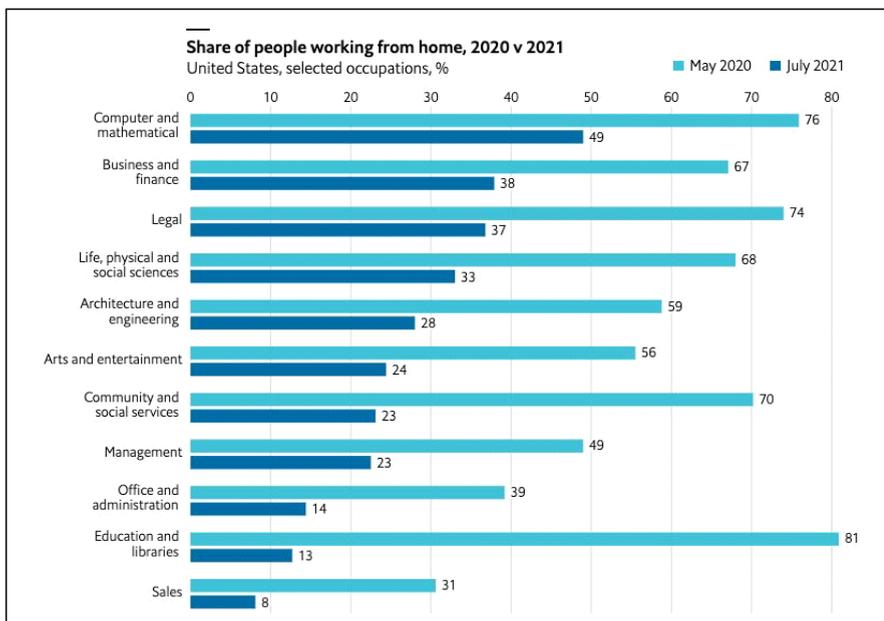
- 미국에서 AI 전문인력에 대한 수요가 급증함에 따라 컴퓨터과학(CS), 공학, 수학·통계학을 전공한 졸업생의 수 또한 빠르게 증가하고 있으며, 이들이 차지하는 비중은 전체 4년제 대학 졸업생의 10.2%를 차지

※ (수요) '15년 대비 '19년의 AI 관련 고용은 48% 증가(미국 평균 5.8%)

※ (공급) '15년 대비 '18년의 AI 관련 졸업생 수는 26.5% 증가(미국 전체 졸업생 수는 4.5% 증가)

- '21년이 되면서 사회적 거리두기 조치가 완화됐음에도 불구하고, 기술 분야의 재택근무 비중은 여전히 높음

[그림-7] AI 기술 분야와 AI 비 기술 분야 간 성별·인종별 구성 차이



자료: The Economist (2021.4.8.)

- Google, Apple, Facebook, Amazon은 적어도 '22년 1월까지 재택근무할 것을 발표하였으며, Twitter는 평생 재택근무로 전환

◆ 산업(Industry) 부문

- AI 기반 신약 개발 분야의 주요 기업 2곳이 IPO를 성공적으로 완료하며, 그들의 잠재성을 입증
 - 영국의 Exscientia는 '21년 10월 30억 달러 이상의 가치로 NASDAQ IPO에 성공하였으며, 이에 영국에서 GSK, AstraZeneca 다음으로 큰 제약회사로 도약
 - 미국 유타 주에 위치한 Recursion Pharmaceuticals는 '21년 4월, 4억 3,600만 달러의 가치로 NASDAQ IPO에 성공
- 다양한 산업 현장에서 AI의 도입이 유의미한 효과를 보이고 있음
 - 실시간 컴퓨터 비전 기술이 근로자들의 안전한 업무 환경을 보장
 - ※ Intenseye의 컴퓨터 비전 모델은 그동안 사람이 실시간으로 관측하기 어려웠던 35가지 유형의 환경보건안전(EHS) 사건을 학습하여 최근 3년 동안 약 180만 건의 위험 현장을 발견

[그림-8] 근로자들의 안전한 업무 환경을 보장하기 위한 Intenseye의 컴퓨터 비전



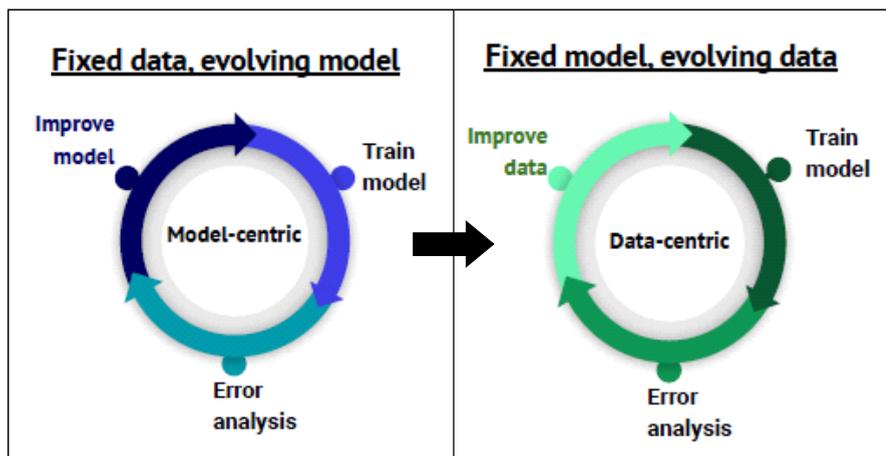
자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 영국은 국가 전력망에 Temporal Fusion Transformer 기술을 적용함으로써 전력 수요 예측 오차를 절반 아래로 감소
- 그리스는 입국심사에 AI 시스템 Eva를 도입함으로써 Covid-19 감염자 검출 정확도를 높임

※ Eva는 개인정보를 바탕으로 감염 위험성이 큰 여행객을 사전에 분류하는 것으로, Covid-19 검사를 무작위 대상으로 했을 경우 Eva 사용 대비 54.1%의 감염자 검출율을 보임

- 모형 중심 AI에서 데이터 중심 AI로의 전환(from model-centric to data-centric AI)

[그림-9] 모형 중심의 AI에서 데이터 중심 AI로의 전환



자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 최근 ML 연구자들은 AI 시스템의 성능을 높이기 위해 모형 또는 알고리즘의 개선보다 양질의 데이터를 지속해서 수집·구축하고 관리하는 것에 주목

※ 세계적인 AI 학술대회인 NeurIPS 2021에서는 data-centric AI 트랙이 별도로 구성

- Andrew Ng(2021)은 일부 사례를 통해 데이터 중심의 접근 방법이 모형 중심의 접근 방법보다 정확도 면에서 더 효과적임을 발표

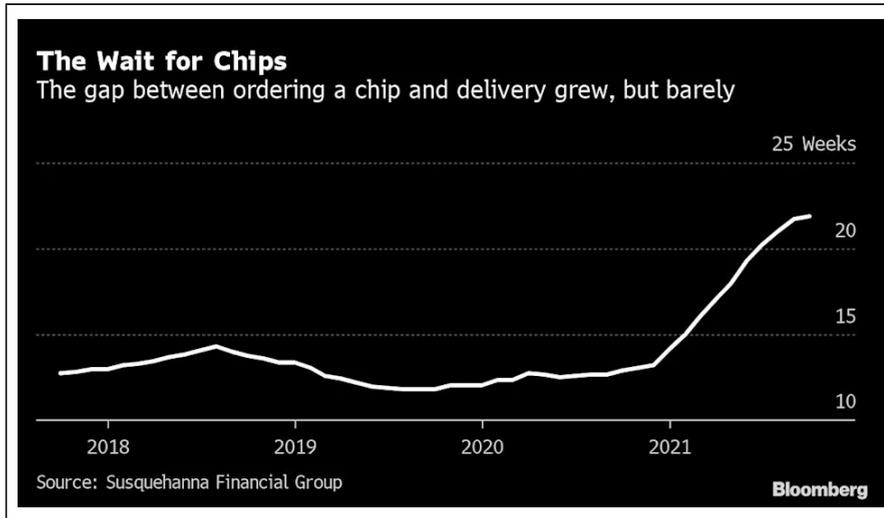
〈표 3〉 컴퓨터 비전 분야 AI 시스템 성능 개선 효과

구분	강철 불량품 검출	태양광 패널 검사	표면 검사
기준 정확도 (baseline)	76.2%	75.68%	85.05%
모형 중심 개선 효과 (model-centric)	+0% (76.2%)	+0.04% (75.72%)	+0.00% (85.05%)
데이터 중심 개선 효과 (data-centric)	+16.9% (93.1%)	+3.06% (78.74%)	+0.40% (85.45%)

자료 : Andrew Ng (2021,3)

- 지난해 반도체 산업에서 가장 큰 화제가 되었던 NVIDIA와 Arm의 M&A는 여전히 진행 중
 - 400억 달러에 해당하는 NVIDIA의 Arm 인수 계획은 NVIDIA의 경쟁 기업, Arm 고객, 규제당국 등으로부터 많은 저항을 받으며 인수 완료 시점을 당초 예상했던 '22년 3월보다 6개월 연장된 '22년 9월까지로 결정
- Covid-19는 글로벌 반도체 공급망에 심각한 타격을 입힌 가운데, 유럽과 미국은 독자적인 생산망 구축 시도 중
 - Covid-19에 의한 사회통제(lockdown)와 전자제품 수요의 증가로 인해 반도체 주문부터 수령에 이르기까지 약 22주의 시간이 소요

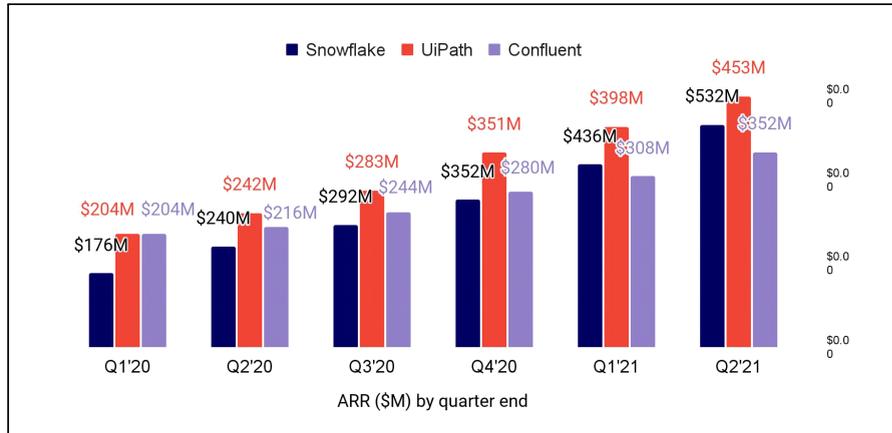
[그림-10] 반도체 수령 기간 변화 추이



자료 : Bloomberg (2021.10.27.)

- AI 기반 사이버보안 기업과 데이터 플랫폼·자동화 관련 기업의 성장세가 두드러짐
 - 지난 12개월간 CrowdStrike는 2배 이상 성장하여 시가총액이 600억 달러, 연간 수익(ARR) 13억 달러를 기록
 - ※ 주요 AI 기반 사이버보안 기업 시가총액 : CrowdStrike(600억 달러), DarkTrace (50억 파운드), SentinelOne(180억 달러), Riskified(60억 달러)
 - 자동화 전문 기업 UiPath, 클라우드 데이터 플랫폼 기업 Snowflake, Kafka 기반 데이터 스트리밍 기업 Confluent는 '21년 1,380억 달러의 공공 시장 가치를 창출
 - ※ 특히, Snowflake는 '20년 소프트웨어 분야에서 가장 큰 규모(33.5억 달러)의 IPO에 성공

[그림-11] 반도체 수령 기간 변화



자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 중국이 스마트시티에서의 AI 활용 분야에서 강세를 보임
 - Baidu, Alibaba, Sun Yat-sen 대학, 중국과학원은 2021 AI City Challenge 내 1개 이상의 트랙*에서 우승을 차지
 - * 교차로에서 운송 수단(vehicle) 수 계산, 교통 이상 징후 탐지 등
 - 해당 분야에서 중국의 경쟁력은 스마트시티와 컴퓨터 비전 분야에 대한 중국의 대규모 투자에 기인
- Google은 자사 서비스 및 소비자 애플리케이션 부문에 AI 기술의 적용 사례를 넓혀가고 있음
 - Gmail에서 사용되는 Smart Reply 기능을 넘어서, AI 기반 문법 체크 기능이 Google Sheets, Docs, Slides 등에 적용되며, 특히 Sheets에서는 맥락을 파악하여 자동으로 수식을 예측

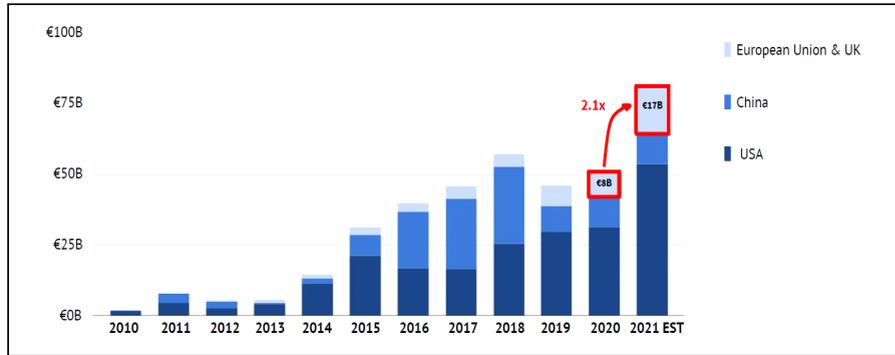
[그림-12] Google Sheets의 맥락 기반 수식 입력

	A	B	C	D	E	F	G
1		Q1 2021	Q2 2021				
2	Region A	1005.21	1173.23				
3	Region B	998.75	1027.54				
4	Region C	1273.53	1201.74				
5	Region D	785.92	812.89				
6	Region E	898.12	888.32	% change			
7	Total	4961.53	5103.72	= $(C7-B7)/B7$			
8				$(C7-B7)/B7$	0.02865849849		
9				Tab to accept			
10							
11							
12							

자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- Maps에서는 AR(증강현실) 기술을 적용한 실내 네비게이션 기능뿐만 아니라 연료 소비량 및 탄소 배출량을 줄일 수 있는 경로를 안내하는 기능을 제공
- 전 세계적으로 182개 AI 유니콘 기업의 총 기업가치가 1.3조 달러를 기록하고 있는 가운데, 기업 수와 시장 규모 면에서 미국이 타 국가 대비 우위를 보이고 있음
 - 미국의 AI 유니콘 기업 수는 103개, 총 기업가치는 8,010억 달러를 기록하였으며, 다음으로 중국, 영국, 이스라엘 순으로 나타남
 - 미국 AI 스타트업으로 자금이 몰리고 있는 가운데, EU와 영국 기업에 대한 투자도 빠른 성장세를 기록
 - ※ 미국이 전 세계 AI 투자의 3분의 2를 차지하고 있으며, EU와 영국 기업에 대한 투자 비중은 '20년 대비 2배 이상 증가

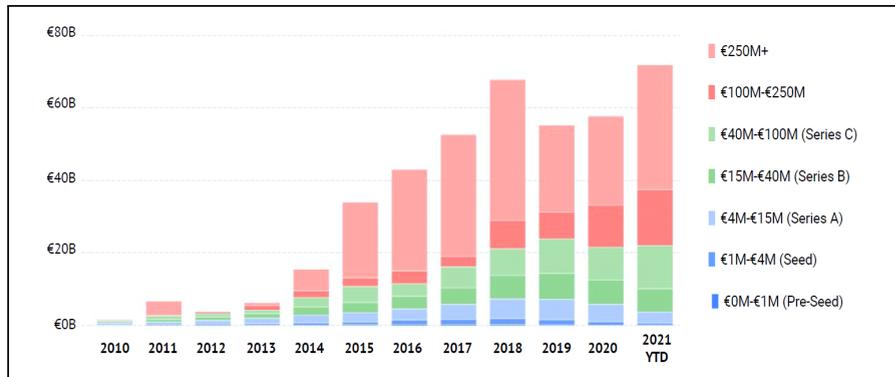
[그림-13] 국가별 AI 스타트업 투자 규모 추이



자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 1억 달러 이상의 메가 라운드(Mega Round)가 보편화
 - '21년 2.5억 달러 이상의 라운드는 전체 투자 규모의 48%를 기록하였으며, 이는 42%를 기록했던 전년 대비 증가한 수치임
 - ※ 1억 달러 이상의 라운드와 Series C 또한 비슷한 추세를 보임

[그림-14] Round별 AI 스타트업 투자 규모 추이

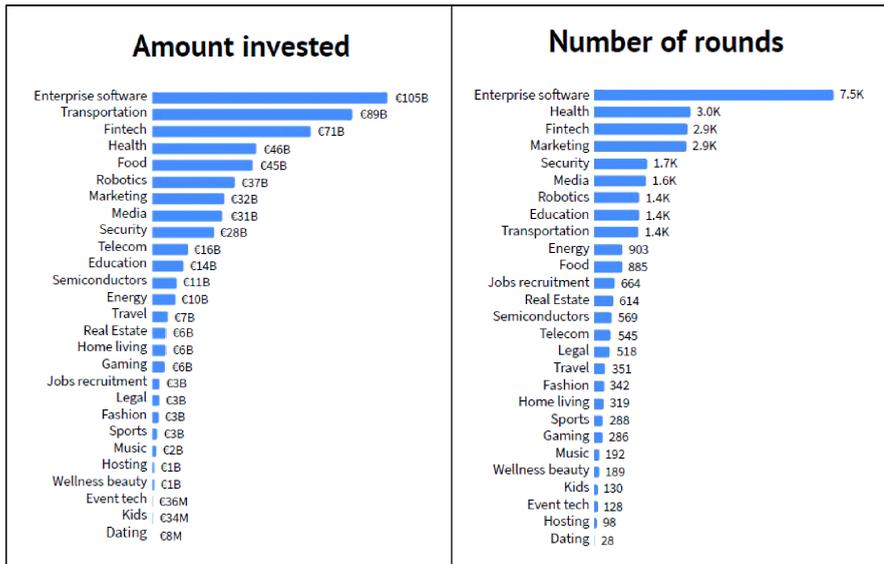


자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 최근 12년('10-'21년) 동안 AI 산업에서 투자가 가장 많았던 분야는 기업형 소프트웨어(Enterprise Software) 분야

- 데이터가 풍부한 헬스케어와 핀테크 분야 또한 많은 투자자의 관심을 받아옴

[그림-15] 최근 12년간 분야별 투자 규모 및 투자 건수

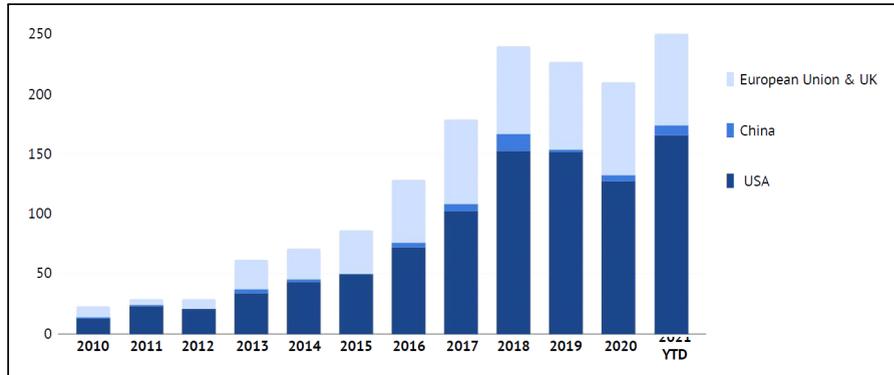


주: (左) 투자 규모 (右) 투자 건수

자료: Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 최근 12년('10-'21년) 동안 AI 산업에서 총 2.3조 달러 규모의 exit이 발생
 - 기업형 소프트웨어, 핀테크, 미디어, 교통, 식품 분야 순으로 exit이 많이 발생하였으며, 해당 분야의 총 exit 규모는 2조 달러를 기록
 - AI 투자뿐만 아니라 exit에서도 미국이 전 세계의 3분의 2를 차지하고 있으며, EU와 영국이 거의 3분의 1, 그리고 나머지를 중국이 차지

[그림-16] 국가별 AI exit 규모 추이 규모 추이



자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

◆ 정치(Politics) 부문

- Google의 AI 윤리 전문가 팀닛 게브루(Timnit Gebru)의 해고에 이어 AI 윤리 부서의 설립자인 마가렛 미첼(Margaret Mitchell)의 해고는 커뮤니티에 큰 충격*을 안겨줌

* 팀닛 게브루의 폭로에 사내외 인사 2,500여명은 Google에 서한을 보내 회사 측의 처사를 비판

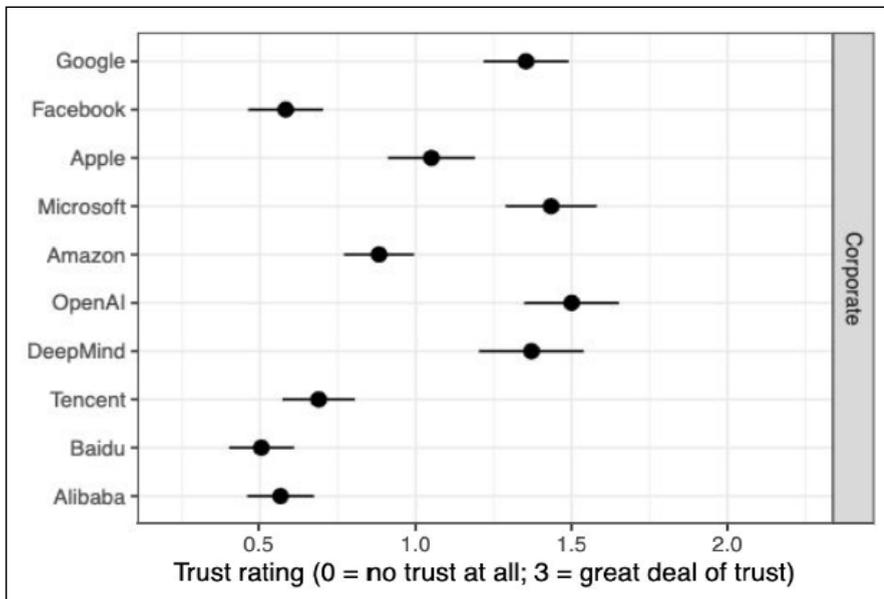
- 팀닛 게브루는 거대언어모형의 한계와 위험성*에 대한 연구를 수행했으며, 이를 정리한 논문을 발표하기 전 Google AI 총괄 부사장인 제프 딘(Jeff Dean)으로부터 해고 통보를 받음

* 과도한 전력 소비로 많은 양의 탄소배출을 통해 기후변화를 조장하고, 인종·성차별 등 편향(bias)의 우려가 크고, 인간 언어를 실질적으로는 이해하기보다는 '그럴싸한 흉내'를 내므로 악용될 소지가 큼

- 마가렛 미첼은 팀닛 게브루를 지지한 연구자 중 한 명이었으며, 해고 후 지난 8월 오픈소스 AI 플랫폼 기업 Hugging Face에 입사

- ML 연구자의 대다수는 AI 안전(AI Safety)에 관한 연구가 지금보다 더 우선시될 필요가 있다고 응답
 - Cornell, Oxford, UPenn이 최상위 ML 컨퍼런스에 게재한 524명의 연구자를 대상으로 설문한 결과, 68%의 응답자가 AI 안전*에 관한 연구가 더 우선시되어야 한다고 응답하였으며, 이는 49%를 기록한 '16년의 결과보다 훨씬 높은 결과를 나타냄
 - * 해당 연구에서는 AI 안전을 “AI가 인류에게 해를 끼치지 않는 방식으로 만들어지도록 하기 위한 노력”으로 정의
 - 민간 기업 중에서는 OpenAI, DeepMind, Google, Microsoft가 공익적 목적에 맞게 잘 개발되고 있다고 인식되는 반면, Facebook, Tencent, Alibaba, Baidu 등은 상대적으로 낮은 인식 결과를 보임

[그림-17] 기업별 AI 신뢰도



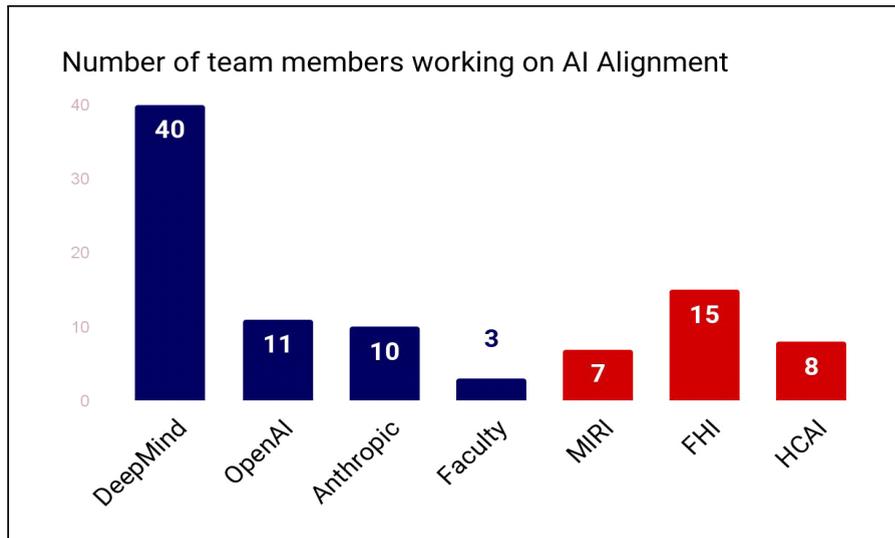
자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- AI 안전이 중요한 이슈임에도 불구하고, 7개의 주요 기업에서 AI Alignment(AI 조정)* 전담 연구자는 100명이 채 되지 않음

* AI 조정은 점점 더 높은 성능을 가진 AI 시스템이 인간성(humanity)과 일치하는 목표를 갖도록 하는 방안을 탐색하는 연구 분야로, AI 안전에서 핵심적인 부분을 차지

- DeepMind가 40명 규모의 AI 조정 전담팀을 보유하고 있음에도 불구하고, 전 세계 AI 연구 커뮤니티의 AI 조정 전담 연구자는 100명 미만

[그림-18] 기업별 AI 조정 전담 연구자 수



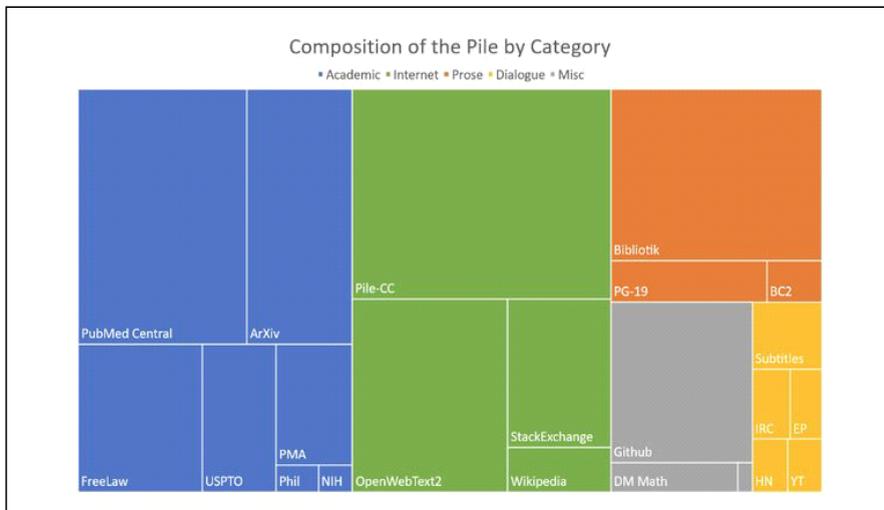
자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- GPT-3를 만든 OpenAI의 주요 연구자 중 다수는 OpenAI를 떠나 새로운 AI 안전 전문 기업 Anthropic으로 이직
- Anthropic은 AI 시스템의 안전성을 늘리기 위한 연구에 집중하고 있으며, 특히 거대 AI 모형의 신뢰성을 높이는 데 주력

※ Anthropic은 AI 안전에 관심을 보이는 투자자 얀 탈린(Jaan Tallinn)과 더스틴 모스크비츠(Dustin Moskovitz)로부터 1억 2,400만 달러 투자 유치

- Eleuther AI는 오픈소스를 통해 GPT 모형의 민주화를 시도
 - GPT-3는 모형과 학습용 데이터를 공개했던 전신 모형(GPT-1, GPT-2)과는 다르게 Microsoft와의 파트너십을 통해 상업용 API 형태로 접근을 제한
 - 이에 반대하는 연구 그룹 Eleuther AI는 27억 개의 파라미터를 보유하면서 GPT-3의 최소 성능에 준하는 모델 GPT-Neo를 개발했으며,
 - '21년 1월에는 언어모형 학습을 위해 필요한 약 800GB 분량의 영어 텍스트 데이터셋 더파일(The Pile)을 무료 공개

[그림-19] 기업별 AI 조정 전담 연구자 수



자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- '21년 4월 유럽연합 집행위원회(EC)는 신뢰 가능한 AI 생태계 구축을 위한 AI 규제안(AI Act)*을 발표

* European Commission (2021.4.21), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL LAYING DOWN HARMONISED RULES ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACT) AND AMENDING CERTAIN UNION LEGISLATIVE ACTS

- AI 위험을 크게 4단계*로 구분하여 수준별 차등적인 의무를 부과하는 리스크 기반 접근방식을 적용

* ① 용인할 수 없는 위험(unacceptable risk), ② 고위험(high risk), ③ 제한된 위험(limited risk), ④ 최소 위험(minimal risk)

- AI 규제의 필요성이 대두되고 있는 상황에서 등장한 최초의 법안이라는 점에서 향후 전 세계 AI 규제 입법 방향 및 관련 시장에 큰 영향을 미칠 것으로 예상(이경선, 2021.5.)

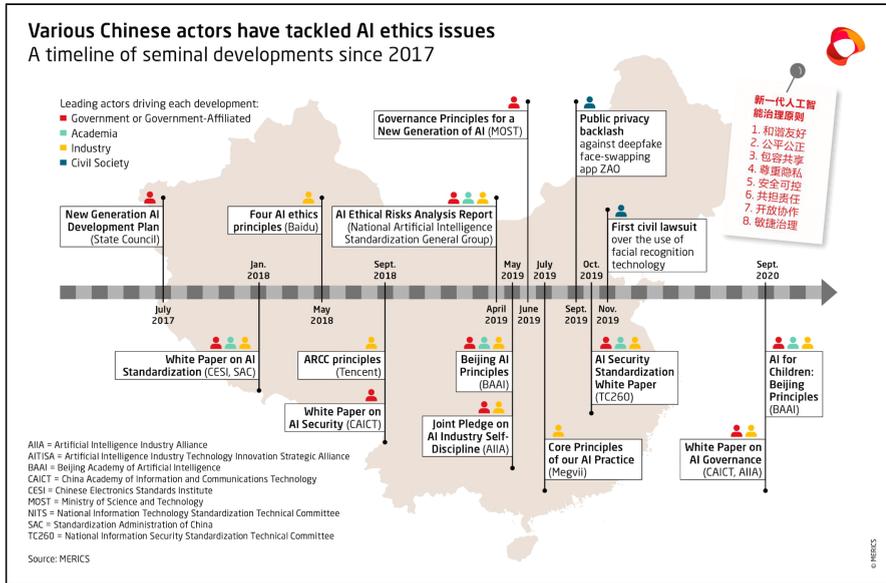
- 그러나 동 법안은 기술적·경제적·법적 관점에서 난항이 있을 것으로 예상

※ (기술적 관점) AI 알고리즘의 공정성, 해석가능성, 견고성을 기술적으로 명확하게 평가하기 어려움, (경제적 관점) 규제 준수 비용이 매우 큼(AI 유닛의 10%가 규제 준수 요구를 받는다고 가정하였을 때, '25년 기준 글로벌 규제 준수 비용은 16억 유로에서 33억 유로 사이에 달할 것으로 추산), (법적 관점) AI 위험의 분류 기준이 명확하지 않음

- 정부, 학계, 산업으로 대표되는 중국의 AI 주체는 오랫동안 AI 윤리에 관심을 갖고 있었으며, 윤리적 AI 시스템 설계를 위해 다양한 이니셔티브를 통해 AI 윤리 원칙 등을 발표

- 그러나 대부분 실행 단계로 이어지지 못했으며, AI 윤리는 상위의 정치적 관심에 종속되는 경향을 보임

[그림-20] 중국의 윤리적 AI 시스템 설계를 위한 노력



자료 : Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.)

- 미국은 개인정보보호를 위한 연방 법안은 여전히 부재한 상황이며, 주 단위에서는 법안의 강도가 상이

- 단 3개의 주(캘리포니아, 콜로라도, 버지니아)에서만 법안이 통과된 가운데, 규제 강도는 상이

※ 버지니아주는 '21년 3월 VCDPA(Virginia Consumer Data Protection Act)를 통과시켰으나, 캘리포니아 주의 CPRA(California Privacy Rights Act)보다는 규제 강도가 약함

◆ 향후 12개월 내 일어날 8가지 예측(Prediction)

- 부문별 주요 이슈를 종합하였을 때 State of AI Report에서 예측한 향후 12개월 내 AI 분야의 주요 사건은 다음과 같음

〈표 4〉 State of AI Report 2021 전망

구분	전망 내용
1	World model 학습에 사용되는 순환신경망 모형을 transformer가 대체하고, 거대하고 풍부한 게임 환경에서 강화학습의 agent(학습 주체)가 인간 학습 성능을 넘어설 것
2	ASML의 시가총액 약 500조 원 달성
3	Anthropic이 범용인공지능(AGI) 연구의 세 번째 축으로서 GPT, Dota, AlphaGo와 비슷한 수준의 모형을 개발 및 공개할 것
4	AI 반도체 산업계에서 거대기술기업 또는 주요 반도체기업에 의해 Graphcore, Cerebras, SambaNova, Groq, Mythic 등의 AI 컴퓨터시스템 기업 합병 유행의 바람이 불 것
5	소규모 트랜스포머 모형(적은 수의 레이어 또는 파라미터로 구성)과 CNN을 섞은 하이브리드 모형이 ImageNet의 top-1 accuracy (CoAtNet-7, 90.88%, 2.44조개의 파라미터)에서 약 10배 정도 적은 파라미터만으로도 현재 최고 수준이 도달할 것
6	물상과학(Physical Science) 분야에서 DeepMind가 획기적인 연구 결과를 발표할 것
7	PapersWithCode의 측정 기준으로, JAX 프레임워크를 활용한 연구는 매일 1%에서 5% 비중까지 증가할 것
8	버티컬 부문(예: 개발자 툴, 생명과학 등)에 초점을 맞춘 로드맵을 가진 새로운 범용인공지능(AGI) 연구 기업이 큰 투자를 받아 등장할 것

3. 2022년 부문별 국내 AI 전망

◆ 기술 부문

- AI 학습 및 추론에 요구되는 H/W 인프라의 투자 규모가 거대화함에 따라, AI 기술개발 분야의 이분화 현상이 가시적으로 드러날 것
 - ① 기본 AI 프레임워크 개발 및 컴퓨팅 H/W를 포함한 프레임워크 가용 서비스를 제공하는 기술개발, ② 개발된 AI 프레임워크를 통해 특정 부문에 적용하는 기술개발 분야로 이분화
 - ※ 실제로 AI 산업계에서 글로벌 M&A의 규모와 횟수가 기하급수적으로 증가하고 있어 전 세계적으로 빅테크 기업의 독점적 지배력에 대한 우려를 표하고 있는 동시에, AI 적용 서비스를 제공하는 군소 규모의 기업들의 수 역시 지속해서 증가하는 추세
- 한글 맞춤형 Transformer 모형의 개발 및 배포가 가속화
 - 국내 민간·공공 내 다양한 조직에서 서비스 품질 개선, 시장 지배력 강화 등 각자의 목적을 달성하기 위해 한글 맞춤형 Transformer 모형개발이 가속화
 - ※ ETRI의 KorBERT를 시작으로, SKT의 KoBERT, 서울대의 KR-BERT, 삼성 SDS의 KoreALBERT 등이 이미 공개되었으며, 최근 네이버(HyperClova), 카카오(KoGPT) 등 국내 빅테크 기업의 초거대 AI 모형 개발도 활발
 - ※ 최근 과기정통부는 인공지능 최고위 전략대회(AI Strategy Summit)를 통해 민간 협력을 통한 초거대 AI 생태계 활성화 추진방향 논의
 - Eleuther AI의 시도와 유사하게 Transformer 기반의 초거대 AI 모형을 오픈소스로 배포하는 사례도 등장할 것으로 예상

◆ 인재 부문

- 학령인구 절벽과 AI 개발자 임금의 양극화로 인해 지방 중소기업의 AI 전문인력 고용이 더욱 어려워질 것으로 예상
 - 꾸준히 감소하는 학령인구에 비해 대학의 통폐합은 다양한 정치적·지리적·사회적 이유로 미진하여 수도권과 지방의 대학 학생충원율 편차가 심화될 것이며,
 - 수도권에 위치한 빅테크를 중심으로 AI 개발자 임금이 가파르게 상승*함에 따라 AI 전문인력의 대도시 집중현상이 가속화
 - * 5~7년 경력을 지닌 AI엔지니어는 최대 1억 5,000만원, 시니어 백엔드 개발자는 최고 1억 8,000만원 수준이 요구(로버트월터스코리아, 2021)
 - 즉, 신규 공급의 부족과 기존 인력의 이탈로 지방 중소기업의 AI 전문인력은 더욱 어려워질 것으로 전망

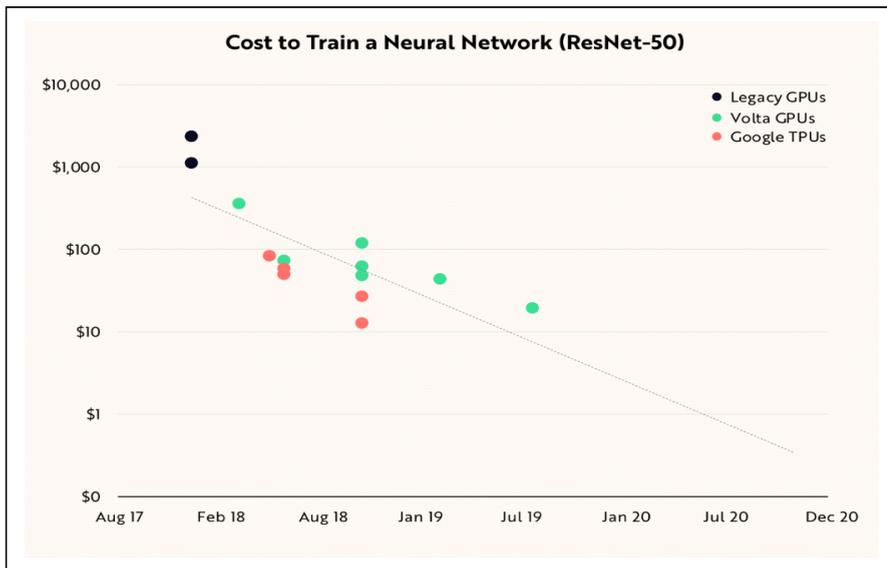
◆ 산업 부문

- MLOps*의 핵심이 모형 중심(model-centric)에서 데이터 중심(data-centric)으로 옮겨가는 추세에 따라 효율적 학습 및 추론을 위한 데이터 전처리·가공 기업의 성장세가 두드러질 것
 - * 소프트웨어 개발과 운영의 합성어를 의미하는 DevOps와 유사한 개념으로, 단순히 ML 시스템만 개발하는 것뿐만 아니라 AI 프로젝트를 기획하고 테스트부터 배포까지의 운영 업무를 동시에 수행하는 것을 의미하며, DevOps와는 다르게 데이터의 지속적인 학습 업무가 추가
 - AI 기술 고도화에 필요한 데이터를 수집·가공하는 AI 학습용 데이터

플랫폼 분야에서 IPO가 예상되며, 이를 통해 해당 분야의 유니콘 기업도 등장할 것으로 예상

- AI 기술 발전과 정부의 정책적 노력에 힘입어 국내에서도 산업 현장에서의 AI 도입이 활발해질 것으로 전망
 - 초기에는 AI 모형 고도화에 따른 학습 비용의 증가가 큰 부담이었으나, H/W 기술의 발전과 효율적인 데이터 처리 방식에 의해 학습 비용이 연 1/10로 감소 중

[그림-21] 신경망 기술의 학습 비용 변화



자료 : ARK Investment (2020)

- 정부는 산업 내 AI 융합·확산을 위해 AI 융합 프로젝트(AI+X), AI 바우처 지원 사업 등을 추진 중이며, 최근 초거대 AI 모형 생태계 활성화를 통해 AI 실증 기반 구축에 노력

- 현재 AI 기술을 도입하지 않은 기업 중 24.5%가 향후 도입 의사를 나타낸 가운데, 공공안전 부문의 도입 의사는 41.4%로 향후 AI 활용이 가장 활발할 것으로 예상(김경훈, 2021.6.30.)

◆ 정치 부문

- 전 세계적으로 신뢰할 만한 AI의 중요성이 증대됨에 따라, 국내에서도 AI Safety를 전문으로 하는 기업이 등장
 - AI Safety 전문기업 Anthropic과 마찬가지로 기술기반으로 AI 시스템의 안전성과 신뢰성을 높이기 위한 전문기업이 등장하고, 관련 시장이 새로 창출될 것으로 전망
- EU의 AI 규제를 기초로 한 리스크 접근 방식의 다양한 인공지능 규제 법안이 발의되거나 가이드라인이 마련
 - '21년 4월 EU에서 AI 규제안을 발표한 이후로 AI 규제 입법에 대한 논의가 이전보다 활발해졌으며, AI 기술이 고도화되고 상용화가 촉진될수록 해당 논의는 더욱 가속화될 것으로 전망
 - AI 기술의 빠른 변화와 적용 분야별 상이한 성격으로 인해 일반법의 형태로 입법이 추진되기보다는 자율규제 성격의 가이드라인으로 나올 가능성 존재

참 고 문 헌

[국내문헌]

- 김경훈 (2021.6.30.), “주요 산업별 인공지능(AI) 도입 현황 및 시사점”, AI TREND WATCH, 정보통신정책연구원.
- 로버트월터스코리아 (2021), “2021 디지털 연봉조사”.
- 이경선 (2021.5.4.), “EU 인공지능 규제안의 주요 내용과 시사점”, KISDI Perspectives, 정보통신정책연구원.

[해외문헌]

- Andrew Ng (2021.3), “A Chat with Andrew on MLOps: From model-centric to Data-centric AI”.
- ARK Investment (2020), “Stanford DAWN Deep Learning Benchmark”.
- Bloomberg (2021.10.27.), “Chip Lead Times Begin to Slow, Suggesting Shortages Have Peaked”.
- Deepmind Blog (2020.12.23.), “MuZero: Mastering Go, Chess, Shogi and Atari without Rules”
- European Commission (2021.4.21), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL LAYING DOWN HARMONISED RULES ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACT) AND AMENDING CERTAIN UNION LEGISLATIVE ACTS.
- Nathan Benaich, Ian Hogarth (2021.10.12.), “State of AI Report”.
- The Economist (2021.4.8.), “The Rise of Working from Home”.