국가미래전략기술
정책연구소

2023
연차보고서

The future Institute for National Strategic
Technology and Policy

2023 Annual Report

KAIST 국가미래전략기술 정책연구소
The future Institute for National Strategic Technology and Policy

국가미래전략기술 정책연구소 연차보고서

국가미래전략기술 정책연구소(2023.12.27.)

2023 국가전략기술 R&D 전략 보고서 발간

- 미·중 기술 패권 격화에 따라 급변하는 글로벌 정책, 산업 동향을 중심으로 국가전략기술의 핵심이슈를 파악하여 국가경쟁력 확보 방안 및 전략적 시사점 도출을 위한 기술군별 보고서 발간

기술군	주요내용	제출일
반도체	생성형 AI 급부상에 따른 AI반도체 개발 동향 및 시사점	'23.06.29.
	미국의 반도체 추가 수출 규제 전망 보고	'23.07.25.
이차전지	글로벌 규제에 대응한 민·관 이차전지 R&D 동향 분석	'23.06.29.
양자	최근 선도국의 양자기술 육성정책 및 생태계 구축 전략	'23.08.10.
차세대통신	전문가 자문에 기반한 차세대통신 분야 현안 및 시사점	'23.10.07.
사이버보안	전문가 자문에 기반한 사이버보안 분야 현안 및 시사점	'23.10.12.

「국가 미래전략기술 전문가 포럼」 보고서

- 글로벌 현황과 현안을 분석한 5개 기술군을 중심으로 관련 분야 산학연 전문가들의 국가전략기술의 전략적 육성방안과 이를 위한 효율적인 인력수급 관점에서의 R&D 인재양성 전략 제시

(세션#1) 국가전략기술의 전략적 육성 방안	
발제	■ 미중 패권경쟁과 반도체 (차정훈 대표, KAIST 홀딩스, 전 중기부 창업벤처혁신실장)
	■ 네트워크, AI, 클라우드 서비스 생태계 (최준기 상무/본부장, KT AI/BigData사업본부)
	■ 미래 모빌리티와 AI 기술 (이승환 상무/선행연구섹터장, 현대모비스)
	■ 초거대 AI를 위한 반도체(이동수 이사, 네이버클라우드)
토론	■ 국가전략기술의 전략적 육성방안 (발제자 4명)

(세션#2) 국가전략기술 핵심인재 육성 전략	
발제	■ 계약학과와 특성화 대학원으로 육성되는 반도체 핵심인재 (최성율 원장, KAIST 반도체공학대학원, 전기및전자공학부 교수)
	■ 이차전지, 핵심인재, 학과의 경계를 넘어 (신택수 PM, SK on, Talent Mgnt)
	■ 6G인재, 통신 도메인과 AI의 융합 역량 (김동현 파트장, Samsung Research, 6G연구팀)
	■ 효율적인 인력수급을 위한 데이터 기반 인재정책 수립 방안 (정지운 센터장, 한국직업능력연구원, 인력수급분석센터)
토론	■ 국가전략기술 인재의 전략적 육성방안 (발제자 4명)

2023 국가전략기술
R&D 전략 보고서

- 반도체
- 이차전지
- 양자
- 차세대통신
- 사이버보안

서론

- 미국-중국 간의 기술 패권 경쟁이 격화되는 등 전 세계가 지(地)정학적 시대에서 기(技)정학적 시대로 변화함에 따라, 대한민국은 과학기술을 중심으로 산업, 안보, 외교 분야에서의 경쟁력 강화를 위한 국가 차원의 전략적 접근과 지속적인 노력이 절실히 요구되고 있음.
- 본 보고서에서는 12대 전략기술 중 ①반도체, ②이차전지 등의 초격차 기술과 ③양자, ④차세대 통신(5G/6G), ⑤사이버 보안 등 디지털 혁신을 가능하게 하는 기술을 우선적으로 분석하였으며, 글로벌 최신 동향과 핵심 이슈를 중심으로 국가 차원의 전략 및 시사점을 도출하였음.

① 반도체

- 디지털 전환과 생성형 AI 확산으로 방대한 데이터를 빠르게 처리할 수 있는 AI 특화 반도체의 중요성이 강조되고 있는 상황에서 반도체 기술 관련 글로벌 정책, R&D현황, 미·중패권 핵심 이슈 등을 파악하고, AI 반도체 생태계 구축을 위한 R&D 전략 및 신속한 시장 진입 전략 도출

② 이차전지

- 글로벌 산업이 주도하는 이차전지 생태계의 핵심 이슈를 파악하기 위하여 미국 인플레이션 감축법(IRA), EU 핵심원자재법(CRMA) 등 글로벌 정책변화와 국내외 이차전지 기술 동향에 따라 우리나라 이차전지 기술의 고도화 전략, 중국 대비 가격경쟁력 확보 전략, 국가경 쟁력 제고를 위한 핵심 R&D 전략 등을 제시

③ 양자

- 최신 주요국(미국,캐나다,영국,독일,일본)의 양자 기술 육성 정책과 주요 싱크탱크(맥킨지, WEF·딜로이트, CSIS)의 양자 보고서 분석을 통해 글로벌 주요 동향 탐색 및 국가차원의 양자기술 육성 방안 모색

④ 차세대 통신(5G/6G)

- 차세대통신(5/6G)분야 국가전략기술로드맵 수립에 앞서 한정된 국가 자원(예산,인력,산·학·연 기술력 등)의 전략적 활용을 위해 관련 현황과 주요 현안 도출을 위한 산-학 전문가 자문을 통한 주요 현황 및 현안 도출

⑤ 사이버 보안

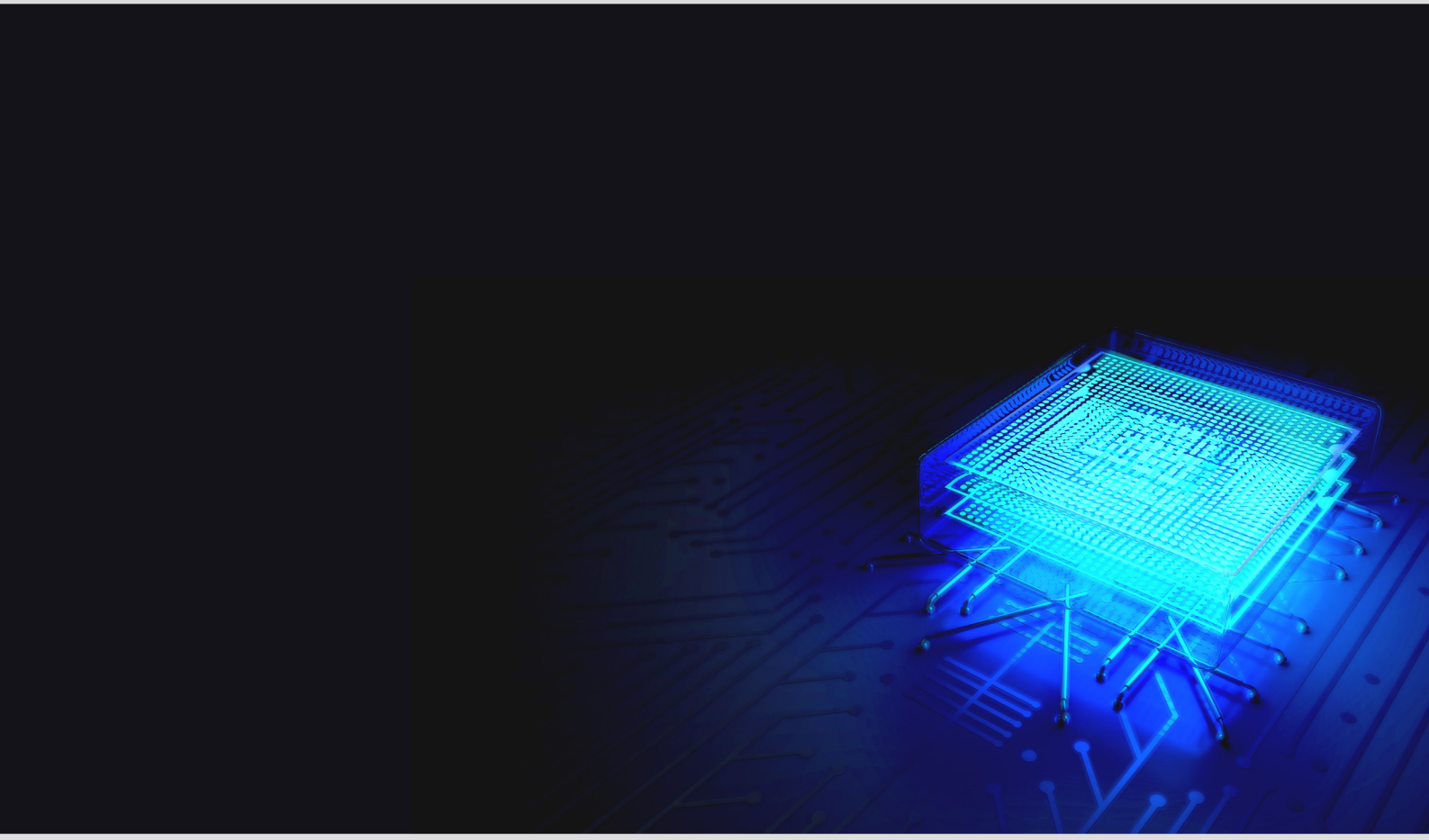
- 국내외 사이버보안 정책, 현황 보고서, 과학기술정보통신부 정책 분석을 통해 사이버보안 주요 기술, 국내 기술 및 산업역량, 글로벌 경쟁력 제고방안 등과 관련해 산학 보안 전문가 자문을 실시하여 주요 현황 및 현안 도출

- 분석 방법

- **(자료 분석)** 각 기술별 글로벌 싱크탱크 보고서, 주요 금융보고서, 최근 몇 년간 국내 정책 자료, 언론기사 등 자료 분석을 통한 글로벌 최신 동향 및 핵심 이슈 파악
- **(전문가 자문)** 산·학 전문가 및 KAIST 교수들을 대상으로 현황 및 현안을 파악하고 산업, 정책, 학계 등 각 분야별 핵심 이슈 파악

반도체

장세진 연구조교수



생성형 AI 급부상에 따른 AI반도체 개발 동향 및 시사점

(2023.06.27) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 생성형 AI 확산으로 수요가 급증하는 AI칩의 글로벌 기술 개발 동향 파악 및 전문가 의견 수렴을 통한 경쟁력 확보 방안 도출

주요 동향

● **(수요자 주도 및 맞춤형 AI칩 개발)** 점유율 90%이상을 차지하는 엔비디아에 대응하여 **자사 응용·활용분야에 최적화**된 AI칩 개발*

- (글로벌 빅테크) AI모델 복잡·고성능에 따른 자체 칩 기술개발
- (국내 스타트업) 머신러닝·생성AI모델·인프라 특화 제품 개발

* 칩 개발시 최대 약 1조원 이상의 투자 비용이 발생함에도 성능향상·실행 비용절감·경쟁우위확보를 위한 독자적 개발

	주요 현황	주요 의미
글로벌 빅테크	• 메타 콘텐츠·피드·생성형AI·광고순위 등 서비스용 'MTIA v1' • 구글 검색엔진용 'TPU', 애플 HW기기(아이폰·맥 등)용 'M1'	자사 제품·서비스 내재화 목적
국내 스타트업	• 퓨리오사AI·리벨리온·사피온 '머신러닝' 특화 제품 개발 • 하이퍼엑셀 '생성AI 솔루션' 특화, 망고부스트 '인프라' 특화	고객 맞춤 서비스 목적

● **(자사 칩 전용 SW 개발과 생태계 변화 모색)** 엔비디아 GPU 전용 SW 'CUDA' 중심 **수직계열화 생태계** 대응 위한 자구책 강구

- 국내외 소프트웨어 기업 중심 자체 SW 플랫폼·SDK* 개발 추진

* SDK(Software Development Kit): 소프트웨어 개발 도구

	주요 현황	주요 의미
글로벌 빅테크	• 인텔 통합 이종 프로그래밍 환경 'one API' • ARM 프로그래밍 컴퓨팅용 소프트웨어 스택 'ROCm' • 구글 오픈소스 ML 컴파일러 에코시스템 'OpenXLA'	SW 플랫폼 중심
국내 스타트업	• 사피온 자사 칩 전용 SDK 개발 추진 • 리벨리온 '리벨 SDK' 프로토타입 테스트 진행	SW 개발도구 중심

● **(글로벌 빅테크 주도 오픈소스 SW 활용증가 및 투자확대)** 기존 ARM의 'RISC'중심 IP 생태계 대안으로 개방형 표준 RISC-V 의 활용 및 확산에 인텔 등 빅테크와 중국기업 투자 확대

- **경제성·저전력** 등 비용 부담적고, **설계에 필수적인 CPU·IP제공**
- 국내외 기업 오픈소스 기반 고성능 프로젝트 개발·상용화 추진

	주요 현황
해외 기업	• 인텔-바로셀로나 슈퍼컴퓨터 센터 'RISC-V 프로세서 개발' 4억 유로 투자 • 알리바바·텐센트 'RISC-V 활용 설계' 비용 절감 계획
국내 기업	• 삼성전자 'RISC-V 기반 오픈소스 SW 개발' RISE 프로젝트 공동 참여 • 세미파이브 'RISC-V 기반 X280 CPU'개발, NASA 프로젝트 제공 확정

● **(AI칩 시스템 SW 기술 및 전문 인력 부족)** AI칩 **구동 환경생성**을 위한 **시스템 SW** 기술은 HW와 연계된 고도의 전문 기술로 기술 개발 난이도가 높고 전문 인력 확보가 어려움

- (시스템 SW) **HW-응용SW 인터페이스***, AI 알고리즘 구현시 중요, SW개발에만 최소 3~5배 시간 투자 요구, 개발 후 적응시간 필요
- (전문인력) **칩 구조 환경에 대한 이해도 필요**, 학계 내 기본 교과목 수강 후 SW tool kit 활용 스스로 학습·응용하는 구조

* 소프트웨어 레벨: 시스템(OS·Compiler) - 미들웨어(CUDA) - 응용(ChatGPT)

시사점

● **생성형 AI 급부상에 따라 급변하는 AI칩 생태계의 구축을 위해서 수요 연계 연구개발 및 신속한 시장 진입 전략 필요**

- 현재 정부의 AI 반도체 육성 정책과 사업 방향은 수요 연계 개발 및 생태계 구축 관점에서 현장 평가 긍정적
- 중장기 기초원천 R&D에 더하여 생성형 AI 산업의 급속한 변화에 따라 생태계에 신속하게 진입할 수 있는 연구개발(AI솔루션 개발 등) 지원 필요
- AI칩 생태계의 진입을 위한 SW 기술확보 및 인력양성은 HW 칩 개발과 유기적인 연계 육성 필요

붙임1 AI반도체 관련 기업별 접근 전략

구 분	대표기업		접근 전략
반도체 기업	인텔, 엔비디아, AMD 등		CPU, GPU, FPGA 중심 AI반도체 시장 확대 및 생태계 구축 집중
클라우드 기업	구글, AWS, IBM, 메타 등		자사 응용 부문에 특화된 독자적 AI반도체 제작 및 시장 진입 중
디바이스 기업	애플, 테슬라, 삼성전자 등		자사 디바이스 제품에 최적화된 AI반도체 제작 및 실제 적용 중
스타트업	해외	삼바노바, 세레브라스, 그래프코어, 하바나랩스 등	차세대 솔루션 바탕 대규모 투자 유치 및 주요 빅테크 대상 서비스 제공
	국내	❶퓨리오사AI, 리벨리온, 사피온, ❷하이퍼엑셀, ❸망고부스트 등	❶머신러닝(NPU), ❷생성모델(LPU), ❸인프라(DPU)에 특화된 제품으로 시장 진입 중

▶ 반도체 칩 개발 및 실행시 소요되는 비용

- (설계) 3nm 공정 활용 반도체 디자인 비용 최대 5억 9,000만 달러(약 7,200억 원)
- (웨이퍼) TSMC 기준, 3nm Wafer 개당 2만 달러(약 2,500만 원)
- (운영) OpenAI 'Chat GPT'제공시 대량의 GPU(28,936개), 시스템·전력소비 필요, 일 최대 70만 달러(약 9억 원)

→ **기술력 확보와 시장 점유**를 위해 **막대한 비용이 투자**되는 일종의 **'머니게임'**

▶ 치열한 기술 경쟁과 시장 변동에 따른 기회와 위기 공존

- 현재 AI칩 시장에서는 엔비디아 수준의 소프트웨어 역량과 범용화된 기술 선호, 대규모 투자를 지원받는 AI칩 스타트업들에게는 기회이자 위기(미래에셋증권, 2023)
- 메타 AI 모델 실행을 위한 자체 개발 칩(MTIA*, MSVP) 및 새로운 데이터 설계 계획 공개, 데이터 센터, AI 모델 학습에 최적화된 디자인으로 고성능 AI 네트워크 지원, 기존 시설 대비 빠른 속도와 비용 효율적 구축 예상(ZDnet 코리아, 2023.05.)

  * MTIA, 콘텐츠 이해·피드·생성형 A(텍스트, 이미지, 동영상)I·광고 순위 등 내부 워크로드에 맞춰 맞춤화
- 국내 기업의 경우, AI HW 제품개발 및 성능향상 등 기술역량에 집중(인공지능신문, 2023.04), 특정 AI 모델 가속에만 집중하는 것은 한정된 자원과 AI 변화에 취약 우려(매일경제, 2023.05)

▶ 신흥 스타트업, 대규모 투자 유치 및 지원 프로그램

- '22년 경기 침체에 따른 벤처캐피탈(VC)의 AI칩 스타트업 자금 조달 규모가 감소, 최근 ChatGPT 확산으로 반등하여 투자 유치 활발하게 재진행(미래에셋증권, 2023)
- ARM, 반도체 스타트업 지원을 위한 'Flexible Access for Startups' 프로그램* 출시('20.05)

  * 스타트업, ARM의 IP와 글로벌 지원 및 교육 자료 무상 접근 가능 → 신생 기업들의 상용 반도체 출시 및 비즈니스 규모 확장에 도움 예상(디지털데일리, 2020.05.)

출처: 한국지능정보사회진흥원(NIA)(2022), AI 반도체 생태계 분석. 미래에셋증권(2023), 생성 AI:제2의 기계 시대, 테마리포트.
디지털데일리(2020.05.07.), ARM, 반도체 스타트업 지원 본격화,,,설계 프로그램 제공
테크42(2023.01.10.), 도대체 AI 반도체가 뭐길래?,,,차별성·장점·경쟁 구도
AVING(2023.02.27.), 하이퍼엑셀, 2023 퓨처모빌리티 기술교류회서 생성형 AI 가속 플랫폼 서버 시스템 'HA-X1'소개한다..."관련 시장 발전 가속할 것!"
테크월드(2023.03.22.), 글로벌 AI 반도체 스타트업, 주도권 확보 '잰걸음'...차세대 시장 노린다.
머니투데이(2023.04.24.), 데이터센터 성능 3배로...'국대급' 반도체 인재에 130억 몰렸다
인공지능신문(2023.04.26.), 메타, GPU 같은 자체 AI 칩 개발 추진
매일경제(2023.05.15.), 안정호 서울대 교수 "AI 판은 계속 뒤집혀, 과신은 금물"
ZDnet 코리아(2023.05.19.), 메타, 자체설계 AI 반도체 공개
조선비즈(2023.05.22.), 반도체 설계도 AI도움받는다..."사람보다 생산성 10배"
SiliconExpert(2022.12.05.) TSMC's New 3nm Chip Wafers Priced at $20,000
Semianalysis(2023.02.12..) Peeling the onion's layers – larger language models search architecture and cost

붙임2 주요 기업별 AI반도체 제품 현황

구분		기업	Processor				서비스 플랫폼
			GPU	FPGA	ASIC	Neuromorphic	
반도체 업체		인텔	Arc, Iris Xe MAX, Ponte vecchio	Agilex, Straix, Arria, MAX, Cyclone	Habana, eASIC N5X, eASIC N3X, eASIC N3XS, easicopy	Loihi2	데이터센터 엣지
		에이엠디 (자일링스 인수)	Instinct MI200, MI250, MI300, Versal AI Core	VIRTEX, SPARTAN KINTEX, ARTIX	HES-7-UltraScale	-	데이터센터
		에이알엠	Radeon, Mali GPU	-	-	-	데이터센터
		엔비디아	A100, H100	-	Xavier	-	데이터센터
		퀄컴	-	-	Sanpdragon	Zeroth	엣지
		삼성전자	-	-	Exynos	-	엣지
클라우드 업체		구글	-	-	TPU	-	데이터센터
		아마존	-	-	Inferentia, Trantium	-	데이터센터
		마이크로소프트	-	Catapult	HPU	-	데이터센터
		메타			MVSP, MTIA	-	데이터센터
		아이비엠	-	-	Power 10, IBM z16, AIU	TruNorth	데이터센터
디바이스 업체		애플	-	-	A15 bionic, A14, A12, M2	-	엣지
		테슬라	-	-	D1, FSD	-	엣지
스타트업	해외	세레브레스	-	-	WSE-2	-	데이터센터, 엣지
		그로크	-	-	GroqChip Processor v1.0, TSP	-	데이터센터
		그래프코어	-	-	IPU	-	데이터센터
		삼바노바시스템	-	-	CARDINAL SN10, DPU	-	데이터센터엣지
		미틱	-	-	M1076 Analog Matrix Processor	-	데이터센터
		엣지큐	-	-	EdgeQ 5G SoC	-	엣지
		크네론	-	-	KL530 AI SoC	-	엣지
	국내	퓨리오사 AI	-	WarBoy	-	-	데이터센터
		리벨리온	-	-	ION	-	데이터센터
		사피온	-	-	X220	-	데이터센터
		딥엑스		DX-L1, DX-L2, DX-M1, DX-H11			엣지
		수퍼게이트					엣지
		아나플래시					엣지
		뉴로센스					엣지
		모빌린트					엣지
		오픈엣지테크놀로지					엣지

출처: KOTRA(2022), 미래 新산업 핵심동력, 미국의 인공지능 반도체 시장 동향. 카카오엔터프라이즈(2023), AI 반도체 시장에서 클라우드 기업의 역할, 테크트랜드. 권요안(2022), 지능형 반도체 산업 동향 및 시사점, TTA Journal(204), 86-93. 이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호. ETRI(2020), AI 반도체 시장 동향 및 우리나라 경쟁력 분석. ZDnet 코리아(23.05.19), 메타, 자체설계 AI 반도체 공개

붙임3 오픈소스 RISC-V 기반 프로젝트·제품화 사례

기업명		주요 사례
해외	인텔	• 인텔-바로셀로나 슈퍼컴퓨터 센터 'RISC-V 프로세서 개발' 4억 유로 투자('22.06)
	애플	• 임베디드 코어 일부 AR에서 RISC-V 활용 추진('22.09)
	테슬라	• 데이터센터용 AI Chip D1 내 데이터 흐름제어 위한 RISC-V 혼용
	에스페란토 테크놀로지	• RISC-V 기반 데이터센터 추론·연산 용도의 저전력 AI Chip ET-SoC-1 및 데이터센터 활용 사례 발표('21.08), 삼성SDS 해당 칩 테스트 진행('22.04)
	토스토렌토	• RISC-V 기반 고성능 CPU Grandel 개발 목표('21)
	오픈파이브	• RISC-V 기반 칩 TSMC 5nm 공정 시험 생산('22.04)
	씨게이트, 웨스턴디지털	• SSD 또는 HDD 제어용 컨트롤러 칩 개발에 RISC-V 채택
	알리바바, 텐센트	• 'RISC-V 활용 설계' 비용 절감 계획
국내	삼성전자	• '리스크파이브(RISC-V) 서밋'에서 RISC-V 활용 반도체 생산 계획 공개('19.12) • RISC-V 기반 5G 통신 모뎀과 이미지센터 등 상용화 공식화 • RISC-V 기반 오픈소스 SW 개발 프로젝트 'RISE' 참여('23.06) ※ RISE 프로젝트: 지속가능 오픈소스 SW 생태계 구축 목적 (구글, 인텔, 엔비디아, 퀄컴, 레드햇, 미디어텍, 안데스, 이매지네이션, 리보스, 사이파이브, 벤타나, 티헤드 등 13개 회사 참여)
	사이파이브	• 차세대 오토모티브 시장을 위한 RISC-V 기반 CPU 제품군 공개('22.下) • RISC-V 기반 X280 IP 기반 적극적 시장 확대('23.01) - NASA가 추진하는 고성능 우주비행 컴퓨팅 프로젝트에 X280 CPU 제공확정
	LG전자	• 신경망처리장치(NPU) 개발에 RISC-V 활용 중
	세미파이브	• RISC-V 기반 플랫폼 구축하여 고객사 요청에 맞는 SoC 제공 중
	넥스트칩	• RISC-V 접목 인공지능 프로세서 국책 과제 개발에 참여

▶ 개방형 표준 RISC-V

- 기본 ISA 47개(CISC 1500개, RISC 200개 대비 간소화), 활용목적별 표준IP 제공
- 오픈소스 특성상 특정 기업의 소유권을 갖지 않아 설계, 검증, 문제 발생시 개발자 스스로 직접 해결

→ 지속가능 RISC-V 기반 오픈소스 SW 생태계 구축을 위한 성능·보안·신뢰성 확보 중요

출처: KISTEP(2023), 인공지능 반도체
S&T GPS(2022), 오픈소스 기반 'RISC-V', 반도체 업계의 새로운 선택지로 주목
ZDnet 코리아(22.11.02), 오픈소스 RISC-V, ARM 대안될까
한스경제(23.03.02), 韓 반도체, 제조 넘어 '설계'로...'RISC-V' 대세 편승
THEELEC(23.01.24), 올해 'RISC-V' CPU 상용화 활발...아키텍처 시장 지각변동 예고
삼성전자 뉴스룸(23.06.01), 삼성전자, 'RISC-V' 기반 오픈소스 SW 개발 프로젝트 참여

붙임4 AI반도체 관련 민관 추진현황 비교

분류	정부(정책)	민간(기술·산업 동향)	AI 반도체 기술 키워드
하드웨어 (HW)	① **저전력, 고정확도, 고성능 병렬 NPU 개발**('23~'27) ② **차세대 DRAM 및 NVM 메모리 기반 뉴로모픽 반도체 개발**('23~'29)	① **연산성능** 향상에 따른 **AI칩 변화** (1세대)CPU, GPU→(2세대)FPGA, ASIC→(3세대)뉴로모픽	AI 알고리즘에 최적화된 전용칩 → **처리속도, 전력소모**
		② HBM 집적 등 메모리 기반 연산 성능 향상에 따른 **칩렛(Chiplet) 기반 AI칩 제조 기술 고도화** (사례) ①NVDIA H100(GPU, HBM), ②AMD MI300(CPU, GPU, HBM), ③INTEL(Rialto Bridge(GPU, HBM), ④삼성전자(HBM-PIM), ⑤SK하이닉스(GEER6-AiM)	고대역폭 메모리 (HBM)
소프트웨어 (SW)	③ **AI반도체용 SW 개발**(예타추진)	③ 반도체 설계 관련 **SW 플랫폼** 구축 (사례) ①NVDIA CUDA, ②INTEL one API, ③ARM ROCm, ④Google XLA	컴파일러, 소프트웨어 개발 키트(SDK) → **호환성**
		④ 소프트웨어 개발 키트(**SDK**) (사례) ①그래프코어 Poplar SDK: 워크플로우의 컴파일 및 실행 최적화 자동화 ②사피온: 자체 SDK 기술 개발 및 공개 예정 ③리벨리온: AI모델과 AI반도체 연결하는 소프트웨어 '리벨SDK'프로토타입 개발 및 출시 예정 ※ 주요 구성 요소: 프레임워크, 컴파일러, 런타임 지원, 라이브러리	
		⑤ 개방형 **RISC-V** 프로세서 개발 및 적용 (사례) ①Tesla D1 chip, ②Apple ARM 프로세서에 RISC-V 일부 도입, ③삼성SDS Esperanto Technology의 'ET-SoC-1' 테스트 진행	명령어 집합 구조(ISA) → **개방성**
		⑥ 맞춤형 **SW tool** 개발 및 보급 (사례) NVDIA의 ①DriveWorks(자율주행차용), ②CuLitho(리소그래피 속도향상용)	-
		⑦ 기업 간 협력 (사례) ①NVIDIA(소프트웨어)-TSMC(파운드리), Synopsys(전자 설계 자동화) 협력: 쿠리소 SW 보급 확대, ②NVIDIA-MediaTek 협력: 차량용 반도체 개발, ③삼성전자-네이버: AI 가속기 측면 협업, ④삼성전자-현대차: 차량용 반도체 협력 ⑤퓨리오사AI(팹리스)-세미파이브(디자인하우스)-삼성전자(파운드리): 설계/SoC플랫폼/양산 측면 ※ 韓 세미파이브(SEMIFIVE) RISC-V 기반 AI SoC 설계 가능한 IP 플랫폼 구축(64비트 고성능 CPU, PCIe Gen4 x 8 lanes, LPDDR4x32 4ch 인터페이스 포함)	-

출처: 관계부처 합동, 「국산 AI 반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안」(2022). 미래에셋증권(2023), 생성 AI:제2의 기계 시대, 테마리포트.
KISTEP(2023), 인공지능 반도체. 한국지능정보사회즌흥원(2022), AI 반도체 생태계 분석, Digital Insight.
Moor Insights & Strategy(2020), The Graphocore Software Stack: Built to Scale.
McKinsey(2018), Artificial-intelligence Hardware: new opportunities for semiconductor companies.
인공지능신문(2023.03.23.), 엔비디아 GPU 리소그래피 기술 공개...2나노 이하 기술 토대 공유
한경IT·과학(2023.03.23.), AI·양자 소프트웨어, 우리 것 쓰세요"...치열해진 반도체 업계 SDK 마케팅
KIPOST(23.04.05), 세미파이브, 퓨리오사AI의 서버용 NPU 양산
아주경제(2023.04.06.), "K-AI 반도체 쾌거" 리벨리온 '아톰' 엔비디아·퀄컴보다 최대 2배 빨라...언어모델 대전 열린다
아시아경제(2023.05.22), 엔비디아와 손 잡는 미디어텍, 전운 감도는 모바일 SoC 시장
한겨례(2023.06.08), 삼성전자-현대차 손잡았다, 차량용 반도체 공급 첫 협력

붙임5 반도체 분야 산학 전문가 자문 내용

전문가 자문

- **(전문가 구성)** 전자·전기공학 분야 KAIST 교수 4인, 엔비디아 관계자 등 반도체 분야 기업인 1인을 대상으로 보고서 자문 및 검토 진행

	주요 질문	전문가 의견
1	**시장·산업 현황** AI칩 시장 및 산업의 주요현황	▪ 칩 제조시 막대한 투자 비용 요구 ▪ 관련 기업별 시장 접근전략 차이 존재 • Top-down / Bottom-up 접근 방식 ▪ 엔비디아에 대한 양면성(지지/반대) 존재
2	**기술 현황** 시장 내 독점 엔비디아 대응 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황	▪ AI알고리즘 실행 위한 미들웨어 개발 필요 ▪ CUDA 대응 SW스택 부재 ▪ 국내 시스템SW역량 부족 • 컴파일러 등 교육기관 부재, 학문적 적용에 한계
3	**추가 제안사항** 국내 AI칩 성장을 위한 추가 제안	▪ AI칩 기술개발을 위한 지엽적 접근 필요 • 핵심 기술 정의, 단계별 접근(세부과제분류·하이퍼스케일슈퍼컴퓨팅 개발), 목표 설정(랙단 파워) ▪ 생성AI생태계 조성을 위한 개발 플랫폼 필요 • 개방형, 데이터실증·개발 플랫폼 ▪ 정책 내 SW 양성 사업은 응용단 SW, 실제 현장 적용 가능한 시스템SW 기술개발·사용가능한 전문 인력 필요

전문가 자문 회의록 (1)

〈엔비디아 관계자〉

1. 초거대 AI 확산과 함께 AI칩 수요증가에 따른 시장 현황(흐름 또는 특이·변동사항)과 산업현황(제공자료)에 대한 견해 부탁드립니다.

- 현재 500억 개 이상의 트랜지스터를 포함한 칩이 나오고 있는 상황, 반도체 산업은 첨단 기술의 향연이나 결국은 머니게임
- 막대한 칩 제조 비용으로 산업 내 스타트업은 한계에 봉착
  - 10억 개 칩 생산시, 반도체 RTL(Register Transfer Level)설계 인력으로 HW 500명/year, SW 1500명/year 총 2,000명 필요
  - 2년 프로젝트 가정시, 설계툴 활용 Netlist(설계스펙)은 2주 만에 설계 가능하나 이후 테스트하는 시간이 많이 소요
  - 50억 개 트랜지스터를 8nm로 제조한다고 가정시, 인건비 제외 마스크 비용 $ 10M을 포함한 총 제조비용은 $ 40M (3nm가정 마스크 $ 25M, 총 $ 100M 수준)

2. AI칩 시장에서 엔비디아가 전용 AI프로그래밍 SW ‘CUDA’를 중심으로 수직계열 생태계를 구축하고 있는데, 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황에 대해 의견 부탁드립니다.

- AlexNet(2013)이 처음으로 AI를 사용하기 시작, 이후 AI알고리즘 실행하기 위해 AI칩 개발 중
- MLpef벤치마크 테스트 내 가속기는 빅테크 기업(엔비디아, 퀄컴)대부분, 국내 스타트업인 리벨리온(ATOM)은 아직 개발(RDI)단계
- 미들웨어 개발도 필요하나, 칩 자체 개발시 많이 비용 투자 요구

3. 치열한 경쟁시장에서 국내 AI칩이 성장하기 위해서 어떤 대안을 마련하면 좋을지 추가 제안 또는 의견 부탁드립니다.

- AI칩 기술개발을 위해 지엽적 접근 필요
  - 핵심 기술에 대한 정의 우선 필요
  - 세부 과제 분류 및 하이퍼스케일 슈퍼컴퓨팅 개발과 같이 단계별 접근 필요
  - 랙(Rack)단 파워를 높이기 위한 목표 설정도 필요
- 포커스(Focus)를 명확하게 판단하여 전진 필요(메타 MTIA v1 사례)
- 스타트업지원 위한 해외사례 벤치마킹 필요(ARM스타트업프로그램)
- 글로벌 기업과 협업 방안 모색 필요(미디어텍-엔비디아 사례)

전문가 자문 회의록 (2)

〈KAIST 전기및전자공학과 교수, AI반도체 창업〉

1. 초거대 AI 확산과 함께 AI칩 수요증가에 따른 시장 현황(흐름 또는 특이·변동사항)과 산업현황(제공자료)에 대한 견해 부탁드립니다.

- 국내 AI칩 관련 스타트업의 기업별 시장 접근전략 차이 존재
  - 3사(퓨리오사·리벨리온·사피온) 등 기존 기업은 머신러닝 특화 bottom-up 방식
  - 하이퍼엑셀은 생성모델 특화 small top-down 방식, 망고부스트는 인프라 특화
- AI칩 시장의 현재 상황을 재점검 필요
  - 2015년부터 스타트업(Sambanova, Groq, Cerebres, Graphcore 등) 출범하였으나, Graphcore를 기점(성능의 부정적 의견)으로 현재 하향 중

2. AI칩 시장에서 엔비디아가 전용 AI프로그래밍 SW ‘CUDA’를 중심으로 수직계열 생태계를 구축하고 있는데, 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황에 대해 의견 부탁드립니다.

- SW 엔지니어는 엔비디아 CUDA 선호, HW 기업에서 SW 개발하고 있으나, CUDA에 견줄 SW 스택 부재
- 우리나라는 시스템 SW 역량 부족
  - 개발 후 적응까지 많은 시간 투자 필요
  - 컴파일러 등은 SW 툴과 같아 학문적 적용에 한계
  - 컴파일러 교육가능 기관 부재
  - 산업에서는 전문 SW 인력 필요
- 칩 구조를 이해하는 HW 엔지니어가 컴파일러를 잘 알 수 있는 구조

3. 치열한 경쟁시장에서 국내 AI칩이 성장하기 위해서 어떤 대안을 마련하면 좋을지 추가 제안 또는 의견 부탁드립니다.

- 생성 AI 생태계 조성을 위한 개발 플랫폼 필요
  - 데이터 실증·개발 위한 개방형 AI칩 개발플랫폼(ex.광주AI데이터센터)필요
  - 플랫폼의 주 고객은 연구자, 중견·중소기업으로 예상

전문가 자문 회의록 (3)

〈KAIST 전기및전자공학과/AI반도체대학원 교수〉

1. 초거대 AI 확산과 함께 AI칩 수요증가에 따른 시장 현황(흐름 또는 특이·변동사항)과 산업현황(제공자료)에 대한 견해 부탁드립니다.

- 최근 일각에서 한정된 자원에서 특정AI 가속에 집중하고 있는 것은 아닌지, AI변화에 취약할 수 밖에 없다는 문제 지적에 대한 견해 존재
  - 현재 우리가 할 수 있는 것에 최선을 다하는 것이고, 스타트업(리벨리온)이 빅테크(엔비디아)와 같이 성장하기 어려우므로 경험을 쌓아가는 중
  - 애플의 경우, 사용자 경험 데이터를 바탕으로 디자인하고 지속적으로 개발하는 것과 같이, AI 변화에 주도하고 기민하게 대처하는 것이 중요

2. AI칩 시장에서 엔비디아가 전용 AI프로그래밍 SW ‘CUDA’를 중심으로 수직계열 생태계를 구축하고 있는데, 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황에 대해 의견 부탁드립니다.

- AI칩에 있어 SW 기술은 중요하고 확보해야하나, 엔비디아 CUDA 대응 범용성의 SW가 아닌 특정 다른 영역에서 선점하는 것중요
  - 기존 SW 기술을 따라가는 것은 특정기업을 오히려 도와주는 격(범용은 비효율)
  - AI시장은 분절화되어 있기에 타겟을 정확하게 하고, 이에 맞는 SW 기술개발을 통해 선점하는 것이 중요

3. 치열한 경쟁시장에서 국내 AI칩이 성장하기 위해서 어떤 대안을 마련하면 좋을지 추가 제안 또는 의견 부탁드립니다.

- 정부 주도의 특정 SW 개발은 산업내 제약이 따를 수 있으므로, 기업에서 필요로하는 기술을 가진 인력 양성 중요
  - 생태계 조성이 우선 필요하고, HW와 SW가 서로 소통하고 융합할 수 있는 인력 양성을 통해 생태계에 기여할 수 있도록 하는 것이 중요

전문가 자문 회의록 (4)

〈KAIST 전기및전자공학과/반도체시스템공학과 교수〉

1. 초거대 AI 확산과 함께 AI칩 수요증가에 따른 시장 현황(흐름 또는 특이·변동사항)과 산업현황(제공자료)에 대한 견해 부탁드립니다.

- 시장 내 엔비디아에 대한 양면성(지지 또는 반대) 존재
  - 엔비디아 SW의 호환성·편의성으로 지지하는 측면과 이에 대응하여 새로운 SW 기술 개발을 해야한다는 반대하는 측면 존재
- ISSCC학회 내 중국의 연구논문 편수는 압도적, AI의 경우 우위
  - 미국 연구논문 내 대다수의 주저자는 중국인

2. AI칩 시장에서 엔비디아가 전용 AI프로그래밍 SW ‘CUDA’를 중심으로 수직계열 생태계를 구축하고 있는데, 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황에 대해 의견 부탁드립니다.

- 현재 AI칩 SW 기술은 엔비디아가 주도권 선점
- 시장 내 엔비디아의 양면성 관점에서 기술 및 시장 동향 파악 필요
  - SW 기술개발 및 대응 방안 마련을 위한 기민한 대처 필요

3. 치열한 경쟁시장에서 국내 AI칩이 성장하기 위해서 어떤 대안을 마련하면 좋을지 추가 제안 또는 의견 부탁드립니다.

- 정부정책 내 SW 양성사업은 응용 SW(Python, CUDA 등)개발단계
- 실제 현장에서는 컴퓨터 구조에 대한 이해가 높은 SW 인력 필요
- 민간 수요를 반영한 시스템 SW(OS, 컴파일러, 어셈블러 등) 기술개발·사용가능한 전문 인력 필요

전문가 자문 회의록 (5)

〈KAIST 전기및전자공학과/반도체시스템공학과 교수〉

1. 초거대 AI 확산과 함께 AI칩 수요증가에 따른 시장 현황(흐름 또는 특이·변동사항)과 산업현황(제공자료)에 대한 견해 부탁드립니다.

- AI칩 관련 민간기업(퓨리오사AI)에서 SW 엔지니어 인력 요청
  - 현재 학내 대학원생의 경우, 전자·전산·컴퓨터구조 관련 기본 교과 수강 후 스스로 학습·응용하는 단계

2. AI칩 시장에서 엔비디아가 전용 AI프로그래밍 SW ‘CUDA’를 중심으로 수직계열 생태계를 구축하고 있는데, 향후 AI SW 시장 전망 또는 현황에 대해 의견 부탁드립니다.

- AI칩 성장 관련 전문 SW 인력 양성 필요
  - SW 프로세스는 기계어(AI, 전력반도체)-컴파일러(미들웨어)-응용SW(Python 등)
  - 특정 프로그래밍 언어로 쓰여있는 문서(소스코드)를 컴퓨터 언어(기계어)로 변역해주는 도구인 컴파일러 개발·사용가능한 전문 인력 양성 필요

3. 치열한 경쟁시장에서 국내 AI칩이 성장하기 위해서 어떤 대안을 마련하면 좋을지 추가 제안 또는 의견 부탁드립니다.

- 국내 SW 양성사업은 응용 SW(Python, Tensorflow 등) 개발 단계
- 실제 현장 적용가능한 컴퓨터 구조에 대한 시스템 SW기술개발 필요
- 민간 수요에 대응한 시스템 SW 전문 인력 양성 필요
  - 기업이 필요로하는 SW 엔지니어의 역량 파악을 통해 수요에 유연하게 반영한 전문 인력을 양성하는 것이 중요

이슈브리프 및 별첨

미국의 반도체 추가 수출 규제 전망 보고

(2023.07.24 KAIST 국가미래전략기술 정책연구소)

◆ 美정부의 對中 첨단기술 규제에 대한 'small yard high fence' 기조가 향후 반도체 추가 수출규제에 어떻게 반영될지에 대해 언론기사 및 전문가 분석을 기반으로 전망함

최근 주요 동향

● **(對中 규제와 관련한 美 정부 메시지)** 美정부는 對中 첨단기술 규제에 대한 대외 메시지로 'small yard, high fence' 전략 지속 발신

- 제이크 설리번은 지난 4월 브루킹스 연설에서 '군사적으로 위협하려는 소수 국가에 맞춰 표적 기술(핀셋 규제)의 지속 통제'언급

- 옐런 재무장관 방중시 "미국은 국가 안보를 위해 표적 조치를 취할것"이라고 언급하며 반도체, 인공지능, 양자컴퓨팅 등 전략기술에 대한 수출 통제 옹호 발언 ('23.07.10)

● **(중국의 AI 기술의 군사적 목적 활용에 대한 美측 우려 지속)** 美정부는 중국이 AI를 활용한 군사력 향상에 대한 위협을 분석하고 반도체 규제를 시작으로 대내외 대중 첨단기술 규제 동맹 형성

- 美 워싱턴 연방하원 주재'전장에서의 AI 기술'청문회에서 중국의 AI 무기화에 대한 우려 속에 안보 전략 수립을 위한 미국의 AI 기술우위 유지 논의 ('23.07.18)

- 유엔 안보리는 AI에 대한 첫 논의로 AI의 위험과 대응책, AI 규제를 위한 협의체 신설을 논의 ('23.07.18)

- 미국은 상원 대상 중국의 AI기반 첨단안보기술 관련 기밀 브리핑 진행('23.07.11)

▶ **미국은 전장에서 AI기술이 사용되고 있음을 유추하여 對中 슈퍼컴퓨터 및 AI산업 제제를 위한 첨단 반도체 수출을 규제('22.10)**

※ 美핵무기연구소인 로렌스 리버모어 국립연구소(LLNL)는 핵무기 개발 위해 무기 인증·평가분석·연산처리용 슈퍼컴퓨터 도입을 위한 기반 시설 마련('22.07)

향후 전망

- **(AI 기술의 군사적 목적 활용 제한을 표적화하는 추가 규제 예상)** AI 기반 국방 기술 개발의 필수 플랫폼인 초고속 컴퓨팅 시스템과 관련한 하드웨어 및 소프트웨어 기술 간의 연계를 통해 군사적 목적으로 활용을 감지 및 제한하는 목적의 규제 수립 예상

  - 초고속 컴퓨팅 기술 생태계의 핵심 기업인 퀄컴, 인텔, 엔비디아 최고경영자와 행정부 최고위 관료들(상무부장관, 국가안보보좌관, 국무부장관)의 백악관 회동 및 비공개 면담 진행('23.07.17)

    ※ 미국 기업들의 "지나치게 광범위하고 반복적 규제"에 대한 우려 제기와 미 정부의 'small yard high fence'로 발신되어온 대중 규제 방향성 고려 시 면담 기업들을 중심으로 첨단기술 관련 제품의 중국 수출 시 상업적 용도 외 군사적 목적으로 활용 저지에 대한 기술적 조치 강구를 요구했을 가능성 존재

  - 엔비디아측 전문가에 따르면 초고속 컴퓨팅 시스템의 기술 생태계에 속한 기업간 연계·협력을 통해 해당 제품군의 군사 용도 활용 방지를 위한 기술적 조치가 가능

    ※ 모바일 기기용 반도체의 경우 기기 성능을 저하하는 앱 실행의 감지 및 제한을 목적으로 하드웨어와 소프트웨어 간 정보 제어 및 통제 기술을 기 확보 중.

    ※ AI 기반 국방 기술 개발 시 반도체 및 AI 관련한 HW-SW 기술 외에도 초고속 컴퓨팅을 필요로하는 국방 시스템 설계 및 해석용 SW 기술 (CATIA, ANSYS 등)에 대해서도 군사적 목적의 활용을 감지 및 제한하는 기술적 조치 가능

제언

- **(AI 기술의 군사적 활용 기술 파악 및 경쟁력 확보 방안 수립)** AI 기술의 군사적 목적 활용과 관련한 초고속 컴퓨팅 분야의 기술 생태계 분석 및 국내외 인적 자원 및 역량 파악을 통해 레버리지를 확보할 수 있는 기술 분야에 대한 경쟁력 확보 전략 수립 필요.

※ 다만 AI 기술의 군사적 목적 활용과 관련한 SW 생태계에 한국 기업 및 인력이 거의 전무한 상태로 관련 정보 수집에 있어 애로가 예상되나, 중장기적인 관점으로 정보를 수집하고 우리 실정에 맞는 전략 수립을 시도할 필요.

붙임1 美반도체 기업과 행정부의 반도체 추가 수출 규제 논의

주요 기업경영진과 행정부 최고위급 관료의 비공개 회동

Bloomberg

Chip CEOs to Meet Brainard, Sullivan Over China Restrictions

Jenny Leonard and Ian King

Tue, July 18, 2023 at 4:28 AM GMT+9 · 3 min read

In this article:

Lael Brainard
American economist

(Bloomberg) -- National Economic Council Director Lael Brainard and National Security Adviser Jake Sullivan are joining a White House meeting Monday with the chief executive officers of America's largest semiconductor makers to hear their concerns over new restrictions that threaten sales to China.

출처: 블룸버그기사('23.07.18)
https://news.yahoo.com/chip-ceos-meet-brainard-sullivan-192839501.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAMOAolTQTq2Dk5aTCA6Eae_B0oXsX1ONDS00XaWWI5mFvRaUMND7lgT4U-vJvvYdQ55EXE7fNaSEo8PLhWCaUagTgcEQv7pwb-_SKvNrHc41OWNeUQj2aqu0WRyouPOJv5eOGzkTdWNSwEBClao8su7s9yzZFNf3uTwU5oNl_qN3

붙임2 美정부의 국가 안보 위한 맞춤형 규제 의지

미 반도체 업계의 요구에 대해 안보 위한 표적 조치 지속 의지

The JoongAng

2023년 7월 19일 수요일 B02면 경제

미 반도체 업계 "중국 수출 그만 좀 죄라" 바이든에 반기

저사양 AI 반도체도 통제 추진에
반도체산업협회 "규제 자제" 성명
"지나치게 광범위한 빈복적 조치
미 반도체 경쟁력 약화시킬 우려"

인텔과 퀄컴, 엔비디아, IBM 등 미국의 글로벌 반도체 기업들이 조 바이든 미국 대통령이 벌이고 있는 대(對)중국 반도체 수출 통제 조치에 반기를 들었다. 이들이 회원으로 있는 미국 반도체산업협회(SIA)가 17일(현지시간) 미국 정부의 대중 반도체 추가 규제를 자제해달라는 공식 성명을 내면서다. 바이든 행정부가 준비 중인 대중 반도체 수출통제 추가 조치가 미국 업체에 줄 타격도 큰 데다, 반발한 중국이 추가 보복에 나설 수 있다는 우려 때문이다.

SIA는 이날 홈페이지를 통해 "미국 정치권(워싱턴) 지도자들은 지난해 강력한 경제와 국가 안보를 위해 강력한 미국 반도체 산업이 필요하다는 점을 인식하고 반도체과학법을 제정했다"며 "이 법의 긍정적인 영향을 훼손하지 않으려면 (미국 반도체) 업계가 세계 최대 반도체 시장인 중국에 지속적으로 접근할 수 있도록 허용하는 것이 중요하다"고 강조했다.

그러면서 "지나치게 광범위하고 모호하며 때로는 일방적인 (수출) 제한을 벌이기 위한 반복적 조치들은 미국 반도체 산업의 경쟁력을 약화하고 공급망을 교란할 우려가 있다"고 덧붙였다.

SIA는 바이든 행정부가 업계와 함께 수출 통제 조치의 영향을 충분히 파악하기 전까지는 추가 제재는 자제해야 한다고 촉구했다. 구체적으로 미 행정부의 (수출) 제한 조치가 ▶좁고 명확하게 규정됐는지 ▶일관되게 적용되고 있는지 ▶동맹국과 완전한 조율을 거쳤는지 등에 대해 업계 및 전문가와 광범위하게 협의, 평가하기 전까지 추가 통제 조처를 하지 않아야 한다고 주장했다.

PRESS RELEASE: 07/17/23

SIA Statement on Potential Additional Government Restrictions on Semiconductors

WASHINGTON—July 17, 2023—The Semiconductor Industry Association (SIA) today released the following statement regarding potential additional government restrictions on semiconductors. "Recognizing that strong economic and national security require a strong U.S. semiconductor 2

1 조 바이든 미국 대통령이 2021년 4월 백악관에서 열린 반도체 회의에서 웨이퍼를 들어 보이고 있다. 2 미국 반도체산업협회(SIA)는 17일 홈페이지에 올린 성명을 통해 대(對)중국 반도체 수출 통제 추가 조치를 자제해줄 것을 요청했다. [AP=연합뉴스, SIA 홈페이지 캡처]

SIA가 성명까지 내면서 정부에 자제를 요청한 건 미국 상무부가 대중 반도체 수출에 대한 추가 조치를 조만간 내놓을 것으로 보이기 때문이다. 미국 상무부는 지난해 10월 18㎚(나노미터·10억분의 1m) 이하 D램, 128단 이상 낸드플래시, 핀펫(FinFET) 기술 등을 사용한 14㎚ 이하의 비메모리 반도체를 생산할 수 있는 장비·기술을 미국 기업이 중국에 판매할 경우 사전 허가를 받도록 했다. 상무부는 이에 더해 저사양 인공지능(AI) 반도체도 중국으로 수출할 경우 사전 허가를 받도록 하는 추가 조치를 준비 중이다. 아울러 클라우드 컴퓨팅에 대한 중국 업체의 접근을 제한하는 조치도 논의 중인 것으로 전해졌다.

미 반도체 업계는 추가 제재가 시행될 경우 시장 상황이 한층 악화할 거라 보고 있다. 미 반도체 업체들로선 지난해 전 세계 수요의 3분의 1인 1800억 달러(약 227조원) 어치의 반도체를 사들인 중국 시장을 포기하기가 쉽지 않다. 여기에 중국이 지난 5월 미 반도체 기업 마이크론을 제재하고, 다음 달부터 반도체용 희귀금속인 갈륨과 게르마늄에 대한 수출 제한에 들어가는 등 미국의 수출통제에 대한 보복에 착수한 점도 미국 업체의 우려를 키웠다.

인텔과 퀄컴, 엔비디아 등 미국 반도체 업체 최고경영자(CEO)들이 이날 제이크 설리번 백악관 국가안보보좌관, 토니 블링컨 국무부 장관, 지나 러먼도 상무부 장관 등을 만난 것도 이런 업계의 입장을 설명하기 위해서다.

하지만 미국 정부는 뜻을 굽히지 않겠다는 의사를 내비쳤다. 로이터통신에 따르면 백악관 국가안전보장회의(NSC)는 SIA의 성명에 대해 "우리의 (제재) 조치는 국가 안보에 영향을 미치는 기술에 초점을 맞추도록 신중하게 조정됐고, 미국과 동맹국 기술이 우리의 국가 안보를 약화하는 데 사용되지 않도록 설계됐다"고 주장했다.

이승호 기자 wonderman@joongang.co.kr

출처: 중앙일보('23.07.19)

붙임3 美정부의 국가 안보 위한 맞춤형 규제 지속

안보 위한 표적 조치로서의 첨단 기술 대중 수출 통제 옹호

東亞日報 2023년 7월 10일 월요일 A10면 종합

옐런, 中과 '윈윈' 강조했지만… "안보 위한 맞춤형 규제는 계속"

옐런 "양국경제, 상생하는 관계 가능"
'디리스킹' 대신 '공급망 다변화' 표현
수출규제 등 핵심 현안 이견 못좁혀
고위급 경제대화 재개 합의는 성과

재닛 옐런 미국 재무장관의 방중(訪中)으로 미중이 정례적인 고위급 경제대화 재개에 합의하면서 무역, 기술, 산업 등 경제 전반으로 격화되던 갈등은 일단 숨고르기에 들어갈 것으로 보인다. 다만 미국의 반도체 수출 규제와 중국의 희귀 금속 수출 통제 같은 핵심 현안에는 평행선을 그렸다. 일단 고위급 소통으로 미중 관계 안정화의 발판은 마련했지만 양국 간 패권 경쟁의 방향에 근본적인 변화를 기대하기는 어려울 것이라는 관측이 많다.

● 수출 규제-경제 보복에는 '중대 이견'

미국과 중국은 옐런 장관 방중에 대해 "깊이 있고 의미 있는 대화를 나눴다"고 상호 평가했다. 그럼에도 어느 현안 하나 뚜렷한 결론을 내지 못했다는 점에서 한계를 드러냈다. 옐런 장관이 9일 방중 일정을 마치며 기자회견에서 "미국과 중국 사이에 중대한 의견 차가 있다"고 말한 이유다.

옐런 장관은 대(對)중국 반도체 수출 규제의 정당성을 강조하며 "미국은 국가안보를 위해 맞춤형(targeted) 조치를 계속할 것"이라고 말했다. 미중 경제대화 재개와는 별개로 대중 압박 조치를 이어갈 것이라는 의지를 확인한 것이다. 미국은 이달 중 중국의 첨단산업 분야에 대한 미국 기업 등의 투자 제한 조치도 발표할 예정이다. 중국이 이번 방중의 주요 현안으로 지목한 중국산 제품에 대한 미국의 고율관세 부과에 대해서도 "미국의 검토가 아직 끝나지 않았다"며 유보적인 태도를 보였다.

옐런 장관은 또 반(反)간첩법 등을 통해 중국 당국이 미국 기업의 중국 내 활동을 위축 또는 제한하려는 것은 아닌지 우려를 표명한 것으로 알려졌다. 이 밖에도 지식재산권 문제와 반도체 같은 첨단 산업 분야 기업에 대한 대규모 보조금 지급 같은 비(非)시장 정책에 대해서도 중국을 압박했다.

중국 역시 갈륨, 게르마늄 등 희귀 금속 수출 통제 같은 미국을 겨냥한 조치들을 개선할 수 있다는 신호를 보여주지 않았다. 오히려 허리펑(何立峰) 중국 부총리는 8일 옐런 장관을 만나 반도체 수출 규제, 첨단기술 투자 제한 같은 미국의 대중 조치들을 겨냥해 "국가안보를 일반화하는 것은 정상적인 경제와 무역에 도움이 되지 않는다"고 지적했다.

● '디리스킹' 대신 '경제적 원원' 꺼내든 美

핵심 현안에 대한 명확한 이견에도 불구하고 미중 간 경제대화 재개를 두고 양국이 갈등 관리 국면으로 가겠다는 신호를 명확히 보낸 것이라는 해석이 나온다. 옐런 장관은 중국 측 당국자들을 잇달아 만나며 총 10시간가량 회담 일정을 소화했다.

옐런 장관은 방중 내내 양국 경제가 승자독식이 아닌 상생하는 '윈윈' 관계가 될 수 있다고 강조했다. 옐런 장관은 기자회견에서 "세계 최대의 두 경제대국을 디커플링(decoupling·탈동조화)하는 것은 양국에 재앙이며, 세계를 불안정하게 할뿐더러 실질적으로 실행할 수도 없는 일"이라고 강조했다.

옐런 장관은 방중 기간 바이든 행정부가 최근 디커플링을 대체해 쓰고 있는 '디리스킹(derisking·위험 제거)'이라는 표현조차 단 한 차례도 언급하지 않았다. 그 대신 '중요 공급망 다변화' '맞춤형 조치' 등의 표현을 사용해 중국의 우려를 달래려고 했다. 미 뉴욕타임스(NYT)는 "주목할 만한 표현 변화"라며 "(미중 관계에) 돌파구를 만들지는 못했지만 세계에서 가장 큰 두 경제대국 사이의 냉랭한 관계를 푸는 데는 도움이 됐다"고 평가했다.

중국은 옐런 장관 방문에 대해 대체로 긍정적인 분위기다. 중국 관영 신화통신은 "깊고, 솔직하고, 실무적인 교류를 진행했다. 회담이 건설적이었다"며 "양측은 교류와 상호작용을 유지하는 것에 동의했다"고 전했다. 대만 중앙통신사는 9일 "중국 매체들은 옐런 장관이 젓가락으로 중국 음식을 먹는 장면을 보도하며 '중국 음식 애호가'라고 소개했다"고 전했다. 리창(李强) 총리도 7일 옐런 장관을 만나 "미중 관계에서 더 많은 무지개를 볼 것"이라고 말했다. 베이징=김기용 kky@donga.com / 워싱턴=문병기 특파원

美재무장관-中부총리, 베이징서 회담 중국을 방문한 재닛 옐런 미국 재무장관(왼쪽 사진 왼쪽)과 허리펑 중국 부총리(오른쪽 사진 오른쪽)에서 세 번째)가 8일(현지 시간) 베이징 국빈관에서 회담하고 있다. 이날 허 부총리는 중국 정찰풍선 사건과 관련해 중국 고위급으로서는 처음으로 유감을 표시했다. 옐런 장관도 "디커플링은 양국에 재앙"이라며 양국 간 소통 강화를 강조했다. 베이징=AP 뉴시스

출처: 동아일보('23.07.10)

붙임4 중국의 AI 무기화에 대한 우려 대내외 발신

미 행정부 및 의회의 중국의 AI기술의 군사적 활용 우려 지속

朝鮮日報 2023년 7월 20일 목요일 A16면 국제

유엔 안보리 첫 AI 논의… 美 의회는 "중국 AI 무기화 위험"

서방국 협의체 제안에 中·러 반대

美하원 청문회 "中예산 美의 10배
AI무기로 민주주의 위협할 태세"

유엔 안전보장이사회(안보리)가 처음으로 인공지능(AI) 관련 회의를 열고 AI의 위험과 대응책에 대해 논의했다. 영국 등 서방국가들은 AI를 규제하기 위한 국제적 협의체의 신설이 필요하다고 했지만, 안보리 상임이사국인 러시아·중국이 반대하면서 의견은 엇갈렸다. 유엔은 이번 회의를 시작으로 AI 협의체 신설에 대한 논의를 이어갈 예정이다.

18일(현지 시각) 안보리는 미국 뉴욕 유엔 본부에서 AI를 주제로 한 첫 공개 회의를 했다. 안토니우 구테흐스 유엔 사무총장이 주재하고 미국의 AI 기업 '앤트로픽'의 잭 클라크 공동창업자를 비롯한 전문가들과 각국 대표단이 참여했다.

구테흐스 총장은 "빠른 속도로 발전하고 있는 AI에 대해 국제적 대응이 필요하다"며 "인쇄된 책이 유럽 전역에 보급되기까지는 50년이 걸린 반면, (생성형 AI인) 챗GPT는 사용자 1억명을 확보하는데 두 달이 채 안 걸렸다"고 했다. 디지털 기술은 확산 속도가 과거와 비교할 수 없을 정도로 빨라 국제사회의 대처가 시급하단 뜻이다. 앤트로픽의 설립자 클라크는 "(AI 발전 상황을 보면) 지금 우리는 연소의 원리도 모르는 상태로 엔진을 개발하는 상태와 다름없다"며 "AI의 오용 가능성과 예측 불가능성으로 인해 평화와 안보가 위협을 받을 수 있다"고 했다.

AI 규제를 위한 국제 협의체의 신설이 필요하다는 주장도 나왔다. 영국 제임스 클레버리 외무장관은 "AI엔 국경이 없기 때문에 국제적인 거버넌스(통제 체계) 구축이 시급하다"고 했다. 구테흐스 총장도 AI 규제 협의체 창설에 "환영한다"는 입장을 밝혔다.

반면 러시아의 드미트리 폴리얀스키 유엔 제1차석 대사는 "AI를 감독하는 기관의 창설이나 AI에 관한 규칙의 일방적인 적용은 용인할 수 없다"고 반대 의사를 밝혔다. 장준 주(駐)유엔 중국 대사도 "몇몇 선진국이 기술적인 패권을 유지하기 위해, 배타적 틀을 만드는 것은 단호하게 반대한다"고 했다.

같은 날 미 수도 워싱턴DC의 연방하원에선 AI의 군사적 활용과 그 위험에 대한 청문회가 열렸다. 참가자들은 특히 중국의 AI 무기화를 우려했다. 이날 하원 군사위원회가 '전장에서의 AI 기술'이란 주제로 진행한 청문회에서 공화당 마이크 갤러거 하원의원은 "중국 공산당은 AI를 무기화해 세계 민주주의를 위협하겠다는 각오를 다지고 있다"며 "중국은 전 세계를 상대로 억압적인 감시 체제를 구현하는 데 AI를 사용할 것"이라고 했다.

민주당 로 칸나 의원은 "중국이 전체 군 예산 중 AI 기술에 투자하는 비율이 미국의 10배에 달한다는 것을 강조하고 싶다"며 "효과적인 안보 전략을 수립하기 위해 미국이 앞으로 AI 기술 우위를 어떻게 유지하고 주도해야 하는지 생각해봐야 한다"고 했다. 군사위에 따르면 2020년 기준 중국 인민해방군은 전체 국방 예산 1780억달러(약 225조7000억원) 중 AI 기술 개발에 약 1%(약 16억달러)를 투자한 반면, 미국은 전체 예산(6930억달러)의 0.1%(약 8억달러) 정도만 배정했다.

워싱턴=이민석 특파원, 유재인 기자

출처: 조선일보('23.07.20)

붙임5 美상원 대상 AI 관련 기밀 브리핑

국가 안보 중심 중국의 AI기반 첨단 기술 활용 파악

서울경제 2023년 7월 12일 수요일 A12면 국제

AI 기밀 브리핑 받는 美상원 中 '첨단 안보기술' 동향 파악

백악관·국방부 고위 당국자 발표
척 슈머 "기술표준 주도 막아야"
옐런 "국가안보 수호 양보없다"

미국 상원이 조 바이든 행정부와 정보기관으로부터 인공지능(AI)에 대한 기밀 브리핑을 받는다. 중국을 견제하기 위해 국가안보 측면에서 AI 관련 제도를 마련하려는 미국 의회의 노력이 본격화하고 있다.

10일(현지 시간) 로이터통신 등에 따르면 미국 정계에서 AI 이슈를 주도하는 민주당 소속 척 슈머(사진) 상원 원내대표는 동료 의원들에게 보낸 서한에서 "11일 국방부와 정보기관이 모든 상원의원을 대상으로 AI에 대한 첫 기밀 브리핑을 진행한다"며 "이는 국가안보를 위해 AI를 어떻게 사용하고 투자해야 하는지, 그리고 적들이 AI로 무엇을 하는지를 배우기 위한 자리"라고 설명했다.

이는 상원이 지난달부터 진행해온 AI 전문가 브리핑의 일환이다. 지난 두 차례의 브리핑이 AI의 용처와 방향성, 미국의 경쟁력 확보 방안 등에 초점을 맞춘 반면 이번 기밀 브리핑은 국가안보에 무게 중심을 뒀다. 사실상 의회 차원에서 AI와 관련한 중국의 동향을 파악하고 대응하려는 취지로 풀이된다.

이번 브리핑에서는 애브릴 헤인스 국가정보국장과 캐슬린 힉스 국방부 부장관, 아라티 프라바카 백악관 과학기술정책실장, 국방부 산하 정보기관인 국가지리정보국의 프랭크 위트워스 국장 등 국방·정보 분야 고위 당국자가 발표에 나선다.

미국은 최근 토니 블링컨 국무장관과 재닛 옐런 재무장관 등이 잇따라 중국을 방문해 양국 관계에서 최악의 상황을 피하기 위한 가드레일을 구축하고 있지만 양당과 바이든 행정부는 공통적으로 안보 분야는 양보할 수 없다는 입장을 견지하고 있다.

옐런 장관은 이날 공개된 팟캐스트 마켓플레이스와의 인터뷰에서 최근 방중 당시 의제와 관련해 "우리는 국가안보 수호에서 물러서지 않을 것이며 이는 그들이 이해해야 할 사항이라는 점을 (중국 측에) 분명히 밝혔다"고 말했다. 슈머 원내대표는 앞서 "중국 공산당이 AI 기술표준을 주도하는 것을 막아야 한다"고 AI 법제화의 방향성을 제시한 바 있다.

뉴욕=김홍록 특파원

출처: 서울경제('23.07.12)

붙임6 세계 항공·국방 소프트웨어 공급업체 시장 규모 및 예측

2021년 항공우주·국방 소프트웨어 공급업체는 시장의 52.7% 차지

Top 10 Aerospace and Defense Software Vendors, Market Size and Market Forecast 2021-2026

Worldwide Aerospace and Defense Applications Market to reach $7.5 billion by 2026, compared with $6.3 billion in 2021 at a compound annual growth rate of 6.2%.

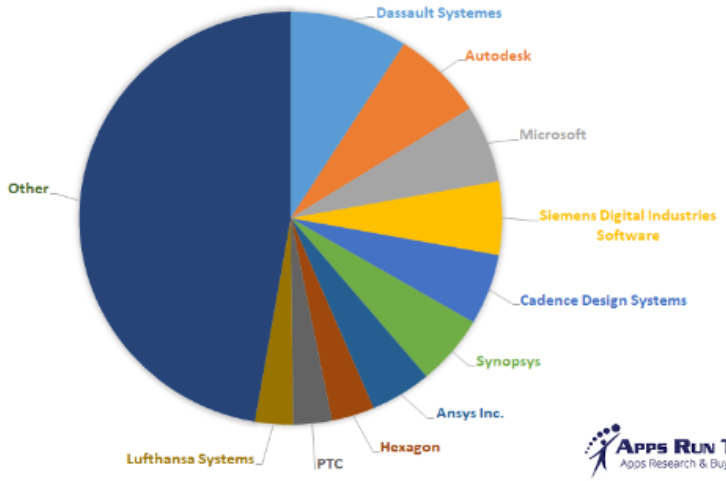
By **Albert Pang** , **Misho Markovski** and **Milena Kostadinovski** - September 26, 2022 18448

In 2021, the top 10 Aerospace and Defense software vendors accounted for 52.7% of the global Aerospace and Defense applications market which grew 13.7% to approach nearly $6.3 billion in license, maintenance and subscription revenues.

Dassault Systemes led the pack with a 9% market share riding on a 22.4% jump in Aerospace and Defense license, maintenance and subscription revenues. Autodesk was #2, followed by Microsoft, Siemens Digital Industries Software, and Cadence Design Systems.

We ask the simple question: Who's buying Aerospace and Defence applications from whom and why? And we provide the answers – supported by decades of research – to our clients around the world. (Sample from our Apps Database)

EXHIBIT 1: 2021 AEROSPACE AND DEFENSE APPLICATIONS MARKET SHARES SPLIT BY TOP 10 AEROSPACE AND DEFENSE VENDORS AND OTHERS, %



출처: Apps Run The World.
https://www.appsruntheworld.com/top-10-aerospace-defense-software-vendors-and-market-forecast/

미국 PIIE「Policy Brief」보고서 주요 내용 보고

(2023.07.10 KAIST 국가미래전략기술 정책연구소)

◆ **미국의 씽크탱크 PIIE*가 韓 기재부의 자금지원으로 분석·발간('23.7.6)한 '미국의 대중 반도체 수출통제가 한국 기업에 미치는 혜택과 비용 보고서'**의 주요 내용 보고

* Peterson Institute for International Economics, 독립 비영리 연구소(1981년 설립)

주요 내용

● **(미국의 對中 반도체 수출 통제)** 2022년 10월 美상무부는 중국의 첨단 반도체 접근차단을 목적으로 관련 장비 판매 금지, AI·슈퍼컴퓨터에 사용되는 반도체 수출 제한 등 전면적 제한 조치 발표

- **(Choke-point)** 반도체 제조 공급망의 핵심인 설계 소프트웨어 및 제조 장비의 FDPR을 적용하여 해당 장비의 활용 상품에 대한 관할권 주장을 통한 美-中 간 기술 경쟁에 대한 조임목 형성

  * FDPR: Foreign Direct Product Rule(해외 직접 제품 규칙)

- **(일시적 규제 유예 조치)** 한국 삼성전자 및 SK하이닉스, 대만 TSMC 등이 중국에 판매하는 제품에 대해 일시적 면제 제공(1년)

● **(美 수출 통제에 따른 한국 기업의 위기와 기회)** 중국 내 반도체 생산 시설 투자에 대한 불확실한 미래를 직면한 반면, 잠재적 경쟁 원천인 중국 통제에 따른 이익 창출 및 한국 생산 투자 결정시 내수 경제 활성화 가능

- **(취약성)** DRAM·NAND 메모리 칩 시장 50% 이상을 장악하고 있는 한국 기업(삼성전자, SK하이닉스)의 생산 시설은 중국에 위치

  * 한국 기업의 메모리 칩의 약 40%는 중국 시설에서 생산
  * SK하이닉스는 '20년 인텔 다롄공장 인수(90억 달러 규모, '25년 완료 예정)

- **(단기·중장기적 영향)** 현재 기술 수준에서의 지속적 생산은 가능하나, 통제로 인한 제조 장비의 업그레이드가 어려워 상품 주기성에 따른 경쟁력 저하 및 시설 이용 중단 등 불확실성 존재

  * 현재 세대의 중국산 메모리 칩에 대한 수요의 불확실성과 첨단 기술 유지를 위한 시설 투자가 어려워 시설 폐쇄 또는 매각시 중국 당국의 허가필요

- **(반사효과)** 美 YMTC 규제에 따른 한국 기업의 NAND 가격 인상, 첨단 생산을 위한 한국 내 투자 및 이에 따른 지적재산권 위험 완화, 美 반도체법 보조금 지원에 따른 미국 내 시설 투자

* 삼성전자는 美 YMTC 규제 직후 NAND 가격 10% 인상, 美 텍사스 내 파운드리 공장 건설을 위한 수백억 달러 투자

- **(중국의 美 마이크론 제제와 미국 정계의 韓 요구)** 2023년 6월 중국은 국가 안보적 위험을 이유로 美 마이크론 제품의 사용 차단 정당화, 미국은 한국 기업의 반사이익 제한 요구
  - **(美의 경제적 강압)** 한국 정부에 한국 기업의 마이크론 백필(Backfill) 또는 판매 금지 요구 및 규제 유예의 지렛대로 압박
  - **(韓의 합의 이행 한계)** 올 하반기 칩 수요 반등이 예상됨과 함께 한국 기업에 들어오는 신규 주문이 정규 주문 또는 마이크론의 백필인지 판단 불명확하고, 주문 거부시 부담해야할 비용도 높음.
    * 메모리 칩은 직접 판매 또는 유통 등 다양한 경로를 통해 판매
    * 공급 부족 기간 후 과잉 공급이 발생하는 시장의 주기성으로 인해 '백필 없음' 계약에 대한 판매 기준의 결정 어려움

결론

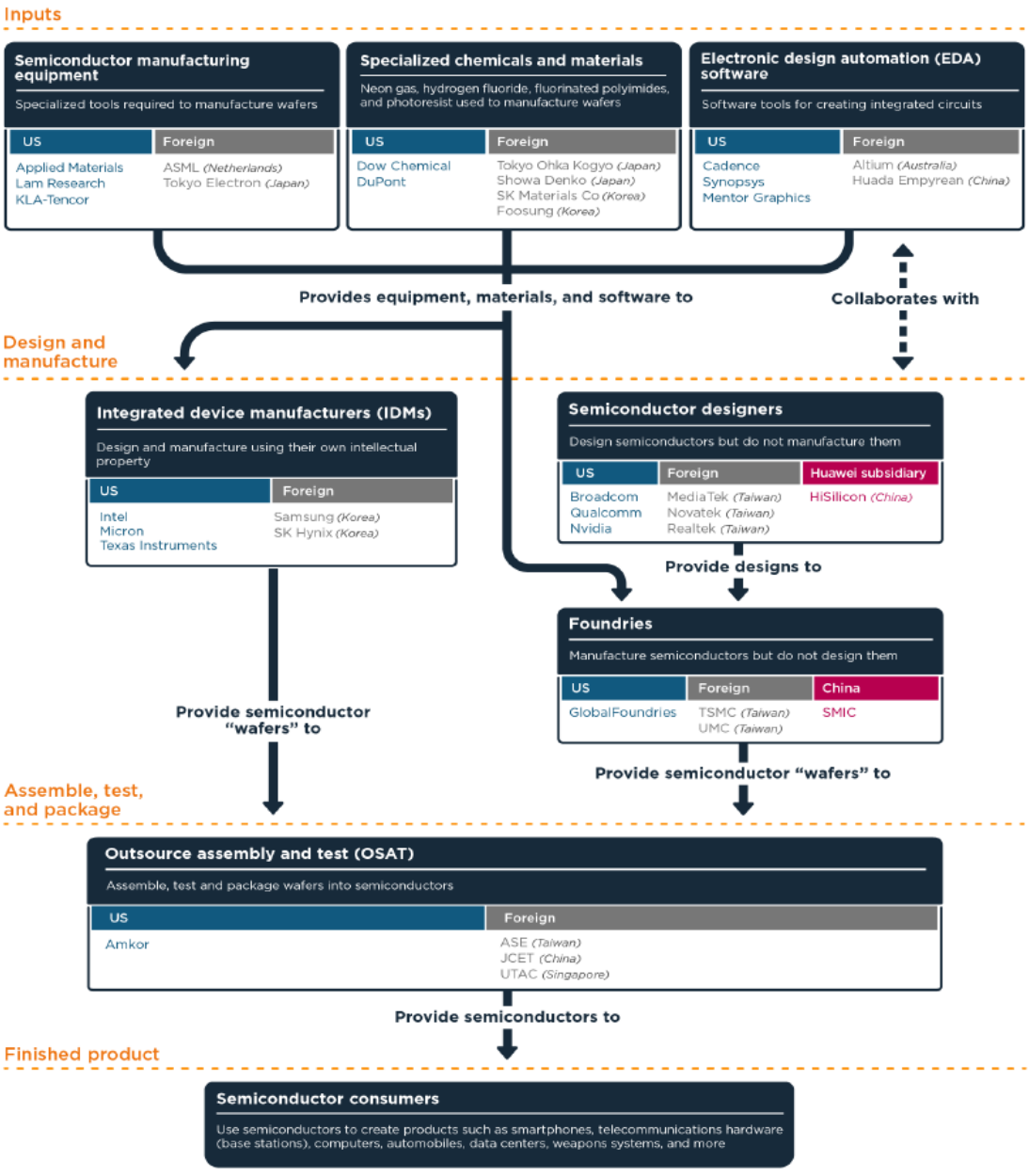
- 미국과 중국의 긴장 관계 속에서 한국 정부와 기업은 중장기적 불확실성을 해소하기 위한 해법 마련 필요
  - 미국의 수출 통제에 따른 한국 기업의 중국 내 대규모 생산 시설의 업그레이드 기술 접근 차단은 향후 생산기지로서의 경쟁력 저하로 시설 폐쇄 또는 매각 등에 따른 매몰 비용 발생
  - 마이크론에 대한 중국의 보복 조치와 미국의 대중국 규제에 따라 한국 기업의 수혜가 가능하나 추적에 한계가 있으며, 강대국간 긴장 관계에서 이익 도출에 대한 우려 표명

붙임1 글로벌 반도체 제조 공정

반도체 설계 및 제조 공급망 관련 각 단계별 기업 사례

Figure 1
Modern semiconductor manufacturing is a globally integrated, multistage process

The stages and examples of companies involved in the semiconductor design and manufacturing supply chain



Note: The figure shows the stages and examples of companies involved in the semiconductor design and manufacturing supply chain. Examples of companies are illustrative.

Source: Bown (2020, figure 5, page 19).

별첨 1 AI 반도체 관련 민관 추진동향 비교

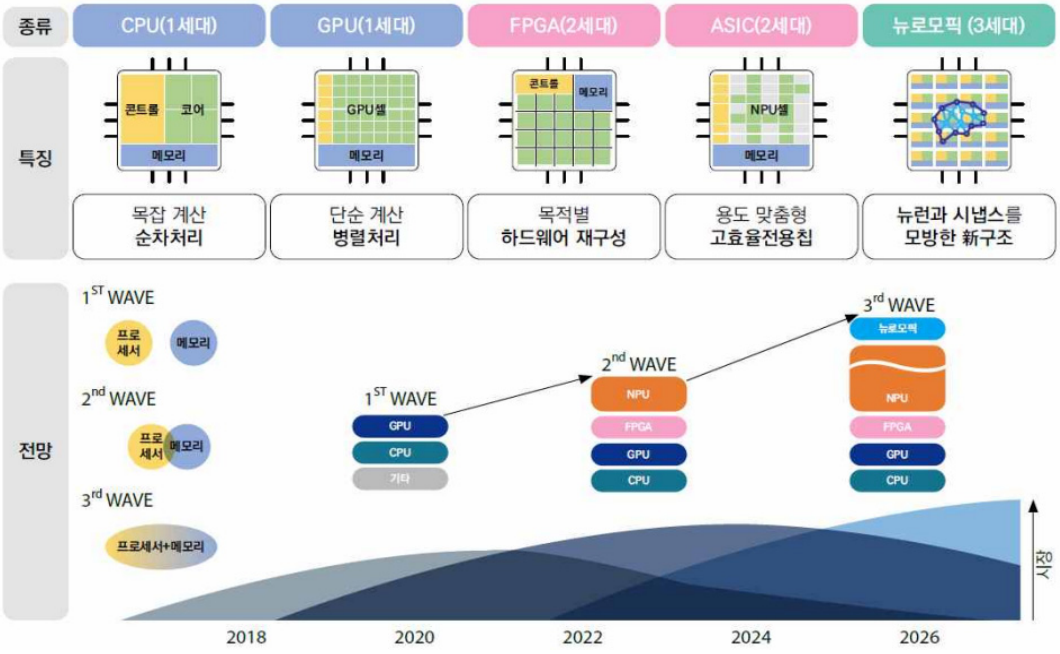
분류	정부(정책)	민간(기술·산업 동향)	AI 반도체 기술 키워드
하드웨어 (HW)	① **저전력, 고정확도, 고성능 병렬 NPU 개발**('23~'27) ② **차세대 DRAM 및 NVM 메모리 기반 뉴로모픽 반도체 개발**('23~'29)	① **연산성능** 향상에 따른 **AI 가속기 변화** (1세대)CPU, GPU→(2세대)FPGA, ASIC→(3세대)뉴로모픽	AI 알고리즘에 최적화된 전용칩 → **처리속도, 전력소모**
		② HBM 집적 등 메모리 기반 연산 성능 향상에 따른 **칩렛(Chiplet) 기반 AI 반도체 제조 기술 고도화** (사례) NVDIA H100(GPU, HBM), AMD MI300(CPU, GPU, HBM), INTEL(Rialto Bridge(GPU, HBM), 삼성전자 (HBM-PIM), SK하이닉스(GEER6-AiM)	고대역폭 메모리 (HBM)
소프트웨어 (SW)	① **저전력화·최적화 등** 지원 **SW기술력 확보**('27년까지, 선도국 대비 기술수준 93% 달성 목표) - 국산 AI반도체 특화 시스템SW 개발 지원 추진('23~) - 다양한 온디바이스의 저전력화·최적화 지원 시스템SW기술 개발 로드맵 마련('23) ② 개방·공유·협력 기반 **오픈소스 생태계 구축** - 개발자 오픈소스 참여활동 지원 강화, 오픈소스SW 공공조달 대상품목 확대 추진 ('23~) - 공개SW포털 개선, 오픈소스 관련 정보·기반 SW개발 지원 도구 제공('24~)	③ 반도체 설계 관련 **SW 플랫폼** 구축 (사례)NVDIA CUDA, INTEL one API, ARM ROCm, Google XLA	컴파일러, 소프트웨어 개발 키트(SDK) → **호환성**
		④ **소프트웨어 개발 키트(SDK)** (사례) • (영) 그래프코어 Poplar SDK: 워크플로우의 컴파일 및 실행 최적화 자동화 ※ 주요 구성 요소: 프레임워크, 컴파일러, 런타임 지원, 라이브러리 ① 프레임워크: 범용 프레임워크(텐서플로우, 파이토치 등) 지원 → IPU 도입 간소화 (ex. 국내 KT, NHN에서 IPU 도입) ② 컴파일러: 2단계 프로세스로 실행 최적화 지원 *프로세스: 1)포플러 그래프 컴파일러(효율적 희소 연산 처리 지원) → 2)포플러 엘리먼트 컴파일러(LLVM 기반 컴파일러 이용 C언어 or IPU 어셈블리어(실행 파일)로 연산그래프를 컴파일해 IPU 실행 최적화 지원) ③ 런타임 지원: 포플러 그래프 엔진 제공 → 데이터 I/O(입출력) 최적화, 디버깅(오류 or 비정상 연산 수정), 프로파일링 관리 ④ 라이브러리: 포플러 라이브러리(IPU 아키텍처에서 실행 가능한 모듈화된 프로그램)제공	
		⑤ 개방형 **RISC-V** 프로세서 개발 및 적용 (사례) Tesla D1 chip, Apple ARM 프로세서에 RISC-V 일부 도입, 삼성SDS Esperanto Technology의 'ET-SoC-1'테스트 진행	명령어 집합 구조(ISA) → **개방성**
		⑥ 맞춤형 **SW tool** 개발 및 보급 (사례)NVDIA DriveWorks(자율주행차용), CuLitho(리소그래피 속도향상용)	-
		⑦ 기업 간 협력 (사례) NVIDIA(소프트웨어)-TSMC(파운드리), Synopsys(전자 설계 자동화) 협력: 쿠리소 SW 보급 확대, 삼성전자-네이버: AI 가속기 측면 협업, 퓨리오사AI(팹리스)-세미파이브(디자인하우스)-삼성전자 (파운드리): 설계/SoC플랫폼/양산 측면 ※ 韓 세미파이브(SEMIFIVE) RISC-V 기반 AI SoC 설계 가능한 IP 플랫폼 구축(64비트 고성능 CPU, PCIe Gen4 x 8 lanes, LPDDR4x32 4ch 인터페이스 포함)	-

※ 소프트웨어 스택(software stack): 완전한 플랫폼을 만드는데 필수적인 소프트웨어 하위 시스템.

[부록 1] AI 반도체 발전 방향 및 특징

〈AI 반도체 기술 진화〉

	1세대		2세대		3세대
	CPU	GPU	FPGA	ASIC	뉴로모픽
특징	▪ 복잡 계산 **순차처리** ▪ 다소 높은 소비 전력 ▪ 대용량 병렬연산에 한계	▪ 단순 계산 **병렬처리** ▪ 다소 큰 칩 면적 ▪ 소비 전력면에서 단점	▪ 목적별 **하드웨어 재구성** 가능	▪ 용도 **맞춤형 고효율** 전용칩 ▪ FPGA, GPU 대비 빠른 속도·높은 전력효율 ▪ 효율적인 칩 구조·면적	▪ **뉴런과 시냅스를 모방한 新구조**
주요 기업 (제품)	· INTEL(Saphire Rapid), · AMD(MI250, MI300) · ARM(Cortex)	· INTEL(Ponte vecchio), · NVIDIA(H100), · AMD(MI250, MI300) · ARM(Mali GPU)	· Xilinx(Versal), · AMD(VCK 5000)*, · INTEL(Agilex™ FPGA)** *AMD: Xilinx사 인수 *INTEL: Altera사 인수	· Tesla(D1, FSD), · Apple(A12 bionic, A14, M2), · Google(TPU), · Qualcomm (Snapdragon8 2gen) · IBM(IBM z16, AIU)	· IBM(TruNorth, 2014), · INTEL(Loihi2, 2021) ※기술성숙도가 낮음



출처: KISTEP(2023), 인공지능 반도체. 권요안(2022), 지능형 반도체 산업 동향 및 시사점, TTA Journal(204), 86-93. 이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호. 보도자료(2023.03.22.),「우리나라 인공지능 반도체 기술, 특허로 저력 확인」

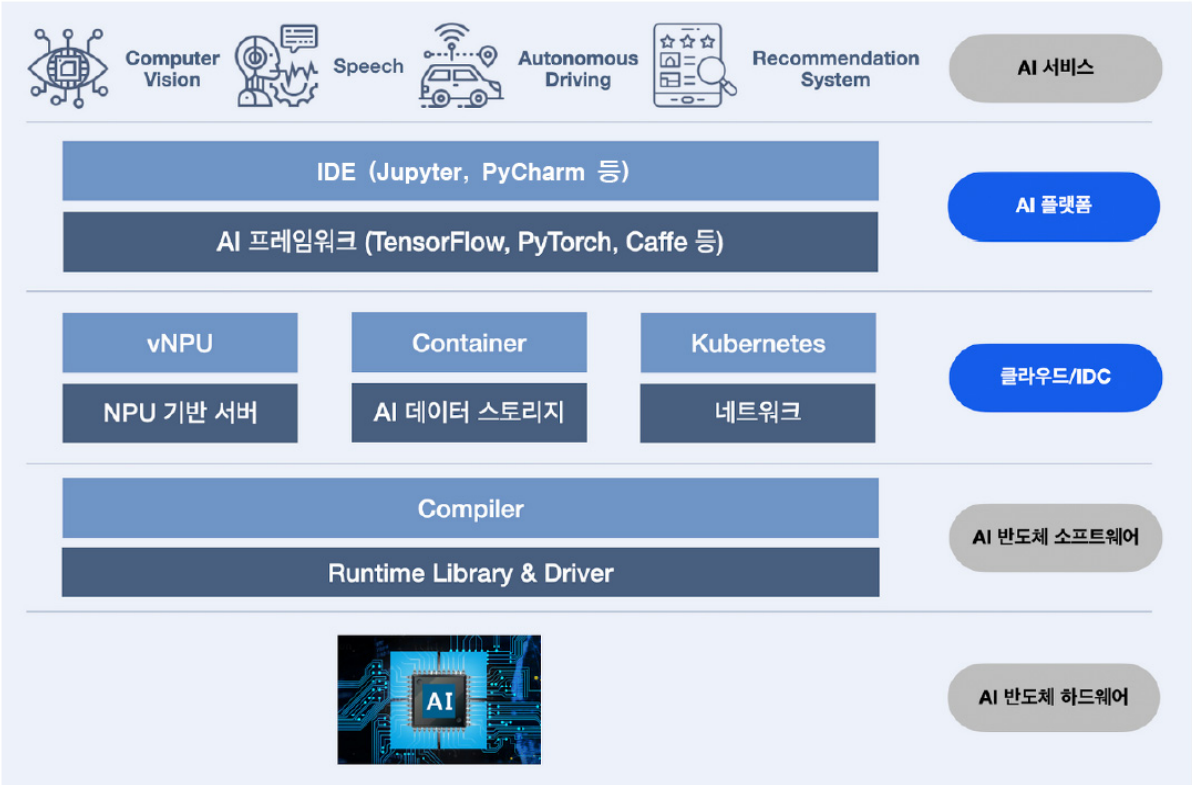
〈AI 반도체 기업별 시스템 소프트웨어〉

	엔비디아	AMD	인텔	구글	메타
시스템 SW	CUDA	ROCm	oneAPI	XLA	Glow
AI 하드웨어	GPU	GPU	GPU	TPU v4	오큘러스용 칩

출처: 이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호.

[부록 2] 생성형 AI 생태계

[AI 풀 스택]



*출처: 카카오엔터프라이즈(2023), AI 반도체 시장에서 클라우드 기업의 역할, TECH TREND.

AI 풀 스택 요소		
1	AI 반도체 하드웨어	▪ 엔비디아 GPUs, 구글 TPUs 등
2	AI 반도체 소프트웨어	▪ 컴파일러: 작성된 코드를 AI 칩에서 연산하 ftn 있도록 연산 명령어를 번역해주는 소프트웨어 스택 ▪ 런타임 라이브러리: 컴파일러에 의해 생성된 명령어를 하드웨어의 메모리에 저장하고, 저장된 명령어를 여러 연산기 리소스에 분배하여 차례로 수행할 수 있도록 해주는 소프트웨어 스택
3	클라우드/IDC	▪ AI 반도체 기반 서버와 스토리지, 네트워크 등 컴퓨팅 자원
4	AI 플랫폼	▪ AI 프레임워크: 모델 개발부터 배포까지 Pipeline 전체 단계를 쉽게 사용할 수 있도록 자동화된 툴킷(PyTorch, TensorFlow 등) ▪ IDE(개발환경): AI 개발 관련된 모든 작업을 하나의 프로그램 안에서 처리하는 환경을 제공하는 소프트웨어(Jupyter, VS Code, PyChar 등) ▪ AI 모델과 알고리즘: 주어진 문제의 데이터에 적합한 모델 구조와 모델을 학습하는 알고리즘
5	AI 서비스	▪ AI 모델을 사용해 문제를 해결하는 애플리케이션 레벨

[부록 3] 소프트웨어 기술분류

대분류	중분류	소분류	요소기술
SW	시스템 SW	물리/가상컴퓨팅 SW	운영체제, 소프트웨어 정의 컴퓨팅, 가상 클라이언트 컴퓨팅, 기타 컴퓨팅SW 등
		스토리지 SW	데이터보호, 데이터보존, 저장장치관리, 스토리지 인프라SW, 소프트웨어 정의 저장소 컨트롤러 등
		시스템/서비스 관리 SW	시스템운용관리, 시스템 구성 자동화 설정 관리, 시스템/서비스 관리 등
	개발용 SW	애플리케이션플랫폼	응용배포 애플리케이션플랫폼, 모델기반 애플리케이션플랫폼, 트랜잭션 처리 모니터, 프로세스 자동화SW, 비즈니스 프로세스 관리SW 등
		프로그래밍 언어 및 개발지원 SW	개발언어/환경/도구, 소프트웨어 컴포넌트, 비즈니스 로직 관리, 모델링/아키텍처 등, 자동프로그래밍
		데이터 관리 SW	관계형DB관리, 비관계형DB관리, 동적데이터관리, DB개발, 분산데이터 구조 및 접근관리, 데이터통합SW, 공간정보 관리 등
		SW 품질 및 생명주기 SW	소프트웨어 품질관리 자동화, 소프트웨어 안전성 확보, 소프트웨어 형상 관리 등
		통합/오케스트레이션 SW	B2B미들웨어, 데이터 중심 미들웨어, 통합SW, 이벤트 기반 미들웨어, 파일 전송 관리 등
	용용SW	디지털산업 지원 SW	협업 애플리케이션 SW, 생산 및 운영 SW, 기업자원관리 SW, 공급망 관리 SW, 고객관리SW, 콘텐츠관리SW, 엔지니어링SW, 사이버물리시스템, 인터넷서비스 SW 등
		ICT 디바이스 응용SW	ICT디바이스 자율관리 SW, 원격협업 ICT디바이스응용SW, ICT디바이스 인터렉션SW, 5G산업 도메인 응용지원SW 등

출처: IITP, 인공지능·SW·자율주행자동차, ICT R&D 기술로드맵 2025.

[부록 4] 주요 기업별 AI 반도체 제품 및 경쟁 현황

구분		기업	Processor				서비스 플랫폼	비고
			GPU	FPGA	ASIC	Neuromorphic		
반도체 업체		Intel	Arc, Iris Xe MAX, Ponte vecchio	Agilex, Straix, Arria, MAX, Cyclone	Habana, eASIC N5X, eASIC N3X, eASIC N3XS, easicopy	Loihi2	데이터센터 엣지	CPU, GPU, FPGA 등 각 기업의 강점을 바탕으로 시장을 확대하고 생태계 구축에 집중
		AMD (Xilinx 인수)	Instinct MI200, MI250, MI300, Versal AI Core	VIRTEX SPARTAN KINTEX ARTIX	HES-7-UltraScale	-	데이터센터	
		ARM	Radeon, Mali GPU	-	-	-	데이터센터	
		NVIDIA	A100, H100	-	Xavier	-	데이터센터	
		Qualcomm	-	-	Sanpdragon	Zeroth	엣지	
		Samsung	-	-	Exynos	-	엣지	
클라우드 업체		Google	-	-	TPU	-	데이터센터	빅데이터 분석, 클라우드 서비스 등을 위해 자체적인 AI 반도체를 제작하여 시장에 진입 중
		Amazon	-	-	Inferentia, Trantium	-	데이터센터	
		Microsoft	-	Catapult	HPU	-	데이터센터	
		IBM	-	-	Power 10, IBM z16, AIU	TruNorth	데이터센터	
디바이스 업체		Apple	-	-	A15 bionic, A14, A12, M2	-	엣지	자사 디바이스 제품에 최적화된 AI 반도체를 제작하여 적용하면서 시장에 진입 중
		Tesla	-	-	D1, FSD	-	엣지	
스타트업	해외	Cerebras	-	-	WSE-2	-	데이터센터, 엣지	빅테크 중심
		Groq	-	-	GroqChip Processor v1.0, TSP	-	데이터센터	
		Graphcore	-	-	IPU	-	데이터센터	
		SambaNova Systems	-	-	CARDINAL SN10, DPU	-	데이터센터엣지	
		Mythic	-	-	M1076 Analog Matrix Processor	-	데이터센터	
		EdgeQ	-	-	EdgeQ 5G SoC	-	엣지	
		Kneron	-	-	KL530 AI SoC	-	엣지	
	국내	퓨리오사 AI	-	WarBoy	-	-	데이터센터	중소기업 또는 스타트업 중심
		리벨리온	-	-	ION	-	데이터센터	
		사피온	-	-	X220	-	데이터센터	
		딥엑스		DX-L1, DX-L2, DX-M1, DX-H11			엣지	
		수퍼게이트					엣지	
		아나플래시					엣지	
		뉴로센스					엣지	
		모빌린트					엣지	
		오픈엣지 테크놀로지					엣지	

출처: KOTRA(2022), 미래 新산업 핵심동력, 미국의 인공지능 반도체 시장 동향. 카카오엔터프라이즈(2023), AI 반도체 시장에서 클라우드 기업의 역할, 테크트랜드. 권요안(2022), 지능형 반도체 산업 동향 및 시사점, TTA Journal(204), 86-93. 이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호. ETRI(2020), AI 반도체 시장 동향 및 우리나라 경쟁력 분석.

[부록 5] 오픈소스 RISC-V 활용 사례

기업명	주요 사례
INTEL	▪ 바르셀로나 슈퍼컴퓨터 센터와 협력으로 RISC-V 프로세서 개발에 4억 유로 투자 발표('22.06)
APPLE	▪ 임베디드 코어 일부를 AR에서 RISC-V 활용 추진('22.09)
TESLA	▪ 데이터센터용 AI Chip D1 내 데이터 흐름제어를 위해 RISC-V 혼용
Esperanto Technology	▪ RISC-V 기반 데이터센터 추론·연산 용도의 저전력 AI Chip ET-SoC-1 및 데이터센터 활용 사례 발표('21.08), 삼성SDS 해당 칩 테스트 진행('22.04)
Si-Five	▪ RISC-V 기반 X280 IP를 기반으로 적극적 시장 확대('23.01) - NASA가 추진하는 고성능 우주비행 컴퓨팅 프로젝트에 X280 CPU 제공하기로 함 ▪ 차세대 오토모티브 시장을 위한 RISC-V 기반 CPU 제품군 공개('22.하반기)
Tenstorrent	▪ RISC-V 기반 고성능 CPU Grandel 개발 목표('21)
삼성전자	▪ '리스크파이브(RISC-V) 서밋'에서 RISC-V 활용 반도체 생산 계획 공개('19.12) ▪ RISC-V 기반 5G 통신 모뎀과 이미지센서 등 상용화 공식화
LG전자	▪ 신경망처리장치(NPU) 개발에 RISC-V 활용 중
세미파이브	▪ RISC-V 기반 플랫폼 구축하여 고객사 요청에 맞는 SoC 제공 중
넥스트칩	▪ RISC-V 접목 인공지능 프로세서 국책 과제 개발에 참여

출처: KISTEP(2023), 인공지능 반도체.
S&T GPS(2022), 오픈소스 기반 'RISC-V', 반도체 업계의 새로운 선택지로 주목
ZDnet 코리아(22.11.02), 오픈소스 RISC-V, ARM 대안될까
한스경제(23.03.02), 韓 반도체, 제조 넘어 '설계'로...'RISC-V' 대세 편승
THEELEC(23.01.24), 올해 'RISC-V' CPU 상용화 활발...아키텍처 시장 지각변동 예고
삼성전자 뉴스룸(23.06.01), 삼성전자, 'RISC-V' 기반 오픈소스 SW 개발 프로젝트 참여

별첨 2 AI 반도체 관련 민관 추진동향 주요 내용

◆ AI 반도체는 생성형 AI 생태계의 핵심 부가가치 분야이며, 반도체 업계 중심 시장에서 SW/클라우드 서비스 및 디바이스 기업으로 확대 추세

◆ AI 반도체 성장에 있어 SW 기술 개발은 필수적, AI 반도체 구동을 위한 시스템 SW 기술 개발 및 투자 필요, NVIDIA에서는 HW 및 SW의 통합 솔류션 제공을 위한 기술 고도화

◆ AI 풀스택 구축을 위한 범용성 AI 라이브러리 기술 개발이 필요하며, 각 레이어별 최적화 고려 필요

주요 내용

● (AI 반도체 기업 생태계) 생성형 AI의 폭발적 성장에 따른 AI 반도체 수요 증가, 기존 반도체 기업에서 보다 다양한 기업들의 생태계 참여

- 기존 반도체 기업 중심에서 SW·서비스 및 디바이스 기업으로 확대 추세
- AI 생태계 선점을 위한 각 기업별 경쟁 우위 전략 차이(NIA, 2022)
  - (INTEL, NVIDIA, AMD 등 전통 반도체 기업) 각 기업 경쟁력인 CPU, GPU, FPGA 중심 AI 반도체 시장 확대 및 생태계 구축 집중
  - (Google, AWS, IBM 등 클라우드 서비스 기업) 자사의 응용 부분에 특화된 독자적 AI 반도체 제작 및 시장 진입 중
  - (Apple, Tesla, 삼성전자 등 디바이스 기업) 자사 디바이스 제품에 최적화된 AI 반도체 제작 및 실제 적용 중
  - (SambaNova, Cerebras, Graphcore, Habana Labs 등 신흥 스타트업) 차세대 솔루션 바탕으로 대규모 투자 유치* 및 주요 빅테크 대상 서비스 제공(테크월드, 2023.03)

    * '22년 경기 침체에 따른 벤처캐피탈(VC)의 AI 반도체 스타트업 자금 조달 규모 감소, 최근 챗GPT 확산으로 투자 유치 활발하게 재진행(미래에셋증권, 2023)

    ※ 현재 시장에서는 NVIDIA 수준의 소프트웨어 역량과 범용화 기술 선호, 대규모 투자를 지원받는 AI 반도체 스타트업들에게는 기회이자 위기(미래에셋증권, 2023)

□ 英 Graphcore의 경영 악화와 재도전

- '19년 MS의 클라우드 컴퓨팅 플랫폼용 프로세서 공급 등 이슈로 '20년 28억 달러의 기업 가치 기록, 칩 탑재·시운전 문제 등에 따른 MS 계약 종료와 경영 이슈 등에 의해 '21년 10억 달러로 기업 가치 하락(UKTech, 2022.10; The Register, 2022.12)
- 그러나 지속적 R&D(WoW(Wafer on Wafer) 3D 적층 기술 기반 프로세서 개발, 이전 세대 IPU 대비 성능 40% 향상, 전력 효율 최대 16% 향상)를 통한 시장 재도전(테크42, 2023.01)

  - (국내 반도체 대기업 및 스타트업) 대기업에서는 차세대 메모리 기술 개발* 박차, 스타트업**의 경우 NPU·LPU·DPU 등 차별화된 접근 전략

* 삼성전자, SK하이닉스에서는 CXL(컴퓨트 익스프레스 링크), HBM(고대역폭메모리) 등 차세대 메모리 제품 개발(CEO스코어데일리, 2023.05)

** 퓨리오사AI, 리벨리온, 사피온의 경우 머신러닝에(테크42, 2023.01), 하이퍼엑셀은 생성모델에(AVING, 2023.03), 망고부스트는 인프라에(머니투데이, 2023.04) 특화된 제품으로 시장 진입 중

● (AI 하드웨어 가속기) 인공지능 알고리즘 연산에 특화된 저전력·고성능 전용 칩 개발 중

- AI 기술 구현* 및 활용 목적**에 따라 FPGA, ASIC 등 고성능 형태로 기술 고도화

* 대규모 데이터 병렬연산을 위한 GPU 가속기 중심으로 1세대(CPU, GPU), 2세대(FPGA, ASIC), 3세대(뉴로모픽)로 변화

※ 연산 효율성(TOPS/W)은 3세대(10~100) 〉 2세대(1~10) 〉 1세대(~0.1)(TTA, 2022), 전력효율의 경우, 추론용 인공지능 반도체가 1.071TFLOPS/W로 기존 반도체 대비 약 1,000배의 AI 연산 전력효율 구현(특허청 보도자료, 2022.03)

** 서비스 플랫폼에 따라 데이터센터용·엣지용 프로세서로 구분, 데이터센터용은 성능·전력효율이, 엣지용은 연산가속·초저전력·경량화 등 중요

- 기존 메모리 기반 연산 가속기 접합 PIM 개발* 및 상용화

* 고대역폭메모리(HBM) 집적한 칩렛 패키지 기술 고도화

※ (사례) ① 美 NVIDA의 H100(GPU, HBM), ② 美 AMD의 MI300(CPU, GPU, HBM), ③ 美 INTEL의 Rialto Bridge(GPU, HBM), ④ 韓 삼성전자의 HBM-PIM, ⑤ 韓 SK하이닉스의 GDDR6-AiM

정부	민간(국내외)
① 국산 NPU 지속 고도화: 추론→학습('23-'25)	① 반도체 업계 중심 시장에서 SW/클라우드 서비스 및 디바이스 기업으로 확대 추세 ② AI 알고리즘 연산에 특화된 전용 칩 개발·기술 고도화 · 범용(CPU·GPU) 이외 특화·최적화한 FPGA, ASIC 상용화 · 데이터센터 및 엣지용 프로세서
② DRAM 기반 PIM 개발('26-'28) ③ NVM 기반 PIM 개발('29-'30)	② AI 반도체 관련 패키징 제조기술 고도화 · 칩렛 기반 AI 반도체 상용화

출처: (정부) 「K-클라우드」추진방안(2022), (민간) NIA(2022), TTA(2022)

● (AI 반도체용 설계SW) 오픈소스 RISC-V 활용 증가 및 투자 확대, 기존 ARM 중심 IP 생태계 대안으로 급부상 중

- 반도체 IP 시장에서 ARM 아키텍처 'RISC' 사실상 독점*

* 모바일 AP·임베디드/IoT 시장에서 ARM 의존도 90% 이상(삼성증권, 2021)

- NVIDA-ARM의 M&A 과정*에서 IP 선택지에 대한 경각심 고조 및 대체재 관심

* 美 NVIDIA사 英 ARM 인수합병 시도하였으나 무산('22.02), 모바일·그래픽칩 분야 절대 강자의 M&A로 인한 독과점 우려

- 개방형 표준 RISC-V*에 대한 반도체 업계 이목 집중, 오픈소스 기반 고성능 프로세서 개발 및 상용화 추진

* 경제성·저전력 등 장점으로 비용적 부담에서 벗어나 비교적 자유롭게 활용 가능(THEELEC, 2023.01), 시스템 반도체 설계에 필수적인 CPU 구조와 설계용 IP제공(MIT테크리뷰, 2023)

※ RISC-V 기본 ISA 수는 47개(CISC 1,500개, RISC 200개 대비 간소화), 활용 목적에 따라 다른 설계 표준도 제공(MIT테크리뷰, 2023; KISTEP, 2023)

※ INTEL RISC-V 생태계 조성을 위한 10억 달러 투자('22.02), SK스퀘어 RISC-V 투자 관심 표명('23.02), 中 알리바바, 텐센트 RISC-V 활용 설계 비용 절감 계획(한스경제, 2023.03)

● (AI 반도체 시스템 SW) AI 반도체 알고리즘 구현을 위한 시스템 SW 기술 개발 및 관련 인력 양성 필요

- AI 반도체 연산과 제어를 위한 SW 기술력 확보 필수
- OS*, Complier**, Assembler 등 시스템 SW 기술 개발 및 투자 필수

* OS(운영체제)는 반도체 내장 소프트웨어, INTEL은 OS 기술을 잘 구축한 대표적 기업으로 자사 CPU에 독자 개발한 MINIX OS 사용(ZDNet 코리아, 2023.02)

※ Apple은 iOS 기반 SW 혁신을 창출하였을 뿐만 아니라, 자체 반도체 설계 및 개발을 통해 전방위적 독자적 생태계 구축 강화(S&T GPS, 2023.01), 이외 美 TI(텍사스 인스트루먼트), 獨 Infineon 등 독자 임베디드 OS 활용 반도체 개발 중(ZDNet 코리아, 2023.02)

** AI 반도체 구동을 위한 API 필요하나 사용 가능한 인력 매우 부족, 또한 API와 프로그밍 언어 통역 장치인 Compiler 기술은 난이도가 매우 높으며, 국내외 관련 인재 확보 어려움(삼성증권, 2023)

● (AI SW 통합 플랫폼) 소프트웨어 기업 중심 자사 칩에 적합한 SW 플랫폼 개발, 독점적 NVIDIA의 CUDA 라이브러리에 대응 필요

- AI 반도체 생태계에 있어 SW 기술은 필수적
- 호환성·편의성 등 장점으로 업계 내 SW 개발자 대부분 NVIDIA 'CUDA' 사용

※ NVIDIA의 CUDA는 병렬 컴퓨팅 플랫폼 및 API 모델로 다양한 프로그래밍 언어 구동 가능하며, SW 개발자에게 기본 요소 모음에 대한 접근 권한 제공(Mckinsey, 2018), 시장에 새로운 기능들 선제적 소개 및 탑재(미래에셋증권, 2023)

※ CUDA와 다른 기업의 SDK는 프레임워크가 서로 달라 별도의 연동 작업 필요하여 변경 어려움, 사실상 CUDA에 의존적(한경IT·과학, 2023.03)

- AI 반도체 생태계 강화를 위해 업계 내 자체 SDK 및 플랫폼 개발*

* INTEL의 'one API', ARM의 'ROCm', Google의 'OpenXLA'

※ 사피온 5월 중 자체 AI 반도체 SDK 공개 예정(한경IT·과학, 2023.03), 리벨리온 상반기 중 AI 모델과 AI 반도체 연결하는 소프트웨어인 '리벨 SDK' 출시 예정(아주경제, 2023.04)

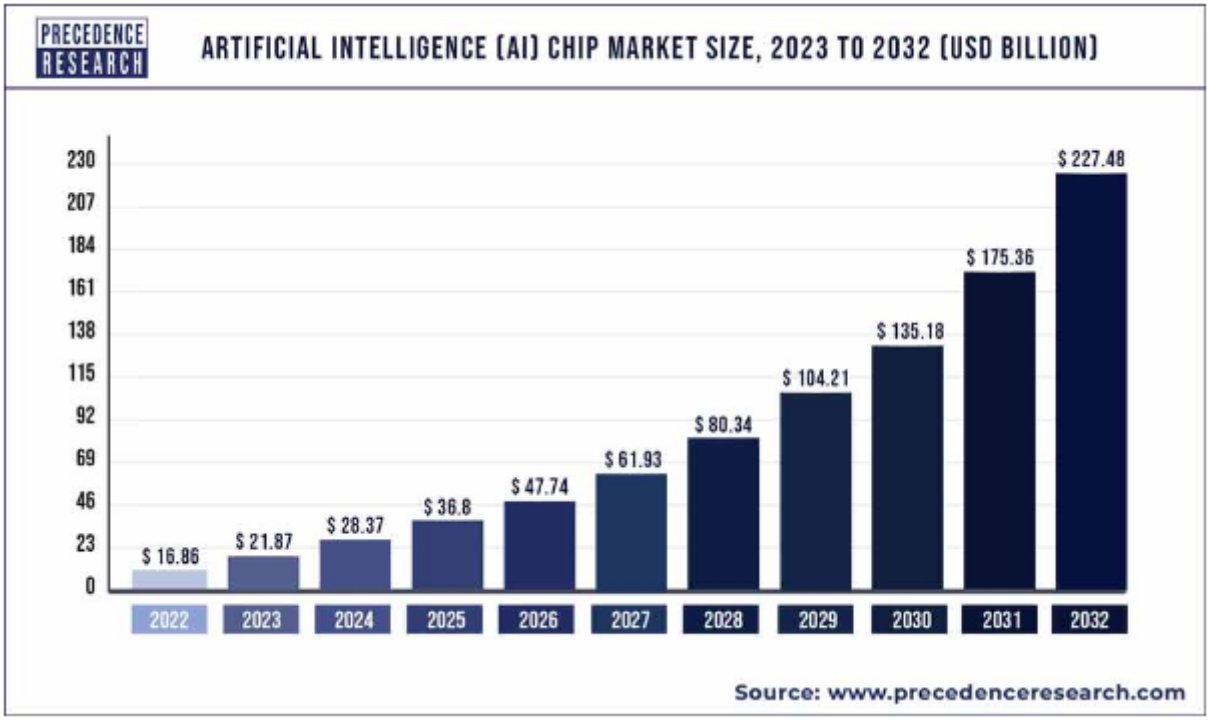
정부	민간(국내외)
① AI 반도체용 SW 개발('23-'30) · 고성능(페타스케일, 엑사스케일) AI 학습 SW 기술 · GPU·NPU 통합 플랫폼 기술(클라우드 인프라 및 통합 활용 기술, AI모델 및 알고리즘) · SW(컴파일러 최적화, 런타임, 상용 클라우드 적용 VM·컨테이너 제공기술 등	① 오픈소스 RISC-V 개발 및 기존 IP 대안으로 급부상 · (장점) 경제성(개방성)·저전력·유연성 등 · (단점) 안정성·호환성 확보 등 개발위험 부담
	② AI 반도체 설계를 위한 SW 통합 플랫폼 구축

출처: (정부) 「K-클라우드」추진방안(2022), (민간) MIT테크놀로지(2023), KISTEP(2023), 삼성증권(2021)

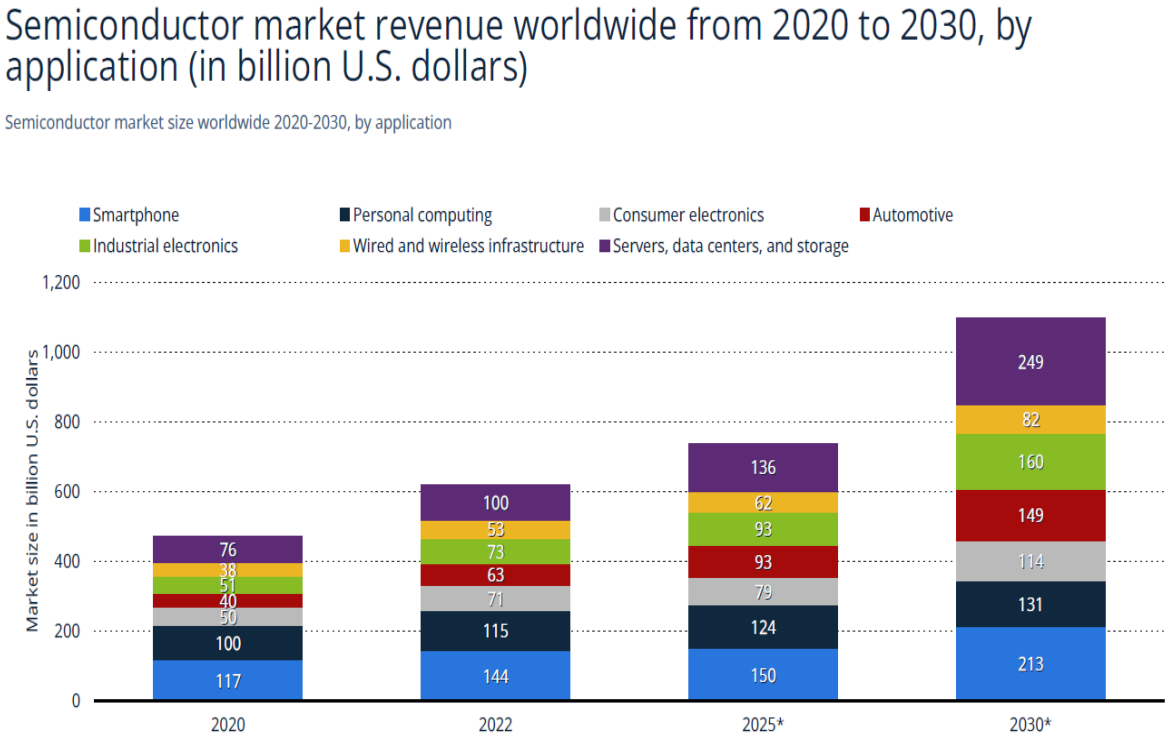
시사점

- 생성형 AI 등장과 함께 AI 반도체가 주목받고 있으며, AI 알고리즘 성능 향상을 위한 AI 반도체 수요 증가 및 이를 주도하기 위한 국가 간 경쟁 심화
- 국내 AI 반도체 정책 내 AI 하드웨어(HW) 가속기의 경우, 국내외 시장동향 및 기술개발 동향을 적절하게 반영하고 있으나 주요 플레이어에 집중된 경향
- AI 반도체용 소프트웨어(SW) 기술 확보는 필수적이며, 이에 SW 기술 개발을 위한 단계별 추진 과제(안) 제시는 적합
- 그러나 현재 산업 내 AI HW 기술은 범용(CPU, GPU) 및 특화(FPGA, ASIC)된 형태로 다양화, 고도화 추세
- AI SW 기술의 경우 이미 상용화 단계로 높은 수준이며, 오픈소스 활용 HW 및 SW 개발·상용화 추진 중
- 특히 시스템 SW 및 응용 SW 간 프레임워크 역할의 미들웨어의 경우, 특정 기업의 SW 플랫폼(NVIDIA의 CUDA)에 대한 사용 의존도가 높음.
- 따라서 HW 및 SW 기술 확보를 위해 주요 플레이어 뿐만 아니라 중견·중소기업 및 스타트업을 위한 AI 반도체 생태계 조성 우선 필요
- AI 반도체 성장에 있어 SW 기술은 필수 불가결하나, AI 알고리즘 구현을 위한 시스템 SW 기술과 사용 가능한 인력은 매우 부족한 실정
- AI 기술은 지속적으로 발전 및 변화하므로 한정된 자원의 효율적 활용을 위해 변화에 주도하여 기민하게 대처하는 것이 중요
- 무엇보다도 HW와 SW가 서로 소통하고 융합할 수 있는 전문화된 인력 양성이 우선 필요하므로, 산업체 수요를 유연하게 반영하고 생태계 기여 가능한 전문 기술 인력 양성을 위한 적극적 투자 정책 필요
- 또한, AI SW 독점시장 내 경쟁력 강화를 위해 HW에 최적화되고 AI 프레임워크 및 알고리즘을 고려한 효율적이고 차별화된 응용 특화 SW 기술 개발을 통한 선점 필요
- 이를 위해 AI HW 및 SW 기술에 대한 산업 현황을 신속하게 파악할 필요가 있으며, 적극적 오픈소스 활용 검토를 통해 기술 개발에 박차 필요
- 현재 개발 중인 국내 중견·중견기업 및 스타트업에 대한 R&D 역량 강화 및 양산을 위한 지원 정책 필요

붙임1 AI 반도체 시장 규모 및 응용별 시장 규모



출처: Precedenceresearch(2022)



글로벌 반도체 산업의 주요 애플리케이션 중 하나는 스마트폰, 특히 장치 내 이미지 센서의 지속적인 개발 예상 2022 스마트폰 반도체 시장은 1440억 달러로 평가, 2025년 1500억 달러까지 성장할 것으로 전망.

출처: STATISTA(2023). NVIDIA Companies products report.

붙임2 해외 주요 국가의 AI 반도체 정책

국가	유형	정책
미국	반도체 정책 (인공지능 포함)	국방수권법(NDAA)('21.01):'미국 CHIPS 법안','미국 파운드리 법안 등 포함 • 반도체 제조 및 연구개발에 대한 정부 투자 근거 마련
		미국 혁신 경쟁법('21.06) • 반도체 산업 등 첨단 산업에 대한 연구개발 투자 강화
	AI 반도체 특화	방위고등연구계획국(DARPA) 연구프로젝트 추진 • AI Next 프로그램을 통해 차세대 인공지능 R&D 추진('18.09~) • 실시간 머신러닝(RTML) 프로젝트 3년간 추진('19.03~) • SAHARA 협력 프로그램을 통해 국방분야 인공지능 프로세서 개발('21.03~)
중국	반도체 정책 (인공지능 포함)	중국제조 2025('15.05) • 중국의 설계 역량 제고, 핵심 칩 생산, 자국 반도체 사용 확대
		반도체산업과 소프트웨어산업의 질적 발전 촉진 정책('20.08)
		14차 5개년 국가정보화계획(2021~2025)('21.03) • 반도체 등의 공급망 안정화를 확보하고 첨단기술의 자립도 강화 • 인공지능 애플리케이션에 특화된 칩을 개발
EU	반도체 정책 (인공지능 포함)	2030 디지털 비전(2030 Digital Compass)('21.03) • 유럽의 최첨단 반도체 생산 점유율을'30년까지 전 세계시장의 20%까지 확대
		22개 회원국이 프로세서 및 반도체 기술협력 공동선언('21.05) • 2~3년 내 반도체 분야에 2nm급 첨단 반도체 설계 및 제조 역량 확보
		유럽 공통이해관계 중요프로젝트(IPCEI) 시작('18~) • 에너지 효율적인 칩, 저전력 반도체 등 5대 분야 프로젝트 추진
	AI 반도체 특화	유럽 프로세서 이니셔티브(EPI)('18.12~'21.11) • 인공지능 기술을 활용하는 저전력 프로세서 연구개발
		뉴로모픽 컴퓨팅을 위한 기술 및 하드웨어(TEMPO)프로젝트('19.05~'22) • 인공지능 애플리케이션을 위한 저전력 Chip 연구개발
		Horizon 2020 프로그램 내 AI칩(Chip AI) 연구개발('19.05~'22) • 반도체 나노 구조를 활용, 생물학적 뉴런보다 10억 배 빠른 속도
일본	반도체 정책 (인공지능 포함)	AI칩 개발 촉진을 위한 혁신 추진('18~'22)
		고효율 고속 처리의 AI칩 차세대 컴퓨팅 기술개발('18~'27)
	AI 반도체 특화	반도체 강국 재도약 목표의 반도체 전략('21.06)
대만	반도체 정책 (인공지능 포함)	AI 반도체 프로젝트('19.06~'22) • 인공지능 프로세서 칩, 차세대 반도체 설계, 공정기술 개발
	AI 반도체 특화	대만반도체연구소(TSRI)('19~)
한국	AI 반도체 특화	시스템반도체 비전과 전략('19.04) • 차세대 반도체 핵심기술 확보
		AI 반도체 산업 발전전략('20.08) • AI 반도체 플래그십 프로젝트 단계별 추진 등
		K-반도체 전략('21.05) • 차세대 반도체 분야(전력 반도체, AI반도체, 첨단 센서 등) 기술 개발
		국산 AI반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안('22.12) • 단계별 AI 반도체 기술 고도화, SW개발, 실증지원 등
		3대 주력기술 초격차 R&D전략('23.04) • AI 반도체 설계기술 등

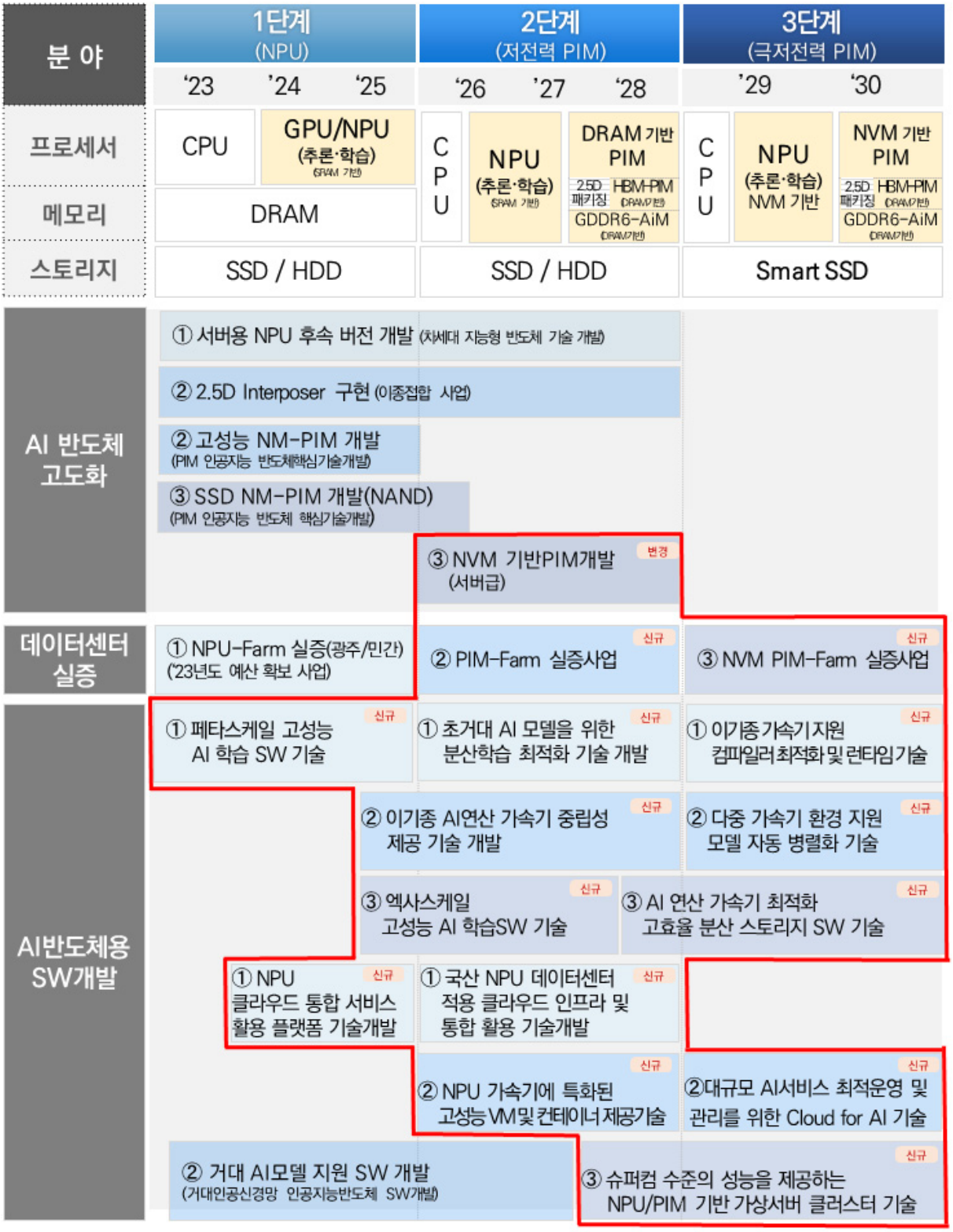
출처: 관계부처 합동, 「국산 AI 반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안」(2022), 「3대 주력기술 초격차 R&D전략」(2023), Clarivate & KAIST ISPI(2023), 글로벌 AI반도체 혁신경쟁: 현재와 미래.

붙임3 AI 반도체 관련 민관 추진현황 비교

분류	정부(정책)	민간(기술·산업 동향)	AI 반도체 기술 키워드
하드웨어 (HW)	① **저전력, 고정확도, 고성능 병렬 NPU 개발** ('23~'27) ② **차세대 DRAM 및 NVM 메모리 기반 뉴로모픽 반도체 개발**('23~'29)	① **연산성능** 향상에 따른 **AI 가속기 변화** (1세대)CPU, GPU→(2세대)FPGA, ASIC→(3세대)뉴로모픽	AI 알고리즘에 최적화된 전용칩 → **처리속도, 전력소모**
		② HBM 집적 등 메모리 기반 연산 성능 향상에 따른 **칩렛(Chiplet) 기반 AI 반도체 제조 기술 고도화** (사례) NVDIA H100(GPU, HBM), AMD MI300(CPU, GPU, HBM), INTEL(Rialto Bridge(GPU, HBM), 삼성전자(HBM-PIM), SK하이닉스(GEER6-AiM)	고대역폭 메모리 (HBM)
소프트웨어 (SW)	③ AI 반도체용 SW 개발 (예타추진)	③ 반도체 설계 관련 **SW 플랫폼** 구축 (사례)NVDIA CUDA, INTEL one API, ARM ROCm, Google XLA	컴파일러, 소프트웨어 개발 키트(SDK) → **호환성**
		④ 소프트웨어 개발 키트(**SDK**) (사례) 그래프코어 Poplar SDK: 워크플로우의 컴파일 및 실행 최적화 자동화 ※ 주요 구성 요소: 프레임워크, 컴파일러, 런타임 지원, 라이브러리	
		⑤ 개방형 **RISC-V** 프로세서 개발 및 적용 (사례)Tesla D1 chip, Apple ARM 프로세서에 RISC-V 일부 도입, 삼성SDS Esperanto Technology의 'ET-SoC-1'테스트 진행	명령어 집합 구조(ISA) → **개방성**
		⑥ 맞춤형 **SW tool** 개발 및 보급 (사례)NVDIA DriveWorks(자율주행차용), CuLitho(리소그래피 속도향상용)	-
		⑦ 기업 간 협력 (사례) NVIDIA(소프트웨어)-TSMC(파운드리), Synopsys(전자 설계 자동화) 협력: 쿠리소 SW 보급 확대, 삼성전자-네이버: AI 가속기 측면 협업, 퓨리오사AI(팹리스)-세미파이브(디자인하우스)-삼성전자(파운드리): 설계/SoC플랫폼/양산 측면 ※ 韓 세미파이브(SEMIFIVE) RISC-V 기반 AI SoC 설계 가능한 IP 플랫폼 구축(64비트 고성능 CPU, PCIe Gen4 x 8 lanes, LPDDR4x32 4ch 인터페이스 포함)	-

출처: 관계부처 합동,「국산 AI 반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안」(2022)
미래에셋증권(2023), 생성 AI:제2의 기계 시대, 테마리포트.
KISTEP(2023), 인공지능 반도체.
한국지능정보사회진흥원(2022), AI 반도체 생태계 분석, Digital Insight.
Moor Insights & Strategy(2020), The Graphocore Software Stack: Built to Scale.
McKinsey(2018), Artificial-intelligence Hardware: new opportunities for semiconductor companies.
Ai타임스(2023.03.23.), 엔비디아 GPU 리소그래피 기술 공개...2나노 이하 기술 토대 공유
KIPOST(23.04.05), 세미파이브, 퓨리오사AI의 서버용 NPU 양산

붙임4 「K-클라우드」 단계별 추진 과제(안)



출처: 관계부처 합동,「국산 AI 반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안」(2022)

붙임5 주요 기업별 AI 반도체 제품 및 경쟁 현황

구분		기업	Processor				서비스 플랫폼	비고
			GPU	FPGA	ASIC	Neuromorphic		
반도체 업체		Intel	Arc, Iris Xe MAX, Ponte vecchio	Agilex, Straix, Arria, MAX, Cyclone	Habana, eASIC N5X, eASIC N3X, eASIC N3XS, easicopy	Loihi2	데이터센터 엣지	CPU, GPU, FPGA 등 각 기업의 강점을 바탕으로 시장을 확대하고 생태계 구축에 집중
		AMD (Xilinx 인수)	Instinct MI200, MI250, MI300, Versal AI Core	VIRTEX SPARTAN KINTEX ARTIX	HES-7-UltraScale	-	데이터센터	
		ARM	Radeon, Mali GPU	-	-	-	데이터센터	
		NVIDIA	A100, H100	-	Xavier	-	데이터센터	
		Qualcomm	-	-	Sanpdragon	Zeroth	엣지	
		Samsung	-	-	Exynos	-	엣지	
클라우드 업체		Google	-	-	TPU	-	데이터센터	빅데이터 분석, 클라우드 서비스 등을 위해 자체적인 AI 반도체를 제작하여 시장에 진입 중
		Amazon	-	-	Inferentia, Trantium	-	데이터센터	
		Microsoft	-	Catapult	HPU	-	데이터센터	
		IBM	-	-	Power 10, IBM z16, AIU	TruNorth	데이터센터	
디바이스 업체		Apple	-	-	A15 bionic, A14, A12, M2	-	엣지	자사 디바이스 제품에 최적화된 AI 반도체를 제작하여 적용하면서 시장에 진입 중
		Tesla	-	-	D1, FSD	-	엣지	
스타트업	해외	Cerebras	-	-	WSE-2	-	데이터센터, 엣지	빅테크 중심
		Groq	-	-	GroqChip Processor v1.0, TSP	-	데이터센터	
		Graphcore	-	-	IPU	-	데이터센터	
		SambaNova Systems	-	-	CARDINAL SN10, DPU	-	데이터센터엣지	
		Mythic	-	-	M1076 Analog Matrix Processor	-	데이터센터	
		EdgeQ	-	-	EdgeQ 5G SoC	-	엣지	
		Kneron	-	-	KL530 AI SoC	-	엣지	
	국내	퓨리오사 AI	-	WarBoy	-	-	데이터센터	중소기업 또는 스타트업 중심
		리벨리온	-	-	ION	-	데이터센터	
		사피온	-	-	X220	-	데이터센터	
		딥엑스		DX-L1, DX-L2, DX-M1, DX-H11			엣지	
		수퍼게이트					엣지	
		아나플래시					엣지	
		뉴로센스					엣지	
		모빌린트					엣지	
		오픈엣지 테크놀로지					엣지	

출처: KOTRA(2022), 미래 新산업 핵심동력, 미국의 인공지능 반도체 시장 동향. 카카오엔터프라이즈(2023), AI 반도체 시장에서 클라우드 기업의 역할, 테크트랜드. 권요안(2022), 지능형 반도체 산업 동향 및 시사점, TTA Journal(204), 86-93. 이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호. ETRI(2020), AI 반도체 시장 동향 및 우리나라 경쟁력 분석.

붙임6 오픈소스 RISC-V 활용 사례

기업명	주요 사례
INTEL	▪ 바르셀로나 슈퍼컴퓨터 센터와 협력으로 RISC-V 프로세서 개발에 4억 유로 투자 발표('22.06)
APPLE	▪ 임베디드 코어 일부를 AR에서 RISC-V 활용 추진('22.09)
TESLA	▪ 데이터센터용 AI Chip D1 내 데이터 흐름제어를 위해 RISC-V 혼용
Esperanto Technology	▪ RISC-V 기반 데이터센터 추론·연산 용도의 저전력 AI Chip ET-SoC-1 및 데이터센터 활용 사례 발표('21.08), 삼성SDS 해당 칩 테스트 진행('22.04)
Si-Five	▪ RISC-V 기반 X280 IP를 기반으로 적극적 시장 확대('23.01) - NASA가 추진하는 고성능 우주비행 컴퓨팅 프로젝트에 X280 CPU 제공하기로 함 ▪ 차세대 오토모티브 시장을 위한 RISC-V 기반 CPU 제품군 공개('22.하반기)
Tenstorrent	▪ RISC-V 기반 고성능 CPU Grandel 개발 목표('21)
삼성전자	▪ '리스크파이브(RISC-V) 서밋'에서 RISC-V 활용 반도체 생산 계획 공개('19.12) ▪ RISC-V 기반 5G 통신 모뎀과 이미지센서 등 상용화 공식화
LG전자	▪ 신경망처리장치(NPU) 개발에 RISC-V 활용 중
세미파이브	▪ RISC-V 기반 플랫폼 구축하여 고객사 요청에 맞는 SoC 제공 중
넥스트칩	▪ RISC-V 접목 인공지능 프로세서 국책 과제 개발에 참여

출처: KISTEP(2023), 인공지능 반도체
S&T GPS(2022), 오픈소스 기반 'RISC-V', 반도체 업계의 새로운 선택지로 주목
한스경제(23.03.02), 韓 반도체, 제조 넘어 '설계'로...'RISC-V' 대세 편승
THEELEC(23.01.24), 올해 'RISC-V' CPU 상용화 활발...아키텍처 시장 지각변동 예고

□ 반도체 관련 정부정책 및 전략 비교

	「반도체 초강대국 달성전략」('22.07)	「국가첨단산업 육성전략 - 시스템반도체」('23.03)	「반도체 국가전략회의」('23.06)
요약	▪ 5년간('22~'26) 340조원 투자(기술개발, 설비투자) ▪ 반도체 전문인력 양성('31년까지 15만명+α) ▪ 기술경쟁력('30년까지 시스템반도체, 3% → 10% 점유율), 소부장기반('30년까지 자립화율 30% → 50%)	▪ 세계 최대 클러스터와 유기적 생태계로 압축 도약 ▪ 2026년까지 5년간 340조원 투자(반도체 전체 기준)	▪ 메모리 초격차의 미래 지속 가능성 ▪ 시스템 반도체 경쟁력 확보 전략 ▪ 공급망 리스크 관리 및 기술·인력 확보 방안
정책 및 주요 내용	**① 시스템반도체 선도 기술 확보** ▪ 3대 차세대반도체 기술 집중 개발 - 전력반도체 (4,500억 원 예타 추진('24~'30)), 차량용반도체 (5,000억 원 예타 추진('24~'30)), AI반도체 (1조 2,500억 원 지원 추진('22~'29))) ▪ 수요기업 연계 반도체 개발 프로젝트 추진 (미래차·에너지 분야, '23년 신규, '23~'27년, 375억 원) ▪ 첨단 패키징 대규모 예타 기획 ('22.下 착수), 후공정 4대 핵심분야 핵심기술 개발 (고성능, 저전력 목적)	**① 초격차 기술 확보** ▪ 차세대 유망 반도체 핵심기술 개발 (~'30년까지, 총 3.2조 원) - 전력, 차량, AI 등 3대 유망 반도체 R&D 사업 지원 - 첨단 패키징 기술개발 지원 (3,600억 원 규모) ▪ 수요연계 프로젝트 지원 (대기업-팹리스간 구매조건부, 50~80억 원/건)	**① 초격차 기술 확보** ▪ PIM 설계기술 및 첨단소재·부품·장비 기술개발 R&D ('22~'28년, 총 4,000억 원) ▪ 차세대지능형반도체사업 ('20~'29년, 총 1조 96억 원) ▪ **[신규]** 전력반도체, 차량용반도체, 첨단패키징 등 유망 반도체 기술 R&D (**예타 추진** 중, 약 1.4조 원 규모)
	② 기업 투자 총력 지원 ▪ [인프라] 전력, 용수 등 필수 인프라 구축비용 지원 검토 ▪ [공장] 용적률 특례 적용 (최대 1.4배 상향, 350% → 490%), 설비(fab) 신·증설 허용량 확대 (국토계획법 시행령 개정, '22.12) ▪ [지자체] 인허가 신속처리 특례 강화, 산단 유치 이익(지방세입) 공유 제도 마련 ▪ 설비투자 세액공제 확대 (조특법 개정, (대·중견) 8%→12%, (중소) 16%→20%) ▪ 노동/안전 등 규제 완화	**② 투자특구** ▪ 설비투자 세액공제 확대 ((대·중견) 8% → 15% / (중소) 16% → 25%) ▪ 전력, 용수 등 인프라 지원 ('23년 1,000억 원) ▪ [첨단] 인허가 타임아웃제 도입 ('23.07 시행) ▪ [첨단] 글로벌 스탠다드 준칙주의 도입 (노동, 금융 등 핵심규제 개선 목적) ▪ [첨단] 국가투자지주회사 설립 방안 검토 (국내외 중장기 전략투자 수행 목적)	**② 매력적인 투자환경 조성** ▪ 투자 세액 공제율 상향 (8% → 15%) ▪ 인허가 타임아웃제 ▪ 용적률 완화 특례 등 도입 ▪ 정책금융 지원 ('22년 5,000억 원 시작 → '27년까지 총 2.8조 원, 기업의 투자자금 확보 지원 목적) ▪ **[예정]** 반도체 전용펀드* ('23. 下출범, 3,000억 원 규모, 소재·부품·장비, 팹리스 투자 활성화 목적)
	③ 견고한 소부장생태계 구축 ▪ 소부장 핵심전략기술 확대·선도형 R&D 추진('22년 9% → '23년 20% 이상) ▪ [집적단지 조성] 판교, 용인 반도체 소부장 클러스터 조성, 용인 클러스터 소부장 실증 위한 미니 Fab 구축 ▪ [양산,성장 지원] 반도체 생태계 펀드 조성 ('23년~, 민관합동, 3,000억 원 규모 (소부장펀드 2,000억 원/ M&A펀드 1,000억 원)), 소부장 핵심전략품목 양산라인 투자시 이차보전 검토 추진 ▪ 스타팹리스 30개 선정 (전용 R&D 및 숏주기 지원) ▪ [파운드리] 원스톱 디지틀 플랫폼 구축 (IP-제작-상용화), 파운드리 국내 팹리스 양산 확대 검토	**③ 지역 특화형 클러스터** ▪ 첨단 시스템반도체 클러스터 조성 (~'42년, 300조 원 규모) - 첨단 반도체 Fab 5개 구축, 소부장·팹리스 등 선도기업 최대 150개 유치 **④ 튼튼한 생태계 구축** ▪ 매출 1조 원 스타팹리스 10개 육성 (~'35년) ▪ 제조역량 고도화 (디자인하우스-IP-파운드리 협력 강화) ▪ 한국형 반도체 IMEC 구축 추진 (최첨단 실증 인프라 구축) **⑤ 통상역량 강화** ▪ 첨단산업별 통상협의체 구성 (첨단산업 글로벌 규범 설정, 자국 우선주의에 적극 대응 목적) ▪ 산업기술보호법 개정 (범부처 협업·관리강화 목적)	**③ 산업 생태계 조성** ▪ 시제품 제작 지원(MPW) 대폭 확대 (메모리 중심 반도체 밸류체인에서 시스템반도체로 확장 목적) ▪ 파운드리 생산능력(CAPA) 할애 (팹리스-파운드리간 상생사업 강화) ▪ 첨단반도체기술센터(ASTC) 구축 (민관합동, 한국형 IMEC) ▪ 핵심기술 보호시책 대폭 강화 (산업기술보호법 개정)
	④ 민관 합심 인력 양성 ▪ 정원확대 (4.5만명) ▪ 산학협력, 융합전공 등 (10.5만명) ※ 산학협력 4대 인프라: 반도체 아카데이, 한국형 SRC (기업 수요형 R&D, 정부-기업 공동 투자), 한국형 IMEC (기업 장비 기증시 정부 지원, 현장형 교육연구 인프라), 소부장 계약학과	**⑥ 기술협력·수출지원 및 혁신인재 양성** ▪ [기술협력] 우리의 제조와 미국의 소부장·설계 강점 연계 - 소재·장비-제조-완제품 전주기 공동 R&D ('23년 시범사업 추진 예정) ▪ [수출지원] 현지 수요매칭-검증-마케팅 지원 (美 협력센터 신설) ▪ [인재양성]현장형, 석·박사급, 지역인재 등 (~'31년, 총 15만 명 양성)	**④ 국제협력 및 인력양성** ▪ **[예정]** 韓-美 반도체 기술센터 협력 (美 NSTC-韓 ASTC) ▪ **[본격 추진 중]** 현장 수요 맞춤형 고급인력 양성사업 ('23~'32년, 총 2,228억 원 규모) ▪ **[확대 예정]** 반도체 특성화 대학(원) 확대

*반도체 생태계 펀드: 유망 팹리스, 소부장 기업의 스케일업을 위한 지분 또는 M&A 투자 활성화 목적, 3,000억 원 운영목표, '23.下 출범 계획

[참고자료]

관계부처 합동, 「3대 주력기술 초격차 R&D전략」(2023).
관계부처 합동, 「K-반도체 전략」(2021).
관계부처 합동, 「국산 AI 반도체를 활용한 K-클라우드 추진방안」(2022).
관계부처 합동, 「소프트웨어 진흥 전략」(2023).

Clarivate & KAIST ISPI(2023), 글로벌 AI반도체 혁신경쟁: 현재와 미래.
ETRI(2020), AI 반도체 시장 동향 및 우리나라 경쟁력 분석.
IITP(2020), 인공지능·SW·자율주행자동차, ICT R&D 기술로드맵 2025.
KISTEP(2023), 인공지능 반도체.
KOTRA(2022), 미래 新산업 핵심동력, 미국의 인공지능 반도체 시장 동향.
Makinsey(2018), Artificial-intelligence hardware: new opportunities for semiconductor companies.
MIT Technology Review(2023), MIT 테크놀로지 리뷰가 선정한 2023년 10대 미래 기술.
Moor Insights & Strategy (2020), The Graphcore Software Stack: Built to Scale.
S&T GPS(2022), 오픈소스 기반 'RISC-V', 반도체 업계의 새로운 선택지로 주목.
S&T GPS(2023), 애플, 디스플레이·반도체 등 부품 내재화 속도내며 생태계 강화.
권요안(2022), 지능형 반도체 산업 동향 및 시사점, TTA Journal(204), 86-93.
딜로이트 인사이트(2023), 차세대 반도체, 인류에 새로운 세상 열어준다.
미래에셋증권(2023), 생성 AI:제2의 기계 시대, 테마리포트.
삼성증권(2021) NVIDA, Arm 인수합병 중간 점검 및 추가 상승 여력에 대한 고민
삼성증권(2023), GPT가 반도체의 구원자일까.
이선재(2022), AI 반도체 기술동향과 산업생태계, ICT standard weekly, 제1127호.
카카오엔터프라이즈(2023), AI 반도체 시장에서 클라우드 기업의 역할, TECH TREND.
한국지능정보사회즌흥원(2022), AI 반도체 생태계 분석, Digital Insight.

Ai타임스, 「AI 개발에 그래프코어 IPU 도입 증가…트위그팜 성능 10배↑」22.05.13
Ai타임스, 「엔비디아, GPU 리소그래피 기술 공개…2나노 이하 기술 토대 공유」23.03.23
AVING, 「하이퍼엑셀, 2023 퓨처모빌리티 기술교류회서 생성형 AI가속 플랫폼 서버 시스템 'HA-X1' 소개한다… "관련 시장 발전 가속할 것!"」 2023.02.27
CEO스코어데일리, 「삼성·SK, 차세대 메모리 개발 '속도'…"AI 반도체 주도권 잡는다"」 2023.05.16
KIPOST, 「세미파이브, 퓨리오사AI의 서버용 NPU 양산」23.04.05
THEELEC, 「올해 'RISC-V' CPU 상용화 활발…아키텍처 시장 지각변동 예고」 23.01.24
ZDNet 코리아, 「SW 투자 없이 韓 시스템반도체 미래 없다」 2023.02.10
매일경제, 「안정호 서울대 교수 "AI 판은 계쏙 뒤집혀, 과신은 금물"」 2023.05.15
머니투데이, 「데이터센터 성능 3배로…'국대급' 반도체 인재에 130억 몰렸다」 2023.04.24
삼성전자 뉴스룸, 「삼성전자, 'RISC-V' 기반 오픈소스 SW 개발 프로젝트 참여」 23.06.01
아주경제, 「"K-AI 반도체 쾌거" 리벨리온 '아톰' 엔비디아·퀄컴보다 최대 2배 빨라…언어모델 대전 열린다」 2023.04.06.
전자신문, 「지멘스EDA "AI로 반도체 설계 기간 단축,,,신속한 제품 출시 돕겠다"」 23.03.29
테크42, 「도대체 AI 반도체가 뭐길래?…차별성·장점·경쟁구도」 2023.01.10
테크월드, 「IPU가 AI에 강한 이유 5가지」 2021.07.19.
테크월드, 「글로벌 AI반도체 스타트업, 주도권 확보 '잰걸음'…차세대 시장 노린다」 2023.03.22
특허청 보도자료, 「우리나라 인공지능 반도체 기술, 특허로 저력 확인」 2023.03.22.
한경IT·과학, 「"AI·양자 소프트웨어, 우리 것 쓰세요"…치열해진 반도체 업계 SDK 마케팅」 2023.03.05
한스경제, 「韓 반도체, 제조 넘어 '설계'로…'RISC-V' 대세 편승」 2023.03.02.

이차전지

김세미 연구조교수

글로벌 규제에 대응한 민·관 이차전지 R&D 동향 분석

(2023.06.27) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 美 IRA발 공급망 및 산업수요 변화에 따른 이차전지 민-관 R&D 정책 동향 파악 및 전문가 의견 수렴을 통한 전략 도출

주요 동향

● **(소재 R&D 목표 및 전략 격차 확인)** 이차전지 **음·양극재 R&D**의 **민-관 목표 격차** 발견 및 **포스트 소재 발굴 전략 미비**

- 민간 대비 정부 목표치가 하이니켈 양극재(정부 90% vs. 민간 95%), 실리콘 음극재(정부 5% vs. 민간 7%)로 약 2년 후행

구 분	정 부 (과학기술정보통신부)	민 간 (배터리 국내 3社 기준)	특이사항
하이니켈 양극재	90% 이상 ('23~'27)	95% ('23 개발 및 양산 계획)	'21년 민간88% 개발 완료 90%이상 개발 중
실리콘 음극재	5% 이상 ('23~'27)	◦ 퓨어실리콘 개발진행 ('23, LGES) ◦ 7% 적용 배터리 개발 ('23, 삼성SDI)	'19년 민간은 실리콘 음극재 5% 배터리에 적용 후, '23년 현재 7% 적용 R&D 중

출처: 관계부처 합동(2023.04)「차세대 전지 초격차 R&D전략」, SNE리서치(2022.12) 무코발트(Cobalt-free) 양극재 개발 동향, Digital Today(2023.06) 기사 참고

- 중국 저가소재 대응을 위하여 망간 등 후보 신소재 개발 전략 부재

구 분	정부	민 간	
		국내	중국
포스트 삼원계	N/A	◦ **(LGES)** 망간리치, 고전압미드니켈 ◦ **(삼성SDI)** 코발트프리	N/A
포스트 LFP	N/A	◦ **(LG화학)** LMFP* R&D 추진 추정(관련 R&D 인력 채용진행, '23.01) * LMFP: LFP에 망간을 추가하여 기존 가격은 유지하면서 에너지밀도를 15~20% 향상	◦ **(CATL)** LMFP, M3P* 등 에너지\밀도 고도화 및 양산('23) * M3P: 리튬, 인산, 망간+아연+알루미늄을 조합하여 LFP대비 15~20% 에너지밀도 향상

출처: 관계부처 합동(2023.04)「차세대 전지 초격차 R&D전략」, 전자신문(2023.01) 기사 참고

● **(현 안정성 R&D 전략의 산업체 수요 미반영)** 고밀도 삼원계 개발 시 수반되는 **안전성 문제 개선** 및 **화재억제 R&D 전략 부족**

- 차세대 전지 초격차 R&D전략(과기부, '23.4.6) 총 14개 핵심기술 중 안전성 관련 R&D는 1개*에 불과하며, 주로 차세대전지에 편중

* 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발

● **(폐배터리 R&D 전략 구체화 시급) 배터리 생애주기 순환 속도 가속화** 및 **환경규제 대비**를 위한 **정부 정책 구체화** 필요성 증가

- 배터리 재활용 생태계구축을 목표로 하는 중국 대비 우리나라는 대응 초기 단계로 재활용 핵심 기술 중심의 대응 전략 수립 필요

정 부	민 간	
	국내	중국
◦ **(산업부)** 배터리 순환체계 구축 ◦ **(과기부)** 사용 후 전지의 재활용·재사용 및 회수, 재활용 R&D ◦ **(EU 지속가능한 배터리법,6.14)** 핵심소재(코발트, 니켈, 리튬 등) 재활용 소재 의무화('30~)	◦ **(LGES)** 폐배터리 사업모델 발굴 및 중국 JV 광물추출 설립계획, 배터리 전주기 시스템 기획 ◦ **(SK온)** 수산화리튬 추출기술개발('20) 및 54건 특허 출원 중, 국내 재활용 JV 설립 목표 ◦ **(삼성SDI)** 폐배터리 광물 추출 및 해외 거점생산 공장 확대 추진	◦ **(CATL)** 재활용 배터리 기지 설립 중으로 준공 예정('27) * 최대 320억 위안 투자, 총 6천톤 이상 생산 기대

출처: 관계부처 합동(2023.04)「차세대 전지 초격차 R&D전략」, 산업부, 민·관 합동(2022.11)「이차전지 산업 혁신전략」 발표, 삼정KPMG 경제연구원(2023.03) 배터리 생태계 경쟁 역학 구도로 보는 미래 배터리 산업, 조선비즈(2023.01) 기사 참고

시사점

● **美 IRA발 급증하는 전기차 수요와 탈중국 공급망 시도로 급변하는 글로벌 산업 수요를 R&D 전략 수립에 기민하게 반영할 필요**

- 민간의 삼원계 고에너지밀도 소재 개발 일정 가속화 동향을 반영하여 초격차를 유지할 수 있도록 정부 R&D 목표 상향 필요
- 가격경쟁력 확보 위한 이차전지 포스트 소재(망간리치, 고전압미드니켈(이상 삼원계 계열), LMFP(LFP계열) 개발 추진 시급
- 산업체 개발 우선순위인 안정성 제고 R&D 강화 및 설계, 소재, 공정 등 제조 현장 지식과 연계한 산학협력 촉진 필요
- 글로벌 규제 강화, 생애주기관리 가속화 등에 선제적 대응 위한 진단기술, 재활용기술 등 폐배터리 R&D 전략 구체화 시급

붙임1 민-관 이차전지 전략 비교

	정부(차세대 전지 초격차 R&D전략)	민간(배터리 3사 기준)
소재	**삼원계**	(배터리 3사, '21) 하이니켈 88%이상 개발완료, 90%이상 개발 및 약 95% 개발 및 양산 계획('23) (LGES, '23) 실리콘 음극재 7% 적용, 퓨어실리콘 R&D 착수 (삼성SDI, '23) 실리콘 음극재 7% 적용
	(과기부) 하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘 음극재(5%) 이상 등 고성능 소재 개발	
	LFP	(LGES, ~'25, '26) ESS용 LFP배터리 생산, 전기차용 LFP개발 선언 (SK온, '23) 전기차용 배터리 시제품 공개 (삼성SDI, '23) LFP 배터리 출시 공식화
	(과기부) 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지	
제조 및 공정	(과기부) 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발	**셀-모듈- 팩 연계 단순화**
		(LGES, '25) 셀투팩 기술 양산 제품에 적용 예정 (삼성SDI, '25) 셀투팩 기술 적용 및 셀투섀시 도입 예정('26)
		화제 억제
		(배터리 3사, '23) Z스태킹* 공법 개발 * 분리막을 자르지 않고 양·음극을 Z형태로 적층하여 발화성 물질인 전해액과 직접 만나지 않도록 하는 화재방지기술 (LGES, SKon '23) TP(Thermal Propagation)* * 셀강화를 통한 열폭발 방지 및 열전단 지연기술
	N/A	(공정) 건식 공정 대응 부재 (생산) 탭리스 기술 대응 부재
차세대 전지	(과기부) - 고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 전고체전지(800Wh/L) - 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지 - 고안전성 전고체전지 생산 기술 - 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술	(LGES) 고분자계('26), 황화물계('30) 전고체 배터리 출시 예정 (SK온) 황화물계 시제품 개발('25), 본격 양산('29) (삼성SDI) 전고체 배터리 기술 파일럿 검증 및 양상기술 확보('23), 양산 예정('27)
배터리 재활용	(과기부) 사용 후 전지의 재활용 (산업부) 배터리 순환체계 구축 - 사용후 배터리의 회수·유통·활용 등 통합관리체계마련(민간 주도) - 배터리 전주기 이력정보 축적 DB구축(산업부·국토부·환경부)	(LGES) 재사용·재활용 사업추진, 전주기 시스템 기획 - 10만km 이상 전기 택시 확보 및 재사용 사업모델 발굴 - 중국JV로 광물 추출 공장 설립 예정, 북미 재활용 업체 지분투자 - 전주기 시스템 BaaS(Battery as a Serivce)* 기획 * 전기차 데이터를 확보해 배터리 잔존가치, 수명 관리 등 서비스 제공 (SK온) 폐배터리 추출 R&D 연구 - 폐배터리에서 수산화리튬 추출기술 개발('20) 및 54건의 특허 출원 중 - 국내기업과 국내에 폐배터리 재활용 JV 설립 및 상업공장 건설'(25) (삼성SDI) 폐배터리 광물 추출 거점 생산 추진 - 국내기업 지분투자를 통해 폐배터리 광물 추출 및 해외 거점 생산 공장 확대 추진

출처: 관계부처 합동(2023.04.),「차세대 전지 초격차 R&D전략」
산업부, 민·관 합동(2022.11.)「이차전지 산업 혁신전략」발표
SNE리서치(2022.12), 무코발트(Cobalt-free) 양극재 개발 동향
삼정KPMG 경제연구원(2023.03). 배터리 생태계 경쟁 역학 구도로 보는 미래 배터리 산업
하나증권(2023.06.) 2차전지 Overview
Battery LAB(2021.12.14.) Battery Inside-LG에너지솔루션 홈페이지 https://inside.lgensol.com
배터리 3사 2023년 1분기 실적발표 자료 및 이차전지 관련 기사

붙임2 차세대 전지 초격차 R&D 전략 핵심기술 (관계부처 협동, '23)

이차전지 14개 핵심기술

● 차세대전지 1등 국가 실현을 위하여 ①효율·성능, ②안전성·내구성, ③원료·소재 측면에서 정부가 제시한 이차전지 14개 핵심기술

	차세대 전지 초격차 R&D전략의 14개 핵심기술
효율·성능	① 하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘(5% 이상) 음극재 등 고성능 소재 개발
	② 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발 → 안전성
	③ 고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 전고체전지(800Wh/L)
	④ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지(1,000Wh/L)
	⑤ 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술
	⑥ 건식 극판 공정기술 기반 고성능 리튬이온전지 기술(800Wh/L)
안전성·내구성	⑦ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지
	⑧ 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지
	⑨ 고안전성 전고체전지 생산 기술
	⑩ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 수계 이차전지
	⑪ 고안전성/장수명(수명 20년) 레독스 흐름전지
원료·소재	⑫ 나트륨이온전지(고도화) 및 다가이온전지(800Wh/L)
	⑬ 해수전지(450Wh/L)
	⑭ 사용 후 전지의 재활용

	안전성, 재활용 세부 내용
화제억제	화재확산 방지 기술 개발
재활용	폐배터리를 다른 용도로 재사용하거나 폐배터리 내부의 희소금속을 회수·재활용하는 기술 개발
	친환경/고효율 재활용 기술 개발 중장기 연구

붙임3 이차전지 분야 산학 전문가 자문 내용

전문가 자문

- **(전문가 구성)** 화학공학 및 신소재 분야 KAIST 교수 3인, 에너지 솔루션 등 이차전지 분야 기업인 2인을 대상으로 보고서 자문 및 검토 진행

	주요 질문	전문가 의견
1	**소재성능 고도화** 소재성능 고도화를 위한 R&D 전략	▪ 삼원계 배터리의 경쟁우위를 유지하는 것이 중요 ▪ (양극재) 하이니켈 고도화 ▪ (음극재) 실리콘 음극제 고도화 및 R&D 활성화
2	**가격경쟁력 소재 개발** 중국의 가격경쟁력 대응을 위한 소재 전략	▪ 포스트소재 R&D로 중국 가격경쟁력 대응 필요 ▪ (삼원계) 망간리치, 고전압미드니켈 등 ▪ (LFP) LMFP, M3P 등
3	**안전성 강화** 화제억제 등 안전성 강화를 위한 기술확보 전략	▪ 이차전지에서 안전성(화제 억제) 기술은 산업체의 주요 이슈이므로 R&D 강조 필요 ▪ 안전성 기술의 확보를 위해 산학연계 필요
4	**공정 기술** 공정기술 R&D의 필요성	▪ 공정부분은 산업체를 중심으로 실행 ▪ 대학 및 연구기관에서는 시도단계(ex. 탭리스 등)에 해당하는 공정기술을 산학연계로 제시하는 것도 방법
5	**폐배터리** 폐배터리 관련 선제대응을 위한 R&D 전략	▪ 배터리 생애주기 관리 도입 필요 ▪ 배터리 재사용·재활용 진단기술 및 추출 주요기술 선점을 위한 R&D 필요
6	**추가 제안사항** -	▪ (학계) 전고체 등 차세대 전지 R&D 중요 ▪ (산업계) 스마트팩토리 등 무인공정을 위한 제조 향상 R&D 필요

전문가 자문 회의록 (1)

〈KAIST 생명화학공학과 교수〉

1. 이차전지 소재 성능 고도화를 위해 하이니켈, LFP 기술을 추진하고 있는 상황에서 우리나라가 지향해야 할 소재 R&D 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 삼원계에서는 하이니켈 뿐만 아니라 망간리치, 고전압미드니켈 등, LFP계열에서는 LMFP, M3P 등의 연구를 진행. 이는 가격경쟁력 대응을 위한 것임.
  - **(삼원계)** 망간리치의 특징은 가격이 저렴하나 성능(에너지밀도)이 높지 않는 기술적 문제 해결 필요, 고전압미드니켈은 이미 확보하고 있는 기술인 미드니켈에 고전압을 걸었을 때 발생하는 문제들을 해결하는 것이 필요. 고전압 미드니켈에 대한 내용은 산업계 자문 추천
  - **(LFP)** 에너지밀도를 높이기 위한 것이 LFP 배터리 연구의 주요 목적으로 기존 LFP에 망간이나 다른 광물을 추가(LMFP, M3P)하는 연구가 진행되고 있음.
  - **(전략)** ①LMFP등은 LFP의 약점(저에너지밀도) 개선을 위한 것이므로 우리나라는 주력 기술인 삼원계 배터리의 약점 개선을 위한 방향으로 R&D를 강화하는 것이 필요. 삼원계의 취약점은 '안정성'이므로 안전성 R&D 강화 필요 ②삼원계 성능 강화를 위해 음극재 개발 박차 필요. 실리콘 음극재 고도화 추천

2. 화재억제 등 안전성 기술이 중요하다고 하셨는데 안전성 R&D를 강화하기 위한 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 화재억제 등 안전성 기술은 이차전지에서 매우 중요함. 이는 산업계에서 집중하고 있는 기술로 학계에서의 연구 저변이 취약하므로 산학연계 R&D 필요. 미래 대비 필수 기술로도 안전성 향상 기술을 제안
- 상대적으로 정부가 제시한 R&D에서 화재억제의 중요성이 눈에 띄지 않음. 화재 문제를 해결하면 전고체 기술도 불필할 만큼 매우 중요한 기술이므로 반드시 강조되어야 한다고 생각함. (학계는 주로 소재에만 집중하고 있는 현황)
- **(전략)** 열방출 셀-모듈-팩 설계, 비발화성 전해액(용매, 첨가제) R&D 필요

3. 최근 발표된 정부 정책인 '차세대 전지 초격차 R&D 전략 핵심기술'을 보면 '셀-모듈-팩 연계 단순화' 이외에 공정기술이 강조되지 않고 있는데, 완성차 기술을 선도하고 있는 테슬라의 기술로드맵을 보면 탭리스, 건식 공정 등을 선언하고 있습니다. 이것이 우리나라 R&D정책에 포함되어야 할지 의견 부탁드립니다.

- 공정은 대부분 산업체가 잘하는 영역이므로, 학계 연구로 다루기에는 역량이 부족한 상황
  - **(탭리스)** 설계·제조 영역으로 산업체가 주도해야 할 부분이라고 생각함. 실제로 셀설계와 제조 분야의 R&D 인력도 부족하기 때문에 산업체 경력자들이 은퇴 후 공정 분야 R&D에 기여할 수 있는 산학인력연계 방안으로 해결하는 것도 제안
  - **(건식 공정)** 기존 습식에서 전력 등을 절약해서 가격경쟁력을 높이고자 하는 공정기술로 이제 시작 단계임. 기본적으로 산업계의 공정기술이 우수함으로 연구기관의 R&D로 제시하기에는 무리가 있음.

4. 폐배터리의 재사용·재활용 기술 부분에서 필요한 R&D 전략은 무엇인지 문의드립니다.

- 재사용 및 재활용 문제는 EU 환경관련 규제때문에 시작된 것으로 바라보아야 함.
  - (재활용 기술에 대한 두가지 관점)
    ① 활물질 재처리 과정에서의 환경오염, CO2 배출 문제 등이 발생할 수 있고, 주요 금속을 추출하는 과정에서 소요되는 비용이 새로운 배터리를 제작하는 것보다 높을 수 있음.
    ② 배터리 전주기 가속화로 인한 광물 부족 관점에서 보면 필요할 수 있다고 생각됨.

- **(전략)** ① 두 관점을 모두 고려하여 친환경 용매추출법 등 새로운 공법에 대한 R&D 필요, ② 국내 기업(성일하이텍, 에코프로, CNG, 포스코HY 클린메달 등)이 시도하고 있는 재활용 기술을 바탕으로 R&D 역량을 확장하는 방법 추천

5. 추가적으로 제안해주시거나 검토할 필요가 있는 내용에 대해 의견 부탁드립니다.

- KAIST 화학 및 화학공학 전공에서는 대부분 차세대전지 연구가 주를 이루고 있음을 인지하고 자문내용에서의 우선순위를 판별하는 것이 필요

- 배터리 3사에서 모두 개발하겠다고 하는 LFP 기술이 실제 주력 사항인지에 대해서는 확인이 필요하다고 생각함.

전문가 자문 회의록 (2)

〈KAIST 신소재공학과 교수〉

1. 이차전지 소재 성능 고도화를 위해 하이니켈, LFP 기술을 추진하고 있는 상황에서 우리나라가 지향해야 할 소재 R&D 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 시장수요에 의해 저가 소재(LFP)에 대한 R&D가 중요해지고 있음. 다만, 우리나라의 경쟁력은 삼원계에 있으므로, 삼원계의 가격을 인하시킬 수 있는 소재 R&D가 필요
- **(전략)** 다양한 포스트 소재 후보 R&D 필요. 망간리치, 고전압미드니켈 등이 저가소재 개발에 대한 대안이 될 수 있는데, 소재 부분은 어떤 소재가 실현 가능할지 모르기 때문에 다양한 포스트 소재에 대한 동시다발적 R&D 진행이 필요함. 전고체 등 차세대 전지로 미래를 대비, 포스트 전지 개발로 현 상황 대비가 필요

2. 화재억제 등 안전성 기술이 중요하다고 하셨는데 안전성 R&D를 강화하기 위한 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 2년 전부터 배터리의 주행거리는 어느 정도 확보했으므로 현재는 안전성 확보가 매우 중요
- **(전략)** 기존에 외부적으로 화재 막아주는 기술에서 셀 내 화재 지연 첨가제 추가, 새로운 소재 개발 등으로 변화하고 있으므로 관련 R&D 필요

  ex) LGES 최근 요청기술이 TP(Thermal Propagation)라는 기술로 셀강화를 통한 열폭발 방지 및 열전단 지연 기술임.

3. 최근 발표된 정부 정책인 '차세대 전지 초격차 R&D 전략 핵심기술'을 보면 '셀-모듈-팩 연계 단순화' 이외에 공정기술이 강조되지 않고 있는데, 완성차 기술을 선도하고 있는 테슬라의 기술로드맵을 보면 탭리스, 건식 공정 등을 선언하고 있습니다. 이것이 우리나라 R&D정책에 포함되어야 할지 의견 부탁드립니다.

- 공정은 학계에서 다루기 어려운 부분임. 학계 수준에서는 공정에 대한 환경과 유사한 조성을 하기 어렵기 때문임. 소재 전문가는 공정을 잘 모르고, 공정전문가는 소재를 잘 모르기 때문에 산·학·연 컨소시엄을 이루는 연구가 필요함.

  - **(탭리스)** 공정은 산업계 영역이나 탭리스는 연구 초기 단계로 학계에서 R&D차원에서 접근하는 것도 필요하다고 생각함.

- **(폼팩터)** 폼팩터는 배터리 주도권을 갖기 위한 헤게모니 싸움으로 이해해야 함. LGES가 기존 파우치 중심에서 원통형 배터리로 포트폴리오를 확장한 것도 이러한 맥락에서 이해해야 함. (참고로, LGES 원통형 폼팩터 기술은 경쟁력이 있다고 판단되며 파나소닉보다 잘 개발한다는 이야기도 있음.)

- 이차전지는 시장수요가 주도하는 기술군이기 때문에 기업의 기술로드맵이나 기업에서 추진을 선언하는 기술, 기업수요(ex. 테슬라의 4680원통형) 등은 간과할 수 없으므로 예의주시 필요

4. 폐배터리의 재사용·재활용 기술 부분에서 필요한 R&D 전략은 무엇인지 문의드립니다.

- 배터리 생애주기의 순환속도가 가속화 되고 있어 먼미래에 필요한 기술이라고 판단하기보다 빠른 대비가 필요함.

- 배터리 생애주기 전반의 기술은 이미 중국이 확보하고 있으므로 생태계 구축 관점에서 접근하는 것은 경쟁력을 가질 수 있는 방법이 아니며 기술적으로 접근해야 함.

- **(전략)** 폐배터리 재활용 분야 기술은 아직 초기단계이므로 주요 기술확보로 경쟁력을 확보하는 전략 필요. 현재는 ① (진단기술) 배터리 전주기 대응기술은 현재 배터리의 수명 등을 파악, ② (기준수립) 배터리 상태 판별에 대한 기준 설정을 개발하는 단계임, (추가) Direct Recycling (원료추출을 하지 않고 광물을 직접 재활용)도 이슈임. 이때 10년 전 전극을 에너지밀도 차원에서 그대로 사용할 수 있을지에 대한 기술적 해결이 필요.

5. 추가적으로 제안해주시거나 검토할 필요가 있는 내용에 대해 의견 부탁드립니다.

- **(산업수요 기반 R&D 추진 필요)** 현행 이차전지 R&D 동향을 보면, 주로 수요기반 연구를 중심으로 이루어지고 있음. 즉, 학계에서도 너무 학문적인 연구보다는 산업계에서 시도하고자 하는 R&D를 학계에서 시도한 이후 산업계에서 검증 및 양산해보는 형태로 추진됨을 인지하는 것이 중요

- 삼성SDI가 전고체 연구는 발달한 편이나 전고체 등 차세대 전지는 기업의 주력사항이 아닌 것으로 생각됨. 수요가 리드하는 영역인 것을 감안하여 완성차 기업의 니즈를 파악하고 산업체와의 연계를 통해 시너지를 낼 수 있는 R&D제안이 필요

전문가 자문 회의록 (3)

〈KAIST 화학과 교수〉

1. 이차전지 소재 성능 고도화를 위해 하이니켈, LFP 기술을 추진하고 있는 상황에서 우리나라가 지향해야 할 소재 R&D 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 산업체는 계속 하이니켈에 주력할 것으로 예상되며, 이미 (니켈9):(코발트0.5):(망간0.5)까지 개발한 상황에서 망간리치의 기술적 이슈에 대한 해결을 확신할 수 없어서 망간이 소재의 솔루션이라고 할 수는 없음.
- 산업체가 LFP를 하겠다는 이유는 시장 장악력에서 밀리지 않겠다는 것이지 주력상품은 아닐 것으로 예상됨.
- **(전략)** LFP는 소재개발 측면이라기보다 공정만 조금 바꾼 기술로 이해해야 하며, 이는 소재가 전부가 아님을 보여주는 사례로 소재 개발 시 공정 측면도 생각해봐야 함.

2. 화재억제 등 안전성 기술이 중요하다고 하셨는데 안전성 R&D를 강화하기 위한 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 안전성은 매우 중요. 분리막 기술로 화재 문제를 해결하는 접근도 좋지만, 화재억제 정도에 집중하여 R&D 발굴 및 기획하는 것이 중요

3. 최근 발표된 정부 정책인 '차세대 전지 초격차 R&D 전략 핵심기술'을 보면 '셀-모듈-팩 연계 단순화' 이외에 공정기술이 강조되지 않고 있는데, 완성차 기술을 선도하고 있는 테슬라의 기술로드맵을 보면 탭리스, 건식 공정 등을 선언하고 있습니다. 이것이 우리나라 R&D정책에 포함되어야 할지 의견 부탁드립니다.

- 공정 연구를 하기 위해서는 공정연구가 가능한 시설을 구축해야 하는데, 이는 학교에서 시행하기에는 무리가 있음.
- 학계에서는 공정연구에 집중하기 보다 차세대 전지 등 미래를 대비하는 R&D에 집중 필요

4. 폐배터리의 재사용·재활용 기술 부분에서 필요한 R&D 전략은 무엇인지 문의드립니다.

- 폐배터리 R&D는 매우 중요. 폐배터리 추출과정에서 엄청난 폐기물이 나오기 때문에 이것이 가능한 국가인 중국에서 주도할 수 밖에 없는 분야임.
- **(전략)** 우리나라는 폐배터리 재사용·재활용의 요소기술을 도출하고 기술별 역량을 신장시켜 미래를 대비해야 함.

5. 추가적으로 제안해주시거나 검토할 필요가 있는 내용에 대해 의견 부탁드립니다.

- 민간-정부가 같은 기술군을 지향하는 것보다는 역할 분리 필요. 중복 투자 방지 필요
  - **(민간)** 최전방 영역인 산업(완성차 기업) 수요를 충족시킬 수 있는 기술 경쟁력을 강화
  - **(정부)** 민간의 최전방 기술보다 10년~20년 후의 미래를 대비하는 기술에 집중. 민간의 최전방 기술 지원을 위해서는 인프라, 인적자원 등을 지원

전문가 자문 회의록 (4)

〈LG에너지솔루션 관계자〉

1. 이차전지 소재 성능 고도화를 위해 하이니켈, LFP 기술을 추진하고 있는 상황에서 우리나라가 지향해야 할 소재 R&D 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- **(망간리치)** 배터리의 핵심 요소 중 하나인 가격경쟁력을 갖출 수 있는 전략이라 판단됨.
- **(고전압미드니켈)** 이미 중국에서 '22년 상용화에 성공, 양산공급 중이며, 니켈 비중이 낮아 하이니켈 대비 메탈·양극재·셀에 있어 가격경쟁력이 있음. 단, 전압 상향화 후의 안정적 구동, 셀 수명 및 퇴화 성능 열위 극복을 위해 양극재 단결정화, 전해액 조성 튜닝 등 요소기술 개발 필요
- **(LFP배터리)** 중국업체 대비 경쟁열위 상황, 국내 3사 모두 개발 진행 중으로 개발이 완료된다 하더라도 EV용으로는 '25~26년 양산이 가능할 것임. 다만, LFP만으로 중국업체와 경쟁하기 어렵고, 중국업체들도 LFP의 에너지밀도 개선 계획을 바탕으로 R&D 확대 중인 상황을 감안하면, LFP 외 LMFP(망간 추가), LFP+NCM 블렌딩, 건식 전극 적용 등 개선안 적용이 필요한 상황임.
  - **(전략)** LFP는 셀 에너지밀도 측면 열위로 CTP(Cell to Pack) 등 팩 레벨에서의 기술적 보완이 필요하고 프리미엄급 차량적용에는 적합하지 않음. 망간리치는 LFP 배터리 대비 에너지밀도는 우위, 가격경쟁력은 동등 수준으로 구현 가능할 것으로 예상되며, 이러한 배경을 기반으로 R&D 기획 필요

2. 화재억제 등 안전성 기술이 중요하다고 하셨는데 안전성 R&D를 강화하기 위한 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- **(TP기술)** 하이니켈 삼원계 적용 시 상대적으로 취약한 안전성은 TP(Thermal Propagation) 억제 기술 적용 통해 해결되어야 하는 상황이고, OEM 및 각국의 TP 요구사양을 충족하기 위해서는 TP기술 확보가 반드시 해결해야 할 과제임.
- **(TP기술의 핵심)** 열폭주 대응 위한 내열·내화성 강화 소재 개발·적용 및 셀-모듈-팩의 단계적 안전성 강화 통합 설계 적용임. 분리막 기술은 난연소재 적용 가능여부에 대한 연구가 진척이 있다면 TP억제 위한 효과적인 소재 기술이 될 수 있음.
- **(전략)** LFP는 가격경쟁력 때문에 보급형 차량 적용이 목표이며, 기본 및 고급 차량에는 삼원계 배터리 수요가 높음. 따라서, 삼원계 경쟁력이 높은 우리나라는 TP 등 안전성 강화 기술 진화가 필요

3. 최근 발표된 정부 정책인 '차세대 전지 초격차 R&D 전략 핵심기술'을 보면 '셀-모듈-팩 연계 단순화' 이외에 공정기술이 강조되지 않고 있는데, 완성차 기술을 선도하고 있는 테슬라의 기술로드맵을 보면 탭리스, 건식 공정 등을 선언하고 있습니다. 이것이 우리나라 R&D정책에 포함되어야 할지 의견 부탁드립니다.

- 최근 건식 전극과 같은 신공정 기술 분야에 대한 일부 과제 연구가 진행 중이나 공정은 산업계 수준이 우수하다고 생각함.
- 국내 학계 R&D에서는 셀 구현, 안전성, 최신 공정 등 분야의 기술개발 시도가 필요

4. 폐배터리의 재사용·재활용 기술 부분에서 필요한 R&D 전략은 무엇인지 문의드립니다.

- 중국은 국가 차원에서 전기차 관리감독 강화 및 EV Data 거버넌스 목표로 '16년부터 EV Data를 국가에서 관리하는 플랫폼을 구축·운영 중에 있음. EV Data(차량 주행 및 사건 발생 시 Data) 확보 시 배터리 잔존용량 분석, 관련 SW 기술개발 통해 배터리 안전진단, 재사용 가능여부 등을 판단할 수 있을 것으로 예상됨.
  - **(재활용)** 크게 파분쇄를 통해 Black Mass*를 만드는 전처리와 Black Mass를 원료로 습식제련**을 통해 메탈을 생산하는 후처리가 있음. 재활용의 핵심 기술은 메탈 회수율임.

    * 리튬배터리가 해체되는 과정에서 생성되는 검은 덩어리
    ** 리튬이 포함된 금속을 산이나 다른 용액에 담가 필요한 재료를 추출하는 과정
  - **(재사용)** 재사용의 핵심은 진단기술이며, 진단 기술 적용 시 안전성 진단 및 배터리 상태에 따른 적절한 App 개발이라고 생각함. 진단 기술 또한 현재 초기 단계로 배터리 수명을 파악하고 재사용이 가능한 배터리 선별을 가능하게 하는 기술이 가장 먼저 필요.
- 국내에서 재활용 전처리-후처리까지 양산화에 성공한 업체는 성일하이텍, 에코프로 정도가 있으며, 포스코, 고려아연 등 국내 후발 업체들 경우 '23~'24년 양산 예정

5. 추가적으로 제안해주시거나 검토할 필요가 있는 내용에 대해 의견 부탁드립니다.

- 현재의 산학연구는 주로 차세대전지(전고체 등)에 집중되어 있고, 그 밖에 모델링 등 BMS(Battery Management System)나 시뮬레이션 관점의 과제도 일부 있음.
- 산업에서는 배터리 제조 및 양산 측면도 매우 중요하기 때문에 스마트팩토리 등 무인공정을 위한 제조 향상이 필요하며, 이는 학계와의 R&D를 통해 추진하는 것도 방법임.

이슈브리프 및 별첨

EU 전기차 배터리 시장에서 韓·中 기업 동향

(2023.07.19) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

EU 배터리 시장 동향

- (한국) '22년 기준 EU 전기차 배터리 시장의 64%를 점유하고 있으며, '17~'22년 간 對EU 양극재 수출 202% 증가

- (중국) 정부지원을 통해 EU시장에 대규모 투자 진행

  ※ (CATL) 완성차 기업의 수주를 받기 전 헝가리에 100GWh 규모의 배터리 생산공장 설비투자 추진(73억 유로, '22.8 발표)

- (EU) 증가하는 역내 배터리 수요를 충족하기 위해 중국기업의 투자 유치에도 적극적인 현황이며, 중국 점유율 증가 중임

  * (중국의 EU시장 점유율) '20년 17%→ '22년 34%, (한국의 EU시장 점유율) '20년 68%→'22년 64%, (한국과 중국 간 EU 배터리 시장 점유율 차이) '20년 51%p → '22년 30%p

EU시장의 전략적 중요성

- 완성차 기업(OEM)의 배터리 제휴기업 선정이 본격화되는 향후 1~2년이 글로벌 배터리 산업의 판도를 좌우할 결정적 시기

  - 세계 시장의 50% 이상을 캡티브 마켓(Captive Market)으로 확보한 중국과 경쟁하기 위해 EU 시장의 점유율 확보가 절실

    * 캡티브 마켓: 소비자가 선택할 수 있는 공급자의 수가 제한된 시장을 의미. 중국 전기차 보조금의 한국 배터리 제외 이후 중국기업의 자국 내 독점체제가 굳어짐

  - 규모의 경제가 중요한 배터리의 특성상 EU 시장에서 밀리면 MES(Minimum Efficient Scale) 달성이 어려워질 수 있어 한국 기업들의 경쟁력 하락 불가피

    * MES(최소효율규모): 기업의 장기평균비용이 최소가 되는 지점에서의 생산량

EU시장에서 우리나라 전기차 배터리 기업 경쟁력 SWOT 분석

강점	약점
- 한국 배터리기업에 대한 높은 선호도·안전성에 대한 신뢰·점유율 - (소재) 고에너지밀도 삼원계 소재 기술력 - (재활용) 폐배터리 제조과정 중 발생하는 스크랩 수거, 분쇄해 중간가공품(블랙매스) 제조 후 유가금속 추출 기술 세계 최고 수준의 기술력	- 대규모 투자 자금
기회	**위기**
- 광물, 소재, 장비, 재활용 분야에서 수요 대비 공급 부족 - 전세계 2위 전기차 판매 시장으로 풍부한 재활용 원료 보유 - 환경, 노동, 재활용 관련 강화되는 공급망 ESG 규제	- 중국의 공격적 투자 - 중국의 높은 가격경쟁력 (LFP 배터리)

이차전지 인재양성 전략 도출

(2023.08.31) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 급변하는 글로벌 이차전지 동향에 따른 핵심 R&D분야 파악 및 이를 통한 R&D 인재양성 전략 도출

주요 동향

● 글로벌 완성차 기업의 가격인하 이슈로 인해 배터리 기업의 소재, 제조·공정 혁신이 필요한 상황에 따라 소재, 제조·공정 분야의 인력양성 시급

* **(테슬라)** 셀 디자인 개선(14%), 셀 공정 개선(18%), 실리콘 음극재 개선(5%), 양극재 및 공정 개선(12%), 배터리 공정 통합(7%)을 통해 최대 56%의 배터리 원가 절감을 시도 (자료: Tesla Battery Day, 2020)

* **(포드)** 전기차 가격인하를 위하여 LFP배터리 채택

● 국내 배터리 기업들은 소재, 제조·공정 혁신을 위해 해외 R&D 연구소 설립 및 우수 연구기관과 R&D 수행 중임.

* **(삼성SDI)** (미국, 보스턴) 리튬이온 배터리, 차세대 배터리 연구소 설립 (22.08.15), (독일, 뮌헨) 배터리 공정 및 설비 R&D 연구소 설립 (22.07.01)

** **(LG에너지솔루션)** (미국) 샌디에이고 캘리포니아 대학과 전고체 등 소재 R&D 수행 (21.09), (독일) 뮌스터대학 내 배터리 연구센터 MEET에서 소재, 공정 R&D 수행 (22.06.07)

● 기업은 이차전지 전 기술군의 인력확보가 시급하나 대학에서 양성되는 이차전지 인력과 기업에서 원하는 인력 간의 괴리 존재

- (대학 양성인력) 주로 소재분야의 전문성을 보유한 인력양성에 집중되는 경향을 보임.
- (산업계 수요) 소재·셀·팩·모듈·제조·평가 기술 등 다양한 분야의 전문성을 보유하고 있거나 배터리 전반에 대해 이해하고 있는 인재에 대한 수요 존재

● (인력확보를 위한 기업의 노력) 배터리 계약학과를 통해 기업에서 원하는 인력을 조기에 확보하거나 산학 R&D로 인력 채용 유도

- (배터리 계약학과) 인력확보가 보장되나 인재양성 후 기업에 취업하기까지 시간과 비용이 많이 소요되며, 다른 진로로의 이탈 우려 등이 존재

- (산학 R&D) 특정 기업에 특화된 연구 수행 경험으로 채용을 유도하거나 '기업 특정 팀-대학 특정 랩'과의 1:1 매칭으로 라포(Rapport) 형성을 통해 채용까지 이어지도록 노력
- (해외 고급인재 확보 노력) 국외로 박사과정 및 박사 후 과정 진학하는 인재들을 다시 국내 기업으로 유치하기 위하여 해외인력의 직접 헤드헌팅 수행

시사점

- 글로벌 완성차 및 이차전지 기업들은 가격경쟁력 확보를 위해 소재뿐만 아니라 생산·공정 혁신에 집중하고 있는 상황으로 이에 대한 집중 인력양성 필요
  - 현재 국내 대학에서 양성되고 있는 인력은 소재부문에 집중되어 있으므로 생산·공정 부문의 인재양성전략 필요
  - 독일 Battery Lab Factory와 같이 대학 내 배터리 전체공정 연구와 시생산이 가능한 R&D 인프라 구축을 통해 연계 인력양성 전략 도입 필요

    * 독일 배터리 랩 팩토리 (Battery Lab Factory): 독일 브라운슈바이크 공과대학 안에 위치하고 있으며, 배터리 생산·공정 R&D 인프라를 구축하여 배터리 전체 프로세스와 관련한 R&D 수행 및 시제품 시생산 제작

  - 이를 통해 대학은 소재 중심의 R&D에서 연구분야 확장, 기업은 생산·공정 R&D 인재를 확보할 수 있는 선순환 환경 조성 가능

전문가 자문 회의록 (1)

〈KAIST 화학공학과 교수〉

1. 현재 이차전지 기술 세부 분야에서 배터리 기업으로 취업하는 학생들의 세부 분야 및 기업의 수요가 가장 많은 분야는 어떤 것인가요?

- (학계 배출: 소재 및 셀 분야에 치중) 학계는 소재분야에서도 양극 소재, 혹은 음극 소재 등에만 특화된 편이기 때문에 양성되는 인재들도 이 분야에 집중
- (기업 수요) 소재·셀·팩·모듈·제조·평가 기술 다양한 분야가 필요
  - (4대 소재) 4대 소재 전 분야(양극재, 음극재, 전해질, 분리막)에 대한 수요가 있음.
  - (제조·공정) 제조·공정은 가격경쟁력을 위해 기업이 집중하는 분야로 이 분야에 투입할 인재에 대한 수요 또한 많은 편임. 따라서 전공분야가 다르더라도 채용 후 생산·공정 분야에 투입하는 경우도 대다수임. 새로운 분야를 학습 및 경험해야 하는 부분에서 인력활용의 비효율성이 발생.

2. 이차전지 산학 R&D는 주로 어떤 분야에서 가장 많이 이루어지고 있는지요?

- 주로 현장에서의 수요보다는 ①차세대 리튬전지(리튬금속, 전고체 등)나 ②배터리의 본질적·장기적 문제 해결(실리콘, 안전성, 건식공정)을 위한 R&D 중심으로 진행

3. 기존 관련 학과(화학공학과, 신소재공학과 등)와 배터리 계약학과의 교육 프로그램 및 R&D에서는 어떠한 차이가 있을까요?

- (기존 학과) 전공분야에 대한 깊은 이해와 전문성을 중심으로 하는 교육과 R&D 진행
- (배터리 계약학과) 배터리와 연관된 다양한 기술에 대한 넓은 시각을 갖추면서 기술적 전문성을 갖추는 방향, 즉 배터리 기업에서의 수요가 반영된 방향으로 전개

4. 기업에서는 이차전지 산업에 급속하게 성장하면서 관련 인력에 대한 수요가 매우 크고, 이에 대한 방안으로 배터리 계약학과 등 양성 프로그램을 확대하는 전략을 활용하고 있습니다. 이와 유사한 선례로 반도체 계약학과를 들 수 있는데, 반도체 기업의 취업이 보장되는 이점에도 불구하고 최근 합격자들이 크게 이탈하는 현상이 발생하고 있는데, 이차전지 분야는 이러한 상황에 대한 우려나 선제 대응 방안이 있을지 의견 부탁드립니다.

- 이차전지 기업은 계약학과를 통해 안정된 인력수급을 희망하고 있으나, 학생들은 다양한 기회를 탐색해 보고자 하는 열망이 있음.

- 반도체 계약학과 사례의 경우, 지원한 학생들의 스펙에 비해 삼성전자의 안정적 입사가 정말 큰 특혜인지를 생각해 보는 것이 필요. 이차전지 분야에서도 동일하게 발생할 수 있음.
- 배터리 계약학과에 입학하는 것이 해당 대학(ex. KAIST)을 쉽게 입학할 수 있는 방안도 아님.

● 이차전지 기업은 연봉, 워라밸 측면에서의 장점을 부각시켜 홍보 하고, 비전을 공유할 기회를 늘리기 위해 노력 중임.

● (산학 R&D를 통한 인력확보 사례 추천) LG에너지솔루션은 KAIST에'프론티어 리서치 랩'이라는 20억 규모의 연구를 의뢰하고, 이를 여러 교수님들께 배분하여 학생들 참여를 유도. 실제 해당 연구에 참여한 학생들은 대부분 LG에너지솔루션에 입사하였음. 즉, 기업입장에서 R&D와 인력확보를 동시에 하는 일석이조의 결과를 취득하였음.

5. 급변하는 글로벌 산업생태계가 주도하고 있는 상황에서 이차전지 인력양성에 있어서 가장 중요한 점이 무엇이라고 생각하시는지요? 혹은 이차전지 인력양성에 있어 핵심 역량이 무엇이라고 생각하시는 지요?

● 이차전지는 타 분야 대비, 여러 부품간의 interplay가 복잡한 영역임. 어느 한 분야에 대한 전문성만으로는 문제의 진단 및 해결이 되기 어려운 분야임. 좀 더 큰 시각을 가질 수 있도록 셀·모듈·팩 내부에서의 여러 물리화학적 프로세스 및 진단·평가 기술에 대한 통합적이고 다각적 이해를 제공하는 교육이 필요.

6. 이차전지를 전공한 인력부족이 비단 학생에만 국한되는 것이 아니라 교수풀의 부족도 언급되고 있는데(KISTEP, 2023), 이에 대한 교수님의 견해와 교수양성을 위한 전략에는 어떤 방법이 있을까요?

● 이차전지 산업을 경험해 본 교수의 확충이 필요함. 산업체의 인력을 교수로 적극 채용하거나, 교수가 일정기간 산업체에 방문연구를 해 보는 프로그램의 확충이 필요.

7. 생산, 공정 분야의 인력 또한 기업에서의 수요가 매우 큰 것으로 파악되는데요, 생산인력은 대학과 크게 관련 있지 않더라도 이와 관련하여 대학에서 할 수 있는 인력양성 전략이 있을까요?

● 생산 공정에 대한 팹을 구성하고, 관련 연구를 수행할 수 있는 연구센터 구축. 이를 통해 전문성을 가진 인력을 양성.

- 독일은 battery labfactory를 구축하여 운영함으로서 관련 기술을 심화시키고 인력을 배출하고 있음.

전문가 자문 회의록 (2)

〈KAIST 신소재공학과 교수〉

1. 현재 이차전지 기술 세부 분야에서 배터리 기업으로 취업하는 학생들의 세부 분야 및 기업의 수요가 가장 많은 분야는 어떤 것인가요?

- (기업 수요) 배터리 분야에 전반적으로 교육되어 빠르게 실전에 투입할 수 있는 인재 필요. 배터리 기술 중 한 분야에 대한 전문성을 갖춘 인력보다 소재 개발에서 양산까지 다양한 분야에 대한 역량이 있는 인재를 원함.
  - 전자과, 컴퓨터 공학과 인재에 대한 수요도 있음. 셀 안에 소재들이 어떻게 연결되어 있고, 전자적으로 어떻게 시스템을 구성하게 되는지 등 시스템 효율성 측면에서의 인력을 필요로 함. 또한, 전기차 혹은 배터리에서 많은 데이터가 발생하는데 이를 통해 사용자 개개인을 위한 최적화 서비스를 제공할 수 있도록 데이터를 분석하고 활용하는 인력이 필요. 그러나, 전기전자 및 컴퓨터 전공학생들은 반도체 분야로 취업을 많이 하는 경향이 있기때문에 인력확보에 어려움이 있을 것으로 생각됨.
  - 기계공학과 인력에 대한 수요도 있음. 배터리는 결국 하나의 구조체이고, 내부의 팽창을 견딜 수 있는 안전성 측면에서의 구조체 개발이 중요하기 때문에 기계적 디자인 역량이 필요
- (학계 현황) 교수님들은 소재 분야에 특화되어 있으며, 소재 전 분야를 하기보다는 양극 소재, 음극 소재 등 특정 소재에 특화되어 있음.
- (학계-기업 간 괴리 존재) 소재 등에 특화되어 있는 학교와 배터리 전 분야에 대한 이해도를 갖춘 인재를 원하는 기업 간 괴리가 존재. 학계에서는 보통 양산까지의 경험을 가진 교수님이 거의 없기때문에 기업이 원하는 인력을 양성하기에는 어려움이 존재함.

2. 이차전지 산학 R&D는 주로 어떤 분야에서 가장 많이 이루어지고 있는지요?

- 산학 R&D는 주로 소재, 전고체 등의 분야에서 이루어지고 있으며, 기업에서 현재 필요한 기술 대응 분야보다는 차세대 기술 등 미래 기술에 집중되어 있음.
- 기업에서는 배터리 설계, 기술적 분석 등에 대한 R&D 수요도 있음.

3. 기존 관련 학과(화학공학과, 신소재공학과 등)와 배터리 계약학과의 교육 프로그램 및 R&D에서는 어떠한 차이가 있을까요?

- (교육 프로그램) 관련 수업이 거의 없으며, 신소재공학과에서는 전무한 현황임. 기업에서는 배터리 전반을 교육받고 온 학생들을 원하는데 그런 교육과정이 기존 학과에는 없음. 그러나 단일 학과에서 배터리 전반에 대한 교육을 제공하는 것도 무리가 있음. 교수님들은 보통 특정 분야에 집중된 전문성을 보유하고 있기 때문임. 배터리 계약학과에서는 여러 분야의 교수님들을 모집하여 배터리 전반에 대한 교육을 제공함.

- (R&D) 배터리 R&D 인재양성 과정에 입학한 학생의 경우, 결국 한 교수님의 연구실로 들어가야 하는 구조임. 이러한 학생은 한 해에 10명 정도 선발되고, 석사 위주의 프로그램으로 구성되어있음. (박사는 인력양성의 기간이 더 길기때문에 기업에서 부담이 되는 상황). 한 교수님 랩에 이 프로그램의 석사가 들어오게 되면 연구실 입장에서는 기존 석박사 과정으로 들어오는 학생들 지도나 비용도 버거운 상황에서 추가적으로 지도를 해야되기 때문에 어려운 점이 있음. 비용 측면에서는 학생 한 명 지도 시 인건비를 제외하고 연구비(재료비)만 3천~5천만원 정도 소요되기 때문에 두 명의 학생만 받는다 하더라도 약 1억 정도가 소요. 그러나 기업에서는 이 정도 규모의 비용을 지원해 주지않고, R&D과제를 준다던지 하는 형태로 진행됨. 이러한 상황이 석박사 인재양성 센터를 활성화시키는데 있어 한계로 작용함.

  - 해당 프로그램의 경우, 장점은 취업 보장이고, 이러한 특혜 때문에 입시과정이 이미 취업과정과 유사하게 인적성 검사, 기업 임원면접 등을 모두 실시함. 그러나 이러한 입시과정을 거치고 들어온 학생들은 이후 진로가 결정된 상황이기 때문에 학위과정동안의 학습동기가 떨어지는 단점이 있음. 또한, 진로가 빨리 정해진다는 것이 장점이기도 하지만 진로를 한참 탐색하는 나이대의 학생들에게는 진로 선택지가 하나라는 것이 단점으로 작용할 수도 있음.

  - (대안) 큰 규모의 산학 R&D를 제공해 주어 비용 효율성 문제를 해결해 주거나, 대학 단위에서 할 수 없는 공정 인프라 기반을 구축하여 관련 R&D를 장려하는 방법이 있음.

4. 기업에서는 이차전지 산업에 급속하게 성장하면서 관련 인력에 대한 수요가 매우 크고, 이에 대한 방안으로 배터리 계약학과 등 양성 프로그램을 확대하는 전략을 활용하고 있습니다. 이와 유사한 선례로 반도체 계약학과를 들 수 있는데, 반도체 기업의 취업이 보장되는 이점에도 불구하고 최근 합격자들이 크게 이탈하는 현상이 발생하고 있는데, 이차전지 분야는 이러한 상황에 대한 우려나 선제 대응 방안이 있을지 의견 부탁드립니다.

- 배터리 계약학과 같은 경우, 입학한 학생들에게는 진로에 있어서 좁은 선택지가 될 수 있음. 진로 선택지가 적을 바에는 차라리 특정 라이센스, 즉 의대, 약대 등으로 진학을 하고자 하는 학생들도 있을 것이라고 생각함.
  - (대안) 배터리 계약학과보다는 마이크로 디그리처럼 학위나 전공을 추가로 수여해 주는 등의 교육트랙 다양화가 더 많은 배터리 인력양성을 위한 방안이 될 수 있음.
  - (사례) 유니스트 등에서는 배터리 트랙을 마련하고, 해당 트랙에 배터리 관련 기술을 다양하게 보유한 교수님 10명을 구성하였음. 즉, 특정 랩에 소속되어서 관심 분야 및 전문분야를 신장시키는 동시에 배터리 전반에 대한 소양도 갖출 수 있도록 하는 프로그램이 좋다고 생각함.

5. 급변하는 글로벌 산업생태계가 주도하고 있는 상황에서 이차전지 인력양성에 있어서 가장 중요한 점이 무엇이라고 생각하시는지요? 혹은 이차전지 인력양성에 있어 핵심 역량이 무엇이라고 생각하시는 지요?

- (R&D 인력 확대) 대학은 소재 중심의 연구가 주로 이루어지기 때문에 생산·공정 분야의 연구는 한계가 있음. 해당 분야의 R&D 역량 확장이 필요
- 추가적으로 학계에서는 코인셀 등 작은 스케일의 연구를 할 수 밖에 없는데, 전기차에 들어가는 배터리 수준의 연구를 할 수 있는 실험 공간이 거의 없기 때문임. 큰 규모의 실험과 연구를 할 수 있는 장비들이 구축된다면 기업에서 원하는 배터리 전 분야 기반 지식을 갖춘 인재양성이 가능할 것으로 보임

6. 이차전지를 전공한 인력부족이 비단 학생에만 국한되는 것이 아니라 교수풀의 부족도 언급되고 있는데(KISTEP, 2023), 이에 대한 교수님의 견해와 교수양성을 위한 전략에는 어떤 방법이 있을까요?

- (배터리 양성 사업의 참여교수 현황) 초반에는 R&D인력 양성 중심으로 시작했는데, 현재 학부단위로 확장. 그러나 교수님들이 이미 반도체 인력양성 사업에 많이 참여한 상황이라 배터리 학부 인력양성 사업에 교수님들을 확보하고 참여시키기 어려운 현황임.
- KAIST 신소재공학과만 해도 30명의 교수님이 계시는데, 그 중 배터리를 주전공으로 하시는 교수님은 안계심. 연료전지, 촉매 등을 하는 분들이 배터리를 추가적으로 하는 형태임.
- (대안) 실질적으로 각 학과에 배터리 전공 교수를 많이 임용하는 것은 한계가 있다고

생각함. 따라서 교수채용을 많이 하기보다 공정이나 제조 등 실험실습 분야에서 교수와 공동지도를 할 수 있고 현장 경험이 있는 전문인력의 채용이 필요하다고 생각함. 단, 채용 기간의 보장 및 처우 등이 좋아야 이러한 인력을 대학에 유입할 수 있을 것임.

7. 생산, 공정 분야의 인력 또한 기업에서의 수요가 매우 큰 것으로 파악되는데요, 생산인력은 대학과 크게 관련 있지 않더라도 이와 관련하여 대학에서 할 수 있는 인력양성 전략이 있을까요?

- 기업이 원하는 특정 기술에 특화된 인재양성을 위한 전략을 참고할 수 있음. SK-on의 경우, 기업이 여러 대학이랑 계약학과를 맺을 때 기업 내 특정 팀(ex. 소재 팀)-대학(ex. 소재 분야 우수 대학) 형태로 매칭해서 운영함.

- 배터리 기업의 해외 생산기지 및 합작회사 등이 급속하게 많아지면서 이곳에 파견할 석사급 생산 분야 인재에 대한 수요가 많아졌음. 따라서, 대학에서 생산을 포함하여 배터리 전반에 대한 기본 소양을 함양할 수 있도록 관련 교육 및 실습경험을 제공하는 나노트랙을 제공하는 것도 방법임.

전문가 자문 회의록 (3)

〈SKon 인사 부문 관계자〉

1. 현재 이차전지 기술 세부 분야에서 배터리 기업으로 취업하는 학생들의 세부 분야 및 기업의 수요가 가장 많은 분야는 어떤 것인가요?

- (학계 배출) 학계는 주로 기초 과학중심의 인력을 배출
- (기업 수요) 배터리 산업은 성숙기에 접어들고 있는 분야이기 때문에 기초부터 양산화까지 이어질 수 있는 소양을 갖춘 인재를 원함.
  - 전방산업(소재)과 후방산업(자동차)까지를 이해하는 소재·셀·팩·모듈·제조·평가 등 전 분야 인력에 대한 수요가 많음. 단, 석박사는 (전분야에 대한 이해와 동시에) 위의 특정 분야에 대한 전문성을, 학사는 배터리 분야 전반에 대한 지식을 갖춘 역량이 필요
  - 절대적으로 이차전지 인력이 부족한 현황. 또한, 아직 이차전지 전문가(교수)가 양성한 1기 인력의 배출도 안된 상황이라고 판단됨.
  - 기업에서는 역량을 갖춘 석박사 인력에 대한 수요가 많음. 학사의 경우, 어느 정도 관련성이 있으면 전공은 크게 중요하지 않음.
  - 미국 등에 생산을 위한 공장을 적극적으로 짓고 있는 상황으로 ①해외 및 지방거주가 가능한 학사(엔지니어 인력), ②스마트팩토리 추진을 위한 소프트웨어, 데이터 분석 인력도 필요

2. 기존 관련 학과(화학공학과, 신소재공학과 등)와 배터리 계약학과의 교육 프로그램 및 R&D에서는 어떠한 차이가 있을까요?

- (기존 학과) 화학공학, 신소재 등의 기초적 내용으로 배터리 기술과는 일부 거리가 있을 수 있음.
- (배터리 계약학과) 배터리 전반에 대한 기본 소양을 함양할 수 있는 교육

3. 기업에서는 이차전지 산업에 급속하게 성장하면서 관련 인력에 대한 수요가 매우 크고, 이에 대한 방안으로 배터리 계약학과 등 양성 프로그램을 확대하는 전략을 활용하고 있습니다. 이와 유사한 선례로 반도체 계약학과를 들 수 있는데, 반도체 기업의 취업이 보장되는 이점에도 불구하고 최근 합격자들이 크게 이탈하는 현상이 발생하고 있는데, 이차전지 분야는 이러한 상황에 대한 우려나 선제 대응 방안이 있을지 의견 부탁드립니다.

- (배터리 계약학과) 효과적인 수단(인력확보에 대한 보장 기능)이나 기업입장에서는 인력양성 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 투자대비 효율성은 떨어지는 편이라고 생각함.

- (진로에 대한 제약) 석박사 과정은 특정 전문분야가 더 심화되는 과정이기 때문에 이 과정의 학생들은 진출할 수 있는 진로가 한정적이라고 생각하는 경향이 있음. 그러나, 기업에서는 현재 인력이 부족한 상황이기 때문에 전공분야가 얼마나 광범위한지, 세부적인지보다는 해당 인재가 배터리에 대한 지식과 역량이 있는지, 즉 '기술 관련성'을 더 중요하게 생각함. 실제로 관련분야 석박사 학생들은 여러 기업에 합격하여 취업할 곳을 선택하는 상황이 발생하기도 함. 이처럼, 기업은 관련 지식과 전문성을 갖춘 인재를 채용하고자 하는 수요가 크기 때문에 이러한 관점에서 보면 배터리 계약학과도 배터리 기술에 대한 연관성이 높은 진로트랙이라는 점에서 기업 취업에 있어서는 효과적이라고 생각함. 또한, 인력부족 상황이라해도 기업의 수요는 우수한 인력에 대해 있는 것이기 때문에 배터리 계약학과의 입학과정을 통과한 검증된 인재, 배터리 지식을 갖춘 인재를 양성하는 것은 인재확보에 있어 좋은 방법이라고 생각함.

  - (이탈율) 아직 이탈율이 우려할 정도는 아니고, 의대 등 전문 라이센스 학과로 이탈하는 학생들은 전혀 다른 트랙으로의 이동이기 때문에(공학분야에 취업할 인재로 간주하지 않음.) 기업 입장에서 크게 고민되는 부분이 아님.

- (산학 R&D를 통한 인력유도 전략에 대한 생각) 단기적 과제보다 장기적인 연구과제를 통해 인력양성까지 연계될 수 있는 연구과제를 수행한다면 좋은 전략일 수도 있겠다고 생각. 다만 인력양성까지 연계된 스케일의 연구과제를 운영할 교수진이 많다고 생각하지 않음. 타산업 대비 교수풀이 적기 때문임. 공동연구에 대한 인프라(공간) 등을 대학에서 마련하는 것도 어려움이 있는 것으로 예상됨. 또한, 배터리 계약학과 만큼의 인력확보 보장성도 떨어진다고 생각함.

- (대학별 강점분야와 기업간의 매칭 필요) 산학R&D는 인력확보에 대한 보장이 상대적으로 약할 수 있기 때문에 기업-대학의 연구분야별 매칭으로 시너지와 역량을 확보하고, 정부에서는 이러한 R&D를 할 수 있는 장과 R&D의 전체 규모를 증가시켜주는 것도 좋을

것이라고 생각함. 다만, 기업마다 역량과 강점이 다르고 이는 회사기밀이기 때문에 이에 대한 위험성을 덜어줄 수 있는 방안도 고려해야 함.

4. 급변하는 글로벌 산업생태계가 주도하고 있는 상황에서 이차전지 인력양성에 있어서 가장 중요한 점이 무엇이라고 생각하시는지요? 혹은 이차전지 인력양성에 있어 핵심 역량이 무엇이라고 생각하시는 지요?

- 석박사 학생들에게 하고 싶은 업무분야에 대해 질문하면 보통 전고체분야를 이야기함. 이는 한국 학계에 계시는 많은 교수님들이 전고체를 연구하기 때문임. 그러나 기업에서는 현재 양산해서 소비자에게 판매할 리튬배터리 등에 더 관심이 있음. 실제 글로벌 시장에서의 수요와 연관이 있는 기술에 대한 역량이 더 중요하다고 생각함.

- 글로벌 수요에 따라 현재 리튬소재가 중요하긴 하지만 실제로 기업에서는 리튬 등 소재 분야에 대한 인력확보가 어느정도 해결된 것 같다고 생각하는 경향도 있음. 배터리는 소재뿐만 아니라 공정, 양산까지가 하나의 과정이기 때문에 기업입장에서는 이러한 부분에 대한 인재의 역량도 중요하다고 생각함.

5. 이차전지를 전공한 인력부족이 비단 학생에만 국한되는 것이 아니라 교수풀의 부족도 언급되고 있는데(KISTEP, 2023), 이에 대한 교수님의 견해와 교수양성을 위한 전략에는 어떤 방법이 있을까요?

- 교수풀이 부족한 것이 사실임. 기업에서 타기업의 경력직을 영입해가듯이 대학에서도 이러한 현상이 많이 일어나는 것으로 알고 있음.

- 이런 상황에 대비하기 위해서 대학에서는 '배터리의 특정분야는 우리학교가 제일 잘한다'는 전략을 고민한다는 이야기를 들은 적도 있음. 실례로 고려대학교의 경우, 이차전지 생산공장 스마트팩토리화에 집중하는 모습을 볼 수 있음.

- (박사인력 확보를 위한 기업의 노력) 유학 및 해외 포닥을 가는 학생의 경우, 해외 기업(유럽, 중국 등)으로 취직하는 사례들도 꽤 있음. 한국대학에 있을 때와는 달리 해외기업의 접근에 노출되는 환경이 많기 때문임. CATL 등의 중국 기업은 처우가 좋다는 이야기가 있고, 테슬라와 같은 기업은 기업 이미지가 좋고, 학생들의 선호도가 높은 편이라고 들었음. 따라서 기업에서는 해외학교로 진학하는 학생들과 진학 전부터 계속해서 라포를 형성하고, 지속적으로 홍보하기 위한 노력을 하고 있음.

6. 생산, 공정 분야의 인력 또한 기업에서의 수요가 매우 큰 것으로 파악되는데요, 생산인력은 대학과 크게 관련 있지 않더라도 이와 관련하여 대학에서 할 수 있는 인력양성 전략이 있을까요?

- 생산, 공정뿐만아니라 전 분야에서 인력양성을 위한 투자를 많이 하고 있음. 배터리 계약학과, 산학 장학생 운영, 산학 R&D과제, 학회 및 홍보 활동, 해외 박사의 직접 헤드헌팅 등 할 수 있는 모든 방법을 동원해서 인력을 확보하려는 노력을 하고 있음.

별첨 1

이차전지 인력양성 방안

1. 이차전지 인력 현황 및 세부 분야별 기업 취업 현황

주요 대학의 학과, 출연연

- (대학) 서울대학교, KAIST, 포스텍, UNIST, 고려대학교, 연세대학교, 성균관대학교, 한양대학교 등이 주도
- (학과) 화학공학과, 화학과, 신소재·재료 공학과, 에너지공학과 등을 중심으로 산업계에 분포되어 있으며, 기계공학과, 전기·전자공학과, 산업공학과 등의 분야와 융합 R&D 수행
- (출연연) 한국원자력연구원(KAERI), 한국재료과학연구원(KIMS), 한국과학기술연구원(KIST), 한국에너지기술연구원,(KIER), 한국화학연구원(KRICT), 한국전자기술연구원(KETI) 등

주요 기업

- (소재 기업) LG화학, 롯데케미칼, SK케미칼
- (배터리 기업) 삼성SDI, LG에너지 솔루션, SKon
- (완성차 기업) 현대 모비스
- (기타) 삼성전자, 삼성종합기술원, SK하이닉스, 삼성디스플레이, LG디스플레이, LG이노텍, 삼성전기

세부 분야별 기업 연결고리

- (리튬배터리, 실리콘 음극제 등 소재) LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK이노베이션
- (나노구조 재료 합성) 반도체 기업, SK온
- (촉매) LG화학
- (폴리머) 반도체 기업, LG화학, SK이노베이션
- (전해질) LG화학
- (에너지 회로 설계 및 제어) 현대자동차
- (전고체) 삼성SDI
- (에너지 저장) 현대자동차
- (그래핀) LG화학

2. 주요 학자별 양성인력 분포 현황

이차전지 주요 석학 4인을 중심으로 배출인력 분포현황을 탐색

※ 각 교수 홈페이지에 기재된 동문(한국인)을 중심으로 조사

① 조재필 서울대학교 교수

- (연구 분야) 양극소재 전문가, 세계 최초 '무수세 97% 니켈 함유 단결정 양극 소재' 개발

  * 무수세 97% 니켈 함유 단결정 양극 소재: 물을 사용하지 않는 방식으로 환경오염을 일으키는 폐수량을 감소시켜 단결정 양극 소재를 저렴한 가격에 양산할 수 있도록 하는 기술

- (배출 인력 현황) 학계, 산학계 고루 인력을 배출하고 있으며, 박사비중이 석사에 비해 상대적으로 높음. 산업계 진출인력은 주로 배터리, 소재 기업에 집중됨.

	학계	산업계				출연연	기타
석사 (28명)	2명 (7.1%)	25명(89.3%)				1명 (3.6%)	-
		배터리(39.3%)	소재(35.7%)	자동차(7.1)	기타(7.1)%		
박사 (36명)	11명 (30.6%)	19명(52.78%)				6명 (16.7%)	-
		배터리(19.4%)	소재(13.9%)	자동차(8.3%)	기타(11.1)%		

② 선양국 한양대학교 교수

- (연구 분야) 양극소재 전문가, 코어쉘 그래디언트 기술 세계 최초 개발

  * 코어쉘(Cpre Shell Gradient:CSG): 양극재 중심부 니켈 함량을 높이고 바깥 부분은 니켈 비중을 낮춰 전해액 침투를 제어하여 에너지 밀도와 안정성, 수명을 강화시키는데 영향을 미치는 기술

- (배출 인력 현황) 산업계를 중심으로 인력 배출이 많은 편이며, 석사졸업생의 대부분은 산업계에 진출하는 경향을 보임.

	학계	산업계				출연연	기타
석사 (46명)	3 (6.5%)	36명(78.3%)				1 (2.2%)	6 (13.0%)
		배터리(26.1%)	소재(43.5%)	자동차(4.4%)	기타(4.4%)		
박사 (31명)	4 (8.7%)	22명(71.0%)				2 (4.4%)	3 (6.5%)
		배터리(21.7%)	소재(21.7%)	자동차(4.4%)	기타(-)		

③ 최장욱 서울대학교 교수

- (연구 분야) 음극소재 전문가, 분자 도르래 구조를 실리콘 전극에 적용하여 이차전지 수명을 대폭 개선

  * 분자 도르래 실리콘 적용 기술: 탄성이 높은 분자 도르래가 실리콘 전극을 안정적으로 잡아줘서 고질적 문제인 부피 팽창을 500회 이상 반복해도 실리콘이 부서지거나 전극에서 떨어지지 않도록 하여 이차전지 수명 개선에 기여

- (배출 인력 현황) 박사중심의 인력양성이 이루어지고 있으며, 산업계와 학계에 고루 인력 배출. 산업계에 진출한 박사인력은 주로 배터리 기업에 진출

	학계	산업계				출연연	기타
석사 (2명)	-	2(100%)				-	-
		배터리(50%)	소재(-)	자동차(-)	기타(50%)		
박사 (33명)	7 (21.2%)	21명(63.6%)				5 (15.2%)	-
		배터리(45.5%)	소재(-)	자동차(12.1%)	기타(6.1%)		

④ 강기석 서울대학교 교수

- (연구 분야) 양극소재 전문가, 리튬 과잉 양극소재에서 나타나는 전압강하·수명저하 원인 규명

- (배출 인력 현황) 박사 중심의 인력양성이 많은 편이며, 주로 학계와 출연연으로 인력 배출

	학계	산업계				출연연	기타
석사 (6명)	1 (16.7%)	4명(66.7%)				1 (16.7%)	-
		배터리(50%)	소재(-)	자동차(-)	기타(16.7%)		
박사 (27명)	6 (22.2%)	6명(22.2%)				15 (55.6%)	-
		배터리(11.1%)	소재(-)	자동차(-)	기타(11.1%)		

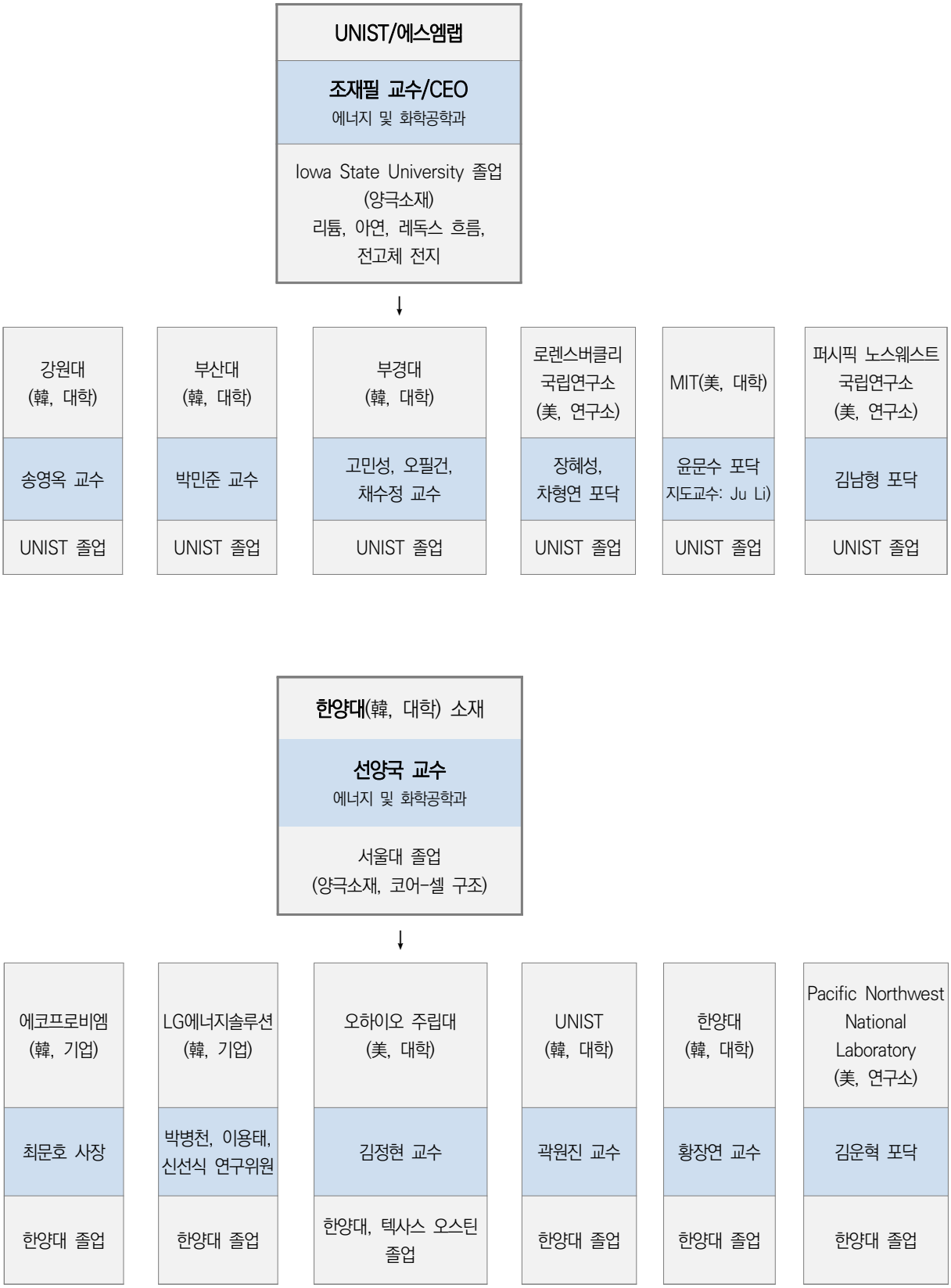
종합

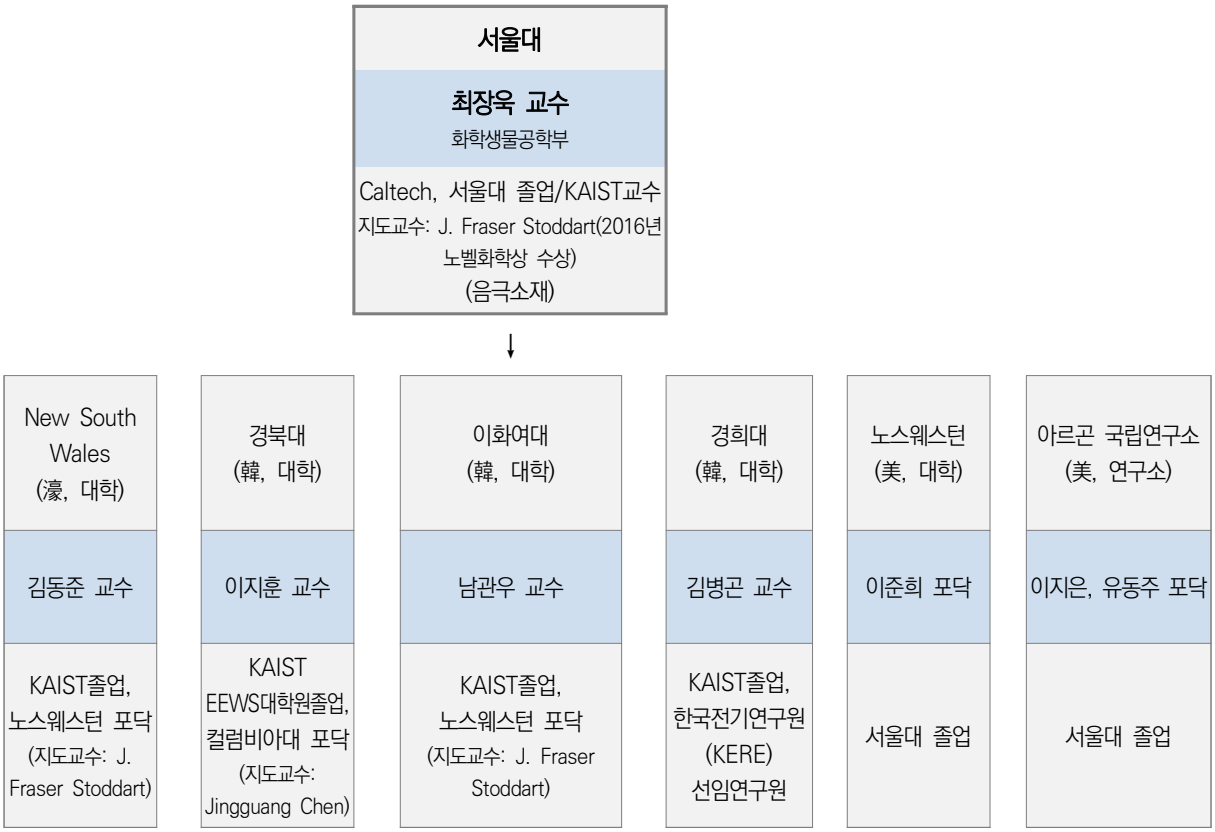
① 석사인력은 대부분 산업계로의 진출이 많은 편이며, 주로 배터리 기업, 소재 기업에 집중되는 편임.

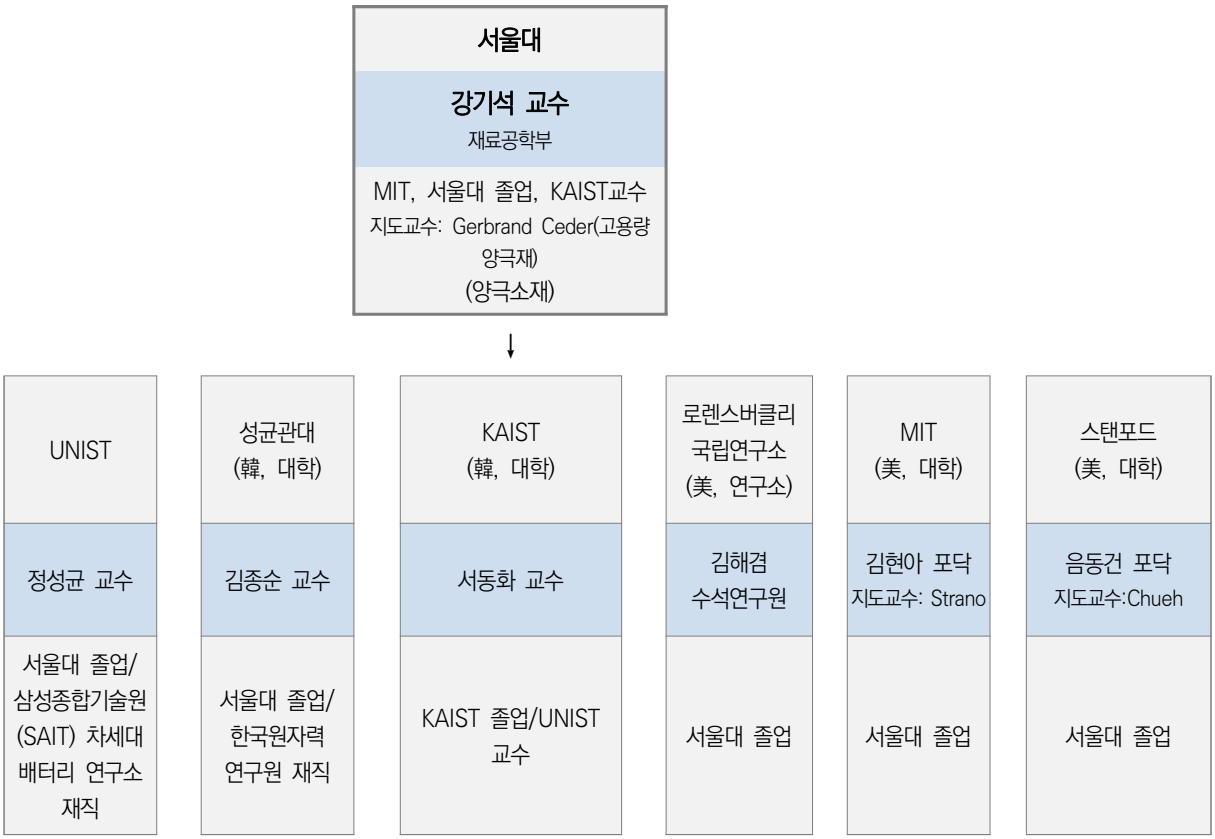
② 박사인력은 학계와 산업계로의 진출이 고루 분포되는 것으로 나타남.

③ 산업계 진출 인력의 경우, 간혹 국내 자동차기업으로의 인력진출도 나타나며, 해외 기업으로의 취업은 거의 파악되지 않음.

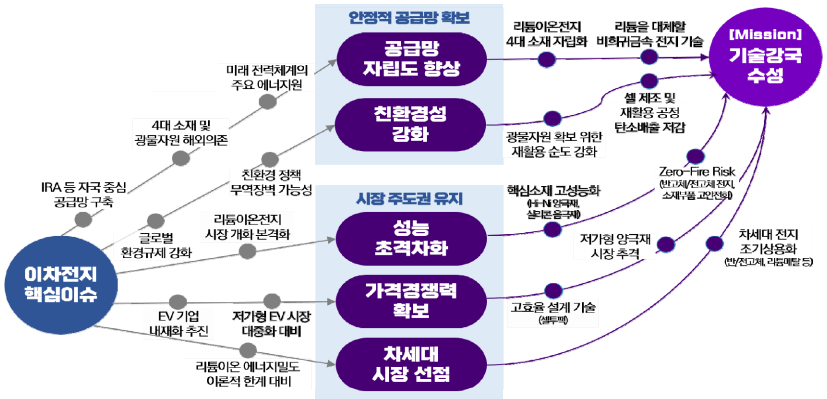
[붙임 자료]


UNIST/에스엠랩
조재필 교수/CEO
에너지 및 화학공학과
Iowa State University 졸업
(양극소재)
리튬, 아연, 레독스 흐름,
전고체 전지
강원대
(韓, 대학)
송영옥 교수
UNIST 졸업
부산대
(韓, 대학)
박민준 교수
UNIST 졸업
부경대
(韓, 대학)
고민성, 오필건,
채수정 교수
UNIST 졸업
로렌스버클리
국립연구소
(美, 연구소)
장혜성,
차형연 포닥
UNIST 졸업
MIT(美, 대학)
윤문수 포닥
지도교수: Ju Li)
UNIST 졸업
퍼시픽 노스웨스트
국립연구소
(美, 연구소)
김남형 포닥
UNIST 졸업
한양대(韓, 대학) 소재
선양국 교수
에너지 및 화학공학과
서울대 졸업
(양극소재, 코어-셸 구조)
에코프로비엠
(韓, 기업)
최문호 사장
한양대 졸업
LG에너지솔루션
(韓, 기업)
박병천, 이용태,
신선식 연구위원
한양대 졸업
오하이오 주립대
(美, 대학)
김정현 교수
한양대, 텍사스 오스틴
졸업
UNIST
(韓, 대학)
곽원진 교수
한양대 졸업
한양대
(韓, 대학)
황장연 교수
한양대 졸업
Pacific Northwest
National
Laboratory
(美, 연구소)
김운혁 포닥
한양대 졸업


서울대
최장욱 교수
화학생물공학부
Caltech, 서울대 졸업/KAIST교수
지도교수: J. Fraser Stoddart(2016년 노벨화학상 수상)
(음극소재)
New South Wales (濠, 대학)
김동준 교수
KAIST졸업, 노스웨스턴 포닥 (지도교수: J. Fraser Stoddart)
경북대 (韓, 대학)
이지훈 교수
KAIST EEWS대학원졸업, 컬럼비아대 포닥 (지도교수: Jingguang Chen)
이화여대 (韓, 대학)
남관우 교수
KAIST졸업, 노스웨스턴 포닥 (지도교수: J. Fraser Stoddart)
경희대 (韓, 대학)
김병곤 교수
KAIST졸업, 한국전기연구원 (KERE) 선임연구원
노스웨스턴 (美, 대학)
이준희 포닥
서울대 졸업
아르곤 국립연구소 (美, 연구소)
이지은, 유동주 포닥
서울대 졸업


서울대
강기석 교수
재료공학부
MIT, 서울대 졸업, KAIST교수
지도교수: Gerbrand Ceder(고용량 양극재)
(양극소재)
UNIST
정성균 교수
서울대 졸업/ 삼성종합기술원 (SAIT) 차세대 배터리 연구소 재직
성균관대 (韓, 대학)
김종순 교수
서울대 졸업/ 한국원자력 연구원 재직
KAIST (韓, 대학)
서동화 교수
KAIST 졸업/UNIST 교수
로렌스버클리 국립연구소 (美, 연구소)
김해겸 수석연구원
서울대 졸업
MIT (美, 대학)
김현아 포닥 지도교수: Strano
서울대 졸업
스탠포드 (美, 대학)
음동건 포닥 지도교수:Chueh
서울대 졸업

〈국가연구개발 중장기 투자전략, 국가전략기술임무중심 전략로드맵 요약〉

	제 1차 국가연구개발 중장기 투자전략 ('23~'27) (국가과학기술자문회의 심의회의, 23.02.22)	국가전략기술 임무중심 전략로드맵 (Ⅰ) (국가과학기술자문회의, 국가전략기술 특별위원회, 23.08.30)
목적	민간주도 초격차 기술 개발, 탄소중립	기술주권 확립을 목표로 세계 최고수준의 국가전략기술 확보 '23년 대비 이차전지 투자액 19.7% 확대
기술	**민간주도 초격차 기술개발**	**리튬이온전지/ 핵심소재**
	차세대 이차전지 기술개발 및 상용화, 고안전·장주기·장수명 **ESS 실현**	하이니켈 양극재(니켈 90% 이상) 실리콘계 음극재(실리콘 20% 이상) 등 핵심소재 확보
	탄소중립	**차세대 전지**
	① **차세대 이차전지** 성능·안전성·경제성 확보, ② 미래 **폐자원* 재사용·재활용** 시장 경쟁력 확보를 위한 핵심기술 확보 * 전기차 폐배터리 포함	리튬금속 및 초안전 구현 반·전고체 전지 상용화(400Wh/kg) 나트륨 이온전지(220Wh/kg 이상)
		생태계 조성
		세계 광물확보를 위한 패키지 지원 사용후 배터리 관리 고도화 공급망 기업의 소재·부품 검증을 포함한 오픈 이노베이션 강화
		

별첨 1 이차전지 민관 추진동향 비교

	정부(차세대 전지 초격차 R&D전략)	민간(배터리 3사 기준)
효율·성능	①하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘 음극재(5% 이상) 등 고성능 소재개발	• (하이니켈) NCMA 90% 상용화 완료 ('20, LGES) 88% 개발완료, 니켈 90%이상 및 코발트 5% 감소 등 개발 중 • (실리콘 음극재) 실리콘 10% 개발 중(LGES, SK온), Pure Silicon 기술 개발 중('23, LGES) **→하이니켈 95%이상일때 안전성 문제有, 실리콘 음극제 개발에도 관심** ※포스코, 실리콘 음극재 투자 10배 증가('23)
	②셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발	• 셀투팩 기술 양산 제품에 적용 예정('25) • 셀투섀시 ('26~, 삼성SDI) • 패키징(폼팩터) 다각화 **(파우치형에서 원통형 배터리로 다각화)** - 미국 2170배터리, ESS용 파우치형 LFP 공장신설 및 양산('25,'26, LGES), 한국 4680배터리 양산라인 구축 시작 및 양산 예정('23, LGES) - 한국 46파이 원통형 배터리 파일럿 라인 구축 시작('23, 삼성SDI) ※ 4680배터리 연관 기술: ①건식공정, ②탭리스 기술, ③패키징(셀투섀시) **(파우치형에서 각형 배터리로 다각화)** - 각형 배터리 시제품 개발을 완료 및 시제품 생산 돌입('23, SK온)
	③고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 **전고체**전지(800Wh/L)	-
	④리튬메탈 음극 기반 혁신전지(1,000Wh/L)	• 전고체 리튬메탈 배터리 (~'30, SK이노베이션)
	⑤황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술	• 리튬황 배터리 상용화('27, LGES)
	⑥건식 극판 공정기술 기반 고성능 리튬이온전지 기술(800Wh/L)	**· (공정) 건식 공정 대응 부족** **· (생산) 탭리스 기술에 대한 대응 부재**
안전성·내구성	⑦리튬이온계 소재 기반 고안전성 **전고체**전지	-
	⑧친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지	• 성능향상(저온 주행거리 70~80%의 파우치형 LFP 전지) LFP배터리 시제품 개발, 양산 추진(SK온) • 중국 난진 공장서 ESS용 LFP배터리 생산, 미국 미시간주 홀랜드 2공장에 LFP라인 구축 (~'25, LGES) • LFP 배터리 출시 공식화('23, 삼성SDI)
	⑨고안전성 **전고체**전지 생산 기술	• **고분자계('26), 황화물계('30) 전고체 배터리 출시(LGES)** • **황화물계 시제품 개발('25), 본격 양산('29)(SK온)** • **파일럿라인서 배터리 기술 검증 및 양상기술확보('23), 양산('27)(삼성SDI)** **※ (일본) 전고체 배터리 특허(건) 세계 1위** • **황화물계 전고체 생산라인 구축 및 양산('23, 막셀)** • **전고체 배터리 자동차 공개('21), 16조원 투자('30) (토요타)**
	⑩리튬이온계 소재 기반 고안전성 **전고체** 수계 이차전지	수계 아연전지 R&D (한국생산기술연구원)
	⑪고안전성/장수명(수명 20년) 레독스 흐름전지	-
원료·소재	⑫나트륨이온전지(고도화) 및 다가이온전지(800Wh/L)	우리나라 안함. 중국CATL이 개발('21), 양산('23)
	⑬해수전지(450Wh/L)	-
	⑭사용 후 전지의 재활용	-
공급망	**(산업부)** 핵심광물 확보전략: 33종 핵심광물 선정 및 10대 전략 핵심광물* 우선 집중 관리 * 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 흑연, 희토류 5종(세륨, 란탄, 네오디뮴, 디스프로슘, 터븀) ① 글로벌 광산지도와 수급지도 개발, 조기경보시스템 구축 ②자원외교: 핵심광물 협력 MOU 체결 ③민간 해외자원개발 활성화를 위해 선제적 탐사, 사업타당성 평가 ④민간 핵심광물 투자를 위한 금융지원 강화	- 지분투자, 장기계약, 합작사 설립 등 추진 완료 및 추진 중 (별첨 참조) **※중국의존도 90%이상 소재: 흑연, 코발트, 전구체(NCM) 98%** - 25년 이후 니켈 공급, 흑연이 문제

[부록 1] 전고체 배터리 관련 주요국 R&D 정책 및 투자동향

	미국	중국	일본	EU	한국
주체	DOE	공업정보화부	경제산업성	유럽연합, Horizon 2020	과기부, 산업부
연구분야	차세대 배터리 전반	차세대배터리 연구 (강제 사항)	전고체 배터리	차세대 배터리, 전고체 배터리	전고체배터리, 리튬황, 리튬메탈
정책동향	차세대 배터리 관련 R&D 프로그램 운영 - 미국 에너지부(DOE)-미국 첨단배터리 컨소시엄(US Advanced Battery Consortium)과의 파트너쉽 체결을 통해 기초연구 지원	『2020년 제14차5개년 계획』에서 전고체 배터리 관련 특별 사업 3개 배정 (중국 과학기술부 첨단 기술부서) - 신에너지차 핵심 기술, 전고체 동력전지, 전기구동시스템 등의 기술개발에 주력	차세대(전고체 배터리 포함) 축전지 모터 개발 지원('22년~'30년) 안전성이 뛰어난 전고체 배터리 상용화가 목표 ('30)→상용화 시기 보수적	전고체 배터리 프로젝트(All Solid-sTate Reliable BATtery for 2025)를 수립하여 '30년까지 발전된 전고체 배터리의 공개를 목표	- (과기부)『차세대 전지 초격차 R&D 전략』에 에너지밀도가 높은 전고체 배터리 포함 - (산업부) 민·관 합동 『이차전지 산업 혁신전략』('22.11.)을 발표, 전고체 배터리 '26년 상용화 목표 추진
투자동향	①차세대배터리 기초 연구('22) (4년간, 750만 달러, 약 100억원) ②세라믹 전고체 배터리 연구허브 설립('22) (1,100만 달러, 약 146억원) ③ARPA-E*를 통해 전고체 배터리 프로젝트 (355만 달러,약 47억원) *Advanced Research Projects Agency-Energy	①EV용 전지의 에너지 밀도 목표제시 및 차세대 배터리 개발 촉구 →'25년 400 Wh/kg →'30년 500 Wh/kg ②전고체배터리 관련 투자는 상대적으로 미미	①전고체 및 차세대 배터리 개발을 위해 전기차용 배터리 제조업체 (파나소닉, 닛산, 혼다 등) 지원계획 발표('22) ('30년,, 1,205억엔, 약 1조2천억원)	①『Battery 2030+』 프로젝트에서 차세대 배터리 개발 투자 발표 ('21) (3년간, 4,050만 유로, 약 560억 원) ②『전고체 배터리 프로젝트(All Solid-sTate Reliable BATtery for 2025)』 지원('20) (750만유로, 약 107억원) ③독일 BMBF, 전고체 배터리 역량 클러스터(FestBatt) 2차 추진 발표('21) (3년간, 2,300만 유로, 약 338억원)	①전고체 배터리 R&D 투자('17~'21) (1,141억원) -고체전해질 47.8%(183억원) -음극 12.8%(49억원) -양극 7.9%(30억원) ②초기 연구 단계(소재 탐색 및 개발) 개별 연구 위주

[용접과 탭리스 기술]

※ 원통형 배터리는 전극을 말아서 외부 보호 케이스인 캔안에 넣는 구조이며, 전극에서부터 단자까지 전류가 흐르는 통로인 '리드탭'이 있음. 생산과정에서 탭을 용접하여 부착.

과제목록.png

No.	Pain Point	기술 요약	키워드
1	실시간 Large Particle 계측(5㎛↑) 및 계측된 입자의 금속 여부 판별 계측 기술 - 불량에 치명적인 금속 이물 및 Total 이물 발생량 실시간 계측 기술이 요구됨	마이크로 이물(금속파티클) 측정 기술	이물
2	국소 영역의 이물 제거 기술	금속성 이물 포집, 제거 기술	이물
3	원재료 입고 시 이물에 대해서 전수 검사 방안 필요 - 양극재 파우더 內 Zn,Cu 등 비자성 이물에 대한 감지 기술 등	비자성 금속성 이물 측정 기술	이물
4	전지 초음파 용접 가압강도 측정 방법 - 전지의 탭 용접 품질 확보를 위해 초음파 용접의 가압력과 평행도 이상 유무 확인 필요함	용접이 잘 되었는지를 판단할 비파괴검사법	용접
5	완성 Cell의 파우치 내부 탭 단선 불량 검출을 위한 검사 기술 - PKG 리드 용접 후 탭 단선 불량 검출을 위한 신규 검사 기술을 검토하고자 함	용접시 박막 (um 두께 foil) micro crack 포함 손상 여부를 판단할 비파괴검사법	용접
6	레이저 용접의 신뢰성 평가 방법 - 약용접, 과용접을 판단할 수 있는 방법	용접이 잘 되었는지를 판단할 비파괴검사법	용접
7	자동차 부품 내표면 및 조립 결함 자동 검사 기술 - 파우치 포밍 공정 중 발생하는 코너부와 브릿지 부 주름이 대한 계측방법 개발.	알루미늄 파우치 포밍시 발생되는 주름 계측	포밍, 계측
8	포밍 후 파우치의 AI 잔존량을 계측방법 개발 - 포밍 후 파우치의 AI 잔존량 계측방법 개발하여 비파괴 IN_LINE검사	알루미늄 파우치 포밍시 AI 잔존량 비파괴 측정기술	포밍, 계측
9	전지제조 공정중 탈리 모사를 위한 신뢰도 높은 전극 활물질 재료거동모델	해석 모델 개발	Web, 해석
10	압연롤 상/하부 롤gap 측정 기술	마이크로 롤 갭 측정 기술	압연, 측정
11	압연롤 굽힘/변형량 측정 기술	압연롤 하중(자중+가압력)하에 굽힘/변형량 측정	압연, 측정
12	압연롤의 굽힘에 의한 변형을 감안한 롤의 선압 프로파일 측정	압력분포 실시간 모니터링 기술	압연, 측정
13	레이저 용접 및 커팅시 레이저와 재료간 열유동, 응력 해석 모델 개	해석 모델 개발	용접, 해석

원본 보기

※ 탭리스(Tabless)배터리 생산기술

- 탭을 없애고 면 전체를 도체로 활용하고자 하는 생산기술로 전자 이동거리가 1/5로 줄어들기 때문에 열효율 및 출력 개선, 공장 간소화 및 연속생산 공정이 가능해지면서 비용 절감 가능
- Burr(절단, 용접 등 가공 작업시 발생하는 날카로운 돌출물)를 사전에 차단 가능

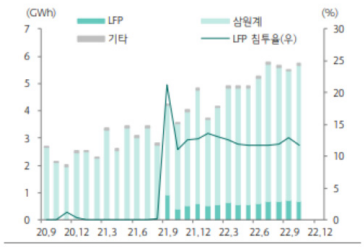
글로벌 4680 배터리 개발 업체

		Site	폼팩터	Capacity	투자규모	양산 계획 시점
일본	Panasonic	일본 와카야마	4680	10GWh	800억엔(7,729억원*)	FY24(24년 3월)이내
한국	LGES	한국 오창	4680	9GWh	5,800억원	23년
	SDI	한국 천안	4640~4680	파일럿	NA	25년
중국	CATL	NA	4680	12GWh	NA	24년
	BAK	NA	4680	NA	NA	23년
	EVE	NA	4680	20GWh	NA	24년

참고: *6월 17일 환율 기준
자료: 언론 보도, CITIC, 삼성증권 정리

[부록 2] LFP배터리 점유율 / 국내 기업 광물확보현황

그림 10. 미국 LFP 배터리 침투율



자료: SNE Research, 하나증권

〈국내 배터리 업체의 주요 광물 확보 현황 (한국신용평가, 2023.04.11.)〉

국내 배터리 업체의 주요 광물 확보 현황

업체명	방식	계약 상대방/내용	예상 확보량 및 기간
LG에너지솔루션	지분투자	호주 QPM (7.5%)	2024년부터 10년간 니켈 7만톤, 코발트 7천톤
	장기계약	호주 오스트레일리안마일즈	2024년부터 6년간 니켈 7.1만톤, 코발트 7천톤
	장기계약	칠레 SQM	2021년부터 9년간 탄산·수산화리튬 5.5만톤
	장기계약	캐나다 아발론	2025년부터 5년간 수산화리튬 5.5만톤
	장기계약	캐나다 ㅅㄴ우레이크	2025년부터 10년간 수산화리튬 20만톤
SK온	지분투자	호주 레이크리소스 (10%)	2024년부터 10년간 리튬 23만톤
	장기계약	칠레 SQM	2023년부터 5년간 리튬 5.7만톤
SK온/에코프로그룹	합작사 설립	에코프로GEM(인도네시아) 설립 (중국 GEM과 합작)	2024년부터 연간 니켈 3만톤 규모 MHP(니켈 및 코발트 수산화혼합물) 생산
에코프로그룹	장기계약	독일 AMG리튬	2024년부터 연간 5천톤 규모 수산화리튬 수급
	자체생산	LHM1·2 공장(국내) 설립	LHM1: 2021년 10월 준공 LHM2: 2023년 하반기 준공 예정 각각 연 1.3만톤 수산화리튬 생산
포스코퓨처엠 (舊,포스코케미칼)	지분투자	호주 RNO광산 (30%)	2024~39년 니켈 연 7.5천톤
	합작사 설립	포스코필바라리튬솔루션(국내, 호주 필바라社로부터 리튬광석 조달)	2023년 10월 준공 및 연 4.3만톤 규모 수산화리튬 생산 예정
	자체생산(염호 인수)	아르헨티나 염호 인수 및 공장 설립	2024~25년 준공 및 연 5만톤 규모 리튬 생산 예정
	자체생산	고순도니켈 정제공장(국내) 설립	2023년 하반기 준공 및 연산 2만 톤 규모 고순도니켈 생산 예정

주) 계열사 확보내용 포함

자료: IR 및 언론보도 자료, 당사 정리

별첨 2 LFP 배터리 개발전략 비교 – 한국정부/한국민간/중국민간

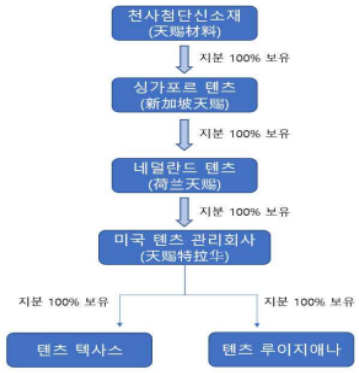
	정 부	민간(국내)	민간(중국)
현황	**(산업부) 에너지 밀도 높은 LFP 개발** ▪ 리튬인산철(LFP) 배터리 양극 소재 국산화 ▪ 세계 최고 에너지 밀도 LFP 배터리셀 제조 기술개발 **(과기부) 안전성과 내구성 높은 LFP R&D** ▪ 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지	▪ **(LGES, ~'25, '26)** ESS용 LFP배터리 생산 - (중국) 난징공장에서 생산능력 확대 (62GWh →145GWh) (미국) 애리조나에 ESS LFP 배터리 생산 공장 건설(16GWh 규모, 파우치형, 3조원) ▪ **(SK온)** 전기차용 배터리 시제품 공개 (2023 인터배터리) ▪ **(삼성SDI, '23)** LFP 배터리 출시 공식화, 2023년 4월 상하이에 R&D센터 설립 및 LFP 개발 착수	▪ 삼원계 수준의 고에너지밀도 LFP배터리 개발
에너지 밀도	(현재) 160Wh/kg →(목표) 200Wh/kg (셀단위로 추정)	-	▪ 중국 LFP 배터리 에너지밀도[1] - (2020년) 평균 에너지밀도 (셀단위) 145~160Wh/kg (팩단위) 120~140Wh/kg - (2023년) 최대 양산 에너지밀도 (셀단위) 210Wh/kg (팩단위) 155~160Wh/kg
점유율	-	-	▪ 글로벌 LFP 배터리 중 95% 이상이 중국에서 생산 ▪ 전기차용 LFP 배터리 공급은 CATL과 BYD가 80% 이상을 점유[2]
고도화	-	▪ (LG화학) **LMFP** R&D 추진중으로 추정 (LMFP R&D인력 채용진행, '23.04) ※ LMFP: LFP에 망간을 추가하여 가격은 그대로 유지하면서 에너지밀도를 15~20%향상	▪ **LMFP, M3P**등 에너지밀도 고도화 기술 개발 및 양산시작(CATL) ※ M3P: 리튬, 인산, 망간+아연+알루미늄을 조합하여 LFP대비 15~20% 에너지밀도 향상
예산	▪ 4년('23~'26년)간 233억원(정부 164억, 민간 69억) 투입 ※ 차세대 배터리 예산: 20조(민관 합동)	*2022년 기업별 R&D 비용(전년대비 증가율) ▪ (삼성SDI) 1조764억원(22.7% 증가) ▪ (LGES) 8,761억원 (34% 증가) ▪ (SK온) 1,703억원	*2022년 기업별 R&D 비용(전년대비 증가율) ▪ (CATL) 2조 9천억원(102% 증가)
분석	고에너지밀도 LFP 개발 및 생산이 목표	현행 ESS 중심, 전기차용 LFP는 시작 단계	세계최고 LFP 점유율 및 기술력 보유 고에너지밀도 LFP 개발 착수

1) KIEP 세계경제포커스, 중국 LFP 배터리 공급망 분석 및 시사점 (2023.04.27.)
2) IEA(2022), "Global Supply Chains of EV Batteries."

[부록 1] 중국자본 우회 전략 및 주요 광물의 국가별 채굴비중

- 산업계는 미·중, 한·미, 한·중 기업 간 합작 JV를 통해 IRA 우회전략을 이미 가동 중
- 최근 정부 첨단전략기술 육성안(산업부)의 일환으로 첨단산업(반도체, 2차전지 등)에 대한 외국인 투자의 경우, 투자액의 최대 50%까지 보조금을 지원하는 개정안을 심의·의결

그림 12. 중국 천사첨단신소재의 미국 우회진출 전략



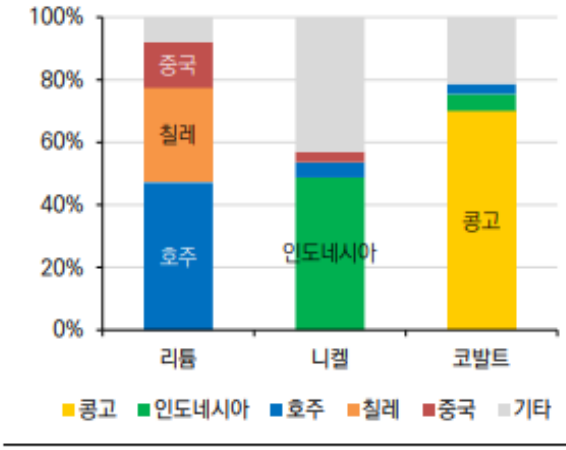
자료: 集微网(2023. 3. 10),「直击股东大会丨天赐材料：将以新加坡为跳板布局美国市场，锂材跌价对公司影响不大」, https://baijiahao.baidu.com/s?id=1759981582055964748&wfr=spider&for=pc(검색일: 2023. 4. 10)를 바탕으로 저자 편집.

표 4. 중국 주요 배터리 기업의 미국 및 한국 진출 현황

국가	기업명	지역	투자규모	투자형태	비고
미국	CATL	미시건주	35억 달러 (35GWh)	포드와 기술협력	2026년 완공
	궈쉬안하이테크	미시건주	23.6억 달러	아워넷스트에너지 (ONE)와 제휴해 LFP 배터리 공장 건설	독일 폭스바겐 그룹이 최대주주
	엔비전 AESC	사우스 캐롤라이나주	8.1억 달러	배터리 공장 건설	일본 닛산그룹 지분 20%
		켄터키주	-	메르세데스벤츠와 공급계약	
	천사첨단신소재 (天赐材料)	텍사스 및 루이지애나주	2.6억 달러	자회사 설립	-
한국	화유코발트 (华友钴业)	새만금	1.2조 원	LG화학과 합작/ 전구체 공장	2029년 양산
		경북 구미시	4,754억 원	LG화학과 합작/ 양극재 공장	2025년 완공
	거린메이(格林美)	새만금	1.2조 원	에코프로, SK온과 합작/ 전구체 공장	2024년 완공
	룽바이테크 (容百科技)	충주	1조 원	양극재 개발·공급	4공장까지 증설 계획

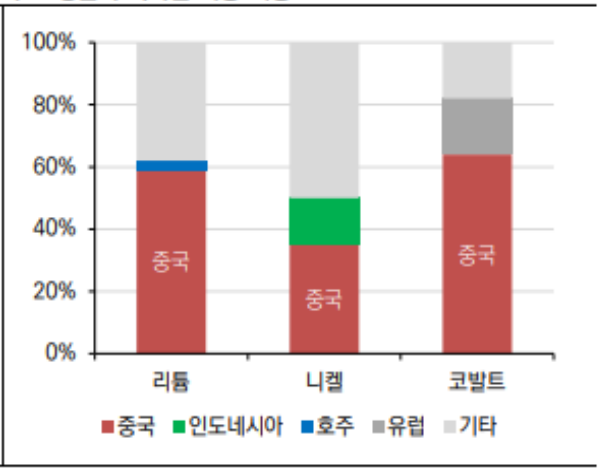
주: MOU 제외.
자료: KB증권 자료를 참고하여 저자 재구성.

주요 광물의 국가별 채굴 비중



자료: USGS

주요 광물의 국가별 가공 비중



자료: IEA

[부록 2] 한국과 중국의 이차전지 공급망 진단 및 평가 결과[3)]

표 15. 한국과 중국의 이차전지 공급망 진단 및 평가 결과(종합)

	안정성			위험 회복력			규제 대응성				
	이차전지 공급망에 대한 안정성과 이차전지산업의 경쟁력			공급망 파괴시 이에 따른 위험을 회복할 수 있는 능력 대체 시장			미국 및 유럽의 이차전지관련 규제에 대한 대응력			한국	중국
	평가항목	한국	중국	평가항목	한국	중국	평가항목	한국	중국		
원료	원료 공급 안정성	1	5	공급 확대력 (원료 광물 확보력) 국내 자원	1	3	원료 규제 대응 원산지 규제	1	1	1.3	3.3
				공급 확대력 (원료 광물 확보력) 해외 자원	2	5	원료 규제 대응 윤리적 개발	2	1		
제조 생산	경쟁력	3	5	국내 공급망 연계성(원료-소재-제품)	3	5	탄소저감 대응	3	2	3	4
	기술개발	3	4								
재활용				재활용 원료조달 가능성 (시장활성도)	2	5	시장 접근성 기반성	2	5	1.8	4.3
							시장 접근성 기술 수준	2	3		
관리 및 진단							추적관리 시스템	1	4		
종합		2	4.8		2.2	4.7		1.9	2.8		

* 주) 1점: 매우 미흡, 2점: 미흡, 3점: 보통, 4점: 우수, 5점: 매우 우수
* 주) 세부항목을 평균값이 평가항목 값이며, 종합점수는 평가항목의 평균치

3) 김유정, 2022.11, 한국과 중국의 이차전지 공급망 진단 및 정책 제언

별첨 3 이차전지 민관 정책 비교 및 전략 도출

◆ **(소재 및 안전성 R&D 적절성)** 소재 R&D의 안정지향적 목표, 포스트 소재 전략기술의 부재, 화제억제 및 안정성 R&D 부족

◆ **(글로벌 산업수요 주도 정책변화)** 미국 IRA예고를 기점으로 이차전지 분야 정부 투자예산, 펀드, 인력양성 규모 확대 시행 및 LFP 등 산업수요 반영

◆ **(배터리 생태계 대응 기민성)** 배터리 전주기 순환속도 가속화, 글로벌 환경 규제 대비에 따른 배터리 생태계 대응을 위한 발빠른 움직임 관찰

1 (목표) 이차전지 기술의 국내외 동향과 정부정책의 비교·분석을 통해 국가전략 기술 전략 도출 및 방향성 제시

2 민관 현황 비교분석

소재 및 안전성 관련 R&D 적절성

● **(기업대비 안정지향적 목표 설정)** 핵심 양극재 소재 기술인 하이니켈 목표치의 민관 비교 결과, '23년 정부 목표와 '21년 민간 목표 동일

정부 ('23)	민간('21, 배터리 국내 3社 기준)
• (과기부) 하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘 음극재(5%이상) (5년간, '23~'27)	• 하이니켈(88%이상 개발 완료) • 하이니켈(90%이상, 코발트 5%이하 개발 중)

자료 출처: (정부)차세대 전지 초격차 R&D전략(2023), (민간) SNE Research(2021)

● **(포스트 소재 기술개발 전략 부재)** 경쟁력 있는 LFP배터리 개발을 위한 정부의 포스트 소재 기술개발 전략 부재

	정부	민간(국내)	민간(중국)
포스트 삼원계	-	• (LGES) 망간리치, 고전압미드니켈 등 • (삼성SDI) 코발트프리	-
포스트 LFP	-	• (LG화학) LMFP R&D 추진중으로 추정(LMFP R&D인력 채용진행, '23.04) ※ LMFP: LFP에 망간을 추가하여 기존 가격은 유지하면서 에너지밀도를 15~20%향상	• LMFP, M3P등 에너지밀도 고도화 기술 개발 및 양산시작 (CATL) ※ M3P: 리튬, 인산, 망간+이온+알루미늄을 조합하여 LFP대비 15~20% 에너지밀도 향상
포스트 음극재	-	• (LGES) 실리콘 음극재 양산 및 적용('29), 실리콘 함량 5%→7%~10%로 확대 중 • (삼성SDI) 실리콘 7% 적용 배터리(전5) 개발('23)	• (CATL) 실리콘 탑재 배터리 완성차에 공급 예정('23)

자료 출처: 배터리 3사 2023년 1분기 실적발표 및 관련 기사, 2차전지 Overview(하나증권, 2023. 06.02)

● **(삼원계 배터리 경쟁력 강화를 위한 화재억제 R&D 부족)** 삼원계 배터리의 주요 이슈인 화재억제 R&D가 총 14개 핵심기술 중 1개에 불과하며, 전고체 등의 차세대전지에 편중

	정부(차세대 전지 초격차 R&D전략)
효율·성능	① 하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘 음극재(5% 이상 등 고성능 소재개발
	② 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발
	③ 고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 전고체전지(800Wh/L)
	④ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지(1,000Wh/L)
	⑤ 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술
	⑥ 건식 극판 공정기술 기반 고성능 리튬이온전지 기술(800Wh/L)
안전성·내구성	⑦ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지
	⑧ 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지
	⑨ 고안전성 전고체전지 생산 기술
	⑩ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 수계 이차전지
	⑪ 고안전성/장수명(수명 20년) 레독스 흐름전지
원료·소재	⑫ 나트륨이온전지(고도화) 및 다가이온전지(800Wh/L)
	⑬ 해수전지(450Wh/L)
	⑭ 사용 후 전지의 재활용

정부	민간(배터리 3사 기준)
(과기부) • 화재억제 등 패키징 소재 개발 - 화재확산 방지 기술 등의 개발로 성능과 안전성 향상 기대	**(화재확산 방지기술)** (배터리 3사) Z스태킹* 공법 개발 * 분리막을 자르지 않고 양·음극을 Z형태로 적층하여 발화성 물질인 전해액과 직접 만나지 않도록 하는 화재방지기술 (LGES) TP(Thermal Propagation·열 전이)* 방지 솔루션 *전극 내에 첨가제를 소량 주입하여 터지기 전에 단락

글로벌 산업수요 변화대응을 위한 신속한 정책 개발·반영

● 美 IRA 예고 기점으로 글로벌 산업수요를 신속하게 파악해 정책에 반영

- **(이차전지 투자예산)** '10~'23년간 산업부 이차전지 부문 정부 투자예산 약 27배 증가
- **(혁신·정책펀드)** '21~'23년간 혁신·정책펀드 약 6배 증가
- **(인력양성 계획)** '10~'23년 인력양성계획 16배 증가

※ **(IRA: 인플레이션 감축법)** '21년도에 취임한 미국 바이든 대통령의 대선공약으로 '22년 8월 의회 최종 통과

구분	'10	'21	'23
투자예산 (정부 투자 예산만 추출)	370억원 ('09~'11년까지)	3,000억원 ('30년까지)	1조원 ('30년까지)
혁신·정책 펀드	-	800억원 혁신펀드 (배터리 3사 200억원, 정부300억원, 민간 300억원)	5,000억원 정책펀드 ('30년 까지)
인력 양성	1.000명 ('20년까지)	1.1만 명 (연간 1,1만 명, '30년까지)	1.6만 명 ('30년까지)

● LFP배터리의 가격경쟁력 수요대응을 위한 정책의 신속한 반영

	정부	민간(국내)	민간(중국)
에너지 밀도 (셀단위)	• **(산업부)** (현재)160Wh/kg → (목표)200Wh/kg • **(과기부)** 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지 개발	• **(LGES, ~'25, '26)** ESS용 LFP배터리 생산 - **(중국)** 난징공장에서 생산능력 확대 (62GWh →145GWh) - **(미국)** 애리조나에 ESS LFP 배터리 생산 공장 건설(16GWh 규모, 파우치형, 3조원) • **(SK온)** 전기차용 배터리 시제품 공개(2023 인터배터리) • **(삼성SDI, '23)** LFP 배터리 출시 공식화, 2023년 4월 상하이에 R&D센터 설립 및 LFP 개발 착수	• (2020년) 평균 145~160Wh/kg • (2023년) 최대 양산 210Wh/kg

자료 출처: Global Supply Chains of EV Batteries(IEA, 2022), 중국 LFP 배터리 공급망 분석 및 시사점 (KIEP, 2023.04.27.)

(배터리 전주기 생태계 변화에 대한 기민한 대응) 전기차 수요 대비 희소광물 매장량, 글로벌 환경규제 시행 등을 대비한 움직임 관찰

구분	정부	민간(국내)	민간(중국)
에너지 밀도 (셀단위)	• (산업부) 배터리 순환체계 (closed-loop)구축 - 사용후 배터리의 회수·유통·활용 등 통합관리체계마련(민간 주도) - 배터리 전주기 이력정보 축적 DB구축 (산업부·국토부·환경부) • (과기부) 사용 후 전지의 재활용 - 재사용 및 회수, 재활용 기술개발 ※ EU는 핵심소재(코발트, 니켈, 리튬 등)의 재활용 소재 의무화('30~)	• (LGES) 재활용, 전주기 시스템 기획 - 10만km 이상 전기 택시 확보 및 재제조 후 재사용 사업모델 발굴 중 - 중국JV로 광물 추출 공장 설립 예정, 북미 재활용 업체 지분투자 - BaaS(Battery as a Serivce)* * 전기차 데이터를 확보해 배터리 잔존가치, 수명 관리 등 서비스 제공 • (SK온) 재활용 주요기술 개발 - 2020년 세계 최초로 폐배터리 기반 수산화리튬 추출기술을 개발 및 54건의 특허 출원 중 - 국내기업과 국내에 폐배터리 재활용 JV 설립 및 '25 상업공장 건설 목표 • (삼성SDI) 재활용에 초점 - 국내기업 지분투자를 통해 폐배터리 광물 추출 및 해외 거점 생산 공장 확대 추진	• (CATL) 합작사를 통해 재활용 배터리 기지를 설립 중 - 최대 320억 위안을 투자하고, 총 6000톤 이상 규모의 생산기대

자료 출처: (정부) 산업부, 민·관 합동 「이차전지 산업 혁신전략」 발표(2022.11.), (민간) 배터리 생태계 경쟁 역학 구도로 보는 미래 배터리 산업(삼정KPMG경제연구원, 2023)

3 시사점 및 전략

소재 및 안전성 기술 전략 피보팅 필요

- 소재 고도화 정책의 경쟁력 있는 목표치 설정
- 포스트 소재 전략으로 미래 대비
- 안전한 삼원계 배터리 기술 확보를 통해 우리나라 강점 기술 고도화

글로벌 산업동향 파악 기반 신속한 정책 개발·대응

- 글로벌 산업 수요가 정책을 선행하는 상황을 인지하여, 완성차(테슬라 등) 기업의 수요, 이차전지 경쟁기업(CATL, BYD 등)의 동향 및 미래 전략 파악 필요
- 가격경쟁력 강조 등 산업수요 및 변화에 따른 정책개발의 기민성 및 지속성 필요

미래 주요 기술 선점을 위한 선도적 전략 확보

- 배터리 전주기 순환속도 가속화, 글로벌 환경 규제 대비를 위한 배터리 진단 요소기술 도출 및 시스템 확보 전략의 구체화 필요

붙임1 민관 이차전지 전략비교

	정부(차세대 전지 초격차 R&D전략)	민간(배터리 3사 기준)
소재	**(삼원계)** ▪ (과기부) 하이니켈(90%이상) 양극재, 실리콘 음극재(5% 이상 등 고성능 소재개발	▪ (하이니켈) NCMA 90% 상용화 완료 ('20, LGES) 88% 개발완료, 니켈 90%이상 및 코발트 5% 감소 등 개발 중 ▪ (실리콘 음극재) 실리콘 10% 개발 중(LGES, SK온), Pure Silicon 기술 개발 중('23, LGES)
	(LFP) ▪ (과기부) 친환경 공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지 ▪ (산업부) (현재)160Wh/kg →(목표) 200Wh/k	▪ **(LGES, ~'25, '26)** ESS용 LFP배터리 생산, 전기차용 LFP개발 및 고도화 선언 ▪ **(SK온)** 전기차용 배터리 시제품 공개(2023 인터배터리) ▪ **(삼성SDI, '23)** LFP 배터리 출시 공식화
제조 및 공정	**(셀투팩/패키징)** ▪ (과기부) 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발 ▪ (산업부) 셀투팩 배터리시스템 등 기술개발지원	▪ 셀투팩 기술 양산 제품에 적용 예정('25) ▪ 셀투섀시 ('26~, 삼성SDI) ▪ 패키징(폼팩터) 다각화 **(파우치형에서 원통형 배터리로 다각화)** - 미국 2170배터리, ESS용 파우치형 LFP 공장신설 및 양산('25,'26, LGES), 한국 4680배터리 양산라인 구축 시작 및 양산 예정('23, LGES) - 한국 46파이 원통형 배터리 파일럿 라인 구축 시작('23, 삼성SDI) ※ 4680배터리 연관 기술: ①건식공정, ②탭리스 기술, ③패키징(셀투샷시) **(파우치형에서 각형 배터리로 다각화)** - 각형 배터리 시제품 개발을 완료 및 시제품 생산 돌입('23, SK온)
	-	**· (공정) 건식 공정 대응 부족** **· (생산) 탭리스 기술에 대한 대응 부재**
차세대 전지	(전고체/리튬황) ▪ (과기부) - 고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 전고체전지(800Wh/L) - 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지 - 고안전성 **전고체**전지 생산 기술 - 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술	▪ 고분자계('26), 황화물계('30) 전고체 배터리 출시(LGES) ▪ 황화물계 시제품 개발('25), 본격 양산('29)(SK온) ▪ 파일럿라인서 배터리 기술 검증 및 양상기술확보('23), 양산('27)(삼성SDI)
배터리 재활용	▪ (과기부) 사용 후 전지의 재활용 ▪ (산업부) 배터리 순환체계(closed-loop)구축 - 사용후 배터리의 회수·유통·활용 등 통합관리체계마련(민간 주도) - 배터리 전주기 이력정보 축적 DB구축(산업부·국토부·환경부)	▪ **(LGES) 재사용·재활용 추진, 전주기 시스템 기획** - 10만km 이상 전기 택시 확보 및 재제조 후 재사용 사업모델 발굴 중 - 중국JV로 광물 추출 공장 설립 예정, 북미 재활용 업체 지분투자 - BaaS(Battery as a Serivce)*로 전주기 시스템 기획 * 전기차 데이터를 확보해 배터리 잔존가치, 수명 관리 등 서비스 제공 ▪ **(SK온) 폐배터리 추출 R&D 연구** - 2020년 세계 최초로 폐배터리 기반 수산화리튬 추출기술을 개발 및 54건의 특허 출원 중 - 국내기업과 국내에 폐배터리 재활용 JV 설립 및 '25 상업공장 건설 목표 ▪ **(삼성SDI) 폐배터리 광물 추출 거점 생산 추진** - 국내기업 지분투자를 통해 폐배터리 광물 추출 및 해외 거점 생산 공장 확대 추진

붙임2 2010~현재 이차전지 정부정책 요약

		'10년	'21년	'23년 (산업부)	'23년 (과기부)
투자예산		총 4 ~ 5 조원 ('10 ~ '20년까지, 민관합동)	민간 40조원 이상 ('30년까지)	20조원 이상 ('30년까지, 민관합동)	160조원 ('27년까지, 민관합동)
공급망		①원재료 관세인하 검토(일본 대응) ②원재료 확보난 예상에 따른 자원외교 강화	①민간 해외 소재광물 개발 프로젝트 적극 지원, ②자원보유국과의 협력채널 강화, ③비축시스템 개선	-	-
R&D	차세대 전지	금속 공기전지	전고체('27년, '30년 차량실증), 리튬황('25년), 리튬금속('28년) (20.1조원)	전고체 전지, 리튬메탈 전지, 리튬황 전지 (20조원)	전고체 전지, 리튬메탈 전지, 리튬황 전지
	경쟁력 강화	①중대형 이차전지 경쟁력 강화 생산설비, 소재 국산화 R&D(기업, 15조원) ②양음극 등 이차전지 차세대 핵심소재 개발 ('18년까지, 전지-소재업체 중심)* * 참여기업 3~4개를 분야별 세계 3위 이내 글로벌 대기업으로 육성	①하이니켈 양극재, 실리콘 음극재 등 소재 개발 ②지능형 이차전지(위험의 자가 감지·억제·치유)개발 예타 추진 ③친환경·스마트 공정 혁신	① 삼원계 전지('30년까지, 주행거리 500km→800km이상/향후 5년간, 민관 1,500억원) ②LFP 전지 ('25년 양산, '27년 기술 경쟁력 확보/ 향후 5년간, 민관 500억원 신규추진) ③ESS ('30년까지 수출 규모 5배 이상 확대/향후 5년간, 민관 1,500억원)	①혁신형 리튬이온전지(삼원계, LFP) ②전고체전지 ③수계아연전지 ④나트륨이온전지 ※과기부 기술로드맵 中 단기집중 기술군에서 선정
정책 및 생태계 구축	소부장 경쟁력 강화	1,800억 원 R&D 지원 (정부 1,000억원, 민간 800억 원)	800억 원 혁신펀드 조성 (배터리 3사 200억원, 정부 300억, 민간 300억 원)	5,000억 원 정책펀드 조성 (이차전지 2,000억원, 중견기업 3,000억원) *'소부장핵심경쟁력 특별지원법'	-
		-	소부장 특화단지를 지정하여 수요-공급 협력 생태계 구축	전고체 전지 마더팩토리 구축, 스마트팩토리 구축용 장비 개발을 위한 R&D 예타 신규 기획	-
		-	이차전지 全과정에 걸친 산업 육성	이차전지 100%순환체계 확립('30년 까지)	사용 후 전지의 재활용 기술개발
	세액 공제	-	R&D비용 최대 40~50%, 시설투자 최대 20% 세액공제	투자세액공제율(대 15%, 중소 25%) 광물 가공기술까지 세액공제 인정범위 확대/적용기간('24년 일몰) 연장	-
	인력 양성	1,000명 ('20년까지)	연간 1,100명 + α ('30년까지)	1.6만 명 ('30년까지)	-
	제도 기반	R&D, 인프라 구축비용의 재정적 지원, 세제지원 근거 마련	국가핵심기술 관리 효율화, 이차전지 사양표시 확대, 통계체계 정비 등 제도적 기반 마련	'첨단산업인재혁신 특별법'제정 추진	-

□ 3대 주력기술-IRA 활용전략 이차전지 부문 비교

	3대 주력기술 (과학기술정보통신부, '23.04)	IRA 활용전략(산업통상자원부, '23.04)
목 적	차세대전지 핵심기술 27개(이차전지 14개) 확보	공급망 확보, 시장진출 지원, 주요 배터리 기술 확보
추진체계	**민·관 연구협의체*** 구성·운영	배터리 얼라이언스 ※ 산업부 장관, 배터리 3사 등 업계, 배터리 협회로 구성
투자예산	**총 160조원** (민간 156조원 / **정부 4.5조원 투자(예정)**) ※'23년 정부 R&D 투자규모에서 향후 5년 간 매년 10%씩 증액됨을 가정	**총 1.8조원 (민간 1.6조원 / 정부 2,000억원)** ※(민간) 배터리 3사 전고체 배터리 파일럿 라인 국내 구축 예정
기술군 (핵심기술군 수 / 예산)	△**에너지 밀도 한계 돌파**(6), △**화재방지·안전성**(5), △**非희귀성/무한대 원료 활용 기술**(3) ※차세대전지 핵심기술 27개 中 이차전지 핵심기술 14개	△**리튬인산철(LFP) 배터리(500억원),** △**차세대 배터리(1,500억원) 예타**
정 책	**부처별 전략기술** 관련 **법령 및 제도 등 활용**하여 **R&D, 인력양성, 세제지원**** **등 적극 추진** → 부처간 소통·협력 강화	**(북미진출)** 금리혜택: 7조원 (5년간), **(소재기업 투자 활성화)** 세액공제(15~25%), 특화단지 지정, 산단 용적율 확대(1.4배)
생태계 구축	석박사급 고급인력양성, 주요국 기술동맹, 국제협력 강화	안정적 공급망 구축, 시장 진출 추진, 소재기업 투자 활성화
특 징	기초·원천기술뿐만 아니라 국가 경쟁력 보유 기술의 고도화에 집중	IRA 대비 기술 확보 및 시장진출에 집중

*민·관 연구협의체: 부처와 산·학·연 전문가·단체로 ① R&D 사업 기획부터 연구성과 공유, 활용까지 R&D 전 단계를 빈틈없이 연계하여 추진, ② 민간 수요기술 중심으로 단절없는 연구 지원 목표

**세제지원: 「조세특례제한법」개정안 중 반도체 투자활성화 세제지원 내용 포함. 실제 기업의 투자가 이루어질 수 있도록 세부기술 단위로 세액공제 혜택이 반영될 수 있도록 관계 부처간 지속적 논의 계획

***석·박사급 고급인력: 임무지향·한계돌파형 국책 R&D사업, 대학 연구거점 구축사업 등 신설·확대

****전문인력: 계약정원제, 계약학과 및 전공트랙 신설 등 관련 정책·산업·국제동향 등 폭넓은 식견을 보유하고 차세대 기술·산업을 선도하는 전략가 육성 추진

□ 이차전지 전주기 산업경쟁력 강화 방안

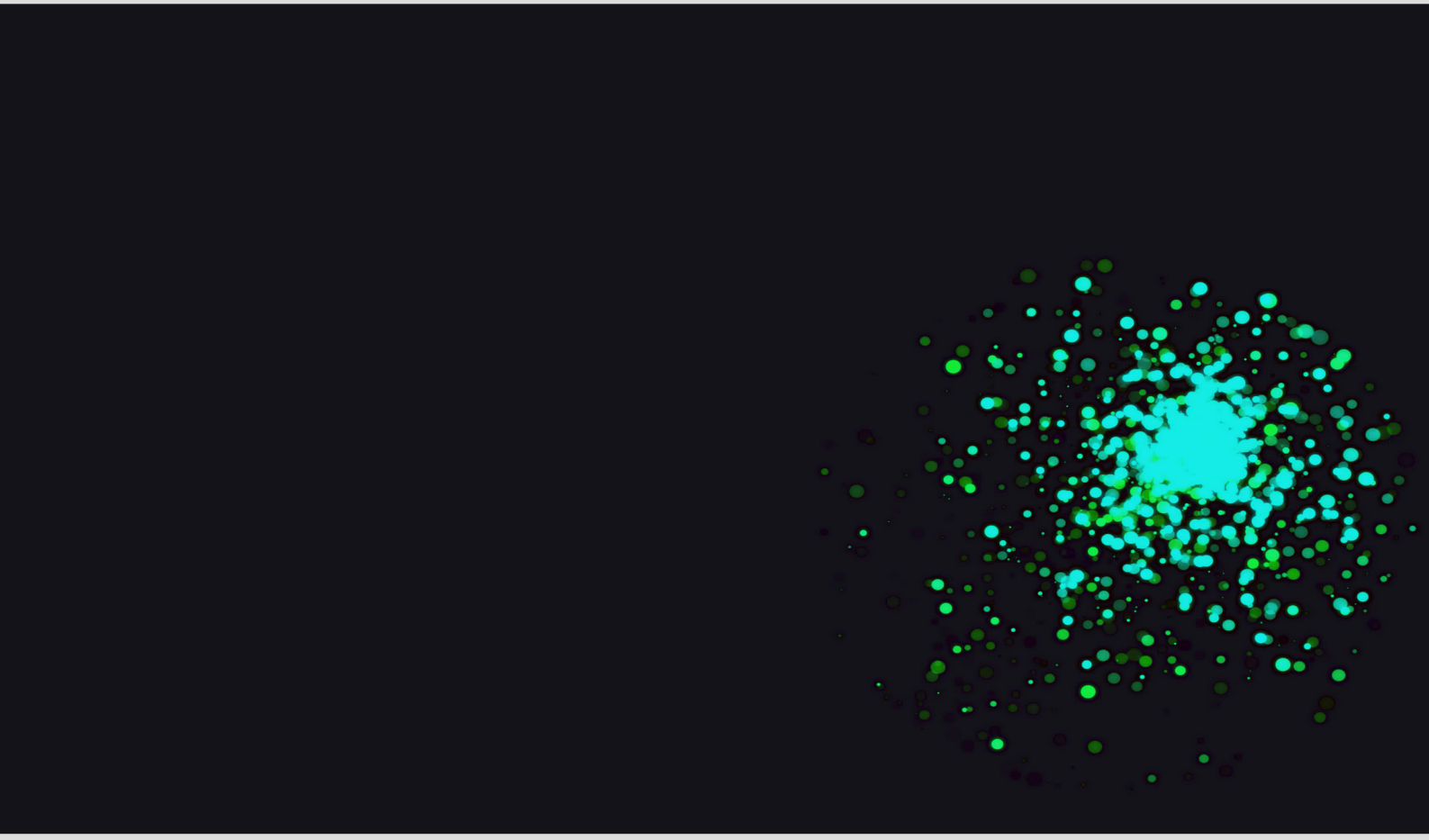
(관계부처합동, 2023.12.13)

분류	내용	주요 정책 과제
핵심 광물 공급망 안정화	자원개발 투자	해외자원개발 투자에 대한 세액공제(투자액의 3%) 도입 ('23년 12월~)
	자원개발 융자	해외자원개발 융자지원 확대(투자액의 30 → 50%) ('24년~)
	공급망	① 핵심광물 수급지도 확대 및 조기경보 시스템 구축 ('24년~) ② 핵심광물 수입선 다변화 및 국제협력 활성화 ('24년~) ③ 핵심광물 비축량 확대 및 비축 전용기지 신설 ('24년~) ④ 니켈·리튬 등 핵심광물 정·제련 필수기술 세제지원 검토 ('23년 12월~) ⑤ 공급망 3법* 입법 및 후속조치 추진 ('23년 12월~) *「공급망기본법」,「소부장특별법」 및「국가자원안보특별법」
핵심소재 및 배터리 셀 제조 경쟁력 강화	특허 기간 단축	이차전지 특허 우선심사 도입을 통해 심사기간 대폭 단축(21→10개월) ('24년~)
	기반시설 구축	이차전지 분야 국가첨단전략산업 특화단지 기반시설 구축 ('24년~)
사용 후 배터리 산업생태계 활성화	생태계 · 육성	사용 후 배터리 산업의 체계적 육성을 위한 지원법 마련('24년)
	안전점검 체계	3단계 안전점검 체계(❶성능평가-❷유통 전 안전검사-❸사후검사) 도입 ('24년~)
	재활용	재제조·재사용 용도의 사용 후 배터리는 '제품'으로 인정 ('23년 12월~)
	전주기 시스템	배터리 전주기 이력관리 시스템 구축 및 정보입력 의무 부여 ('24년~)
이차전지 산업 생태계 조성	초격차 확보를 위한 R&D 지원	① 차세대 이차전지 기술개발 프로젝트 추진('24~'28년, 1,172억원) ② 하이니켈 양극재, 실리콘 음극재, LFP 배터리 등 고성능 핵심소재 기술개발, 전고체, 나트륨이온전지 등 차세대 이차전지 상용화 기술 확보 ③ 사용 후 배터리 시험·평가 환경 구축 및 기술고도화
	인력 양성	① 이차전지 분야 특성화 대학 3개, 부트캠프 4개교 내외 신규 지원 ('24년~) ② 산업계 수요 및 프로젝트 기반 고급인력 양성
	금융지원	① 광물·소재·완제품 등 全분야 향후 5년간 38조원+α 금융지원 ('24년~) ② 첨단전략산업 펀드(1조원), 공급망 대응펀드(0.5조원) 조성 ('24년~)
	이차전지 적용 분야 확대	① 실증사업을 통해 전기이륜차 배터리 교환 구독서비스 활성화 ('24년~) ② (ESS 응용) 안전성 검증 등을 통해 고부가가치 신사업 개발지원 ('24년~) ③ 국방·항공·해운 등 전기차 外 차세대 이차전지 상용화 (~'28년,~'27년, '30년)

출처: 이차전지 전주기 산업경쟁력 강화 방안 (관계부처합동, 2023.12.13)

양자

백단비 연구원 외 국가미래전략기술 정책연구소 연구진



최근 선도국의 양자기술 육성정책 및 생태계 구축 전략

(2023.08.09) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ '23년 발표된 주요국(미,캐,영,독,일) 양자 기술 육성 정책과 주요 싱크탱크(맥킨지, WEF·딜로이트, CSIS)의 양자 보고서 분석

주요 동향

● **(사용 사례 발굴 지원으로 양자 산업 생태계 구축)** 다양한 분야에서의 양자기술 사용 사례(use case) 발굴로 창업 및 산업화 촉진

- **(日)** 「양자 미래 산업 창출 전략('23.4.)」 발표를 통해 '사용 사례' 발굴을 비롯한 산업 분야 육성 정책 추진
- **(獨)** 양자 기술을 모든 영역에 적용하는 양자 응용 기회 창출 및 확대 전략을 담은 「양자기술 국가 실행 계획('23.4.)」발표
- **(英)** 양자 육성 정책을 통해 경제·사회·국가 안보 전 분야에 양자 기술 사용 확대 및 상용 가속화로 양자 생태계 성장을 촉진
- **(加)** 10여년간 정부의 전략적 투자(09~21년, 총 한화 약 1조 3천억)를 통해 23개('22 기준, 세계 2위)의 양자 컴퓨팅 관련 스타트업 설립 및 선도 기업(D-wave)의 관련 특허 138개 보유(세계 1위)
- 맥킨지에 따르면 양자 스타트업 보유국들은 지난 5년간('15~21) 창업 수의 꾸준한 증가세 포착, 단 하나의 창업일지라도 씨드가 되어 창업 활성화를 위한 환경 마련에 기여하는 것으로 분석
- 美 국제전략연구소(CSIS)는 수출규제 등을 통해 對中 기술 이전을 과도하게 제한함으로써 미국의 글로벌 연구협력과 양자 시장 구축의 지연, 이로 인한 민간 투자와 혁신의 저해를 우려
- 또한 정부의 양자 지원 증액을 강조하면서 R&D 투자 증가뿐만 아니라 스타트업육성, 사용 사례 발굴, 공공 인프라 구축지원, 기업을 대상으로 하는 세금감면, 규제완화 등을 제안

● **(양자 R&D 인프라 지원 강화)** 산학연 활용 가능 양자컴 자체 구축 혹은 도입, 클라우드 활용 지원 등 양자 연구 인프라 강화

- **(美)** 최첨단 양자 HW와 클라우드 등 리소스 제공 프로그램 구축, 산·학·연 개방으로 양자 연구

장려 및 인력풀 확대에 기여

* 에너지부 QUEST(Quantum User Expansion for Science and Technology Program) 프로그램 운영 ('23~'27, $3천만 책정)

- **(歐)** 유럽 전역에 거대 양자컴퓨터 통합시스템을 구축하여 유럽 산업 전반과 연구자에게 개방하는 원격 양자 공유 시스템 추진

* 유럽 6개 지역(체코, 프랑스, 독일, 이탈리아, 폴란드, 스페인)의 양자컴퓨터 구축에 총 1억 유로 제공(EU와 참여 17개국이 공동 부담, '23.6.)

- **(英)** 산·학·연이 양자컴퓨팅 HW, SW 등 리소스 접근에 용이하도록 국립 양자컴퓨팅 센터 운영 등 국가 연구시설에 투자 확대

* 국립 양자 컴퓨팅 센터 활용 R&D 가속화('23년부터 £2천만 추가 지원)

- **(日)** 자체 개발한 양자컴('23.3.) 관련 소부장 기업·대학·연구소의 사용 환경 조성, 클라우드 서비스 제공 통해 R&D 환경 구성

● **(양자 SW에 투자 급증)** 美 정부와 민간 펀드가 양자 SW 스타트업에 대규모 유입되고, 영·캐 등은 양자 정책에 SW 육성 신규 반영

- 양자 컴퓨터 HW 기업들이 주도하던 민간 투자 유치 경쟁에서 금융, 의료, 보안 분야 등에 양자 컴퓨팅 기술을 서비스로 제공하는 SW기업이(SandboxAQ) 2022년 가장 많은 투자 유치

* SandboxAQ(설립: '22)는 구글의 모기업 알파벳에서 분사한 스타트업으로 양자컴퓨팅 기술과 AI가 결합한 기업용 서비스형 소프트웨어(SaaS) 제공

* **美 CIA 산하 벤처캐피탈 인큐텔**이 '샌드박스AQ' 투자 후 글로벌 민간 투자 유치 순위 1위 기록('22.03. 민간 투자 **1억**달러에서, **인큐텔** 투자 후 '22.12. **5억달러** 유치, 美 정부의 4억달러 투자 혹은 민간 투자 견인 추정)

- **(加)** 정부는 캐나다 양자 기업 컨소시엄(QIC)에 직·간접적 정부 투자를 진행하여 양자 SW 등 양자 관련 기업 신규 기술 개발을 촉진

* QIC(Quantum Industry Canada): 양자 HW / SW 기술을 개발하는 회사들이 설립한 캐나다 양자 기술 회사의 컨소시엄

- (英) 양자 기술의 역량을 강화하고 기술의 이점 실현을 위해 양자 HW, SW 등을 포함한 전방위적 양자 R&D 육성 정책 추진

● **(양자 암호화 및 보안의 선제적 대응)** 양자 암호화 기술의 구현 가시화로 국가 안보, 사이버, 디지털 경제의 보안 위협 대응을 강조

- CSIS는 수년내 암호 해독 기술의 구현을 예상하고 있으며, 이에 따른 기존 암호 시스템의 보안에

대한 선제적 대응 경고

- **(美)** 「국가 사이버보안 전략」내 포스트 양자 암호화 체계 대비 전략 포함, 미국표준기술연구소(NIST) 주도로 글로벌 표준 수립('24)

- **(加)** 국가 양자 정책 수립에 참여했던 산학연 전문가 집단에서 양자내성암호 교체에 대한 시의성 있는 사전 대비 필요성 강조

- WEF·딜로이트는 디지털 경제 시대에 양자기술로 인한 기존 암호화 시스템의 붕괴와 사이버 보안의 위험에 대한 선제적 대응 강조

시사점

- 정부 양자 정책 수립 시 다양한 분야의 산학연 협력 기반 사용사례 발굴 및 창업 지원을 통해 조속한 양자 생태계 조성 전략 필요

- 양자 관련 연구자, 기술 활용 기업, 소부장 기업, 스타트업 등이 자유롭게 활용할 수 있는 양자컴퓨터 도입 및 연구 인프라 구축

붙임1 '23년 발간된 주요국 양자 육성 정책 요약

캐나다 「국가 양자 전략(Canada's National Quantum Strategy, '23.1.)」

지난 20년간 20억 달러 이상을 투자하여 양자 분야의 글로벌 리더로서의 지위를 유지하고, 지속적인 성장과 선도국 유지를 위한 혁신 전략 수립

핵심전략

- 양자컴퓨팅: 캐나다의 양자 선도국 지위를 공고히 하기 위해 양자 원천 기술(하드웨어 및 **소프트웨어**)의 기술 개발에 지속 투자

  * 소프트웨어: 맞춤형 의약품, 유통 효율성, 이상기후 변화 모델링 등

- 양자통신: 기술 발전으로 인한 자국민의 **개인정보 보호, 국가 보안 양자 통신 네트워크 구축 및 포스트 양자 암호화 기술** 개발

  * Bank of Canada: 디지털 보안, 뱅킹 및 첨단 제조업 등 협력과 지원

- 양자센싱: 정부가 새로운 양자 기술의 조력자이자, 구매자로 새로운 **양자 센싱 기술을 개발 및 조기 채택**할 수 있도록 지원

주요내용

- **양자기술의 선도국 유지를 위한 투자 강화:** 연구 역량 강화, 기술 개발, 관련 기업 및 인재의 육성, 글로벌 리더십 강화 등을 목표로 약 35%를 연구 역량 강화 및 인재 육성에 투자

  * 주요 NQS 보조금 지원 프로그램 (CREATE, Alliance International Quantum grants, Alliance Quantum grants, Alliance Consortia Quantum grants)

- **사용 사례 발굴 및 상용화를 통한 양자생태계 구축 전략:** 정부 차원의 상용화 전략으로서 사용사례를 정부 조달의 방식으로 초기 지원하며 정부, 학계, 민간 부분의 연결고리로서의 역할 담당

- **국제협력:** 글로벌 아이디어 풀 및 국제시장과 강력한 연결고리를 유지할 수 있도록 국제협력에 중시하고 신뢰할 수 있는 동맹국 간의 협력에 중점을 두어 안보 이익을 추구

영국 「국가 양자 전략(National quantum strategy, '23.3.)」

2024년부터 향후 10년간 양자 R&D 개발 위한 약 4조 원 이상 규모의 정부 자금 투입 예정이며, 이 중 22%가 상용화 촉진에 투자

- 양자 부문 관련 160개 이상 기업을 보유한 민간투자 2위국의 초격차 주도를 위한 세계적 수준의 양자 기술 성장을 주도하고 경제·사회·국가 안보 전분야에 기술 사용을 통한 육성 전략

- 전분야 사용 사례 발굴 위한 HW부터 SW까지 전방위적 기술 개발과 생태계 내 핵심 부문 성장 가속을 위한 투자 강화

	주요 목표	세부 내용
1	양자 관련 전문지식 함양 및 기술 수준 향상	'33년까지 양자 관련 숙련된 인력 양성을 위한 교육 프로그램 개발 및 투자 확대
2	**양자 기술 관련 비즈니스 성장 지원 확대**	**'33년까지** 글로벌 양자 기술 **시장 점유율은** 9%(2021/22년도) → **15% 점유**, 양자 기술 기업에 대한 **민간 투자는** 12%(2012-22년간) → **15% 유치 목표**
3	**경제·사회·국가 안보 전분야에 양자 기술 사용 촉진**	**'33년까지** 모든 기업은 양자 기술의 잠재력을 인식하고, 관련 **기업의 75%가 양자컴퓨팅의 도래에 대비하기 위한 조치** 예정
4	국내외 규제 프레임워크 구성	양자에 대한 글로벌 표준을 수립하는 글로벌 리더 목표

	우선 조치사항
정부자금투자 (25억 파운드)	▪ **양자 기술의 개발과 상용화를 위한 가속 프로그램 추진** ▪ **산·학·관 간의 협력 촉진 및 성장을 주도하는 혁신 자금 지원** ▪ 양자컴퓨팅의 리소스 접근과 사용 지원을 위한 국립 양자 컴퓨팅 센터에 대한 투자 확대 ▪ 양자 연구자 및 기업 지원을 위한 인프라 투자 ▪ 기초 연구에 대한 투자, 국제 파트너와의 공동 R&D 프로그램 추진 등

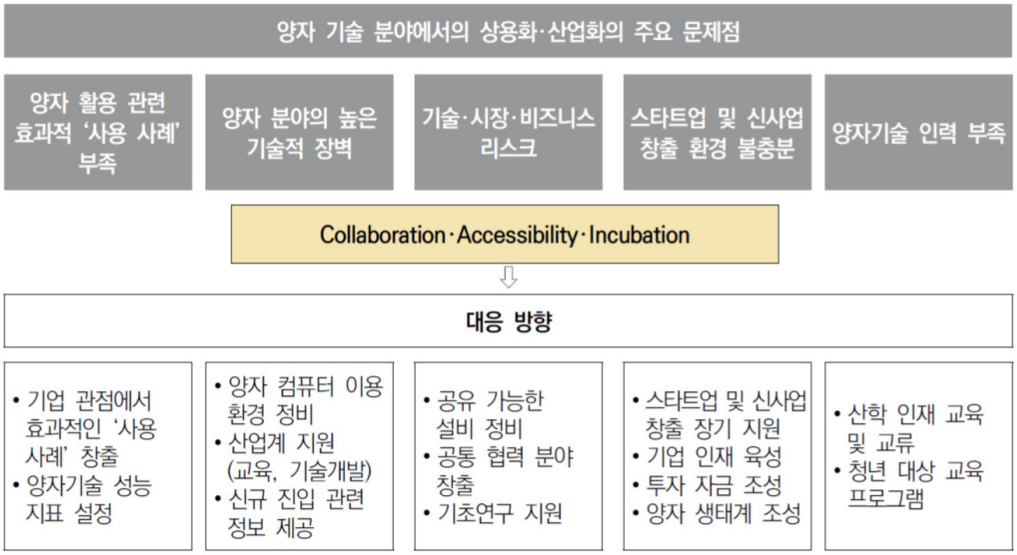
▶ 향후 정부 투자 규모는 누적 **투자의 2배 이상**이고, 신규 펀딩을 통해 '23년부터 양자 기술에 대한 투자 확대
▶ 영국 정부의 양자 육성 지원 예산에 **추가로 10억 파운드의 민간 투자 창출 목표**

일본「양자 미래 산업 창출 전략(Strategy of Quantum Future Industry Development, 量子未来産業創出戦略, '23.4.)」

양자 기술 분야의 산업화 촉진 정책으로'사용 사례'발굴을 비롯한 양자기술의 실용화·산업화를 위한 구체적인 전략 제시

● 기존의 양자 육성 정책 발표 이후 주요 현황에 따른 대안 수립

- 일본이 직면한 양자 관련 주요 문제점 분석 및 산업 육성 방안 도출



*출처: KIAT(2023.5.) '일본의 '양자 미래 산업 창출 전략'의 주요 내용'

● 개선 추진 방향

- 양자기술의 실용화·산업화, 산업에서의 **'사용 사례'**를 창출하고, 투자자금과 인재가 유입될 수 있는 **양자 산업 생태계를 조성**

● 상용화·산업화 3대 전략 추진

1) **협업장려:** 다양한 산업 분야(소재, 화학, 금융, 건강·의료, 물류·교통, 환경, 에너지 등 다양한 분야의 국내외 수요 기업 및 대학)가 **참여·협력을 통해 '사용 사례' 발굴 및 새로운 가치 창출**로 연결

2) **접근성강화:** 일본 자체적으로 개발한 **양자컴 접근** 허용을 비롯해 **기술·산업 현장에서의 양자 기술의 개방적 이용 환경**을 조성

3) **창업보육:** 스타트업·벤처기업·신사업 창출을 지원하고 산학협력·해외진출·금융 등을 포괄하는 **양자 기술 생태계 조성**

독일 「양자 기술 국가 실행 계획(Germany's Action Plan for Quantum Technologies, Handlungskonzept Quantentechnologien, '23.4.)」

기초과학 기술력을 기반으로 **미중을 견제하며 양자 선도국 지위 확보 전략 수립**, 글로벌 기술 주권 확장 및 국가 리더쉽 강화를 위한 정책 추진의 일환

목표

- 비즈니스와 사회에 양자 기술을 적용하는 기회를 창출하며, **양자 기술을 다양한 응용 분야의 핵심 기술로 안착**

3대 전략 추진

1) 양자 기술을 전반적으로 적용하며 기술 유용성 확대

① 비즈니스, 사회, 국가 기관에서 양자 기술의 사용 증대 및 사회 난제(기후변화, 모빌리티, 에너지 등) 해결에 양자 기술을 적용

② 독일과 유럽 사회 전반에 실용적으로 응용할 수 있는 양자컴퓨팅 기술 개발, 양자 기술 시장 육성

2) 향후의 양자 기술 적용을 고려한 장기적 차원의 기술 개발 전략 수립

① 응용 지향형 양자컴퓨팅 하드웨어 개발 및 국제 개발 수준에 걸맞는 오류 정정 범용 양자컴 개발('26년까지)

② 양자컴의 개발 및 응용 프로그램의 기술 개발까지 많은 개발 단계에 소요되는 긴 시간을 고려한 장기 차원의 개발 전략 수립(품질 인프라 표준 확립을 통한 전세계의 독일산 양자기술 사용 전략 등)

3) 포괄적인 양자 생태계 구축 및 기업 R&D 활성화

① 새로운 기술을 사회와 비즈니스에 바로 응용하기 위해 기초연구부터 개발 상용화까지 기능적이고 포괄적인 협력 체계 구축

② 기업 중심의 긴밀한 양자 네트워크 구축 및 경제적 지원을 통해 궁극적으로 향후 자생적인 기술 개발이 가능한 시스템 구축

붙임2 주요 국제 싱크탱크의 양자기술 보고서 요약

WEF·Deloitte「양자 준비 툴킷: 양자 보안 경제 구축 (Quantum Readiness Toolkit: Building a Quantum Secure Economy, '23.6.)」

양자암호 구현 기술의 가속화로 인해 근시일 내에 발생 가능한 **디지털 경제 사회의 보안 위협**을 인지하고 **조직 및 제도적 대응** 방안 필요성 강조

- 양자 보안 경제 대비와 향후 조치 식별을 위한 5가지 원칙 제시

1) **거버넌스 구조를 통해 양자 리스크의 제도화 보장:** 양자 보안 위협으로 인해 조직은 명확한 목표, 역할, 책임을 정의해야 하며, 양자 사이버 전환을 위한 거버넌스 구조의 조정 필요

2) **조직 전반의 양자 리스크에 대한 인식 제고:** 양자 사이버 리스크 전문가 뿐만 아니라 고위 리더 및 위험 관리 담당자가 조직에 대한 양자 리스크의 영향에 대한 이해 필요

3) **기존의 사이버 보안 위험과 함께 양자 리스크 해결 및 우선순위 지정:** 양자 사이버 준비 조직은 양자 리스크를 평가·관리하기 위해 구조화된 접근 방식을 따르며, 리스크 완화 방법을 기존의 사이버 리스크 관리 절차에 통합

4) **미래 기술 채택을 위한 전략적 의사 결정:** 조직은 양자 리스크 관리를 통해 기술 환경 개편(암호화 사용 재평가) 기회를 얻을 수 있고, 조직의 보안 목표를 달성하기 위해 '암호화 민첩성'을 지원하는 전략적 기술에 대한 결정 필요

5) **이해관계자 생태계 전반의 협업 장려:** 타 조직과의 협력과 정보 공유를 통해 생태계 전반의 위험을 파악하고, 공급업체와 협력하여 보안 위험에 대해 공동으로 대응하며 위험 완화

CSIS「양자 기술: 응용과 시사점(Quantum Technology: Applications and Implications , '23.5.)」

양자 기술이 컴퓨팅, 통신, 센싱 등 분야별 다른 속도로 R&D 및 상용화될 것이며, 이에 따른 전략적인 지원과 정책이 필요함을 시사

● 정책 제언 총 7가지

1) **연구 지원 확대:** 자금 조달 방법 마련, 과세 완화 및 세금 인센티브 지원 관련 규정 수립, 스타트업 육성, 사용사례 개발, 공공 인프라 구축, 국내외 투자 협력 촉진 프로그램 구성

2) **기술 협력 강화:** 동맹국간의 양자기술의 정책 및 표준에 대한 적절한 합의와 협력 강화, 기술 이전에 관한 공동 정책 개발

3) **양자내성암호 체계 전환 가속화:** 양자기술의 발전에 따라 기존 암호화 시스템의 보안 취약성의 도래로 전환 계획 필수

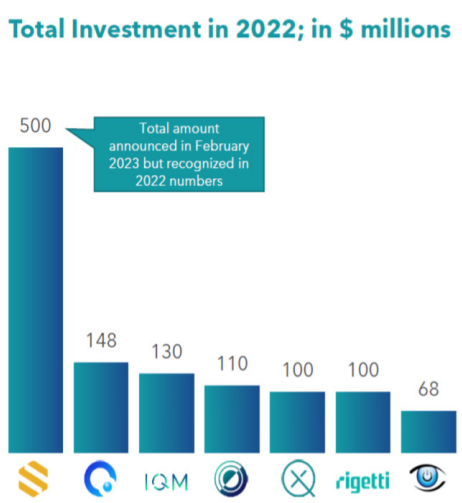
4) **연구자의 양자 기술 및 관련 서비스의 접근성 강화:** 연구원들이 양자 기술을 개발하고 교육받는 경험을 확대

5) **표준 및 규정 개발:** 양자 기술의 성능 및 신뢰성에 대한 표준 수립과 주요 산업 분야(금융, 에너지, 통신 등)에 양자 기술 적용 시 기술을 규제하는 규정 수립 필요

6) **기존의 지식재산권 규정 검토:** 추후 신약 개발을 비롯한 여러 분야에 양자컴퓨팅 기술이 도입되어 연구 결과물 및 무형의 가치 창출 시 지식재산권 문제 발생 가능

7) **인력 양성 투자:** 숙련된 연구자를 포함한 인력 수요의 증가에 따라 교육 및 인력 양성 프로그램에 투자 확대 필요

붙임3 양자 SW 민간 투자 관련 자료



Company	Segment	Description	Founded
SANDBOXAQ	Software	Enterprise SaaS company delivering solutions at the nexus of quantum tech and AI. Focus on sensing, security and optimization.	2022
本源量子 ORIGIN QUANTUM	Quantum Computers	Provider of multiple Quantum Computing solutions.	2017
IQM	Quantum Computers	Developer of scalable hardware for universal quantum computers, focusing on superconducting technology.	2018
Inflegtion	Quantum Computers	Holding company for ColdQuanta (sell laser-cooled and ultra-cold atom enabled quantum technologies) and Super.Tech	2007
XANADU	Quantum Computers	Full-stack developer of quantum photonic processors and an open-source quantum software platform.	2016
rigetti SPAC[1]	Quantum Computers	California-based developer of hardware and software for quantum computers.	2007
CORNAMI	Quantum Comms & Security	Fabless semiconductor company developing quantum computing and Fully Homomorphic Encryption (FHE) solutions.	2012

*출처: The Quantum Insider(2023.2.)「양자 기술 투자 보고서(Quantum Technology Investment Update)」

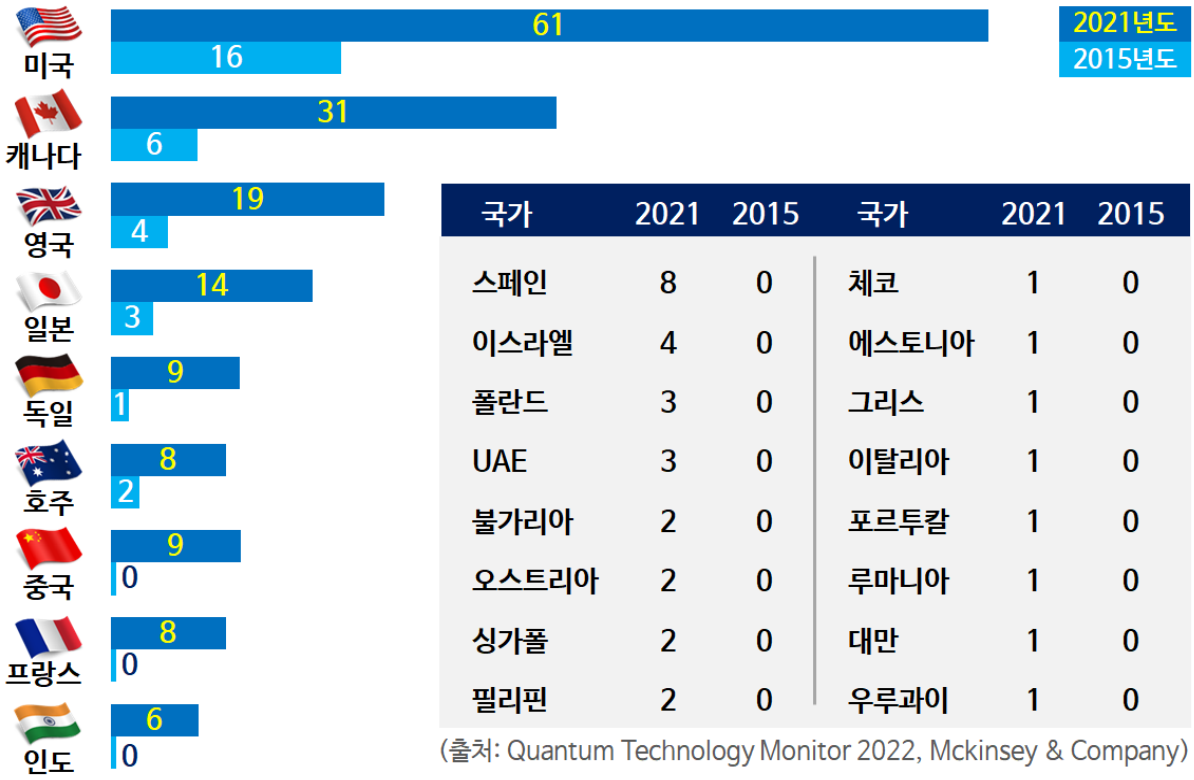
Top 10 venture capital/private equity investments in QT start-ups of all time, by deal size (descending)

New entrants · Quantum computing · Quantum communications · Quantum sensing

Company	Country	Tech	Segment	Deal size, $ million	Deal year
SandboxAQ	United States	◇ ((o)) ⚛	Application software	500	2022
PsiQuantum	United States	⚛	Hardware manufacturing	450	2021
IonQ	United States	⚛	Hardware manufacturing	350	2021
Rigetti Computing	United States	⚛	Hardware manufacturing	345	2022
Arqit	United Kingdom	((o))	Hardware manufacturing	345	2021
IonQ	United States	⚛	Hardware manufacturing	300	2021
Quantinuum	United Kingdom	⚛	Vertically integrated[1]	300	2021
D-Wave Systems	Canada	⚛	Hardware manufacturing	300	2022
PsiQuantum	United States	⚛	Hardware manufacturing	230	2020
Origin Quantum	China	⚛	Hardware manufacturing	149	2022

*출처: McKinsey(2023.4.)「양자 기술 모니터 보고서(Quantum Technology Monitor)」

붙임4 글로벌 양자 스타트업 성장 추이



국가	2021	2015	국가	2021	2015
스페인	8	0	체코	1	0
이스라엘	4	0	에스토니아	1	0
폴란드	3	0	그리스	1	0
UAE	3	0	이탈리아	1	0
불가리아	2	0	포르투칼	1	0
오스트리아	2	0	루마니아	1	0
싱가폴	2	0	대만	1	0
필리핀	2	0	우루과이	1	0

(출처: Quantum Technology Monitor 2022, Mckinsey & Company)

*출처: McKinsey(2023.4.)「양자 기술 모니터 보고서(Quantum Technology Monitor)」

붙임5 양자 분야 학계 전문가 자문 내용

(전문가 구성) KAIST 양자대학원(물리학 및 전기·전자 공학 분야), 물리학과 교수 3인 대상 보고서 자문 및 검토 진행

	주요 질문	전문가 의견
1	**기초과학** '기초과학'에 대한 정부 투자 및 육성 전략	▪ 예타·비예타 사업의 체계적 추진을 통해 기초과학 육성 및 생태계 활성화 필요 ▪ 시급성 측면에서 기초과학 보다는 응용 분야에 현 투자 계획보다 훨씬 더 많은 투자가 필요
2	**실용화·산업화** 국내 현황에 따른 전략 수립 시 집중 육성 분야 필요성 및 주안점	▪ 초기 발전단계로 특정 기술에 대한 집중 육성 불가, 정확한 기술 수준 파악을 위해 다양한 전문가의 의견 종합 청취 및 객관적 판단 필요 ▪ 글로벌 경쟁력 있는 핵심 연구 그룹 발굴로 민간투자 연계 필요
3	**투자전략** 정부의 투자 비중 및 투자 집중 기술군 필요성	▪ 예산 차등 지급에 따른 성과 검토, 공개 필요 ▪ 민간투자 종용이 어려운 국내 현황 및 민간과의 중복투자 방지를 고려한 예산 편성 필요
4	**선도국의 선도 요인** 중국, 캐나다의 양자 기술 선도 현황 및 견인 역할	▪ (캐나다) 미국 주변국으로서의 인력 확보 용이 및 빠른 양자기술 부양정책(비목적성 집중적 투자) 수립으로 투자 성공사례 창출 ▪ (중국) 중국이 양자통신 분야의 강대국이라고 단정지을 수는 없으며, 핵심기술인 '양자중계기' 는 미국과 유럽이 우위
5	**추가 제안사항**	▪ 생태계 조성 및 양자기술의 저변 확대 ▪ 정확한 현황 파악 및 분석을 바탕으로 유연하고 파격적인 혁신 전략 수립 필요

	주요 질문	전문가 의견
1	**양자컴퓨팅 SW** 양자컴퓨팅 SW 투자 강세에 따른 대비 전략(기술 개발, 인력 확보)	▪ 향후 많은 투자가 예상되며 현 개발 단계 고려 시 선제적인 양자컴퓨팅 SW 기술 개발 필요 ▪ 전세계적으로 양자 인력 확보의 어려움이 꾸준히 나타나고 있기에 인력 양성 전략은 중요
2	**양자기술 접근성 강화** 양자컴의 물리적 확보를 포함한 기술 접근성 강화의 중요성·필요성	▪ 양자컴 확보로 국내의 연구 기관들의 R&D 역량 강화 및 개발 가속화 가능 ▪ 글로벌 밴처기업들과의 협업을 통해 양자컴 유치 및 리소스 개방을 통한 시너지 확대 필요
3	**상용화·산업화** 정부의 상용화·산업화 전략	▪ 모든 분야의 기업에 양자 기술 적용을 통한 사용 사례 자체 발굴 및 상용화·산업화로 연계하는 선순환 시스템 구축 필요 ▪ 양자 기술 기업의 제조 및 서비스 육성 지원
4	**국제협력** 국제협력 및 공동연구의 주안점	▪ 선도국은 현 기술 개발 단계를 고려하여 양자 기술의 개발 가속화를 위해 국제협력 및 공동연구를 추진하는 것으로 추정 ▪ 후발주자로서 선도국과의 공동연구를 통해 기술이전을 받는 것이 가장 중요하며 관건
5	**추가 제안사항**	▪ 선도국의 양자 기술 투자 추세에 따른 유망 기술 플랫폼을 지속 관찰하는 추격 전략 지속 ▪ 기업의 양자 기술 진흥 정책 수립의 참여를 확대하며 기업의 연구개발 촉진 전략 필요

전문가 자문 회의록 (1)

〈KAIST 양자대학원 교수, 물리학과〉

1. (기초과학) '기초과학'에 대한 정부 투자 및 육성 전략의 필요성 여부와 방향성에 대한 의견 부탁드립니다.

- 시장 활성화에 기반이 되는 기초과학 투자는 필수적이며 핵심임.
  - (비예타 사업의 활성화 필요) 기초과학이 포함된 비예타 사업의 활성화를 통해 예타 사업의 성공을 뒷받침해야함. 또한, 기초과학부터 실용화·상용화까지 여러 광범위한 연구자들이 참여할 수 있는 사업을 마련할 필요가 있음.
  - (생태계 및 시장 활성화 지원 필요) 기초과학 투자를 통한 핵심 원천 기술 개발 보다는 다양하고 창조적인 접근에 초점을 맞춰 기초과학부터 시장까지의 생태계 전체를 활성화하는 것이 중요함.

2. (실용화·산업화) 양자컴퓨터의 실용화·산업화 현황은 어느 단계이며 실 현황에 따른 실용화·산업화 전략 수립 시 집중적으로 육성할 분야는 무엇이고, 앞으로 실용화·산업화 전략에 주안을 두어야 할 점에 대한 의견 부탁드립니다.

- (국내 현황) 국내 기술은 패스트 팔로우 단계이며, 중성원자와 같은 몇몇 기술은 국제적 기술 경쟁력을 보유함. 그러나 실용화·산업화 단계까지의 기술 실현은 아직 어려움.
  - (집중 육성 불가) 양자컴퓨팅 기술은 각 플랫폼 마다 장단점이 존재하고, 특정 기술의 우월성이 입증된 현황이 아니므로 특정 플랫폼을 선정하여 우선적으로 지원하기는 어려울 것으로 생각됨.
- (수요에 의한 연구 생태계 조성 필요) 시장이 충분히 성숙되기 전까지는 현 단계에 적합한 수요 기반의 상향식 형태로 진행 필요
  - 양자기술에 관심을 갖고 연구할 수 있는 분위기와 시장을 형성한다면 자연스럽게 실질적인 실용화·산업화 단계로 연계될 수 있음.

3. (특정 기술 전략 수립) 'AI 양자 컴퓨팅(quantum computing and artificial intelligence/machine learning)'에 대한 육성 전략 수립 시 한국의 경쟁력에 대한 의견 부탁드립니다.

- 이론적으로는 충분히 실현 가능한 아이디어나 실제로 실험하는 연구진은 없을 것임.

- (국내 현황) 현실 수준에서 반영이 가능하려면 알고리즘과 코딩을 개발해야 하나 해당 부분이 아직 기술적으로 미성숙함.

- (국내 경쟁력) AI와 양자의 융합기술이 활용 기술로서 중요할 것이란 생각이 들고, KAIST나 우리나라가 AI 분야를 잘하니 관심을 갖는 것도 굉장히 좋을 것 같음. 그러나 현 단계에서는 IBM을 비롯한 선진 연구 기관들과 협업하는 것이 더 좋을 것으로 생각됨.

4. (양자기술 선도국 관련) 캐나다*가 양자 기술의 주요국인 이유가 무엇이라고 생각하시는지 의견 부탁드립니다.

* 캐나다는 양자 기술 스타트업이 전세계 두 번째로 많고, 주요 기업 D-Wave와 Xanadu 보유

● 미국의 주변국으로서의 영향과 비교적 빠른 부양정책으로 인함.

- 양자기술 부양정책으로 다양한 플랫폼을 지원할 수 있었기에 D-Wave를 비롯한 주요 회사들도 만들 수 있었다고 생각함. 특히 블랙베리가 워털루대학의 양자연구에 대해 전폭적으로 지원한 것과 여러 투자 시도들로 시장이 자유롭게 활성화된 것으로 보임.

- 우리나라 또한 비목적성 통근 지원을 소원하는 연구진이 많음.

5. 기타 의견

● 생태계 조성 및 확장이 전반적으로 제일 중요함.

- 작은 시드머니 중심으로 투자를 다양화하고 실제 응용 가능성 있는 기술 도출로 연계하는 전략이 필요함.

- 산학연 연구주체들의 협력 활성화를 통한 생태계 확장이 필요함.

전문가 자문 회의록 (2)

〈KAIST 양자대학원 교수, 전기및전자공학과〉

1. (기초과학) '기초과학'에 대한 정부 투자 및 육성 전략의 필요성 여부와 방향성에 대한 의견 부탁드립니다.

- (응용 분야 투자) 기초과학 보다는 응용 분야에 많은 투자 필요
  - 현 시점에서 기초과학에 투자해도 정부가 생각하는 양자컴퓨팅 분야에 실질적인 도움이 되기 어렵고, 성과가 난다면 20~30년 후에나 해당될 수 있음.

2. (실용화·산업화) 양자컴퓨터의 실용화·산업화 현황은 어느 단계이며 실 현황에 따른 실용화·산업화 전략 수립 시 집중적으로 육성할 분야는 무엇이고, 앞으로 실용화·산업화 전략에 주안을 두어야 할 점은 무엇이라고 생각하시는지 의견 부탁드립니다.

- (집중 육성 불가) 특정 플랫폼 기술군을 집중 투자하기에는 아직까지 기술이 정립되거나 성장되지 못함.
  - 다양한 분야의 전문가, 연구자들과의 심도 있는 대화를 통해 의견을 종합적으로 청취할 필요가 있음.
- (주안점: 글로벌 선도 연구 그룹 양성) 세계적으로 경쟁할 수 있는 핵심 연구 그룹 양성 필요
  - 민간투자 활성화를 위해서는 글로벌 무대에서 통할 수 있는 실력, 외국과 교류 가능한 핵심기술을 가진 연구 그룹이 3~4곳 필요

3. (특정 기술 전략 수립) 'AI 양자 컴퓨팅(quantum computing and artificial intelligence/machine learning)'에 대한 육성 전략 수립 시 한국의 경쟁력에 대한 의견 부탁드립니다.

- 해당 기술은 학술적으로 존재하나 아직 상용화할 수 있을 만한 고성능 양자 컴퓨팅의 상용 알고리즘이 없으며 구현 가능성도 불확실함. 이론 연구에 해당되며 청사진이 뚜렷해 보이지 않음.

4. (투자전략) 현 정부에서 책정한 양자기술별 투자 비중에 대한 의견 부탁드립니다.

- (성과 공개 및 가시화 필요) 선택과 집중에 따라 시행된 특정 분야예산 집중 편성 이후, 투자 대비 성과의 도출 현황 검토 필요

- 우리나라는 기술격차로 민간투자 종용이 어려운 구조이며, 민간의 투자 분야는 국가 차원에서 개입할 필요성이 없으므로 중복투자를 방지하고, 국내 생태계를 고려한 투자 계획 필요

5. (양자기술 선도국 관련) 캐나다가 양자 기술의 주요국인 이유가 무엇이라고 생각하시는지 의견 부탁드립니다.

- (미국 주변국으로서의 수혜 및 인력 교환 용이성) 한국이 반도체 기술을 선도하게 된 배경 중 하나가 일본의 주변국인 것처럼, 캐나다 또한 미국간의 장벽이 아주 낮아서 인력 이동이 자유로움.

6. (양자기술 선도국 관련) 중국의 양자기술 발전 및 경쟁력에 관한 의견 부탁드립니다.

- 중국이 양자통신 분야에 있어 글로벌 경쟁력이 있어 보이지만 결코 강대국이라고 단정지을 수는 없음. 핵심기술인‘양자중계기’를 제일 잘하는 곳은 미국과 유럽임.
  - 중국이 논문 수가 가장 많은 것은 인구수와 실적 위주의 문화가 복합적으로 작용한 것이지만, 실제로 미국에 필적할만한 기술도 있음.

7. 기타 의견

- (유연한 전략 필요) 객관적 근거 기반으로 판단할 수 있는 역량 강화, 기존의 형식 및 수치화된 전략보다는 혁신적인 전략 필요
  - 정부와 소통하는 연구자의 풀이 한정적이며 일부 연구자들은 자신의 연구분야의 중요성을 과대 인식 및 전달하는 경향이 있음.
  - 미국 사례를 보면, VC 내에 자체 연구진(양자 전문가)을 구성해서 기술 수준과 전망 등을 종합 판단 후 투자 진행 필요

전문가 자문 회의록 (3)

〈KAIST 물리학과 교수〉

1. (양자컴퓨팅 SW의 투자 강세에 따른 대비 전략) 국내의 양자 SW 기술 개발과 관련 인력 확보를 위한 전략 수립의 시급성에 대한 의견 부탁드립니다.

- 소프트웨어 기술 개발은 현재 국제적으로 가장 중요한 시점이며 향후 많은 투자가 진행될 것으로 예상
  - (투자 가치 입증 필요) 응용 소프트웨어 및 알고리즘을 실증해서 투자할 가치가 있음을 가시화할 필요 有
  - (선제적 개발 필요) 전세계적으로 소프트웨어가 기초 개발 단계임을 감안할 때 한국이 빠른 연구개발 착수로 해당 분야 선도 가능
- (인력 확보 전략의 필요성 및 중요성) 현재 선도국부터 후발국까지 지속적으로 나타나는 어려움은 인력확보 및 두뇌유출 문제

2. (연구자의 양자 기술 접근성 강화 전략) 양자 기술 경쟁력 강화에 양자컴퓨터의 물리적 확보를 비롯한 양자 기술 접근성 강화 전략은 무엇이 있을지 의견 부탁드립니다.

- (양자컴 확보의 필요성 및 중요성) 1) 자체 개발 역량이 부족한 국내 기관에서는 양자컴의 확보와 협업으로 개발의 가속화 가능, 2) 국내 기업 및 국방부에서 정보 유출을 사유로 국외의 양자컴 사용을 지양중이기 때문에 양자컴의 빠른 도입으로 R&D 강화 가능
  - (양자컴 개발 기업과의 리소스 개방 정책 시행) IBM과 같은 대기업 보다는 파스칼, 아이온큐 등 벤처기업과는 협업이 가능할 것

3. (상용화·산업화 전략) 양자 선도국과의 기술격차가 존재하는 현 상황에서 국내 양자기술의 상용화·산업화의 가속화 전략에 대한 조언 부탁드립니다.

- (기업의 사용 사례 자체 발굴) 모든 분야의 기업에서 양자 기술을 적용함으로써 기업 스스로 사용 사례를 발굴하도록 지원하고, 상용화·산업화로 연계하는 루트를 만드는 것이 필요

- (국내 현황) 일본의 사용사례는 중요한 정책이며 현재 국내에서도 연구재단의'양자컴퓨팅 기반 양자이득 도전 연구사업'을 통해 산업적 파급효과가 큰 혁신사례를 창출하며 생태계를 조성 중
- (상용화·산업화 측면) 두가지 측면의 육성 필요 1) 양자기술의 제조 및 서비스(양자컴, 양자통신 장비 제조, 클라우드 서비스 제공 등), 2) 모든 기업의 사업에 양자컴 적용(최적화 문제: 공장 공정, 물류 로지스틱스 등)
- (기업의 양자 기술 적용을 통한 산업화) 예를 들어 제약회사의 약물 발굴 과정에 양자컴을 사용해 제약 개발 주기를 크게 축소하는 사용사례를 발굴하는 것 또한 산업화로 이어질 수 있음

4. (양자컴퓨팅 기술 개발 국제협력 분야) 양자기술은 전략기술로 국가간 기술이전 등에 제한이 존재합니다. 국제협력을 통한 양자 경쟁력 확보 전략에 대한 조언 부탁드립니다.

- (기술 이전) 한국은 후발주자로서 선도국과의 공동연구를 통해 기술 이전을 받는 것이 가장 중요
  - 최근 주요국의 국제협력 및 해외 공동연구 전략은 대외적으로 표면화된 정책일수 있으나 현 양자기술의 개발 단계 상 독점적 개발이 어렵기 때문에 기술 개발의 가속화를 견인하기 위한 전략으로 추정

5. 기타 의견

- **선도국의 기술 투자 추세와 시장 규모에 대한 면밀한 관찰로 지속적인 추격 전략을 시행하며 이에 적합한 투자 비율의 책정이 필요**
  - 한국의 선도 분야에 집중하는 것 보다는 세계적으로 기술 전망이 높은 분야에 투자하고, 양자 연구 집단의 각 이익에 따라 예산 투자 비율이 책정되지 않도록 하는 것이 중요
- **기업이 관련 정책 수립에 참여할 수 있는 협력 체계 구축 필요**
  - 기업의 의견을 청취하며 기업의 정책 참여와 연구개발 촉진 필요
- **국방부를 통한 기술 대모 및 상용화 연계 전략**
  - 필요하며 좋은 전략으로 보이나 현재 국방부에서 양자에 대한 연구가 전무하므로 연계가 어려울 수 있음

이슈브리프 및 별첨

유럽특허청 양자 컴퓨팅 인사이트 보고서 요약 및 분석

(2023.5.15) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 유럽특허청(European Patent Office, EPO)에서 발간한 인사이트 보고서 「Quantum computing」 내용 요약 및 분석

- EPO는 지난 2019년부터 양자기술 관련 특허 데이터를 분석하는 보고서 시리즈를 발간하고 있으며, '양자 계측 및 센싱(2019)', '양자 컴퓨팅(2023)'을 발간했고, 추후 '양자 시뮬레이션(2023)', 양자 통신(2024)을 주제로 발간 예정

* 자료: EPO(2023.1.), *Quantum computing. insight report.*

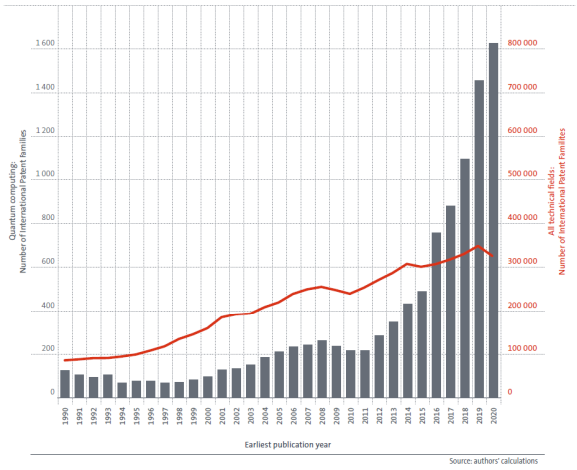
주요내용

- **(목표)** 양자컴퓨팅 기술의 연구 트렌드 분석
  - EPO 데이터베이스에 보유한 양자컴퓨팅 관련 전세계 특허 데이터를 분석하여 연구 트렌드 도출

- **(세부 분석 분야)** 1) 양자컴퓨팅의 물리적 구현(physical realisations of quantum computing), 2) 양자 오류 정정(quantum error correction/mitigation), 3) AI 양자컴퓨팅(quantum computing and artificial intelligence/machine learning)

- **(전체 현황)** 양자 컴퓨팅 기술의 특허는 **지난 10년 사이에 약 8배**(국제 패밀리특허 수 기준: 2010년 약 200개 → 2020년 약 1,600개)로 **성장**하였으며, 일반 타 기술군 보다 높은 성장률을 기록
  - 지난 10년간 미국, 일본, 유럽, 중국 모두 20% 이상 특허 출원 점유률 증가로, 해당 기술을 통한 특허 출원인들의 다국적 상업화 전략을 내포하고 있으며, 이는 높은 경제적 기대치로 해석
  - 유럽에서 출원된 **패밀리 특허*** 분석 결과, 공동 특허 출원인의 두 번째 혹은 세 번째 출원인 대다수가 유럽 소속이고, 약 1/4이 북미 기반 혹은 미국 국적으로 분석되며 이는 유럽내 긴밀한 협력 구성과 타국과의 협력은 상대적으로 약함을 의미

* 패밀리특허(Patent Families): 공통된 우선권 출원을 기반으로 서로 관련되어 여러 국가에 출원한 특허를 뜻함(OECD, 2009), 양자컴퓨팅 분야의 국제 패밀리특허는 사실상 소수에 불과하나 기업 간 또는 기업과 학계간 등의 **협력 현황을 판단하는 주요 지표**가 될 수 있다고 여겨, 본 보고서에서는 적어도 2개의 특허 당국에 의해 승인된 동일하거나 유사한 특허출원에 대한 문서를 그룹화하며 분석 시행



〈그림 1〉 양자컴퓨팅 분야의 국제 패밀티특허 수

세부 기술 분야 특허 관련

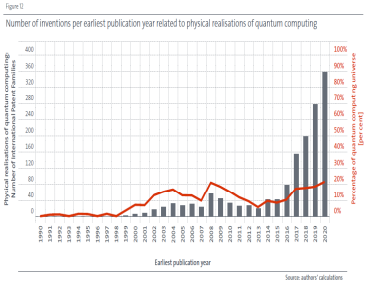
- **(특허 출원인 분석) '양자 컴퓨팅의 물리적 실현'과 '양자 오류 정정'** 기술은 IBM이 주도하고 있으며 다른 미국 기업들도 점차 많은 특허수를 내고 있으며, **근 몇 년간 'AI 양자 컴퓨팅' 기술에 대한 성장 증가세 有**

  - 특허 출원 순위(상위 5순위): 1) IBM(미국, 401개), 2) Toshiba/Nuflare Technology(일본, 312개), 3) Microsoft(미국, 246개), 4) Nokia/Here Global(핀란드/네덜란드, 230개), 5) Harvard University(미국, 185개)

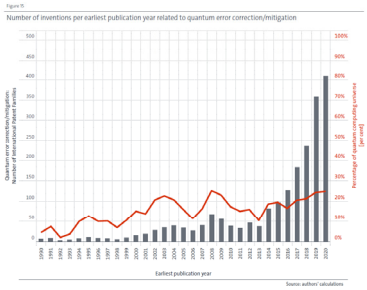
    * 세부 기술별 특허 출원 기관 순위 정보는 붙임 1 참조

  - **(한국) 삼성**이 유일하게 양자컴퓨팅 분야의 11위로 국제 특허수(151개)를 보유하고 있으며, 세부 기술 분야중에서는 **'양자 오류 정정'**에서 18위로 관련 국제 특허수 21개 보유

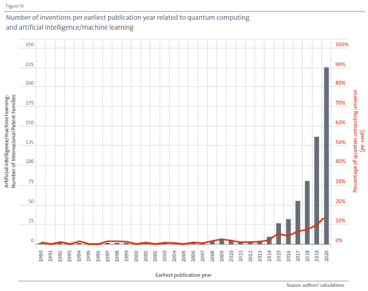
- **(세부 기술 분야별 특허수 증가폭)** 세 기술군의 증가폭을 비교해보면 전체적으로 모든 기술이 증가폭이 크긴 하지만, 그중 **'AI 양자 컴퓨팅'이 특허수는 제일 적으나 가장 급격한 높은 성장 추세**를 나타내며, 2014년을 기점으로 큰 성장폭 기록



〈그림 2〉 양자컴퓨팅의 물리적 실현



〈그림 3〉 양자 오류 정정



〈그림 4〉 AI 양자 컴퓨팅

→ **(시사점)** 특허수는 'AI 양자 컴퓨팅'〈'양자 오류 정정'〈'양자 컴퓨팅의 물리적 실현' 순으로 많으며, 특히 **'AI 양자 컴퓨팅'**의 경우, 다른 기술군과는 달리 주요 플레이어(IBM, 구글 등)와 주요국(미, 일)이 선도하기 보다는 **아일랜드 기반 기업을 비롯하여 후발 기업들이 두각**을 나타내고 있는 것으로 나타나며, **한국 차원에서의 발전 방안 모색 가능성**을 기반으로 전략 수립 필요* 붙임 1 참조

AI 양자 컴퓨팅 관련 연구 현황

- **(관련 최신 국내 연구)** 양자 컴퓨터와 AI딥러닝의 신뢰도를 높이는 기술 개발(서울대 박남규·유선규 교수 연구팀, 범용 양자 컴퓨터나 광자회로를 이용한 기계학습의 신뢰도를 높이는 양자 회로 가지치기 기법 개발, nature communications, 2023.4.3.)

  * 참조: https://www.nature.com/articles/s41467-023-37611-9

- **(교내 관련 연구)** 양자컴퓨터에서 AI 구현하는 알고리즘 개발(이준구 전기전자공학부 교수 연구팀 및 독일·남아공 협력팀, 비선형 양자 기계학습 인공지능 알고리즘 개발, 2020.7.)

  - 슈퍼컴퓨터의 한계를 뛰어넘는 새로운 계산 방법 구현(고차방정식 수준의 복잡한 데이터 처리 방식 구현)

붙임1 기술 분야별 전세계 특허 출원 순위(상위 5순위)

*단위: 개

구분	전체년도 기준		근래 기준(2020~2021)	
양자컴퓨팅의 물리적 구현	특허출원기관	특허수	특허출원기관	특허수
	IBM(미국, 회사)	230	IBM(미국, 회사)	128
	Intel(미국, 회사)	123	Microsoft(미국, 회사)	69
	Microsoft(미국, 회사)	122	Google(미국, 회사)	40
	Google(미국, 회사)	114	Zapata Computing (미국, 회사)	24
	D-Wave Systems (캐나다, 회사)	111	Tencent Technology (중국, 회사)	18
양자 오류 정정	특허출원기관	특허수	특허출원기관	특허수
	IBM(미국, 회사)	144	IBM(미국, 회사)	78
	Google(미국, 회사)	97	Microsoft(미국, 회사)	39
	Toshiba/Nuflare Technology(일본, 회사)	94	Google(미국, 회사)	34
	Microsoft(미국, 회사)	90	Zapata Computing (미국, 회사)	24
	Intel(미국, 회사)	77	Intel(미국, 회사)	21
AI 양자 컴퓨팅	특허출원기관	특허수	특허출원기관	특허수
	IBM(미국, 회사)	55	Fujitsu(일본, 회사)	42
	Fujitsu(일본, 회사)	47	IBM(미국, 회사)	38
	Microsoft(미국, 회사)	38	Microsoft(미국, 회사)	21
	Accenture Global Solutions(아일랜드, 회사)	31	Accenture Global Solutions(아일랜드, 회사)	20
	Google(미국, 회사)	31	Zapata Computing (미국, 회사)	19

Mckinsey&Company「Quantum Technology Monitor」주요 내용

(2023.6.26) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 맥킨지는 2022년부터 **양자기술의 생태계, 투자 동향, 산업 성숙도** 등을 분석한 「Quantum Technology Monitor」를 연간 발간하고 있으며 금년 발간된('23.4.) 보고서 주요 내용 분석

투자 및 스타트업 동향

- **(투자 규모 및 증가율)** 전체 양자기술 투자는 **'19년**을 기점으로 **기하급수적('19년: 약 $0.2B → '22년: $2.35B)**으로 성장했으며, 그중 **75%가 '양자컴퓨팅' 분야**에서 차지

- **(투자액 현황) 벤처 케피탈, 기업의 투자가 가장 큰 비율**을 차지, **전년도('21년→'22년) 증가 폭이 제일 큰 분야는 기업과 엔젤 투자**

  * 주요국(미국, 캐나다, 영국, EU)은 민간 투자 강세, 그 외 국가(중국, 일본)는 정부 공공 투자 강세
  * 3대 양자 스타트업의 민간 투자자: IonQ(구글 투자 유닛 GV, 삼성 케털리스트 펀드'[19], 록히드마틴, 보쉬, 소프트뱅크 등), Rigetti(Andreessen Horowitz, YCombinator, Bloomberg beta 등), D-wave(골드만삭스, NEC 등)

- **(스타트업 동향)** '13년 이후 증가하여 **'18년 최대 58개 설립 이후 감소 추세**(스타트업 투자금 증가 속도에 비해 설립 속도는 둔화)

  - 둔화 원인 추정: ❶인재 부족(해당 전문 인력들은 이미 업무에 종사), ❷산업 적용 미미(스타트업의 개발 수준이 상업화 정도에 미달), ❸투자 부족(VC들은 기초 단계에 투자 회피, 어느정도 성장한 스타트업에 투자 추세)
  - **민간투자**는 '11년을 기점으로 '21년까지 **약 200% 이상 증가** 후, **'21년을 기점으로 1% 수준대로 둔화**
  - 지난 3년간('19~'22) 양자기술 분야의 창업된 **스타트업 수의 80%는 '양자컴퓨팅'** 분야
  - **스타트업 투자의 2/3(68%)가 '21, '22년 발생**, 상위 기업에 대한 대규모 투자 또한 '22년 발생 (SandboxAQ, Rigetti, D-Wave, Origin Quantum)

- **(기업 성장과 투자 관계)** 주요 정부 정책 및 기술적 성과 발표 시점을 전후로 민간 투자 증가 및 스타트업 성장

  * 국가별 양자기술 육성 정책 수립 시기: 독일·미국·EU('18), 영국·러시아·이스라엘('19), 인도·호주·미국·독일('20), 프랑스·네덜란드('21)
  * Google 양자 우위 달성 발표('18), IBM의 Osprey(433 큐비트 프로세서) 구현('22) 등 양자기술 분야의 1차적 기술 난제를 극복한 것으로 추정

세부 기술별 연구 및 개발 현황

- **(양자컴퓨팅)** '22년 연구개발 기관 순위는 미국, 캐나다, 영국, 일본, 프랑스 순이며, 미국은 특히 스타트업 수(캐나다의 두배 이상) 뿐만 아니라 학계 연구 그룹(캐나다의 약 8배) 수도 월등히 많음
  - **(하드웨어)** 기술의 복잡성으로 인한 높은 위험도와 장시간 개발 시간 필요로 상당한 자본과 고도의 전문성이 요구되어 그동안 대기업에서 주로 개발했으나, 최근 3년간('19~'22) **이온트랩 및 중성원자, 광자 분야의 스타트업이 증가 및 가파르게 성장**(IonQ, PASQAL, PsiQuantum)
  - **(소프트웨어) 최근 4년간('18~'22) 스타트업 설립 추세 둔화**, 반면 세부 분야 중 **어플리케이션 소프트웨어 분야 기업은 가장 많이 성장**
  - **(시스템 소프트웨어)** 주로 오픈 소스인 프로토타입 형태로 제공, 현재 사용 가능한 소규모 양자 하드웨어에 적합, **추후 대규모 내결함성 양자 컴퓨터 지원을 위한 개발이 추가적으로 필요할 것**으로 전망
  - **(클라우드 서비스)** 초기 개발 단계로 양자 하드웨어 숙성에 따라 **상당한 성장 예상**
- **(양자 통신)** 스타트업 수는 꾸준히 증가(양자컴퓨팅 기업 수에 비해 상대적으로 적은 수), 기업 보유 순위는 미국, 중국, 영국, 캐나다, 프랑스 순
  - **(하드웨어 및 소프트웨어)** 양자통신 생태계의 주요 기술에 속하며 아직 상용화 전단계로 글로벌 대기업들이 하드웨어 분야에 진출해있지만, 중간 규모의 신생 기업들이 기술적 수준으로는 더 발전된 상황
  - **(어플리케이션 소프트웨어)** 해당 분야가 양자통신 전 기술군의 62%의 투자를 받지만 기업 비율은 16%에 불가하며, 상대적으로 시장이 작아서 다양한 스타트업들이 참여 중
  - **(장비 및 부품)** 기술 성숙도가 상대적으로 높은편
- **(양자 센싱)** 스타트업 수 순위는 미국, 스위스, 독일, 프랑스, 영국순
  - **(장비 및 부품)** 양자 센싱 기술군의 절반 이상의 연구 주체가 **장비와 부품 개발 분야에 집중(이미 기술 성숙단계 진입)**
  - **(하드웨어, 어플리케이션 소프트웨어 및 서비스)** 현재 개발 단계

연구 지표 현황

- **(특허)** 양자 기술 관련 **특허의 절반 이상이 중국**에서 출원
  - '22년의 특허수(1,589개)는 작년('21년) 대비 61% 감소
  - **(중국) 강력한 정부 정책**으로 최근 몇 년간 전 세계적으로 특허 점유율 증가 추세('00~'22 기준, 52.3% 차지, 미국은 10%), **(일본)** '00년대 초부터 **상위 3위내 점유**, 이는 **높은 수준의 기술 산업화**

및 정부 영향력으로 분석

- **(논문 및 출간물)** '22년의 논문수(44,155개)는 작년 대비('21년) 5% 감소
  - **(미국)** 가장 높은 IF('21년 기준, 10.4%), **(유럽 및 중국)** 가장 많이 게재('22년 기준, 각 29.5%, 21.7%)
- **(인력)** 구인 수 대비 실제 투입 가능 인력 부족
  - **(수요 대비 인력 부족)** 전체 인력 규모는 증가했으나 여전히 필요 인력 부족('21년 1/3의 규모 → '22년 1/2의 규모)
  - **(인력 분포)** 유럽이 가장 높은 연구 인력 보유, 유럽, 인도, 중국, 미국, 러시아, 영국순으로 인재 수 보유
  - **(석사 학위 증가)** '22년 양자기술 관련 **석사 학위 수여 대학수 2배 증가**('21년 29곳 → '22년 50곳)

함의 및 시사점

- **(함의) 선도국**들은 연구개발, 스타트업, 민간투자 등이 연계된 **양자 기술 생태계를 구축** 중 → 최근 급격한 성장세 이후, 일종의 **'숨고르기' 단계**진입으로 판단
- **(시사점)** 양자 기술 후발국인 우리나라는 **기술 격차 추격 및 생태계 구축을 가속화**하기 위해 **차별화된 전략** 도입 필요
  - 양자 핵심기술 확보를 위한 기존의 R&D 사업과 함께, **다양한 분야에서의 양자 수요 발굴을 촉진으로** 산업을 태동시키는 **민간 투자 유도 전략** 필요
  - 인재 부족은 글로벌 추세이나 생태계가 구축되지 않은 **우리 현황에 맞춰 다양한 분야에서 양자 활용 인재를 육성하여 인력의 풀을 넓히는 전략** 필요

미국 CSIS「Quantum Technology」보고서 주요 내용

(2023.07.20) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 국제 전략 이슈를 연구하는 美 싱크탱크 CSIS*가 양자기술의 응용과 시사점에 대해 발간('23.5.)한 보고서의 주요 내용 보고

* Center for Strategic & International Studies, 미국 조지타운대학 부설 정책연구센터

※ 해당 보고서는 양자 소프트웨어 선두 기업 SandboxAQ의 연구비 지원으로 수행

주요 내용

- **(구성)** 양자기술의 현황, 기술 주기, 글로벌 국가 정책 현황, 정책 제언

- **(주요 양자기술의 현황)**
  - (양자내성암호) 美 NIST에서 양자내성암호* 프로세스를 주도하고 있으며, 2024년 관련 알고리즘에 대한 표준 수립 예정
    * 양자내성암호: 양자컴퓨팅 환경에서 안전하게 암호기술을 이용할 수 있도록 하는 공개키암호로 강력한 암호화 기능 有(양자기술은 기존 암호 기술을 무력화하여 안보 체계에 위협 가능)
  - (양자센싱) 미해결된 저비용, 소형화, 전력 효율 개선 등의 연구 필요

- **(기술 주기)**
  - (기술 개발 가속화) 기존 전문가들의 예측 주기 보다 기술 개발 및 혁신 속도가 빨라졌으며, 응용 프로그램에 따라 플랫폼 기술의 최종 구현까지의 소요 시간은 각각 다를 것으로 예측

- **(글로벌 정책 현황)**
  - (미국 Vs. 중국) 중국에 대항하기 위해 미국이 다소 빠르게 조치한 수출 통제가 종국에는 국제적 연구 교류의 방해로 이어져 기술의 발전 속도를 늦출 것으로 전망(美 대표 싱크탱크 랜드연구소*)
    * 「An Assessment of the U.S. and Chinese Industrial Bases in Quantum Technology」(Rand Corporation, '22)
  - 미국이 민간 부문의 연구 개발과 혁신을 장려하기 위해서는 양자 응용 프로그램에 대한 글로벌 시장 구축 필요

- **(정책 제언)** 총 7가지

① **(연구 지원 확대)** 자금 조달 방법 마련, 과세 완화 및 세금 인센티브 지원 관련 규정 수립, 스타트업 육성, 사용사례 개발, 공공 인프라 구축, 국내외 투자 협력 촉진 프로그램 구성

② **(기술 협력 강화)** 동맹국간의 양자기술의 정책 및 표준에 대한 적절한 합의와 협력 강화, 기술 이전에 관한 공동 정책 개발 필요

③ **(양자내성암호 체계 전환 가속화)** 양자기술의 발전에 따라 기존 암호화 시스템의 보안 취약성이 곧 도래함으로 전환 계획 필수

④ **(연구자의 양자 기술 및 관련 서비스의 접근성 강화)** 美 에너지부의 QUEXT* 프로그램과 같이 연구원들이 관련 기술을 개발하고 교육하는 경험을 확대함으로써 기술 접근성 강화

* Quantum User Expansion for Science and Technology (QUEST) program

⑤ **(표준 및 규정 개발)** 양자 기술의 성능 및 신뢰성에 대한 표준 수립과 주요 산업 분야(금융, 에너지, 통신 등)에 양자 기술 적용 시 기술을 규제하는 규정 수립 필요

⑥ **(기존의 지식재산권 규정 검토)** 추후 신약 개발을 비롯한 여러 분야에 양자컴퓨팅 기술이 도입되어 연구 결과물 및 무형의 가치 창출 시 지식재산권 문제 발생 가능

⑦ **(인력 양성 투자)** 숙련된 연구자를 포함한 인력 수요의 증가에 따라 교육 및 인력 양성 프로그램에 투자 확대 필요

시사점

- 국제 정세의 흐름에 맞는 정책을 추진하고 있는지 점검이 필요하며, 현재 미비한 국내의 양자 지식재산권 규정에 관한 검토 필요
  - 위의 정책 제언과 같이 이미 각국에서 표준 수립, 사용사례 발굴, 양자내성암호 체계 전환 등 공통적인 정책 의제 형성 및 추진
  - 관계부처 국내 암호체계의 양자내성암호 전환 마스터 플랜 수립('23.7.), 일본 양자 미래 산업 창출 전략(사용 사례 창출) 수립('23.4.), 양자통신 국제 표준 수립(ITU-T SG15, ETRI, KT) 등

금융기관 CITI「Quantum Computing」보고서 주요 내용

(2023.08.31) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ 양자 컴퓨팅 관련 전세계 주요 석학, 기업 대표, 정부관계자 등 23인의 인터뷰 내용을 수록, 양자 기술의 산업 사용사례 분석, 국가에 요구되는 향후 과제 등을 분석한 보고서

* CITI Global Perspectives & Solutions「Quantum Computing: Moving Quickly From Theory to Reality('23.7.)」

양자 기술의 산업 적용에 따른 사용사례

● **(양자 우위 영역과 산업 적용 분야) 최적화, 머신러닝, 시뮬레이션, 암호화** 네 가지 우위 영역으로 제조 및 물류, AI, 헬스케어, 에너지 및 기후, 금융, 사이버 보안 산업군에 적용 방안을 분석

- **(제조 및 물류)** 인더스트리 5.0. 으로 전환 촉진, 분자 시뮬레이션을 통한 신소재 발견, 생산 프로세스(디지털 트윈) 개선, 공급망 최적화

→ (D-Wave, CEO) 제조 및 물류 분야에 양자컴과 양자 하이브리드(기존컴과 양자컴의 결합 기술)기술을 통한 수익 창출 및 비용 절감 예상

- **(금융)** 방대한 데이터 분석을 통한 개인 맞춤형 포트폴리오 최적화, 리스크 감지 강화

→ (QC Ware, CEO) 금융 상품의 가격 산정 및 성과 분석 프로세스에 양자 기술이 적합한 솔루션을 제공하며 금융의 판도 변화 가능

- **(AI)** 자연어 처리 및 인공 신경망 향상

→ (SandboxAQ, CEO) 양자와 AI는 시너지를 낼 수 있는 기술로 신약 개발 시 양자 시뮬레이션과 최적화 기술을 사용하여 많은 데이터를 생성하고, 이를 AI로 분석하는 하이브리드 형식 적용 가능

- **(헬스케어)** 빠른 약물 후보 발견 가능, 맞춤형 진단 및 치료와 서비스 기능 강화, 보험 사기 및 위험 탐지 강화

→ (IonQ, CEO) 양자컴 소프트웨어를 통해 화학 반응을 시뮬레이션하여 약물 후보 도출 프로세스를 가속화하고 약물 개발 비용을 감소

- **(에너지 및 기후)** 양자 기술로 전 세계 탄소 배출량의 약 20% 감소 가능, 시뮬레이션을 통한 친환경 수소 개발, 수식 계산을 통한 배터리 개발 가속화, 탄소 포집을 위한 새로운 촉매 기술 개발

→ (Quantinum, CEO) 에너지 산업에서 양자 기술을 적용하기 위해서는 하드웨어 개발과 양자 기술의 적절한 사용 사례 발굴이 관건

- **(사이버 보안)** 현재의 암호화 시스템을 붕괴할 수 있는 잠재력이 있으나 현재의 기술 수준으로는 암호 해독에 대한 연산 능력 부족

→ **(evolutionQ, CEO) 향후 5~10년 내 도래 가능한 양자 암호 해독의 위험을 대비하고 안전 태세를 위한 '양자 위험 평가'시스템 구축**

* 일본은 범부처 과학기술 및 혁신정책인「통합혁신전략 2023('23.6.)」을 통해 양자 기술-스마트팜 기술을 융합한 농업 혁신 방안을 검토하여 올해 중 구체화할 계획이며, 2022년 양자컴-슈퍼컴 결합을 통한 연구기반 고도화를 시행하고, 2023년 신규 사업으로 양자 하이브리드 기술 계획을 시행 예정

정부의 양자 기술 진흥을 위한 주요 과제

정부 투자 효율 증대, 인재 역량 강화, 공급망 확보, 윤리 요소, 국가 안보를 고려한 총체적인 양자컴퓨팅 정책 필요

- 투자의 규모 보다는 정부 투자로 인해 기업의 상업화를 만드는 체계 구축이 중요(영국은 대학의 연구를 창업화하는 스핀오프 문화 형성)

→ **(영국 연구혁신부처, Head of Quantum Technologies Challange) 정부는 민간과 함께 전략적 공동 투자를 수행해야 하며, 원활한 공급망 확보를 통해 신뢰할 수 있는 양자 기술 협력 체계 구축 필요**

→ **(GlobalFoundries, Silicon Photonics Product Management, 부사장) 급속화되는 양자컴 성장과 물량 증가에 대비한 전략적 공급망 확보 계획 필요**

→ **(미국 양자경제개발컨소시엄(QED-C), 전무이사) 각국 정부는 각국의 강점을 평가하여 전략적으로 협력체계를 구축하는 투자 방안 수립 필요**

시사점

- 금융, 의료 등 전 분야에 양자기술을 폭넓게 적용하여 국내 모범 사용사례를 발굴하고, 양자 기술 기반의 글로벌 기업과 국내의 반도체, AI 등 세계적 기술을 갖고 있는 산업 분야에 연계 확대

최근 주요국의 기술 인재 확보 전략에 따른 양자 인재 확보 방안 모색

(2023.08.23) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ '23년에 발표된 주요국(미,EU,독,일)의 정책·제도, 국제 싱크탱크 및 저널의 연구 내용에 따른 양자 인재 확보 방안 모색

주요국의 기술 인재 확보 전략 동향

● **(고숙련·고학력의 해외인재 유치 전략 강화)** 자국내 고급 기술 인재의 부족에 대비하기 위해 해외인재 유치 전략을 추진

- **(獨)** 다양한 산업 분야의 숙련된 전문인력 부족과 내국인 공급 의존 한계로 인해 「기술이민법」을 추진 및 연방의회 통과('23.6.), 캐나다의 이민제도를 벤치마킹한 포인트 제도 도입, 외국에서 취득한 전문자격에 대한 인정 범위를 확대하는 등 요건과 규정을 크게 완화

- **(日)** 고도의 전문 능력을 갖춘 해외 고급 인력의 유인을 촉진하기 위한 포인트제('21.)*와 특별고도인재제도(J-skip) 도입('23.4.)

  * '고도학술·연구활동', '고도전문·기술활동', '고도경영·관리활동'으로 분류하여 각 특성에 따라 학력, 직무경력, 연수입 등 항목에 포인트를 부여하고, 그 합계가 일정 점수 도달 시 출입국 체류관리에 우대 조치

* 출처: S&T GPS(2023.6.) 주요동향: 독일, 기술이민법 제정, S&T GPS(2023.8.) 과학기술&ICT 정책·기술 동향: No.244

양자 인재 양성 국내 전략과 국외 동향

● **(국내 양자 인력 양성 추진 현황)** 부족한 양자 인재의 확충을 위해 2035년까지 양자과학기술 핵심인력에 대한 집중 양성 추진

- **(양자 인력 확보 최우선)** 과기정통부의 「대한민국 양자과학기술 비전('23.6.)」을 통해 7대 추진방향 중 최우선 과제로 인력 확보를 언급

- **(글로벌 인재 선순환 체계 구축)** 국내 연구자 뿐만 아니라 해외 우수 연구자 유치를 위한 現 우수과학자 유치 사업 확대·개편

* 출처: 과기정통부(2023.6.) 「대한민국 양자과학기술 비전: 양자시대를 여는 우리의 도전과 전략」

● **(주요국의 양자 인재 확보 전략)** 양자 인재 확보를 위한 생태계 구성과 기반 구축부터 해외 인재 유치까지 전략 다각화

- **(美)** 양자 인력을 확대하는 가장 빠른 방법으로 국제 협력을 통한 해외 인재 유치 방안을 제시(해외

인재 유치를 통한 단기 차원의 기술력 확보, 장기차원으로는 자국인 양자 인력 양성 방안 추진)

* 출처: Foreign Policy Research Institute(2023.7.) U.S. Must Train Quantum Technology Workforce

- **(歐)** 양자 플래그쉽 계획 하에서'양자 기술을 위한 유럽 역량 프레임워크(European Competence Framework for Quantum Technologies)*'를 지속적으로 개발하고 표준화하여 인재 양성 기반을 단단히 구축, QTEdu 운영을 통해 일반대중부터 전문인력까지 학습생태계를 조성하고 범유럽 양자 인력 양성을 위한 상향식 기반의 로드맵 구축

  * 양자 기술 분야의 필요한 역량 및 기술 환경을 매핑하고 교육 생태계의 다양한 이해 관계자간의 의사 소통 및 협력을 강화하기 위한 공통 기준을 설정, 또한 다양한 교육 및 훈련 프로젝트를 계획하고 구성하기 위한 출발점으로 설정(2021년 버전 1.0., 2023년 4월 버전 2.0. 출시)

* 출처: Quantum Flagship(2022.1.) Expanding the European Compentence Framework for Quantum Technologies(News), Frontiers(2023.7.) Towards a quantum ready workforce: the updated European Competence Framework for Quantum Technologies(Briede Research Report article), QTEdu 홈페이지(https://qtedu.eu/)

시사점

- 선도국 또한 양자 인재를 비롯한 고급 기술 인력 확보에 어려움을 겪고 있으며, 이를 대비한 전략중 하나로 해외 인재 유치를 추진

- 고급인재의 석박사 학위 취득까지 소요되는 장시간을 고려하여 국내 인재 양성을 위한 기반 구축 및 생태계 구성 뿐만 아니라, 해외의 우수 인재를 견인할 수 있는 포인트제를 비롯한 장단기 차원의 체계적 양자 인재 확보 전략에 대한 구성 필요

양자 기술 분야 인력 구성 현황

(2023.08.31.) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

국내 연구진

- 주로 학, 연으로 분포되어 있으며 기업은 소수 존재
  - 신규 기업 창립의 경우 학계와 연구원에서 스핀오프되거나 양자통신 기술군의 경우 대기업 근무 후 창업한 것으로 확인

국외 한인 연구진

- 주로 학계의 교수로 재직하고 있으며 일부는 국외 유명 석학으로부터 가르침을 받아 교수로 재직하며 교수 제자를 주로 배출
  - **(美)** 듀크대 김정상 교수(아이온큐 CTO)가 핵심 인물로 제자들이 국내외 대학(도쿄대, 부경대, 서울대 등)의 교수로 활동중이며, 그 외 미국 내 한인 연구진으로는 IBM 왓슨 연구소 김영석 연구원, MIT 최순원 교수, 스탠포드 최준희 교수, UC Davis 김한영 교수(칼텍의 존 프레스킬 교수 제자) 등 美 유수 대학과 기업에 분포
  - **(中)** 칭화대 김기환 교수가 핵심 교수이며 아이온큐 창업자 크리스먼로 교수의 제자로 김정상 교수와 동일하게 이온트랩을 연구 중
  - **(英)** 피터나이트 명예교수의 제자인 김명식 교수가 핵심이며 국내 주요 대학(한양대, 서울대, 서강대)과 고등과학원에 교수 제자를 배출
  - **(加)** 워털루대의 최경수 교수, 김나영 교수가 상호 연구 협력을 활발히 진행하며 공동 논문 발간
- 졸업 이후 교수-학생간의 협력 관계 지속 외에도 동문간, 現·前동료간 공동 논문 집필, 공동 연구 수행 등 협력 관계 지속 양상

미국 ITIF 양자 정책 보고서 주요 내용 보고

(2023.10.20) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

◆ **미국의 과학기술 공공 정책 싱크탱크 ITIF*가 분석·발간('23.10.10.)한 「The U.S. Approach to Quantum Policy」의 주요 내용 보고**

* Information Technology and Innovation Foundation, 미국 주요 과기정책 수립에 영향

'국가 양자 이니셔티브(NQIA)'의 4개 분야 정책 현황

R&D 지원

- **(QIS R&D 자금 지원 확대)** NQIA는 2019회계연도와 2023회계연도 사이 QIS R&D에 대한 연방 지원금 약 2배로 확대하는 등 연방 지원금에 대한 대폭적인 증가 촉진
- QIS의 이점을 실현하고 경쟁력 확보를 위해 국가 전략 분류 중 양자 센싱 및 계측(QSENS), 양자 컴퓨팅(QCOMP), 양자 네트워킹(QNET), 양자 발전(QADV), 양자 기술(QT) 5개 프로그램 분야에 대한 예산을 확대하고 지속적으로 지원

  ※ 영국은 국가 양자 전략의 일환으로 10년간 25억 파운드 투자, EU는 양자컴퓨팅에 미국의 약 4배에 달하는 공공자금 투자, 중국은 미국의 8배에 달하는 공공자금 투자

- **NQIA의 근거법인 반도체 및 과학법의 자금 조달이 원활하지 않는 상황***이나, ❶민간에서 기초연구를 수행할 만한 충분한 인센티브 부재, 많은 비용 소요 대비 높은 위험성, ❷민간은 상업적 측면을 고려한 경제적 이익 창출 가능 분야에만 집중하는 경향 有, ❸여러 국가의 R&D 투자 확대 추세(중국, EU, 영국 등)로 인해 자금의 지속 지원 필요

  * 2023 회계연도에 대한 연방 정부의 칩스법에서 정한 자금 목표에 미달

- **(학제 간 연구 촉진)** NSF와 DOE는 **각각 서로 다른 접근 방식으로 학제 간 연구 센터 설립을 지원 중**
- NSF는 학과 경계를 넘어 교수진 협업 촉진에 주력하여 양자 과학 기술에 대한 광범위한 연구에 초점을 맞춘 연구 센터와 재료 개발 및 제조에 중점은 둔 전문 연구 센터에 자금 지원
- DOE는 자체 국립 연구소에 학제 간 양자 연구센터를 구축해 기존 인프라와 전문성 활용하여 최첨단 QIS 연구를 수행할 수 있도록 지원

  ※ 5개의 국립 양자 연구 센터 설립: 양자 컴퓨터 시스템(2), 양자 재료 및 센서(2), 양자 통신(1) 분야에 중점을 두고 운영 중

- **(R&D 시설에 대한 접근성 향상)** QIS 발전을 위한 가장 필요한 연구 시설 3가지 유형(양자 사용자 시설, 양자 파운드리, 양자 테스트베드)에 대한 접근성 개선 중

- 미국 내 시설이 기술적으로 앞서 있으나, EU와 같이 광범위한 접근성 개선 필요
- 다른 국가 대비 미국은 민간 연구 시설이 강점이므로 QUEST 프로그램을 통해 민간 부문 자원을 포함한 양자 컴퓨팅 자원에 대한 접근선 개선 전략 추진

● 인력 강화

- **초등 및 중등 학생**들에게 양자 기술 및 과학 개념의 소개를 위하여 **STEM 과정에 QIS를 통합**
- 고등교육에서 일반 커리큘럼에는 양자 기본 개념 및 소개, 특정 양자 정보 관련 트랙은 물리학, 공학, 컴퓨터 과학과 같은 학과의 석사 수준에서 진행
- DOE 산하 페르미랩 조사에 의하면, 양자 직무 유형은 다양하나 양자 기술과의 관련성은 낮은 편이므로 **1) 일반적인 STEM 과정에 QIS 통합 필요, 2) 기업에서 원하는 양자 직군에서는 대학원 이상의 학위에 대한 수요가 존재**하므로 **석사 QIS 프로그램 확대 필요함을 시사**
- 고도로 훈련된 QIS 인재가 미국에서 혁신할 수 있도록 **이민 파이프라인 강화하고 확대**하는 정책 필요

  ※ 영국, 중국, 캐나다, 프랑스, 호주를 비롯한 많은 경쟁 국가들이 QIS 및 기타 기술 분야에서 외국 인재 유치하기 위해 유연한 이민 정책 채택

● 생태계 구축

- IBM, Google 등 업계 주도의 QED-C(The Quantum Economic Development Consortium) 컨소시엄을 설립하여 **❶공급망 의존성을 파악하고 ❷상용화 지원**을 위한 역할 수행
- **❶공급망 의존성** 파악: 미국은 동맹국인 핀란드와 영국의 극저온 장치 개발 및 생산에 의존하고 있으며, 핵심 재료인 희토류는 대부분 중국에서 공급

  ※ 중국의 글로벌 희토류 이온 시장 점유율: 채굴의 63%, 가공의 85%, 자석 생산의 92% 차지
- **❷상용화 지원** 촉구: 양자 컴퓨터의 단기 애플리케이션을 가속화하기 위한 공공-민간 파트너십(PPP) 지원

  ※ 영국은 양자 기술 상용화를 위한 정부 기관 설립, 캐나다는 상업화 전 혁신 프로토타입 탐색을 통한 상용화 지원 추진

● 국제협력

- 제조에 필요한 비용, 복잡성, 규모를 고려 시 단일 국가 차원의 기술 개발이 어렵고, 중국과의 경쟁에 대응하기 위해 양자 문샷 프로그램에 대한 동맹국간의 협력 중요

  ※ 미국은 호주, 캐나다, 영국 등 포함한 여러 국가와 QIS 관한 양자 간 협력 협정 체결
- 상무부 산업안보국(BIS)에서는 중국의 양자컴퓨팅을 저지하기 위해 새로운 수출 통제 개발 중

  ※ 2021년 특정 큐비트 장치 및 회로, 양자 제어 부품 및 측정 장치 포함하여 양자 컴퓨터 및 관련 전자 조립품 및 부품 통제하기 위해 새로운 수출 통제 분류 번호(ECCN) 추가 제안

결론

- 영국, 호주, EU 등 여러 국가와 지역에서는 양자 분야의 입지강화 위해 광범위한 연구 이니셔티브와 프로그램 시작. 이 중 일부는 규모와 범위를 미국을 앞지르고 있어 미국의 리더십 유지 및 선제적 조치 필요

4개 정책 분야에 대해 의회에 제시하는 10가지 권고 사항

4개 정책분야	R&D 지원, 인력 강화, 생태계 구축, 국제협력
권고 사항	1) NQIA의 재승인, 회계연도 2024~2028까지 매년 최소 5억 2,500만 달러 배정(CHIPS 기금에 추가) 2) 양자컴퓨팅 리소스에 대한 연구자 접근성 향상을 위한 QUEST 프로그램에 전액 자금 지원 3) NQIA 재인증의 일환으로 연구자의 장비 요구 사항 충족 위한 DOE내 양자 인프라 프로그램 구축 4) 향후 5년 동안 3,200만 달러 배정하여 초중고 학생의 교육과 교사의 QIS 기본 원칙 교육을 지원할 수 있도록 CHIPS 및 과학법에서 승인한 NSF의 양자 교육 파일럿 프로그램에 전액 자금 지원 5) NSF가 NIST의 협업하여 양자 인력 수요, 동향 및 교육 역량에 대한 체계적 연구 수행하도록 지시 6) 학·석·박 학생의 실무 QIS 경험 확대를 위한 DOE 주도 교육 프로그램 승인하고 자금 지원 7) 상무부가 QED-C와 협력하여 양자 공급망 검토 및 위험 식별하도록 지시 8) NSF 내 설립된 TIP 사무국에 양자 활용 연구를 위한 양자 테스트베드를 구축하도록 지시하고 자금 지원 9) DOE가 양자 문샷에 대한 협력국들의 공동 투자를 유도하는 프로그램 수립하고 주도하도록 지시 10) NIST가 NQIA 재승인 관련 국제 표준 포럼에서 미국 산업계 이해관계자의 참여를 우선적으로 장려하도록 지시

붙임1 미국의 양자정보기술(QIS) 정책 추진 변화

최근 역대 대통령 정부별 QIS 정책 추진 변화

- 90년대 중반 이후 국가 차원의 양자 기술에 대한 관심이 시작되었으며 기술 발전에 따라 주요 정부별로 QIS 정책을 지속 추진

	오바마 정부	트럼프 정부	바이든 정부
주요 정책 기조	- 안정적이고 지속적인 핵심 프로그램 유지 - 시한이 정해진 목표 프로그램에 전략적으로 투자 - QIS 투자 결과를 평가하고, 기술적 혁신이 이루어질 때 프로그램을 신속하게 조정하기 위해 QIS 분야 면밀히 모니터링	- **정부 투자를 위한 우선순위 선정** ① 양자에 대한 과학 우선의 접근법 선택 ② 미래를 위한 양자 인력 양성 ③ 산업계와의 협력 강화 ④ 중요 인프라 제공 ⑤ 국가 안보 및 경제 성장 유지 ⑥ 국제 협력 증진	- 양자 네트워킹 인프라 R&D 승인 - NIST의 양자 네트워킹 및 통신 표준 개발 - DOE 프로그램 수립 - 양자 글로벌 경쟁력을 촉진하기 위한 주요 정책 수립 **① R&D 지원, ② 인력 강화, ③ 생태계 구축, ④ 국제 협력**
관련 기관 및 보고서	- NIST(표준연), NSF(과학재단), DOD(국방부)(첫 워크샵, 1990, 오바마 정부 이전) - NSTC(국가과학기술위원회)(2016)	- NSTC(2018) - NIST(표준연), NSF(과학재단), DOE(에너지부)의 QIS 프로그램 및 연구소 운영 권한 부여 - NQCO(양자 조정 위원회), NQIAC(자문 위원회) 신규 설립으로 관련 프로그램의 원활한 운영 지원	DOE 프로그램 - ① 양자컴 리소스 접근성 강화 및 기본 프로세스 촉진, ② 전 학년 STEM 커리큘럼에 QIS 과목 통합 지원, ③ NSF의 기술, 혁신 및 파트너쉽 부서에 QIS를 명시적으로 포함
주요 중점 사항		국가 양자 이니셔티브 법안(NQIA) 수립(2018) - NQIA프로그램은 2023.9.30.에 승인 만료	칩스법 수립(2022) - NQIA 개정 후 기본 프로세스 촉진을 위한 DOE 프로그램 수립

* 관련 보고서: the National Science and Technology Council (NSTC), 「Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities(2016)」, 「National Strategic Overview for Quantum Information Science(2018)」

양자컴퓨팅 보고서 요약

(2023.12.20 KAIST 국가미래전략기술 정책연구소)

◆ IBM에서 '23.11.에 발간한 양자컴퓨팅 보고서 주요 내용을 요약

- 호주 정책 추진 사례를 기반으로 양자 컴퓨팅이 공공 부문에 미칠 수 있는 잠재적 가치에 대해 분석한 보고서

  * IBM Center for The Business of Government. '23.11.「Quantum Computing for Public Value」

주요 내용

● 양자 컴퓨팅이 **공공 부문에 큰 혜택을 줄 수 있는 분야**

- **복잡한 문제 해결:** 양자 컴퓨팅은 기존 컴퓨터로는 불가능한 복잡한 문제를 해결할 수 있음. 예를 들어, 양자 컴퓨팅은 기후 변화, 암 치료, 자원 관리 등과 같은 전 세계적 문제에 대한 새로운 해결책을 찾는 데 도움이 될 수 있음
- **데이터 분석:** 양자 컴퓨팅은 방대한 양의 데이터를 빠르고 효율적으로 분석할 수 있음. 예를 들어, 양자 컴퓨팅은 정부가 공공 정책을 수립하고, 범죄를 예방하고, 시민의 안전을 보호하는 데 도움이 될 수 있음
- **보안:** 양자 컴퓨팅은 기존의 암호 시스템을 깨뜨릴 수 있는 잠재력을 가지고 있음. 예를 들어, 양자 컴퓨팅은 정부가 국가 안보를 강화하고, 개인의 프라이버시를 보호하는 데 도움이 될 수 있음

● **(호주의 정책 사례)** 호주 정부는 양자 컴퓨팅에 대한 투자와 연구를 적극적으로 추진 중이며(2018년부터 양자 컴퓨팅에 대한 10년 계획을 수립하고, 10억 호주달러(약 7,700억 원)를 투자), 연구 기관 설립 및 산학연 협력을 강화하며 **공공 부문에 양자컴퓨팅을 적극 활용**

기후 변화	호주 국립 기상청은 양자 컴퓨팅을 사용하여 기후 모델을 개선하고, 기후 변화의 영향을 예측하는 데 활용
암 치료	호주 국립 암 연구소는 양자 컴퓨팅을 사용하여 암 치료를 위한 새로운 약물과 치료법을 개발
자원 관리	호주 광물자원공사는 양자 컴퓨팅을 사용하여 광물 매장량을 추정하고, 광산 개발을 최적화하는 데 활용
교통 혼잡 완화	양자 컴퓨팅을 사용하여 교통 흐름을 예측하고, 교통 혼잡을 완화하는 데 활용 가능
재난 대응	양자 컴퓨팅을 사용하여 재난 발생 시 인명 구조와 피해 복구를 최적화하는 데 활용 가능
공공 정책 수립	양자 컴퓨팅을 사용하여 공공 정책의 효과를 분석하고, 정책을 최적화하는 데 활용 가능

- 정부가 양자컴퓨팅을 **효과적으로 활용하기 위한 주요 제언**
  - **양자컴퓨팅 기술에 대한 투자:** 정부는 양자 컴퓨팅 기술의 개발과 상용화를 지원하기 위한 투자 확대 필요
  - **양자컴퓨팅에 대한 교육과 인재 양성:** 정부는 양자 컴퓨팅에 대한 교육과 인재 양성을 통해 양자 컴퓨팅 기술을 활용할 수 있는 인력 확보 필요
  - **양자컴퓨팅의 윤리적 사용에 대한 논의:** 정부는 양자 컴퓨팅의 윤리적 사용에 대한 논의를 통해 양자컴퓨팅 기술이 공공의 이익을 위해 사용될 수 있도록 조치 필요

결론

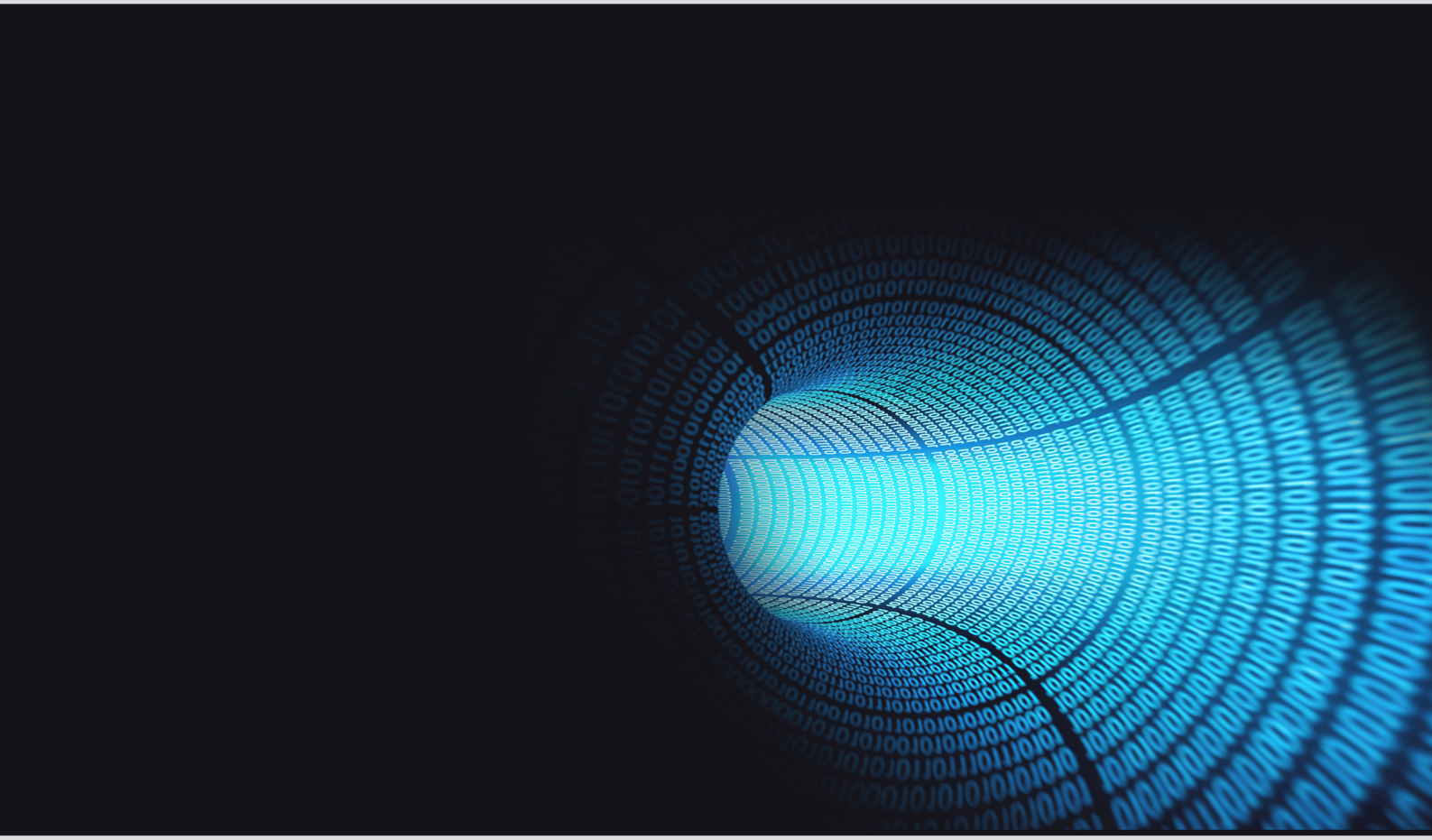
- 호주의 사례는 양자 컴퓨팅이 공공 부문에 미칠 수 있는 잠재적 가치를 보여주는 대표적인 사례
- 양자 컴퓨팅이 공공 부문에 미칠 수 있는 잠재적 가치는 매우 크지만, 정부가 적절한 투자와 준비를 하지 않을 시 양자 컴퓨팅의 혜택을 누리지 못할 가능성 언급
- 따라서 정부는 양자 컴퓨팅 기술에 대한 투자와 교육, 윤리적 사용에 대한 논의 등을 통해 양자 컴퓨팅을 성공적으로 활용할 수 있도록 준비할 필요성 有

Table 1: National-Level Quantum Computing Strategies, Roadmaps, and Frameworks

Country	Document	Year Released
Australia	National Quantum Strategy	2023
Canada	Canada's National Quantum Strategy	2022
China	Quantum Technology in Five-Year Plans	2021
Denmark	Strategy for Quantum Technology - Part 1	2023
Finland	National Quantum Agenda	2022
France	National Strategy for Quantum Technologies	2021
Germany	Action Plan—Quantum Technologies	2023
Hungary	National Quantum Technology Program	2023
India	National Mission on Quantum Technologies & Applications	2020
Israel	National Program for Quantum Science and Technology	2019
Japan	Quantum Technology Innovation Strategy	2020
Netherlands	National Agenda for Quantum Technology	2019
New Zealand	The Quantum Technologies Research Programme	2023
Russia	Quantum Technologies Roadmap	2019
Singapore	National Quantum Strategy	2022
South Korea	National Strategic Plan for Quantum Science and Technology	2021

차세대 통신

국가미래전략기술 정책연구소 연구진



전문가 자문에 기반한 차세대 통신분야 현안 및 시사점

(2023.10.07) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

- 차세대통신(5/6G) 분야 국가전략기술로드맵 수립에 앞서 한정된 국가 자원(예산, 인력, 산·학·연 기술력 등)의 전략적 활용을 위해 관련 현황과 주요 현안 도출을 위한 산-학 전문가 자문.
- **(방법)** 과학기술정보통신부의 K-Network 2030전략 (23.02), 차세대 네트워크(6G) 기술개발사업 (23.08) 분석을 통해 1) 첨단전략기술 유관 산업에의 파급효과 2) 내재화 시급성 3) 국내외 기술 및 산업역량의 관점에서 핵심 현안 도출을 위한 질문 구성 후 전문가 자문.
- **(자문 요지)**
  - 6G 기술 발전은 디지털화, 집적화, 클라우드화, AI적용으로 진행되고 있어 해당 기술과 밀접하게 연계된 기술 로드맵 구성 필요.
  - 6G 소프트웨어 분야 경쟁력 제고 위해 디지털 인력의 통신 분야 유입 대비 통신 분야 전문가들의 AI/SW 역량 확보 방안이 현실적.
  - 6G 하드웨어 부품 분야 경쟁력이 미흡하나 향후 시장전망과 기술고도화 동향을 고려할 때, 기술 추격이 가능한 핵심 통신 부품(예: RF소자 등)에 대해서는 임무중심 기술개발로드맵 수립 필요.
  - 역량과 의지가 있는 5G 특화망 사업 수요자를 적극 발굴하여 지원함으로써 차세대 통신의 효익을 가시화하고 단말 시장의 차세대 통신 시장 대응을 가속화할 수 있는 로드맵 마련 제안.

통신 하드웨어

- **(현황)** 글로벌 디지털 대전환으로 향후 6G 시장 중 무선통신 기지국 투자가 약 80% 이상을 차지할 것으로 예상. 관련 장비 및 부품의 국내기업 경쟁력 미흡. 퀄컴 등 핵심부품 선도기업은 6G 관련 선행 기술에 오래전부터 투자하였고, 기술 확보 중.

  ※ (저전력 RF안테나 소자 기술) 퀄컴은 과거 저전력 안테나 기술개발을 위해 대규모 프로젝트를 실시하였으나 하드웨어 복잡성과 전력 사용량 문제로 완전한 상용화는 더욱 시간이 걸릴 것 (KAIST 전기및전자공학과 교수, 퀄컴 출신)

- **(현안 및 시사점)** 향후 6G 통신장비 요구사항 고도화로 기술난이도가 증가하여 선도기업과의 기술격차 증대 및 시장점유율 확보 어려움 예상. 이에, 기술경쟁력이 있고 수요기업의 니즈가 반영되어 큰 수요가 예측되는 핵심 부품분야(RF소자, 저전력안테나, 증폭기 등)를 중심으로 고도화 및 국산화를 위한 임무중심형 기술개발로드맵 수립 필요.

통신 소프트웨어

- **(현황)** 데이터 폭증에 따른 전송 복잡성 증대, 기지국 가상화 등으로 네트워크 관리를 위한 소프트웨어 기술 중요성 부각. 6G 하드웨어 간 네트워크 효율성 및 성능 향상을 위한 AI 기반 솔루션 활용 접근 방식 시도 중.

- **(현안 및 시사점)** 6G의 소프트웨어 중심 패러다임 변화와 오픈랜 도입으로 글로벌 빅테크의 통신시장 진입이 가시화되어 국내 IT 및 통신 기업의 SW 경쟁력 제고 시급. 국내 우수 인력의 AI, 반도체 쏠림현상으로 통신분야 우수 SW인재 유입 난항. 네트워크 기술과 AI, 클라우드 분야와의 연계성을 고려하여 교차 기여 가능한 인재 양성 및 기술력 확보 방안 필요.

  - 초격차 기술군의 도메인(X)+AI 인재 및 기술 확보 정책 수립

5G 특화망

- **(현황)** 산업별 디지털전환에 따라 대용량 초고속 네트워크 인프라 수요 증가, 데이터 보안 이슈 등의 해결을 위해 특화망 수요 증가 예상되며 6G의 주요 시장을 범용보다는 특화 시장으로 전망.

  - (네이버랩스) 단말(로봇)부터 유선-무선 네트워크 기술(예: TDD제어), 코어 운용 기술을 실증하고 관련 인력과 역량을 확보하여, 특화망 서비스를 비롯한 디지털전환 지원 사업 모델을 수립하고 글로벌 진출 (사우디 네옴시티) 추진.

  - (SKT) 계열사인 하이닉스 스마트 공장, 한수원, 철도통신 등에 특화망 사업 추진 중이나 네트워크 사업자 주도로 한계 존재.

- **(현안 및 시사점)** 5G시장 확산의 한계로 지적되었던 사용사례 발굴 이슈가 6G 시대에도 가장 핵심적인 도전이 될 것으로 보고되는바, 이에 5G 특화망 사업을 통한 경험축적, 역량확보, 차세대 통신 효익 가시화가 필요함. 성공적인 사용사례 발굴과 확산을 위해 특화망을 활용한 솔루션 및 서비스 사업자 주도의 특화망 사업 추진 독려.

붙임1 5G/6G분야 산학 전문가 자문 내용

전문가 자문

● **(전문가 구성)** 5G/6G 분야 KAIST 교수 2인, 연세대학교 교수 1인, 기업인(네이버랩스, SKT) 2인을 대상으로 보고서 자문 및 검토 진행

	주요 질문	전문가 의견
1	**통신 하드웨어** 통신 HW기술 중 전략성(안보, 공급망)과 가능성 측면에서 우선적으로 집중하여 내재화 확보가 필요한 기술에 관한 의견 문의	▪ **무선통신 핵심부품은 RF 안테나(5인 공통의견) 및 소자, 저잡음 증폭기** - 6G에서는 빠른 데이터 전송 속도 요구에 따라 RF 안테나 수요가 더 많아질 것으로 예측 - 6G에서는 대역폭이 넓어짐에 따라 전력 소모량이 많아지므로, 이를 절감시킬 수 있는 RF 소자 R&D 필요 - 저잡음 증폭기의 기술경쟁력 확보는 도전적이나 내재화 필요 ▪ **저궤도 위성의 상업화 및 투자 효율성에 대해서는 정부의 매우 신중한 접근이 필요하다는 의견 다수**
2	**통신 소프트웨어** 1) 통신 SW 기술 중 전략성(안보, 공급망)과 가능성 측면에서 우선적으로 집중하여 내재화 확보가 필요한 기술에 관한 의견 문의 2) 오픈랜 기술에서 타 장비 간 호환성이 강조되는 상황을 고려했을 때 인력양성 전략에 관한 의견 문의	▪ **AI 기반 솔루션 활용 1) 하드웨어 간 호환성 최적화를 위한 '응용 성능보장 프레임워크', 2) 네트워크 관리를 위한 '코어 네트워크'** - 종단간 서비스 성능 보장 프레임워크 기술 - 코어 네트워크 관련 RIC(지능형 컨트롤러) 기술 - 해당 기술 실현을 위해서는 AI 활용이 필수적이며, 기술경쟁력 확보 중요 ▪ **통신SW의 중요성이 강조되는 오픈랜 생태계에서도 통신 도메인 지식을 갖춘 인재들이 추가적으로 소프트웨어 기술 역량을 키우도록 하는 인재양성 전략이 효과적일 것임(전원 공통 의견 제시)**
3	**특화망** 특화망에서는 수요 사례 발굴이 핵심이며, 현재 특화망 실적 분석을 통해 향후 정부의 방향성에 관한 의견 문의	▪ **실제 여러 이종 산업에서 특화망 구축을 통해 도메인 지식과 결합된 차세대 통신 기술 인력과 기술 역량 확보 성과** 도출 - (네이버) ARC 기반 '브레인리스' 로봇을 특화망이 구축된 사옥(1784)에 적용해 디지털트윈 기술 역량을 확보하고, 사우디의 디지털 전환 추진 협력을 통해 글로벌 기술수출 기회 확보 - (SKT) 네트워크 중심 사업으로 계열사인 SK하이닉스 반도체 공장에 기술 유출 방지 및 보안 강화를 위해 특화망 적용 중이며, 향후 스마트 공장으로 확산 - 특화망 업로드 속도 증가를 위해 풀어야 할 난제 기술인 'TDD Ratio'* 기술 확보 및 신장비와 연계된 SW 기술 역량 강화 필요(자문 4인 공통 의견) ▪ **수요자 중심 특화망 사업 기획·진행 제안** ▪ **특화망 사업을 통한 경험 축적, 역량 확보 및 차세대 통신 효익 가시화 노력 필요**

전문가 자문 회의록 (1)

〈네이버랩스 관계자〉

1. 차세대 네트워크는 디지털 전환시대에 국가 인프라에 해당하는 기술입니다. 인프라의 범용성, 확장성을 고려했을 때 국가경쟁력 확보 측면에서 가장 우선적으로 구현 및 확보해야 할 기술은 무엇입니까?

- (국가경쟁력 확보 측면) 예타사업 중에서 6G 무선통신기술이 핵심적이며, 우선순위 상위
  - 차세대 통신의 송수신 정보량 증가로 모듈화, 집적화 추세로 칩설계, 빔포밍등의 원천기술은 글로벌 리더기업이 IP 확보하고 삼성 등 국내 기업들은 구매하여 사용
  - (HW) 글로벌 기업대비 기술 장벽 존재하나 전략성(공급망, 신산업) 관점에서 통신 부품인 안테나와 RF칩은 원천기술확보와 내재화 위한 투자-육성 필요, 그 외에도 RAN-RIC 언급
  - (SW) 모바일 코어 네트워크 관련 기술(특히, 오픈랜의 지능형 컨트롤러(RIC) 기술)과 시스템 기술 중 '종단간 서비스 응용성능 보장 프레임워크 기술'이 중요. 따라서 SW 인력이 도메인 지식을 확보하는 것 보다는 도메인 전공자가 SW를 학습하여 AI를 통신 영역에 적용하는 것이 더 용이함. 특히 통신 기술은 글로벌하게 국방, 안보, 보안과 함께 성장한 산업임. 따라서 학문의 역사가 깊고 산업 역사도 깊고, 기술도 성숙한 상태임. AI 기술은 성장하고 있는 기술이므로, 도메인 기반으로 접근하는 것이 용이하다고 판단.

2. 6G와 관련한 다수의 글로벌 보고서에서 언급하는 바와 같이 5G 킬러서비스 및 산업확산의 중요성이 6G에서도 강조되고 있습니다. 이에 Use Case(사용사례) 발굴의 필요성이 부각되고 있는 상황에서 우리나라가 특별히 집중해야 할 연구분야나 실증 분야에 대해 의견 부탁드립니다.

- 네이버의 미래기술중 하나인 ARC(AI + Robot +Cloud)의 서비스에 특화망을 활용하고 있음. 해당 서비스에서 가장 중요한 기술인 대용량 정보의 업링크가 속도와 레이턴시 측면에서 비약적으로 향상됨.
  - 특화망 사업에서 가장 큰 장애물은 장비와 단말이 이동통신사 수요(ex. 스마트 폰)에 집중되어 있다는 것임. → 4.7G 특화망 대역지원에 최적화된 장비와 단말이 특화망 활성화의 핵심이 될 것임.
  - 네이버는 장비 최적화를 위하여, TDD Ratio등 상용 장비의 커스터마이즈 작업을 꾸준히 장비

공급업체와 협업하였으며 로봇단말 무선통신 기술의 최적화와 함께 업링크 및 레이턴시 속도 향상에 성공였으며, 그 과정에서 기업 역량이 상승

* 데이터 업/다운링크 비율로 4:1일 경우, 업링크 4, 다운링크 1 의미

- 향후 6G 사용사례 확산을 위해 해당 적용분야에서의 단말 등 개발 필요하나 차세대 통신의 효과성이 입증되어 활성화 시에 칩, SW등 생태계 가속화 예상(현재 '클라우드 네이티브 방식을 적용한 코어망'기술을 시도하여 코어망 기술 최적화 시도 중)

3. 오픈랜 기술에서 타 장비간 호환성이 강조되는 상황을 고려하였을 때 인력양성 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- Open RAN 포함하여 통신업계 현재 AI적용은 AI머신러닝을 활용한 분석 수준인데, 향후 6G에서는 AI가 결정까지 하는 단계로 기대되며, 코어뿐만 아니라 RAN까지 스마트화 가능 기대, 즉 AI가 최적화에 활용 확산 전망
  - 이는 네트워크 단에서의 자동화를 의미하며, AI기술의 영향력이 증가할 것으로 예측되는 상황에서 해당 분야 기술 선점 필요
- 네이버 ARC시스템에 최적화된 장비는 네이버의 OS를 다룰 수 있는 것과 마찬가지로 통신 도메인 지식이 있는 인재가 SW역량을 추가적으로 키우는 것이 효율적이라고 생각함.

4. 6G 통신의 공간 확장성을 위해 저궤도 위성통신의 활용이 논의되고 있습니다. 앞서 언급하신 기술 대비 저궤도 위성통신 R&D 투자의 시급성과 효율적 관점에서 우선순위에 대해 평가해 주십시오.

- 저궤도 위성통신은 다양한 측면에서 미래 가치를 보고 투자가 필요하며, 발사체기술력, 글로벌 위성 시스템 확보 현황 등 고려하여 (자국개발뿐 아니라) 글로벌 업체와 협력 필요
- 저궤도 위성통신 시대를 대비하기 위한 핵심 부품, 예를 들어 안테나 및 RF 분야의 원천 기술의 확보 필요

전문가 자문 회의록 (2)

〈SKT 관계자〉

1. 차세대 네트워크는 디지털 전환시대에 국가 인프라에 해당하는 기술입니다. 인프라의 범용성, 확장성을 고려했을 때 국가경쟁력 확보 측면에서 가장 우선적으로 구현 및 확보해야 할 기술은 무엇입니까?

- 가트너는 6G 시장 중 무선통신 기지국 투자가 70%이상을 차지할 것으로 예측하는 바, 신산업도출 측면에서 국내 중소기업 중심의 무선통신 부품기술 고도화 (액티브안테나, RF장비 등) 투자 중요
  - 무선망 속도가 빨라 짐에 유선망 용량 및 속도 고도화, 높은 요구사항 수준의 안정적 클라우드 적용, AI 최적화 기술 개발 필요
  - 따라서, 통신 SW는 빅테크의 AI, 클라우드 운용기술에 해당하며 정부의 직접적인 투자 보다는 학-연 지원을 통한 우수인재 양성과 이를 통한 국내 기업 경쟁력 강화 방향성 권고
- (타 전략기술과의 연계성) 단말부터 기지국, 코어 등 통신 전 분야는 반도체, AI 등 타 전략기술과 매우 연계성이 높음.
  - 특히, 코어 네트워크(교환기)가 반도체와 AI기술과의 관련이 가장 높고 우선적으로 적용되는 기술 영역임.
  - AI기술은 4G→5G→6G 통신 순으로 응용되고 있으며, 범용서버에서 클라우드 가상화가 진행됨에 따라 AI-Native, Cloud Native 개념 등장
- (공급망 관점에서 국산화해야 할 핵심 부품 기술군) 무선통신에서 기지국 부품 기술 중 대표적인 것은 파워 앰프(PA), 저잡음 증폭기(LNA)임.

2. 6G와 관련한 다수의 글로벌 보고서에서 언급하는 바와 같이 5G 킬러서비스 및 산업확산의 중요성이 6G에서도 강조되고 있습니다. 이에 Use Case(사용사례) 발굴의 필요성이 부각되고 있는 상황에서 우리나라가 특별히 집중해야 할 연구분야나 실증 분야에 대해 의견 부탁드립니다.

- 사용사례 발굴과 관련하여 통신사관점에서는 '버티컬' 즉, 팩토리, 오피스, 아카데미 분야에 수직적으로 서비스를 확장하여 DX의 인프라인 망 서비스 제공 지향이 목표로, 단말과 망 기술이 상호 보완적으로 발전

- 5G의 경우 현재의 망기술 성숙도가 애플리케이션 단말기(휴대폰, 테블릿, IoT 등)보다 높아 활성화에 한계 존재. 6G에서도 유사한 문제 발생이 예상되므로 6G 투자 및 활성화의 효익을 얻을 만한 서비스 존재 필요

- 국내의 특화망 사업은 대기업과 공공 주도로 활용사례 발굴의 마중물 역할 중임.

  - SKT는 계열사와 연계된 하이닉스 스마트 공장에서 적용중으로 특화망의 장점인 속도외에도 통신 보안 요구사항이 높은 곳에 적용 가능하며, 업링크의 수요가 많은 감시(서베일런스)분야 등의 서비스에 특화망 수요 고려

3. 오픈랜 기술에서 타 장비간 호환성이 강조되는 상황을 고려하였을 때 인력양성 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 인력 양성과 관련하여 도메인의 깊이에 따라 효율성 등을 고려하여 투트랙 전략 필요

  - 일례로 무선 통신 영역은 전자기분야 도메인 깊이가 깊어, 도메인지식 확보 후 AI/SW를 역량 확보 방안이 효과적이나, 통신 뒷단의 부가서비스, 오퍼레이션 효율성 부분은 통신보다는 AI/SW 전문성이 더욱 중요함. 학부에서는 범용적 학습을 하고 대학원에서 특정 분야 학습 필요. 현 시대에서는 DX 관련 지식은 핵심임.

    ※ 실제 에릭슨, 노키아, 삼성 등 기업에서 기지국 분야인 소프트웨어 모뎀 엔지니어는 도메인 지식을 가지고 있는 경우가 많음.

4. 6G 통신의 공간 확장성을 위해 저궤도 위성통신의 활용이 논의되고 있습니다. 앞서 언급하신 기술 대비 저궤도 위성통신 R&D 투자의 시급성과 효율적 관점에서 우선순위에 대해 평가해 주십시오.

- 저궤도 위성통신 기술은 필요한 기술이나 스타링크 등 글로벌 기업의 독점 현황, 발사체 사업현황과 경쟁력 등을 고려하여 국가적으로 직접 추진하는 방법과 글로벌 협업 방법 등을 고려 필요

전문가 자문 회의록 (3)

〈연세대학교 전기전자공학부 교수〉

1. 차세대 네트워크는 디지털 전환시대에 국가 인프라에 해당하는 기술입니다. 인프라의 범용성, 확장성을 고려했을 때 국가경쟁력 확보 측면에서 가장 우선적으로 구현 및 확보해야 할 기술은 무엇입니까?

- (국가경쟁력 확보 측면) 무선통신 및 코어 네트워크 기술 중요
  - 6G에서 RAN은 이동통신 장비 가격 및 관련 설비투자에서 70%를 차지 할 것으로 예상되기 때문에 국가 및 시장경쟁력 측면에서 우수한 성능과 작은 물리적 제원의 RAN기술이 중요. Upper-Mid 밴드 E-MIMO (수천개의 안테나) 전송 및 운영기술, 가상화 및 클라우드 RAN, 초저전력 RAN 기술 확보 필요.
  - 우리나라의 경우, 작은 사이즈의 코어 기술력은 보유하고 있으나 큰 사이즈 코어의 기술 성숙도가 필요. 코어구조 위에 다양한 서비스를 보장할 수 있는 네트워크의 유연성 및 개방성 기술 확보 필요
- (공급망 관점에서 국산화 필요 기술) RF분야는 국내 역량관점에서 어려운 기술은 아니나 6G에서의 데이터 고속 전송 등에 의한 수요 폭증을 대비하여 국산화 고려 필요함. 공급망 관점에서 기존 5G 상황을 고려하여 대외의존도가 높은 파워 앰플 모듈 일체형 듀플렉스(PAMiD), 25Gpbs 급 광프로트홀, 100Gbps 이상의 포토닉 집적화 기술등의 국산화 필요

2. 6G와 관련한 다수의 글로벌 보고서에서 언급하는 바와 같이 5G 킬러서비스 및 산업확산의 중요성이 6G에서도 강조되고 있습니다. 이에 Use Case(사용사례) 발굴의 필요성이 부각되고 있는 상황에서 우리나라가 특별히 집중해야 할 연구분야나 실증 분야에 대해 의견 부탁드립니다.

- 중국은 10,000개 이상의 특화망 사례를 발굴하였으나 국내에서는 특화망 신청자 및 사용자가 37개에 불과 함. 특화망의 특징은 저지연 서비스 및 보안에 강한 서비를 제공한다는 점에서, 제조, 유통 및 의료 분야에 특별히 집중할 필요가 있음.
  - 국내 통신 사업자들은 특화망 시장 규모를 작은 것으로 판단하여 적극적으로 참여하지 않은 것으로 추정되므로 시장 파급력이 큰 특화망 사례 발굴 및 실증사업에 지속적인 정부 지원이 필요
- DX 산업은 Private Network로 구현되고, 각 산업에서의 요구하는 조건이 다르므로 기획 단계에서 수요자 의견 반영하여 기술개발, 실증, 서비스까지 연계될 수 있도록 및 운영 필요

- 각 산업에서 요구하는 네트워크 및 서비스 성능지표의 차이존재
- CJ대한통운은 특화망을 구축하여 현장에 적용 중이며, 공장 내 Wifi 공유기 제거로 인프라 환경이 개선되어 업무 만족도 높음.

● 현재 정부의 특화망 사업은 기술개발부터 실증, 서비스까지 단계별 목표를 주관하는 기관(IIPT, NIPA, NIA)들이 분리되어 있음. 이들 사업간의 연계성을 높여야 사업성이 있는 Use case 발굴 가능.

● 5G 의 Private Network가 6G 사설망으로 용이하게 진화하기 위해서는 ①(6G 테스트베드 개발단계) 산업계 수요자의 요구를 반영한 임무지향형으로 일부 전환, ②(기획 단계) 수요자 의견 반영된 테스트베드 구현 및 운영이 필요. 즉, 테스트베드-기획으로 연계된 추진체계를 통해 다양한 수요자가 사용할 수 있는 Use case 개발 가능.

3. 오픈랜 기술에서 타 장비간 호환성이 강조되는 상황을 고려하였을 때 인력양성 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

● 소프트웨어 중심 오픈랜에서는 기지국의 분산화로 통신업체에서는 AI 기반 RIC 기술을 통해 장비 제어가 가능해짐.

● 분산화된 RU, DU, CU 중 RU의 국내 경쟁력은 보유하고 있으며 DU기술 확보가 국가 경재역 차원에서 핵심적임. 이를 위해서는 네트워크 기능, HW, SW에 대한 이해도가 높고 장비간 호환성을 이해하는 인력이 가장 많이 필요하므로 기존 통신 지식을 갖춘 인재들이 AI 기술 역량을 키우는 방안이 더욱 효과적이라고 생각함.

4. 6G 통신의 공간 확장성을 위해 저궤도 위성통신의 활용이 논의되고 있습니다. 앞서 언급하신 기술 대비 저궤도 위성통신 R&D 투자의 시급성과 효율적 관점에서 우선순위에 대해 평가해 주십시오.

● 저궤도 위성통신은 국내 시장 및 사업적 측면에서 상대적으로 중요도 낮음.
- 다만, 국내 상용 서비스, 국가 재해 및 유사시에 핵심 네트워크로 사용, 군 저궤도 위성통신, C-ITS 적용 자율주행 자동차 및 자율 시스템, UAM 등과 연계 가능

● 장기적 관점에서 해당 기술경쟁 본격화시 안테나 기술을 보유하고 있으면 경쟁력이 있을 것으로 생각함.

● 지상과 위성통신은 채널 환경이 다르므로 모뎀, 송수신기 등 요구조건 차이 존재함.

전문가 자문 회의록 (4)

〈KAIST 전기및전자공학부 교수〉

1. 차세대 네트워크는 디지털 전환시대에 국가 인프라에 해당하는 기술입니다. 인프라의 범용성, 확장성을 고려했을 때 국가경쟁력 확보 측면에서 가장 우선적으로 구현 및 확보해야 할 기술은 무엇입니까?

- (타 전략기술과의 연계성) 무선통신 기술이 가장 중요하며, 특히 다중 안테나 시스템에서의 송수신 기술 중요
  - 통신에서는 채널 용량 증가가 중요하며, 신호의 품질, 고대역폭, 하나의 무선통신 리소스에 멀티유저 서브 기술 등 통해 채널 용량 증가
- (타 전략기술과의 연계성) 각각의 기술군에 반도체 및 AI 연계성이 높고, 그중 E-MIMO 구현 및 상용화를 위해 AI 반도체 필수적
  - E-MIMO는 데이터 생성량이 많고 시스템이 복잡해짐에 따라 AI 기반 최적화가 필요
- (공급망 관점에서 국산화 필요 기술) RF 부품 중요
  - 시장은 안테나 사용이 증가하고 있고, 신호 및 네트워크 복잡도가 증가하는 상황에서 통신 성능 향상을 위해 오류, 동기화 및 전력량 등 다양한 조건을 고려한 부품 개발 및 상용화 필요
  - 안테나, RF 소자 등 시장이 확대되는 분야에 투자 가치가 존재하나 정보량 증가 시 기술적 한계와 저전력, 저지연의 공통 요구 사항 존재

2. 6G와 관련한 다수의 글로벌 보고서에서 언급하는 바와 같이 5G 킬러서비스 및 산업확산의 중요성이 6G에서도 강조되고 있습니다. 이에 Use Case(사용사례) 발굴의 필요성이 부각되고 있는 상황에서 우리나라가 특별히 집중해야 할 연구분야나 실증 분야에 대해 의견 부탁드립니다.

- 특화망 등 많은 부분에서 통신서비스의 필수 요건은 높은 속도이므로 초다중 안테나 분야의 R&D 집중이 필요함.
  - 과거 퀄컴에서는 Massive MIMO 개발을 목표로 대형 프로젝트를 진행하였으나 하드웨어 복잡성과 전력 사용량 문제로 완전한 상용화는 더욱 시간이 걸릴 것으로 예상

3. 오픈랜 기술에서 타 장비간 호환성이 강조되는 상황을 고려하였을 때 인력양성 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 오픈랜 기술도 적용 사례에 따른 역량확보가 필요할 것으로 예상
- 기본적으로 AI라는 툴을 사용하기 위해서는 차세대 통신환경에서 통신에 대한 기초지식 갖추는 것이 중요

4. 6G 통신의 공간 확장성을 위해 저궤도 위성통신의 활용이 논의되고 있습니다. 앞서 언급하신 기술 대비 저궤도 위성통신 R&D 투자의 시급성과 효율적 관점에서 우선순위에 대해 평가해 주십시오.

- 글로벌 주도권 관점으로는 투자가 시급하나, 타 기술 대비 상대적으로 미래지향적인 기술이기 때문에 상용화 기준으로 본다면 우선순위가 더 높다고 할 수는 없음.
- 하지만 한화시스템즈 등 사례를 참고하여 위성안테나와 연계성이 높은 중대역 안테나 기술 및 송수신 기술 고도화 지속 추진필요

전문가 자문 회의록 (5)

〈KAIST 전기및전자공학부 교수〉

1. 차세대 네트워크는 디지털 전환시대에 국가 인프라에 해당하는 기술입니다. 인프라의 범용성, 확장성을 고려했을 때 국가경쟁력 확보 측면에서 가장 우선적으로 구현 및 확보해야 할 기술은 무엇입니까?

- (국가경쟁력 확보 측면) 제조업 역량이 없다면 특허 출원 및 채택을 통한 표준화가 제일 중요하나, 제조업 강국임을 고려했을 때 단말 및 장비 제조 분야도 중요
- 광통신 분야는 이미 기술 성숙도가 높고 현재 프리스페이스광학(FSO) 활용 무선링크 연구가 많으므로, 광링크 및 광전송 시스템 기술에 있어 유선광은 중요도를 조금 낮출 필요가 있음.
- (타 전략기술과의 연계성) 각각 분야별 반도체 및 AI 기술 연계됨
  - 반도체는 무선통신, 모바일 코어 네트워크, 유선 네트워크 모두 해당하며, 시스템에서도 데이터 가속기(DPU)에 기술 포함됨.
  - AI 네이티브는 기존 통신에 없던 부분이며, 모바일 코어망 아키텍처 및 프레임워크 기술과 같은 네트워크를 최적화할 수 있는 항목과 응용 서비스 검증 플랫폼 기술, 표준화에 AI 기술 반영됨.
- (공급망 관점에서 국산화 필요 기술) 광원소자, 광검출기와 같은 백본망에 들어가는 광 제품들은 통신 운영 관점에서 필수적 요소로 광학 액세스 관련 제품을 국산화할 필요
- 고가 RF 핵심부품이 없더라도 성능 열화를 감수하면 통신 시스템 구축시 큰 문제는 없음.

2. 6G와 관련한 다수의 글로벌 보고서에서 언급하는 바와 같이 5G 킬러서비스 및 산업확산의 중요성이 6G에서도 강조되고 있습니다. 이에 Use Case(사용사례) 발굴의 필요성이 부각되고 있는 상황에서 우리나라가 특별히 집중해야 할 연구분야나 실증 분야에 대해 의견 부탁드립니다.

- 6G의 킬러 애플리케이션이 될 것으로 예측되는 특화망 사용사례 발굴 독려 필요
- 특화망 사용으로 부품·장비에 대한 수요도 있지만 운용 측면에서의 역량 강화 효과 특히, TDD Ratio에서의 업링크 최적화 기술 등 개발과 노하우 확보 효과

- 중소기업의 특화망에 대한 진입 장벽을 낮추기 위해 1) 대기업의 설치 및 구축 관련 지원컨설팅을 통해 중소기업과 대기업이 서로 윈윈(win-win)하는 전략, 2) 정부의 특화망 설치 지원(효용성 검증 통해 타 기업 및 산업으로 확산)전략 고려
  - 스마트 공장에서 인력 대비 기계가 더 많이 투입되는 공정에서는 무선, 자유로운 기계 배치 등 이점으로 특화망이 더 활용적이며, 제조, 물류 이외에도 사용처는 무궁무진함.
  - 의료 분야의 경우, 국내에서 원격 진료가 한시적으로 허용되었으나 아직 통신이 필요한 의료 서비스 또는 기술은 활성화되지 않았음.

3. 오픈랜 기술에서 타 장비간 호환성이 강조되는 상황을 고려하였을 때 인력양성 전략에 대해 의견 부탁드립니다.

- 기업(삼성전자, LG전자 등)에서는 통신 도메인 지식을 충분히 교육받고 필요시 AI 프로그래밍 기술을 습득하여 문제에 접목시킬 수 있는 인력에 대한 수요가 있음.
  - AI 연구는 단순 프로그래밍이 아닌 수학적 지식, 확률 지식과 같은 이론적 지식을 기반으로 기존에 없던 AI 시스템을 구현하는 것임.
  - 이미 개발된 AI 기술 중 적절한 것을 선택해 서비스에 접목시키는 것은 수학이라는 확률적 지식을 필요로 하지 않음.

4. 6G 통신의 공간 확장성을 위해 저궤도 위성통신의 활용이 논의되고 있습니다. 앞서 언급하신 기술 대비 저궤도 위성통신 R&D 투자의 시급성과 효율적 관점에서 우선순위에 대해 평가해 주십시오.

- 글로벌 관점에서 통신 시장 및 표준화에서의 주도권 확보를 위해서는 투자가 시급하나, 우리나라의 국토 규모와 통신 인프라 고려 시 저궤도 위성통신은 효과적이지 않음.
- 차세대 네트워크 전략기술과 저궤도 위성통신과 중복되는 분야는 무선통신 내 커버리지 확대기술이며, 모바일 코어망 아키텍처는 위성 통신에 맞춰 수정 필요함.

사이버 보안

국가미래전략기술 정책연구소 연구진

전문가 자문에 기반한 사이버보안 분야 현안 및 시사점

(2023.10.12) KAIST 국가미래전략기술 정책연구소

- 국내외 사이버보안 정책, 현황 보고서, 과학기술정보통신부의 '정보보호산업의 글로벌 경쟁력 확보 전략(23.09)', RSA 2023 분석을 통해 1) 사이버보안 주요 기술 2) 국내 기술 및 산업역량 3) 글로벌 경쟁력 제고방안 등과 관련해 산학 보안 전문가 자문

사이버 보안 주요 현황 및 현안 요약

- 최근 고도화 되는 사이버보안 위협에 대응하기 위해 위협 탐지, 식별 및 분석, 대응을 위한 위협인텔리전스(TI) 기술과 다양한 벤더 간 보안 제품 연동이 활성화 되는 TI+XDR이 핵심 기술로 대두되고 있으며, 관제·탐지·대응 전 영역에 AI 활용이 가속화 되고 클라우드 네이티브 보안 솔루션이 다양화 되는 추세

- 최근 진화된 정교한 공격으로 다양한 솔루션이 결합되어 방어 기능을 고도화하는 추세로 보안 기술의 로드맵 구성에 특정 기술의 선정과 마일스톤 방식으로 접근하는 것은 한계가 있으며, 다양한 영역의 기술 고도화와 통합이 중요

- 글로벌 XDR 및 TI 기업은 다양한 기업 간 인수합병 및 협업을 통해 기술력과 정보력을 제고하고 시장점유율을 확대함으로써 후발 기업과의 격차 증가. 이에 국내 보안 기업들은 경쟁력 확보를 위해 글로벌 선도기업의 신기술/상품을 벤치마킹하고, 글로벌 TI 및 XDR 벤더를 통해 다양한 보안 기술을 공급받아 보안에 활용하고 경험을 축적함으로써 자체 TI 역량을 강화하고 있음

- 국내 기업의 TI를 포함한 사이버보안 역량은 다양한 보안 사업 경험을 통해 성장하므로 이를 지원하는 방안을 (공공발주 강화, 공공 보안인텔리전스 공유 등) 전략기술 로드맵 수립 시 고려할 필요가 있음

위협 인텔리전스(TI)와 확장된 탐지·대응(XDR) 보안

- **(현황)** 고도화된 보안 위협 환경 변화에 따라 글로벌 보안시장은 경계 중심 포인트 솔루션에서 통합 플랫폼 기반 위협분석, 이상행위탐지, 대응 방식으로 변화

- **(XDR)** 정교하게 진화된 공격으로 이전의 공격 패턴 기반 위협 대비는 엔드포인트에서만 대응 불가. 기존 엔드포인트(EDR*)기술에서 네트워크, 클라우드 등 IT 전반을 통합한 확장된 탐지·대응(XDR*)기술로 사업을 확장하는 추세

  * EDR(Endpoint Detection & Response), XDR(eXended Detection & Response)

  * IBM '큐레이더 XDR': 통합된 환경에서 공격 표면관리부터 AI 기술이 접목된 대응 자동화, 타사 시스템 및 솔루션 연계해 개방형 XDR 생태계 구축

- 글로벌 시장에서는 XDR 구현을 위해 다양한 기업 간 인수합병 및 협업이 매우 활발

  ※ 구글 클라우드는 TI 분석 전문업체인 맨디언트 인수하여 기존 보안 기술에 TI 기술 역량을 더해 보안 컨설팅, 위협탐지, 디지털 방어 테스트 등 광범위한 보안 포트폴리오 보유('22.02)

- **(위협 인텔리전스(TI))** 다양한 형태의 위협 탐지, 식별 및 분석, 대응 기술인 위협 인텔리전스(TI) 확보가 중요해지고 있으며, 글로벌 TI 선도기업들은 시장점유율이 확대되면서 다양한 보안 사례와 정보 취득이 가능해져 후발 기업과의 TI 기술력 격차 증가

  * 미국 기업들의 경우 4개 이상의 보안 분야별 특화된(바이러스 토탈 등) TI 벤더와 협업한다는 통계가 있으며, 유사하게 최근에는 사이버보안 기업들이 다수의 벤더들과 협업을 통해 자체 보안 역량 강화

● **(현안)**

- 글로벌 대비 국내 보안산업은 시장 규모가 작고 기술 성숙도 및 다양성 미흡하고 벤더 간 협업이 부족하여 글로벌 사이버보안 선도 기업과의 격차 해소는 매우 도전적

- XDR, TI는 보안현장에서 확보하는 정보와 대응 경험을 통해 성숙되는 기술로, 제한된 보안 시장 규모에서 국내 보안 기업의 경쟁력은 시간이 지날수록 선도기업과 격차가 더욱 벌어질 우려

● **(시사점)** 국내 보안기업들의 TI 역량은 다양한 정보와 경험을 통해 성장하므로 보안 사업의 활성화를 유도할 수 있는 제도와 사업을 기획하고, 정보기관 등 공공이 확보하고 있는 다양한 보안 상황에 대한 인텔리전스의 공유와 협업을 통해 글로벌 격차 추격 시도

AI, 클라우드 보안

● **(현황)** 대규모 위협탐지, 예방 및 대응, 보안 인력 활용 최적화 등을 위해 AI 활용 확대 추세. 클라우드 확산에 따라 클라우드 네이티브 보안 요구(CWPP, CST/PN, CIEM, 컨테이너 시큐리티, CSPN 등) 증가 및 솔루션 다양화 추세

- 국내 클라우드 서비스 제공업체(CSP)는 매년 보안 기술 트렌드와 CSP 경쟁사 (아마존, 구글 등) 신기술/상품을 벤치마킹하여, 자체 개발, 서드파티 협업 등 통해 클라우드 보안 역량 확보 노력 중.

- 다양해진 보안 위협으로 탐지 및 관제의 요구가 증가하여 자동화 등에 AI를 적용하고 있음

※ 네이버는 AI 모델 서비스(클로바X)를 제공하는 회사로서 자사 모델의 효율적인 사이버보안에의 활용과 서비스 개발 방안 모색 중

※ 최근 XDR, NDR 벤더들은 자신의 대규모 언어모델에 AI를 접목해 사이버보안 솔루션을 제공

- 각 기관별로 상이한 보안 요구 정보에 대응하기 위해 AI 기술 활용하는 기업 자체의 역량과 노하우 매우 중요

● **(현안)** 학계의 사이버보안 기반 기술의 산업 연계 미흡

- 기업은 다양한 사이버보안 기반 기술 중 고객 니즈와 기업의 BM 및 ROI 고려하여 활용 기술 선택

- 다양한 고객의 보안 요구에 대응하는 과정에서 AI, 클라우드 사이버보안 역량이 고도화

● **(시사점)** AI, 클라우드 기술이 보안산업과 연계되도록 육성 필요

사이버 보안과 정부 정책

● **(현황)** 국내에서는 여러 관련 법(정보통신망법, 개인정보보호법 등)에서 준거해야 하는 보안 항목들이 존재하는데, 기업 입장에서는 이것만 준거하면 된다는 인식이 있고, 보안 벤더의 경우에는 관련 법에 맞게만 제품 개발이 이루어지는 경향

● **(현안)** 국내 보안 벤더가 정교하고 고도화된 보안 기능을 개발할 수 있는 여지가 줄어 글로벌 보안 시장에서의 경쟁력 저하 우려.

● **(시사점)** 국내 보안산업 시장의 성장 위해 규제는 기업이 다양한 보안 솔루션의 개발을 유도하는 방향으로 수립 필요

예) 관련 법에서는 최소한의 준거만을 명시하고, 보안 사고 책임을 기업에 많이 할당해서 기업이 자체적으로 보안 강화를 위한 다양한 방법 도모 유도

붙임1 정보보호 분야 학계 전문가 자문 내용

전문가 자문

● **(전문가 구성)** 정보보호 분야 산·학 전문가 6인 대상으로 자문 진행

	주요 질문	전문가 의견
1	**국가 전략기술 관점에서 우선적으로 확보 필요 기술 및 로드맵 수립 시 마일스톤에 필요한 기술**	■ **(보안은 다양한 첨단기술의 집약체)** 단 하나의 보안 솔루션으로 보안 위협에 대응하기에는 한계 존재. 보안 자체의 기반 기술을 강화하고 이후 트렌드에 따른 기술 적용 필요 - 접근 권한 강화, 소프트웨어 개발 관리, 위협 인텔리전스 등의 동시 강화가 필요한 분야이기 때문에 마일스톤 중심의 로드맵 수립이 불가, 타기술 로드맵과의 연계 필요 ■ **(위협 인텔리전스(TI)+XDR)** 고도화되는 사이버보안 위협에 대응하기 위해 위협 탐지, 식별 및 분석, 대응을 위한 TI 기술과 다양한 벤더 간 보안제품 연동 활성화 및 기술집약이 이루어져 TI+XDR 기술 중요 ■ **(클라우드 보안 기술)** - 클라우드 확산에 따라 사용환경이 다양해 지고(멀티클라우드, 하이브리드, 쉐어드 리스폰서 빌리티 등) 중요 정보들이 클라우드로 옮겨가면서 클라우드 네이티브 보안 요구(CWPP, CST/PN, CIEM, 컨테이너 시큐리티, CSPN 등) 증가 및 솔루션 다양화 - 주로 B2B 서비스로 고객의 수요와 ROI 등 사업적 관점의 판단이 중요하며 핵심적 보안 기술의 상품화 연계 필요
2	**(XDR·TI) DX 전환에 따라 XDR 솔루션이 중요해지고 있는 상황에서, 국내 기업이 국제적 경쟁력을 발휘하기 위한 방안과 전략**	■ **(XDR의 주요 기능)** 최근의 보안 위협은 기존의 공격 패턴을 기반으로 한 방어를 무력화할 정도로 다양화되고 정교화되어 있음. 이러한 위협에 대응하기 위해서는 다양한 솔루션을 결합하여 방어 기능을 고도화하는 것이 필요 - 엔드포인트 뿐만 아니라 네트워크, 계정 등 다양한 요소를 통합하여 위협을 탐지하고 대응하므로 보안 위협의 진화에 대응하기 위한 효과적인 방안으로 주목 ■ **(TI+XDR 융합 추세)** 보안 상품 및 서비스 구현을 위한 다양한 위협 탐지, 식별 및 분석, 대응을 위한 TI 기술의 중요성이 부각되고 있으며, XDR과 결합하여 구현하는 추세 - 글로벌 시장에서는 XDR 구현을 위해 다양한 기업 간 인수합병 및 협업이 매우 활발하나, 국내 기업은 글로벌 대비 기술 성숙도 및 다양성 미흡. 이에 따라 국내 기업도 글로벌 TI 기업과의 협력을 통해 XDR 기술과 경험을 확보하고, 수집한 다양한 보안 위협 정보를 공유하고 협업 기회를 확대하여 위협 인텔리전스 역량 강화

주요 질문		전문가 의견
		- ZT(제로트러스트)는 기술보다는 프레임으로 한가지 기술로 구성되는 것 아니고 사용자, 어플리케이션, 네트워크, 엔드포인트 레벨별 기술의 통합으로 몇 개의 기술로 ZT 완성에는 한계가 있음.
3	**(클라우드) 국내 클라우드 보안 경쟁력을 높이기 위한 기업 전략 등의 도전 과제** **(AI) 국내 사이버 보안 분야의 AI 역량 수준, 전략 등 도전 과제**	■ **(클라우드 보안 현황 및 전략)** - 국가 안보 차원에서 보안 시스템, 주요 인프라, 첨단 생산기반에 대한 클라우드 통합 보안 플랫폼 개발 지원 필요 - 네이버클라우드는 국외 경쟁사(아마존, 구글 등)를 벤치마킹하여, 단기 기술/상품 로드맵을 수립하고, 자체 상품 개발 및 협업을 통해 솔루션 공동 개발 ■ **(AI 보안 현황 및 전략)** 다양해진 보안 위협 및 자동화 수요(보안 이벤트의 폭주, 주요 이벤트 탐지, 상위 분석 레벨 판별과 보안 인력 활용 최적화 등)에 따라 탐지, 관제, 예측, 대응 분야에 AI 적용 필요하여 기업의 투자 대비 효용성 관점에서 특정 AI 모델 선택 - 위협 인텔리전스(TI) 및 각 기관별로 상이한 보안 요구 정보에 대응하기 위한 AI 기술 고도화 추진 필요
4	**기타**	■ **(국내 보안 시장 활성화를 유도하는 정책 필요)** 기업이 다양한 보안 솔루션의 개발 및 판매를 할 수 있도록 정책 수립과 운영 필요

전문가 자문 회의록 (1)

〈네이버클라우드 관계자〉

1. 국가 전략기술의 선정 기준을 고려할 때 투자가 시급하고 경쟁력을 확보할 수 있는 사이버 보안 기술 분야는 무엇이 있습니까? 또한 기술 로드랩 수립 시 마일스톤으로 어떤 기술을 추천하십니까?

- **(위협 인텔리전스(TI)+XDR)** 최근 사이버보안 위협 고도화에 대응하기 위해 다양한 벤더간의 보안 제품 연동이 활성화되며 기술집약이 이루어져 TI+XDR이 가장 유망한 기술로 대두
  - (Secure S/W Supply Chain) S/W를 기획, 개발, 배포, 운영/관리하는 전체 단계에서의 보안 강화가 필요하며, 단계별로 Secure Coding, 보안 검수, 안전한 배포 환경 관리 등 적절한 보안 기술들이 적용되어야 하고, 이를 통해 외부 공격에 취약하지 않은 안전한 S/W 공급을 가능하게 할 수 있음

- 보안 공격은 제일 취약한 포인트를 찾고, 이를 집요하게 공격하는 형태가 많은데, 이런 이유로 보안 기술을 마일스톤, 로드맵으로 접근하는 방식은 어려움이 있음. 다양한 영역에서의 기술들이 모두 강화가 되는 형태로 진행이 되어야 의미가 있다고 생각함. 이를테면, 접근/권한을 강화하는 Zero-Trust 보안 기술, S/W를 개발/관리하는 Secure S/W Supply Chain 보안 기술들, 위협을 정의하고 다양한 Edge에서 로그를 빠르게 수집하고 상관관계를 분석하는 TI+XDR 기술들이 모두 동시에 강화가 되어야 안전한 환경을 구성할 수 있다고 생각함

2. 국내 클라우드 보안 경쟁력을 높이기 위한 핵심 기술은 무엇입니까? 또한 글로벌 빅테크 사에 대응하여 클라우드 보안 기술 경쟁력을 확보하기 위한 귀사의 전략, 기술 및 인력 확보 방법, 투자전략은 무엇이며, 가장 큰 도전점은 무엇입니까?

- 매년 보안 기술 트렌드와 CSP 경쟁사 (아마존, 구들 등) 신기술/상품을 벤치마킹하여, 단기 기술/상품 로드맵을 작성하고 있으며, 최근의 로드맵 기준으로 기술/상품을 선정한 내용은, Zero-Trust, TI, Container 보안, 통합보안관리(XDR), AI 기술 활용, 동형 암호화, Confidential Computing 등이 있으며, Core 기술이나 상품의 경우 네이버 클라우드에서 자체적으로 기술 확보하여 상품화 하고 있고, 보안 벤더들과 협업하여 공동 개발하거나 벤더들의 상품을 제공하는 형태로 진행하고 있음

- 클라우드 보안 기술의 경우, B2B 서비스여서, 고객의 Needs와 ROI등 사업적인 관점의 판단이 중요해서, 중요하고 핵심적인 보안 기술이 있더라도 상품화가 안되는 경우도 있음

- 인력 확보 측면에서는, 보안 기술 인력과 보안 개발 인력으로 구분 될 수 있는데, Core 기술을 연구하고 확보하는 보안 기술 인력의 경우 다양한 분야의 인력을 확보하고 있지만, 이를 서비스화 하는 보안 개발 인력은 항상 부족한 상황임. 보안 기술과 보안 개발을 같이 할수 있는 인력은 시장에서 찾기 어려운 상황이여, 신입 채용을 통해 역량을 갖출 수 있도록 키워 나가고 있음

3. DX 전환에 따른 IT 협업 모델로 솔루션 결합을 통한 XDR 솔루션이 주목받고 있습니다. 이러한 배경 아래 국내 기업의 국제적 경쟁력 발휘, 기여 가능 기술 혹은 분야는 무엇입니까? 국내 XDR 경쟁력 제고를 위해 제안가능한 사업방식과 귀사의 전략은 무엇입니까?

- **(네이버의 전략)** 네이버 클라우드 보안 조직에서는 네이버의 IT 보안과 CSP로써의 Cloud 보안을 같이 담당하고 있는데, 네이버의 경우 몇 년 전부터 글로벌 Top TI 및 XDR 제공 벤더를 통해 다양한 보안 위협 정보, 시나리오 Base의 점검, 탐지 및 대응 강화 등의 선진 사례를 적용하고 있는데, 이러한 경험을 기반으로 자체적인 TI를 만들어 나가고 있음. Cloud 보안의 경우에는 국내 벤더들과 협업하여 관련 상품을 공동 출시할 수 있을 것 같고, 기술에 대한 공동 연구도 가능할 것 같음

4. 국내 보안산업의 내수시장 확장을 위해 버그바운티 및 화이트해커 등을 활용하자는 제안이 있습니다. 이러한 제안의 현실성과 효과성에 대한 의견을 부탁드립니다.

- 네이버는 이미 몇 년 전부터 버그바운티를 운영하고 있음. 웹 서비스와 Application 모두 하고 있는데, 글로벌 기업들의 경우 대부분 Application (크롬 등)에 대한 버그 바운티를 운영하는 형태임. 자사의 제품에 대한 취약점을 외부 전문가를 통해 찾아 보자는 취지이고, 경우에 따라서는 버그 바운티 참가자를 채용하는 경우도 있음. 버그 바운티를 통해 보안산업의 내수시장을 확장하자는 의견에는 부정적임. 수립된 예산 내에서, 상금 형태로 제공하는 경우가 대부분인데, B2B라고 보기도 어렵고, 개인에게 제공하는 형태임. 버그 바운티 보다는 기존의 보안 전문 업체가 수행하는 모의해킹, 보안 컨설팅 등의 활성화 방안이 마련되는게 더 좋아 보임.

5. 국내 사이버보안 업계의 AI 역량, 그 도전점, 그리고 경쟁력 제고 방안은 무엇이라고 생각하십니까? 또한 귀사의 AI 적용 전략과 도전점은 무엇입니까?

- **(AI의 사이버 보안 적용)** 다양해진 보안 위협으로 탐지 및 관제의 요구가 증가하여 자동화 등에 AI를 적용하고 있음. 네이버는 AI 모델 서비스(클로바X)를 제공하는 회사로서 자사 모델의 효율적인 사이버보안에의 활용과 서비스 개발 방안 모색 중

6. 국내 사이버보안 기업의 경쟁력을 키우고 국내 시장을 글로벌 빅테크로부터 보호하기 위한 망분리 정책의 방향은 무엇입니까?

- 국내에서는 여러 관련 법에서 준거해야 하는 보안 항목들이 존재하는데, 기업 입장에서는 이것만 준거하면 된다는 인식이 있고, 보안 벤더의 경우에는 관련 법에 맞게만 제품 개발이 이루어지고 있다고 판단됨. 기업 입장에서는 이런 상황이 편할 수 있지만 국내 보안 벤더의 경우에는 준거 항목 이외의 더 정교하고 고도화된 보안 기능을 개발할 수 있는 여지가 줄어 들고, 이는 결국 글로벌 보안 시장에서의 경쟁력 저하로 이어진다고 생각함. 관련 법에서는 최소한의 준거만을 명시하고, 보안 사고에 대한 책임을 기업에게 많이 할당해서 기업이 자체적으로 보안 강화를 위한 다양한 방법을 고민하고 보안 벤더들과 협업하는 구조로 가면 좋을 것 같음.

전문가 자문 회의록 (2)

〈SK쉴더스 관계자〉

1. 국가 전략기술의 선정 기준을 고려할 때 투자가 시급하고 경쟁력을 확보할 수 있는 사이버 보안 기술 분야는 무엇이 있습니까? 또한 기술 로드랩 수립 시 마일스톤으로 어떤 기술을 추천하십니까?

- **(위협 인텔리전스(TI))** 상품 및 서비스 구현을 위한 다양한 위협 탐지, 식별 및 분석, 대응을 위한 TI 기술이 중요하나 글로벌 역량 대비 국내 경쟁력 취약하고 벤더 간 협업이 부족, TI 역량은 다양한 정보와 경험을 통해 성장하므로 공공의 다양한 보안 상황에 대한 인텔리전스를 공유하고 글로벌 격차 추격화 가속 시도

- **(클라우드)** KT, NHN, 네이버 등 국내의 주요 기업은 아마존, MS Azure 등의 글로벌 기업에 비해 기술 성숙도가 비교적 낮고, 시장 규모가 작아서 한계이나 향후 클라우드 확산을 고려하여 클라우드 인프라 보안 강화 지원 필요

- **(XDR)** 최근 ZT와 XDR이 보안 트렌드로 기존의 사이버보안은 네트워크 경계와 백신 개발이 주요 이슈였으나, 최근 엔드포인트에서 진화된 정교한 공격으로 이전의 공격 패턴 기반 위협 대비는 불가능해짐. 따라서 다양한 솔루션이 결합되어 방어 기능을 고도화하는 것이 필요. XDR은 엔드포인트뿐만 아니라 계정 공격 증가와 기존 EDR, NDR, ITDR의 믹스가 필요한 상황을 반영함. 최근에는 단순 탐지 및 차단을 넘어 리스폰스와 인텔리전스 공유가 중요하며, 자동화와 AI의 적용이 강조되고 있음. 최근 XDR, NDR 벤더들은 자신의 대규모 언어모델에 AI를 접목해 사이버보안 솔루션을 제공하고 있으나, 국내에서는 이에 대한 투자와 데이터가 부족함.

2. 국내 클라우드 보안 경쟁력을 높이기 위한 핵심 기술은 무엇입니까? 또한 글로벌 빅테크 사에 대응하여 클라우드 보안 기술 경쟁력을 확보하기 위한 귀사의 전략, 기술 및 인력 확보 방법, 투자전략은 무엇이며, 가장 큰 도전점은 무엇입니까?

- **(클라우드 보안의 변화)** 클라우드 확산에 따라 사용환경이 다양해 지고(멀티클라우드, 하이브리드, 쉐어드 리스폰서 빌리티 등) 중요 정보들이 클라우드로 옮겨가면서 클라우드 네이티브 보안 요구(CWPP, CST/PN, CIEM, 컨테이너 시큐리티, CSPN 등) 증가 및 솔루션 다양화. 국내 보안업체들의 클라우드 보안 서비스 포트폴리오 확대 추세. 클라우드 성장을 고려 시 클라우드 인프라 보안 역량 강화 요구 및 시장 성장 예측

* CWPP: Cloud Workload Protection Platform
CSPM: Cloud Security Posture Management
CIEM: Cloud Infrastructure Entitlement Management
Container Security
CNAPP: 위의 기능들을 통합적으로 제공하는 플랫폼, Cloud Native Application Protection Platform

3. DX 전환에 따른 IT 협업 모델로 솔루션 결합을 통한 XDR 솔루션이 주목받고 있습니다. 이러한 배경 아래 국내 기업의 국제적 경쟁력 발휘, 기여 가능 기술 혹은 분야는 무엇입니까? 국내 XDR 경쟁력 제고를 위해 제안가능한 사업방식과 귀사의 전략은 무엇입니까?

- **(TI + XDR)** ZT(제로트러스트)는 기술보다는 프레임으로 한가지 기술로 구성되는 것 아니고 사용자, 어플리케이션, 네트워크, 엔드포인트 레벨별 기술의 통합으로 몇 개의 기술로 ZT 완성에는 한계가 있음. 글로벌 대비 국내 기술 성숙도 및 다양성 미흡.
  - 미국 기업들의 경우 4개 이상의 보안 분야별 특화된(바이러스 토탈 등) TI 벤더와 협업한다는 통계가 있듯이 최근에는 사이버 보안 기업들이 다수의 벤더들과 협업을 통해 자체 보안 역량 강화
  - 최근의 EDR은 위협 탐지, 정보 수집, 대응을 위해 빅데이터 기술을 활용하고 있고, AI, 클라우드 등 첨단기술을 활용한 운용 중.
  - 글로벌 시장에서는 XDR 구현을 위해 다양한 기업 간 인수합병 및 협업이 매우 활발하나, 국내는 API 공유 등 기업간 협업 잘되지 않는 상황

4. 국내 보안산업의 내수시장 확장을 위해 버그바운티 및 화이트해커 등을 활용하자는 제안이 있습니다. 이러한 제안의 현실성과 효과성에 대한 의견을 부탁드립니다.

- 국가 차원의 시범적 프로젝트 진행 및 장려를 통한 사업화 필요. 일례로 미국의 사이버보안 연구 및 개발 프로그램인 IACD(Integrated Adaptive Cyber Defense)는 국가 인프라에 보안 문제 발생 시 인텔리전스를 공유를 통해 신속한 보안 대응 연구 진행 중. 이를 통해 보안 연구 결과물을 시장 확산과 연계를 제안

5. 국내 사이버보안 업계의 AI 역량, 그 도전점, 그리고 경쟁력 제고 방안은 무엇이라고 생각하십니까? 또한 귀사의 AI 적용 전략과 도전점은 무엇입니까?

- **(기술의 최적화 문제)** 다수의 원격관제 고객(2,500개사) 및 24/7 대응 시 보안 이벤트의 폭주, 주요 이벤트 탐지, 상위 분석 레벨 판별과 보안 인력 활용 최적화 등을 위해 AI

적용이 불가피. 그러나 AI 기술 자체보다는 기업 자체의 역량과 노하우가 매우 중요하며 사이버 보안 운영 시 기업 ROI 관점에서 활용 고민 필요

6. 국내 사이버보안 기업의 경쟁력을 키우고 국내 시장을 글로벌 빅테크로부터 보호하기 위한 망분리 정책의 방향은 무엇입니까?

- **(일률적 규제 적용의 한계)** 국내 보안산업 시장의 성장을 위해서는 정부 규제는 기업이 다양한 보안 솔루션을 개발 및 판매를 유도하는 방향으로 정책 수립과 운영 필요

전문가 자문 회의록 (3)

〈KAIST 정보보호대학원 교수〉

1. 클라우드 기반의 통합 보안 플랫폼 마련에 대한 정부 지원 필요성과 국가 투자 시 발전 가능성에 대한 의견 부탁드립니다.

- **(국가 안보 차원의 필요성)** 국가 보안 시스템, 주요 인프라, 첨단 생산기반에 대한 클라우드 기반의 통합 보안 플랫폼 개발 필요
  - 현재 구글, 아마존 등의 국외 클라우드 활용이 보편화됐으나, 국가 안보차원에서 국내 클라우드 활용 필요
  - AWS, MS, 구글 등 글로벌 빅테크의 국내 시장 점유율이 높아 국내 기업 경쟁력 확보를 위한 육성 정책 및 전략이 필요

2. 정부에서 선정한 정보보호 R&D 전략 기술군 중 보다 중점적으로 육성이 필요한 기술은 무엇이며, 국내의 한정된 예산과 기술력을 고려 시 신규로 확보해야 하는 기술이 있다면 의견 부탁드립니다.

- 공격 현황과 예상 시나리오를 종합적으로 분석 및 제공하는 위협 인텔리전스(TI)의 육성 및 시장 확대 필요
- 위협 인텔리전스(TI)에 필요한 공학적 비용 및 해당 정보를 요구하는 기관별로 상이한 요청에 대응하는 AI 기술 향상 필요
- 거대 언어 모델 및 기계학습 모델이 내포하는 보안/프라이버시 위험성을 완화하기 위한 기계학습 모델 보안 기술 연구 필요

3. 현 사이버보안 인재 양성 전략에 대한 의견과 타 전략기술과의 연계성을 고려할 때 잠재적 인력 확보를 위해 각 기술군 내 보안 역량을 갖춘 인재 양성 방안에 대한 의견 부탁드립니다.

- 보안 전문가에 대한 처우 개선으로 관련 업계에 대한 사회적 인식의 긍정적 전환과 안정적 커리어 루트 확보 필요
- 관련 학과에서 사이버보안 기초 교육을 제공·강화하여 도메인 지식(AI, 6G, 양자 등)에 보안 역량을 추가로 갖춘 인재 양성 필요

4. 기타 의견

- 기업 내 보안팀과 보안 컨설팅 업체 간 인텔리전스 공유 등 협업 통해 TI 사례 발굴 및 수익 창출 모델 수립 통한 시장 확대 노력 필요
- 학계의 보안 관련 기초연구가 기업의 기술 사용화까지 연계될 수 있도록 정부의 지원정책 및 선순환 구조 창출 노력 필요
- 학계 및 산업계에서 수행되고 있는 보안 공격 방법론 (Offensive Security) 노력 및 연구들이 수익을 창출할 수 있는 산업으로 이어 질 수 있도록 하는 시장 형성 노력 필요. 예를 들어 정부의 허가를 받은 보안 업체들이 직접적인 공격 혹은 TI를 통해 사이버 범죄를 증빙 혹은 수사하는데 필요한 정보 및 증거물을 확보하는데 도움을 주고 이에 대한 보수를 받는 사업과 같은 새로운 시장을 개척.

전문가 자문 회의록 (4)

〈KAIST 정보보호대학원 교수〉

1. 클라우드 기반의 통합 보안 플랫폼 마련에 대한 정부 지원 필요성과 국가 투자 시 발전 가능성에 대한 의견 부탁드립니다.

- 기존 개별화된 보안 환경이 대부분 기업들의 97% 이상 클라우드로 전환되며 XDR 등 통합보안으로 강화하는 추세.
- 주요 생산기반의 보안을 국외 보안 업체에 맡기기 어려우므로 정부 차원의 플랫폼 마련 지원 필요
- 보안 핵심기술 특성상 국외 기술이전 및 제품수출 등 제한되어 시장 확대에 한계가 있어 국내 관련기업에 대한 정부차원 지원 필요

2. 정부에서 선정한 정보보호 R&D 전략 기술군 중 보다 중점적으로 육성이 필요한 기술은 무엇이며, 국내의 한정된 예산과 기술력을 고려 시 신규로 확보해야 하는 기술이 있다면 의견 부탁드립니다.

- 국가 사이버보안 전략을 향후 2년 내 표준화 작업이 추진되고 있고, 6년내 상용화 예정인 6G 전략과 사전 연계해 수립할 필요

3. 현 사이버보안 인재 양성 전략에 대한 의견과 타 전략기술과의 연계성을 고려할 때 잠재적 인력 확보를 위해 각 기술군 내 보안 역량을 갖춘 인재 양성 방안에 대한 의견 부탁드립니다.

- 처우 개선 등 우수 인력 유치를 위한 정책 필요
  - 군-학 연계 사이버 인력 양성프로그램 졸업 후 처우 및 진로 등의 이유로 그간 받은 혜택을 반납하고 타 대학원으로 진학하는 학생 증가 추세
  - 보안 내수시장이 활성화되어 있지 못하고 창업 성공사례 부재

4. 기타 의견

- 산학 협력 네트워크 강화 및 기술사업화 선순환 구조 구축 필요
  - 국내 사이버보안 분야의 연구는 이미 글로벌 선도 수준(카이스트의 경우 글로벌 TOP 10)이나

연구 기술의 산업 적용은 미미

- (모범사례) 싱가포르 최대 이동통신사 Singtel에서는 대학 내 큰 연구 건물을 세워 Singtel lab을 통해 연구 협업 활성화, 양측의 논문과 실용 기술간의 갭을 줄이며 R&D 활성화로 상호 성과 창출

● 세계적 보안 기술 트렌드 반영 현 정부 규제 정책 변화 필요

- 세계적으로 이미 망 개념을 벗어나 제로클러스터, 클라우드를 연구 중이나 국내에서는 여전히 망분리 개념 위주 보안 기술 논의

전문가 자문 회의록 (5)

〈KAIST 정보보호대학원 교수〉

1. 사이버보안 분야의 트렌드 변화에 따른 중요 기술과 국가 전략 차원에서 반드시 확보해야 할 기술이 무엇인지와 이에 대한 정부 지원의 필요성, 국가 투자 시 발전 가능성에 대한 의견 부탁드립니다.

- **(기반기술 확보)** 보안 분야의 특성상 사실상 모든 기술군(AI, 클라우드 등)이 중요하나, 이보다는 근원적인 기반기술력(네트워크 보안, 소프트웨어 보안 등)을 확보하고 강화하는 것이 가장 중요
  - 보안 분야 특성 자체가 새로운 기술에 지속적으로 대응하는 것이므로 기반기술력이 바탕이 되어야 새로운 기술 출현에 대응 가능
  - 생성 AI 도입 시 자동화 구현의 기반으로 작용하며 어느정도 인력 수요의 감소 효과 작용 가능성 있음
- **(미래도전 R&D)** 정부의 정보보호 R&D 전략('23.9.) 기술군 중 미래도전 R&D 기술 분야의 연구가 좀 더 필요할 것으로 고려

2. 현 사이버보안 인재 양성 전략에 대한 의견과 타 전략기술과의 연계성을 고려할 때 향후 인재 양성 방안에 대한 의견 부탁드립니다.

- **(고급 인재 양성)** 사이버보안 기술 분야의 총체적인 R&D 수준을 높이고 전체적인 역량을 높이기 위해서는 고급 인재 양성 필요
  - 연구과제 평가의 심사위원 풀이 적으며, 혹 기술에 대한 이해도가 낮을 시 좋은 아이디어라 하더라도 사장될 가능성 존재 有
- 보안 전공기반 소프트웨어 역량 함양, 소프트웨어 전공기반 보안 역량 함양의 투트랙 인재 양성 전략 필요
- 보안은 모든 분야에 적용될 수 있기 때문에 기초 지식을 많이 이해해야만 향후 발생 가능한 여러 보안 문제를 해결 가능
- **(연구형 인재 양성 지원)** 기반기술 확보 차원에서 사이버보안 자체를 연구하는 연구형 인재 확보 지원 필요, 국방과 같이 임무지향적 연구기관 외에도 원천기술 확보를 위한 사이버보안 연구소 설립 및 지원 필요

3. 기타 의견

- **(원천 기술 확보 및 높은 기술 수준)** 원천기술 및 기술 경쟁력을 확보 시 자연스럽게 산·학·연 연계가 되며 선순환 구조 가능
  - 글로벌 R&D 트렌드에 따른 과제 기획보다 새로운 아이디어 중심으로 R&D 평가 방식의 전환 필요

전문가 자문 회의록 (6)

〈KAIST 정보보호대학원 교수〉

1. 사이버보안 분야의 트렌드 변화에 따른 중요 기술과 국가 전략 차원에서 반드시 확보해야 할 기술이 무엇인지와 이에 대한 정부 지원의 필요성, 국가 투자 시 발전 가능성에 대한 의견 부탁드립니다.

- **(보안 기반 기술의 중요성)** 단 하나의 보안 솔루션을 통한 보안 위협의 대응에 한계가 있으므로 보안 자체의 기반 기술의 강화가 최우선이며 이후 트렌드에 따른 기술의 적용이 필요
  - 단, 세계적 트렌드에 따라 생성 AI의 중요성이 대두되며 클라우드와 연계되고 있으므로 관련 연구와 투자 필요
  - 생성 AI의 적용이 완전한 인력 대체를 할 수는 없으나 보조 역할로서 인력 투입의 정도를 감소하는 기능이 가능
- **(국내 클라우드 플랫폼의 한계)** 국내 기술력 고려 시 클라우드 자체를 안전하고 유용하게 구축하기 어렵고, 국외 클라우드사의 높은 보안 기술력과의 간극 존재
- **(정보보호 R&D 전략 기술군)** 정부의 전략 기술군('23.9.)에 대한 의견은 사업적 측면과 국가 안보 측면(공격기술 등)에서의 기술이 중요

2. 현 사이버보안 인재 양성 전략에 대한 의견과 타 전략기술과의 연계성을 고려할 때 향후 인재 양성 방안에 대한 의견 부탁드립니다.

- 보안전문성을 보유한 인재가 AI, 6G 등의 역량을 추가적으로 함양할 수 있는 인재양성 전략 필요
- **(고급 인재 양성 맞춤형 전략)** 보안 분야의 다양한 진로 사례를 제시하고 도전적 과제와 직접 연구 수행 기회를 제공하므로서 고급인재 양성전략 필요
- **(민·관·군 인재의 처우 개선)** 고급인재들이 선호하는 처우에 걸맞게 외부 처우(금전, 인식 등) 개선, 자유로운 이직 환경에 대한 이해와 보안 전문가들의 원활한 이직 환경 구성, 정보보호 특성에 따라 공개 불가한 개별 연구 성과에 대한 가시화 방법 고민 필요.

3. 기타 의견

- **(보안 연구 자체를 위한 과제 및 예산)** 현 연구과제들은 산업에 직접적인 영향(6G, AI 보안 등)을 미치는 과제가 대다수인데, 사이버보안 연구 자체를 자유롭게 할 수 있는 과제 및 예산 편성 필요
  - 급변하는 기술 트렌드에 적응하고 신규 위협을 해결할 수 있는 역량을 가진 고급인재가 필요하므로, 연구 수행을 통해 역량 강화와 완전히 새로운 분야의 흥미로운 연구 결과가 도출되도록 구상 필요

- **(망분리의 장단점)** 망분리는 데이터를 옮기는 측면에서 힘들지만 잘 구성될 경우 공격 위협의 포인트가 많이 감소될 수 있고, 반면,내부망이 안전하다는 인식으로 인해 업데이트 률이 낮아 오히려 낮은 버전의 패치와 관리 소홀로 보안 위협 가능성이 높음

국가 미래전략기술 전문가 포럼 보고서

세션 1 국가전략기술의 전략적 육성 방안

주요 질문		주요 내용
1	소프트웨어 중심의 글로벌 동향에 따라 수요 맞춤형 반도체 및 AI 기술 개발	▪ 소프트웨어 기업에서는 초거대 AI 모델 비용 최적화 및 서비스를 위한 맞춤형 반도체 개발 추진. ▪ 모빌리티 기업에서는 자사의 목적에 맞춤화한 반도체를 개발하고, 기존 AI 알고리즘 및 라이브러리 활용하여 맞춤형 예측 모델 개발. 산업 특성을 고려하고 효율성 향상을 위해 맞춤형 AI 모델 개발 필요.
2	반도체와 AI 분야 첨단기술이 유관 기술에 미치는 영향	▪ 과거 군사 전략적 측면에서 첨단 무기 경쟁력 향상을 위해 반도체를 활용한 사례가 있으며, 현재는 핵무기 시뮬레이션에 활용되는 슈퍼컴퓨터를 통해 국방력을 강화하는 방향으로 진화. ▪ 초거대 AI 시대 도래로 클라우드 환경이 보편화되고 그 중요성이 증대. 기업에서는 초거대 AI 모델 서비스를 위한 제품 구축. 클라우드 시장의 경우 외산이 70% 이상 비중을 차지. MSP가 기업별 제품을 혼합하여 판매. ▪ 최근 모빌리티는 하드웨어에서 소프트웨어로 진화 추세. 실제 어댑티브 크루즈 컨트롤 또는 반자율주행 등 기능을 많이 활용. 기업에서는 모빌리티 전환을 위해 자사 수요 맞춤형 반도체 개발 및 소프트웨어 통합 플랫폼 구축. 모빌리티 관련 데이터 엔지니어링 및 스마트 모빌리티 기능 개발을 위해 AI를 적극적으로 활용. ▪ 2017년 트랜스포머의 등장으로 거대 시장이 하나로 통합, 이를 지원하기 위한 AI 반도체 단순화. 트랜스포머 패러다임의 변화로 소프트웨어가 발달. 압축 기술도 발달하고 있으나 아직 상용화 단계 전. 수요 기업에서는 하드웨어 기업과 협업하여 자사 모델에 적합한 반도체 개발 추진.
3	기술 통합적 관점에서 전략기술 육성 전략	▪ 정부는 AI 반도체 개발에 집중 투자하고 있으나, 거시적 관점에서 후방산업인 슈퍼컴퓨터 또는 시스템 제조기업에 대한 투자 필요. ▪ 국가전략기술적 측면에서 지속성 확보를 위한 메인 클라우드 사업 또는 AI를 할 수 있는 원천기술 확보 중요. 클라우드, 네트워크 및 AI 세 가지 영역의 차이를 고려해 향후 네트워크드 AI 시스템 구축 및 부가서비스 창출을 통한 사업 지속성 확보 필요. AI 스타트업 육성을 위해 수요와 공급을 고려해 투자 및 파트너쉽 활성화 필요. 클라우드 및 AI 발전을 위해서는 주요 생태계 발전과 클라우드상의 보안 중요. ▪ 모빌리티 관련 기획, 생산, 품질, 안전보건 등 다양한 영역에서 활발히 AI를 적용하고 있으나, 기업 내부 기밀사항 노출 유려 존재하므로 보안 측면에서 기술을 높게 설정하여 강화 필요. 현재 기존 AI 알고리즘 및 라이브러리를 활용하고 있으나, 사용자 중심 기술을 최대한 발굴 및 개발 필요.

주요 질문		주요 내용
		▪ 칩 개발 기업은 수요기업과 아이디어 및 방향성 등 논의를 통해 수요 맞춤형 반도체 개발 전략 필요.
4		▪ 국가전략기술은 명확한 목표설정과 함께 횡단적 측면에서 섹터 전체를 아우를 수 있는 기술 개발 전략 추진 필요. 완성품 중심의 기술 개발이 아닌 요소 기술 중심의 기술 개발 강화 필요. ▪ 부서별 과제를 하나의 과제로 통합 고려 필요. ▪ 사용자 경험 중심 기술인 모빌리티의 경우 개인정보 유출 관련 규제로 인해 기술 개발이 어려우므로 국가 차원에서 규제 개선 필요. ▪ 칩 개발 기업 중심이 아닌 수요 기업들과 함께 목소리를 공유할 수 있는 마련의 장 필요.
	추가 제언	

발표내용 요약 (1)

〈KAIST홀딩스 관계자〉

1. 반도체 관련 글로벌 시장 현황

- 국가 차원의 전략적 관점에서 전략기술 육성을 위해서는 글로벌 시장 역학(에 대한 이해)과 연구(기관)의 콜라보레이션 중요.
- 전 세계 반도체 시장은 약 700조 원(570억 달러) 규모를 형성하고 있으며, 연평균 성장률은 약 7%로 선진국의 GDP(연간 경제성장률 2%)와 비교하여 높은 성장률 기록.
  - 그중 컴퓨터 하드웨어 시장은 개인용 PC(220억 달러), 스마트폰(420억 달러) 및 클라우드 IT 인프라(100억 달러)를 통합하여 약 1,000조 원(740억 달러) 규모로 빠르게 확산하는 추세.
- IT 서비스 시장은 약 1,500조 원(1,123억 달러) 규모이고, 서비스 활용도가 높은 국가는 미국, 영국, 일본 순임. 주요 플레이어는 IBM, Cognizant, HPE, Tata consultancy Services, NTT Data와 같이 글로벌 IT 서비스 기업이 대부분임.
- 디지털 전환 시장은 2026년 약 4,000조 원(3,400억 달러)의 규모로 성장할 것으로 예측하며, 이와 관련한 분야로는 IT 서비스, 하드웨어, 모빌리티, 로봇, AI 등이 있음.
  - 그중에서도 현재 AI 시장은 약 250조 원(207.9억 달러) 규모로 연평균 약 39% 성장하여 2030년에는 2,500조 원(1,847.5억 달러)으로 성장할 것으로 예측됨에 따라 그 중요성이 높음.
  - 이처럼 AI 시장은 AI 하드웨어 또는 AI 소프트웨어 관련 서비스 시장이 빠르게 성장할 것으로 예상.

2. 과거와 미래에서 반도체의 군사적 활용

- 미국은 군사 전략적 측면에서 첨단 무기의 경쟁력을 높이기 위해 반도체를 활용한 사례가 있으나, 그 이후 기술혁신은 많이 이루지 못함.
  - 베트남전쟁 당시 공대공 미사일의 신뢰성(reliability), 즉 Aim7 미사일 명중률은 9%에 불과하여 투자 대비 실질적 결과가 좋지 않았으나, 90년대 초 걸프 전쟁 시 Aim7과 Aim9 결합 결과 약 30% 이상 명중률이 높아짐.
  - 이전 베트남전쟁의 결과를 바탕으로 첨단 무기에 대한 신뢰성을 높이기 위한 연구를 진행하였고, 특히 아날로그 미사일에 반도체(DPU, Data Process Unit)를 탑재하여 제어를 더욱 강화함으로써 미사일의 명중률을 높였음.
- 미국의 대중 수출규제는 초기 특정 기술 규제를 목적으로 하였으나, 현재는 모든 기술 개발을 규제하고 있음.

- 수출규제는 2014년 오바마 정부에서 시작하였으며, 핵무기 시뮬레이션에 활용되는 중국 슈퍼컴퓨터(톈허 2호)의 기술 규제를 목적으로 인텔 Xeon칩 수출을 금지하였음.
- 현재 바이든 정부에서는 특정 기술이 아닌 국가 안보에 영향을 미칠 것으로 간주되는 기술의 개발을 규제하기 위한 측면에서 디커플링·디리스킹화 함.

● 군사 전략적 측면에서 이전에는 미사일의 개별적 프로세서 기반으로 전략적인 능력을 강화하였음. 그러나 이제는 AI 및 이를 활용한 다양한 시뮬레이션, 고도화된 계산 등 슈퍼컴퓨터를 통해 국가의 역량을 높이고 국방력을 강화하는 방향으로 진화하고 있음.

● 최근 11월에 발표된 TOP 500 슈퍼컴퓨터 기업 목록을 살펴본 결과, 슈퍼컴퓨터 시스템 제조기업*이 있는 국가는 핵무기를 보유하고 있는 국가들임.

* HPE, 마이크로소프트, IBM, EVIDEN, Fujitsu, Dell EMC, Lenovo 등

3. 결론 및 제언

● 우리나라에서도 AI칩 개발에 대한 투자를 집중하고 있으나, 새로운 기회 또는 위협적인 요소로 다가올 수 있는 후방 산업인 컴퓨터 산업에 대한 투자 부족.

● 국가 차원의 거시적 관점에서 시스템 제조기업에 대한 투자 고민 필요.

- 러-우 전쟁이 산업에 미치는 영향을 살펴보면 IT 서비스, 통신 및 하드웨어는 부정적인 영향을 미쳤으나, 반도체는 아직 전장에서는 많은 분야에 활용되고 있는 바와 같이 긍정적임.

● 따라서 국가전략기술은 섹터(Sector)별 파운데이션(Foundation) 기반 접근 방식과 문샷형 목표 설정을 통한 전략적 추진 필요.

- 글로벌 비즈니스 기회 창출을 위해서는 기술을 개방 표준화하여 경쟁해 나가는 것이 필요.
- 기술의 특성에 따라 개발 지원 또는 직접 개발 방식과 같이 새로운 시도와 고민이 필요.

※ 엔비디아는 2010년 초반 미국 정부의 '고속 칩 인터페이스 개발을 위한 프로젝트에 참여 및 투자 지원으로 NVLink를 시작하였음. 이처럼 횡단적 측면에서 섹터 전체를 아우를 수 있는 기술 개발을 위한 프로젝트를 적극적으로 개발 및 기획할 필요.

4. (토론) 질문 및 의견

● 일본에서 IT 서비스에 투자하는 비중이 높은 이유가 궁금합니다.

- 일반 소비자용 IT 서비스를 하는 우리나라와 달리 일본 기업에서는 디지털 전환과 함께 산업용 서비스 및 연구용 서비스가 많이 진행되어 투자 비중이 높음.

● 추가 제언이 있으시면 말씀 부탁드립니다.

- 완성품 중심의 기술 개발이 아닌 요소 기술 중심의 기술 개발 강화 필요.

발표내용 요약 (2)

〈KT AI/Bigdata 사업본부 관계자〉

1. 생성형 AI와 클라우드 사업 현황

- 생성형 AI 시대의 도래로 클라우드 환경이 보편화되고, 초거대 AI 모델에 있어 클라우드가 중요해짐에 따라 자사에서는 클라우드 서비스를 위한 사업 확장 중.
  - 최근 AI컨택센터(AICC) 사업으로 실질적 수익 창출, 초거대 AI 모델 '믿음' 개발 및 사업화 추진.
- 2013년 통신사(Telco)의 클라우드 사업 성장 가능성을 염두하여 조사 연구한 자료*와 달리 2023년 현재 클라우드 시장의 70% 이상 외산이 차지하여 국내 기업(KT, 네이버)의 사업확장이 어려움.
  - MSP(Managed Service Provider, 클라우드 관리서비스 기업)는 AWS의 Direct Connect(DC), 구글 클라우드의 Cloud Interconnect(CI), MS Azure의 Express Route(ER) 혼합하여 판매.
  - AWS는 인공지능 플랫폼인 'AWS 베드락(Bedrock)'을 통해 플랫폼 위에 다양한 LLM을 서비스할 수 있도록 구축·지원.

* 클라우드 사업을 잘할 것으로 예상되는 통신사인 텔코를 주체로 밸류체인(value chain)에서의 전략적 포지션을 조사한 자료

2. 결론 및 제언

- 사업적 측면에서 메인 클라우드 사업 또는 AI를 할 수 있는 원천 기술이 없다면 MSP와 같이 클라우드 서비스를 혼합하여 판매하거나 부가서비스(Value-Added Service)*를 개발하여 판매 필요.

* 일종의 AWS 상단에서 어떤 부가서비스를 개발·판매하는 세일스포스(Salesforce) 또는 AWS에서 어떤 서비스를 개발·판매하는 대형 기업들임.

※ 세일스포스(Salesforce): 고객 서비스 매니지먼트를 주로 하는 클라우드 컴퓨터 솔루션 제공 업체

- 플랫폼 개발자가 방향성을 조금 달리할 경우 사업의 지속 가능성에 한계가 존재하므로, 국가전략기술의 경우 국가 이익과 경제 안보 측면에서 지속 가능성 확보 중요.
- 클라우드, 네트워크, AI 세 가지 영역은 조금 차이가 있기에, 향후 네트워크드 AI(Networked AI)를 통해 인포메이션 홀더(네이버, KT, MS 등)에 질의하고 서비스를 제공받는 형식의 시스템화 필요.
  - 클라우드와 네트워크는 플랫폼으로서 동작하는 영역이 조금 큰 반면, LLM 모델이나 초거대 AI는 데이터 주권을 보장받지 못하면 플랫폼화 되기 어려움.

- 전 세계적으로 MS가 시장을 독점하는 것을 반대하고, 우리나라에서도 MS에 모든 정보를 제공하지 않을 것이므로 MS가 모든 서비스를 제공하기는 어려울 것으로 예상.
- 네트워크드 AI 시스템이 구축되어도 가장 중요한 것은 부가서비스를 창출하여 판매하는 것이 사업의 지속성을 유지하는 방법으로 예상.

● 클라우드, AI 및 LLM을 발전시키기 위해서는 주요 테크사(네이버, KT)의 사업 성과보다는 주변 생태계 발전과 클라우드상에서의 사이버 보안 중요.

- 미국과 국내의 AI 스타트업 생태계를 비교해 보면, 미국은 기초 알고리즘을 연구하는 기관이 많은 반면, 국내의 경우 수익 창출이 어려워 그 비중이 극도로 낮음.
- 12대 전략기술군에 클라우드가 아닌 사이버보안이 포함되어 있는데, 사이버 클라우드상의 사이버 보안이 중요하다고 생각됨.

● 플랫폼이 아닌 인포메이션 홀더로서 동작할 수 있는 AI시대에서 전략적 사업을 육성한다면 어떠한 스타트업을 육성하고 근간을 만들어 나갈 것인가에 대한 고민 필요.

- 베스핀글로벌, 메가존클라우드와 같은 클라우드에 특화된 MSP 기업의 사업 성과가 우수하나, 현재 IT 구매 방식과 영업 등 비용 책정 구조로 인한 마이너스 실적 기록.

  ※ 메가존클라우드는 유수 엔지니어를 보유하고 있음에도 적자를 보는 중.

3. (토론) 질문 및 의견

● 국내 AI 이론 개발 업체의 수입이 대단히 낮다고 하였는데, 특허권 제도를 활용한다면 성장 가능성이 있지 않을까 생각됩니다. AI 스타트업 육성을 위한 방안이 궁금합니다.

- 특허를 통해 AI 스타트업을 육성하는 방안은 좋은 아이디어이나, 수요와 공급 측면에서 굉장히 어려운 영역임.
- 산업 생태계 활성화가 되는 것이 중요하며 공급과 수요 측면의 문제를 고려한 투자 및 파트너십 활성화 지속 필요.

● 추가 제언이 있으시면 말씀 부탁드립니다.

- 각 기업의 비즈니스 사업 체계가 상이함.

  ※ 네이버는 클라우드와 모델을 모두 보유한 반면, KT는 회사에 투자하고, 클라우드의 경우 자회사 보유, 모델은 타회사(AMB)를 통한 라인업 구성

- 엔비디아 칩을 쓰지 않더라도 엔비디아 기술자가 넘어올 정도로 시장에서 막강함.

  ※ 자사에서 엔비디아 칩을 쓰는 양이 삼성이나 네이버보다 적으나, AMD 기술자 대신 엔비디아 기술자가 넘어옴.

- 분과별 과제를 하나의 과제로 통합 고려 필요. AI 반도체의 활용 범위가 영상 엣지 외 바이오, 인공지능 등의 분야로 연계 확장 및 민간 협의가 가능할 것으로 예상.

발표내용 요약 (3)

〈현대모비스 선행연구센터 관계자〉

1. 모빌리티 사업 현황

- 모빌리티는 통상적으로 사람과 물류의 이동과 이를 위한 하드웨어, 서비스, 생태계를 포함하는 거대 제품군으로 정의하며, 다양한 영역의 사업군이 서로 연계·통합되어 비즈니스를 구성하고 있음.
  - 사업 영역은 기존의 자동차 제조사(현대자동차, GM)부터 클라우드서비스(네이버, KT) 또는 금융, 자동차 공유서비스(쏘카, SK렌트카) 등 전부를 포함하고 있으며, 잠재적으로 리테일 시장이 축소될 것으로 예상됨.

- 최근에는 자동차 광고를 통해서도 모빌리티가 하드웨어에서 소프트웨어로 전환하는 추세임을 알 수 있음.
  - 기존 광고에서는 자동차 가속(ex. 제로백)에 관한 캐치프레이즈(ex. 포르쉐의 'From Going to Gone in 3.2 seconds') 사용.
  - 최근에는 자동화, 연결성 등의 소프트웨어화를 의미하는 캐치프레이즈(ex. 미니의 'High-speed mobile device. wow outside. www inside.')를 적용한 광고가 있으며, 실제로도 어댑티브 크루즈 컨트롤 혹은 반자율주행 등 기능을 많이 활용하고 있음.

2. 미래 모빌리티를 위한 네 가지 요소

- 미래 스마트 모빌리티를 위한 네 가지 속성에 관한 예측으로 자율주행(로봇), 목적 기반 차량, 도시화 및 감정적 케어가 있음.
  - (자율주행) 모빌리티의 모션 자유도 증가와 자율주행을 통해 차량과 로봇의 경계가 사라지고 이동 수단으로서의 로봇으로 전환.
  - (목적 기반 차량) 개인소유 리테일 시장이 축소되고 있고, 점점 차량 공유(카 셰어링(Car Sharing), 카 헤일링(Car Hailing)) 서비스 시장이 확대되는 추세.
  - (도시화) 인구의 도시 집중, 물류와 승객 수송 확대, 주차 효율 증대 및 친환경적 공간 활용과 같은 변화 양상.
  - (감정적 케어) 현재 산업에서 가장 우려하는 사항은 자율주행에 대한 불안감으로 이를 개선하기 위한 감정적 케어에 관한 기술 개발 중.

3. 모빌리티 분야에서의 AI 활용 사례

- 자사에서는 모빌리티 전환을 위해 조직을 개편하여 요소 기술과 융복합을 통한 플랫폼 개발 중.
  - 전체를 아우를 수 있는 키워드는 자율주행, 전동화, 감성 스마트
  - 자사 활용 목적을 고려한 맞춤형 반도체 개발 및 소프트웨어 통합 플랫폼 구축 중.

- 모빌리티 관련 신소재, 데이터 엔지니어링, 스마트 모빌리티, 디자인 영역에서 AI 적용하고 있으며, 특히 데이터 엔지니어링 및 스마트 모빌리티 기능 개발을 위해 중점적으로 다루고 있음.
  - 설계 및 해석·평가 업무 효율성 향상 측면에서 AI를 활용하고 있으며, 설계 최적화를 위해 기존 AI 알고리즘 및 라이브러리 활용 맞춤형 빠른 예측(Fast Prediction) 모델 개발.
    ※ 형상 설계 최적화 관련해서는 상당 부분 생성형 AI로 대체
  - 하드웨어로서의 성숙도를 고려해 현재 생체 관련 기술*을 개발 중으로, AI 알고리즘을 활용하여 안전 케어 기술 중점 개발.
    * 신호처리(뇌파, 생체 신호) 기반 운전자 또는 탑승객의 상태를 판단하고, 판단 예측을 위해 ML/DL 기반 검증 모델 업데이트
  - 자율주행과 연계성이 높은 통합 샤시 시스템에서는 안전성 확보를 위해 AI 활용 제어기술 고도화 및 최적화.
    ※ 모빌리티에서는 리던던시(redundancy) 제동시스템 확보가 가장 중요

4. 결론 및 제언

- 기획, 생산, 품질, 안전보건 등 다양한 영역에서 활발히 AI를 적용 중이나, 기업 내부 기밀 사항에 대한 노출 우려 존재.
  - 마켓 인텔리전스에서 LLM 모델 및 클라우드 서비스 활용.
  - 자사 품질 또는 VOC(Voice Of Customer, 고객관리시스템)와 같은 빅데이터를 관리하고 판단 및 예측을 위해 AI 활용시 영업 노하우 또는 기밀 사항에 대한 노출 우려.
    ※ 제조 현장에서 산업 안전을 위한 영상 인식 이용에 AI를 활용하여 관제, 첨단 제조의 경우 생체 기술 개발시 활용
  - AI 및 클라우드 서비스 도입 전 보안적 측면에서의 고려 뿐만 아니라, 서비스 도입 후 적절한 활용 방안에 대한 모색 필요.
    ※ 실제 보안적 이슈로 프로젝트가 무산되거나 계류되는 경우도 있음.

- 사용자 중심 기술을 최대한 발굴하여 개발하는 것이 필요.

- 현재 오픈소스 AI 모델 및 라이브러리를 활용하고 있으나, 맞춤형 반도체와 같이 수요 맞춤화한 AI 모델을 활용할 수 있다면 더 효율적일 것으로 기대.

● 소프트웨어 기술 개발은 필수적으로 갖춰야 하는 소양이며, 기업에서는 도메인 지식 기반 소프트웨어 역량을 갖춘 인재가 적합.

- AI는 목적이 아닌 하나의 도구임.
- 기존 인력의 경우 내부 교육 프로그램*을 통해 역량을 강화하고 직무 및 포지션 변경 가능하며, 필요시 외부 교육기관 활용.

  * 소프트웨어 리스킬링 프로그램과 레벨별 유지 교육, 인증 시험 등 매트릭스 구조 교육 프로그램 운영

- 신규 및 고급 인력의 경우, 전공 분야가 다른 인재를 프로젝트별 배치하여 동료 간 보완할 수 있는 방식으로 진행하고, 부서 직무별 학·석사 인재 및 박사급 인재 적재적소에 배치.

5. (토론) 질문 및 의견

● 전쟁 등 특수한 상황에서 전자기기 공격에 대한 방어가 제대로 이루어지지 않으면 자율주행 산업 자체가 무너질 수 있을 것으로 예상됩니다. 이에 대한 기업의 대책 또는 대응방안이 궁금합니다.

- 군사적 측면에서 현재 대응은 미흡한 상황이나, 일반 사용 수준에서 국가별 혹은 모듈 유닛별 전자파 시험과 인증 획득.
- 최근 산업의 동향은 단일 통합 제어기 사용으로 차량 전체를 통제하려는 경향이 있으나, 상당 부분 보안 측면에서 기준을 높게 설정할 필요가 있음.
- 자사에서는 제어기 자체를 IVI(In Vehicle Infortainment, 차량용 인포테인먼트) 통합 제어기, 통합 샤시 시스템 등과 같이 분산하고 있음.

● 추가 제언이 있으시면 말씀 부탁드립니다.

- AI 반도체 또는 AI 로직은 인프라에 해당되는 기술인 반면, 모빌리티는 사용자 경험 중심의 기술이므로 관점이 다를 수 있음.
- 대표적으로 생체 기술은 개인 정보(뇌파, 혈압, 심전도 등)와 밀접한 관련이 있으며, 소비자들은 이러한 정보가 기업으로 유출된다는 점에서 거부감이 있음.
- 기업 내부적으로도 개인 정보 유출에 대해 관리하고 있으나, 규제적 문제로 인해 기업에서 적극적으로 기술 개발이 어려우므로 국가 차원에서 규제 개선 필요.

  ※ 미국에서는 미시간대학이 위치한 엠시티(MCity)에서 자율주행 기술을 시험하기도 하고, 지자체 또는 정부에서 적극적으로 기술을 유치 시도

발표내용 요약 (4)

〈네이버클라우드 관계자〉

1. AI 발전과 반도체

- AI 발전과 함께 트랜지스터 집적도가 증대하면서 새로운 시장이 형성됨.
  - AI 발전에 미치는 요소는 빅데이터, 컴퓨팅 파워, AI 알고리즘.
- 2017년 트랜스포머의 등장으로 모든 사업과 연구의 변화가 생겼으며, 특히 거대 시장이 트랜스포머 하나로 통합됨에 따라 AI 반도체도 단순화됨.
  - 트랜스포머 등장 이전에도 컴퓨터 비전, 언어 처리, 번역, 스피치 분야별 대표적인 AI모델이 매우 발달하였으나, 이후 트랜스포머가 하나로 통합됨.
    ※ (예시) 컴퓨터 비전의 경우 ResNets, 언어 처리는 LSTMs.
    ※ 트랜스포머를 잘 지원하는 반도체는 모든 AI반도체를 통합한 것과 같음.

2. 초거대 AI를 위한 반도체 시장 및 기술 현황

- 현재 초고속 통신칩 관련 시장 선두주자는 엔비디아와 브로드컴으로 오랜 노하우를 보유하고 있어 타기업에서의 시장진입이 어렵고, 보다 더 빠른 칩이 몇 년 안에 나오기 어려운 상황.
  - 엔비디아와 브로드컴의 경우, 거대한 자본을 바탕으로 20년 이상 축적한 기술을 가지고 수백 명의 엔지니어가 칩 개발.
  - 그러나 H100으로 오면서 고대역폭 메모리(HBM) 기술은 물리적 한계에 도달하였고, 가성비가 이전만큼 나오지 않고 있음.
    ※ 엔비디아는 라마(LLaMa) 이전의 OPT모델에 GPU 적용 시 2개 칩을 NVLink로 연결하여 사용.
  - 여러 개의 칩을 사용해야 한다면, 칩 개수를 줄이고 칩 하나가 할 수 있는 일의 범위 확대 필요.
- 초거대 AI 모델의 파급 속도가 크므로 이를 지원하는 칩 수요가 클 것으로 예상.
- 글로벌 빅테크 포함 수요 기업입장에서는 엔비디아 칩 성능이 지금보다 향상된다면 가격이 증가해도 무조건 매입할 의사가 있음.
- 현재 압축 기술이 발전하고 있긴 하나, 아직까지 칩에서 잘 활용되고 있진 않음.
  - 압축률이 높아지면 병렬이 깨어져 상용화되기 어려움. ASIC으로 만들어서 어떻게 하면 10배 이상의 압축 기술들을 실제 반도체에서 성능으로 끌어낼 것인지가 가장 큰 문제임.
    ※ AI 알고리즘 경량화에 대한 논문은 수만 편이 넘으나, 실제 칩으로 만들어진 사례는 없음.

● 생성 AI로 오면서 압축 기술에 대한 시각이 달라짐.

- 성능이 어느 정도 깨져도 주어진 모델 사이즈 대비 극한으로 끌어낼 수 있는 스코어가 무엇인지, 성능이 얼마나 부족한지를 봄.

※ (Quantization 예시) 4배 압축 시 속도가 4배 더 빨라지면 좋으나, 겨우 20~30%도 어려울 뿐만 아니라 어느 정도 가면 오히려 더 느려짐.

※ (Pruning 예시) 여러 압축 기술(각 웨이트 마다 또는 채널 전부 소멸 등)이 있는데, 대부분 70~80% 이상 압축하지 않으면 전혀 속도가 향상되지 않아 아직 상용화가 어려움.

3. 초거대 AI를 위한 반도체 개발 시 고려사항

● AI 반도체 개발 시 우선적으로 분석을 통한 방향성 설정 중요.

- 메타에서는 LLM모델 사이즈를 키우면서 구간별 프로파일링 소요 시간을 분석하고 가속 여부 판단을 통해 개발.
- 모델이 커질수록 행렬 연산이 차지하는 비율이 높아지며, 행렬곱(Matrix Multiplication)을 잘하는 반도체가 좋은 AI반도체임.

● 언어모델 사이즈 자체가 증대됨에 따라 요구되는 속도가 빨라지므로, HBM 기술 중요.

- ChatGPT와 같은 언어모델 서비스에서의 데이터 처리속도는 HBM 기술을 기반으로 정해짐.

※ GPU의 제너레이션의 경우, 아웃풋을 만들기 위해 장시간 동안 메모리에서 기다리고 있어 이동 효율이 떨어질 수밖에 없으므로 메모리가 중요.

- 글자 하나 나오는데 0.1초 소요된다고 가정 시, 0.1초에 몇백 기가바이트를 한번에 읽어야 되는 상황으로 초고속 칩이 필수적임.

※ (예시) LLM 모델로 가면 1초에 넷플릭스 영화(2시간, 고화질)를 30편 봐야할 정도의 고속 데이터 필요.

● 트랜스포머 기반으로 한 언어모델을 지원하기 위한 소프트웨어 개발 및 고도화 필요.

- CPU아키텍처가 CISC→RISC로 단순화됨에 따라 소프트웨어가 중요해졌으며, 트랜스포머 기반 모델 지원을 위한 소프트웨어 발달.

● 초거대 AI 모델의 비용 최적화를 위한 압축 기술 중요.

- AI 알고리즘 발전 속도가 너무 빨라 하드웨어로 따라잡기 어려움. 1년에 하드웨어가 30% 향상되기는 어려우나, 압축 기술은 2~3배 더 빨라지는 기능이 지속적으로 나올 것으로 예상.

4. 초거대 AI를 위한 반도체 개발 사례

● 자사에서는 초거대 AI 모델의 비용 최적화 및 서비스를 목적으로 하드웨어 기업인 삼성전자와 AI칩 공동 개발 추진.

- 최적화, 경량화 등 경험을 토대로 새로운 컨셉의 보다 경쟁력 있는 칩 개발 관련 사업화 추진.
- 자사에서 필요로 하는 기술력을 가진 엔지니어들의 역량, 방향성, 제조라인을 고려해 가장 적합한 회사와 협업 중.
- 칩 개발에서 중요한 이슈는 제조가 아닌 칩 설계 및 아이디어.
- 엔비디아, 인텔 등 글로벌 기업과 협업을 통한 소프트웨어 개발 역량과 풍부한 경험을 축적 및 노하우(AI알고리즘 재구성) 보유.

  ※ 네이버에서는 언어모델을 보유하여 내부적으로 구조, 사이즈 등에 관한 정보 공개 가능. 이에 언어모델은 하드웨어에 맞게, 하드웨어는 소프트웨어에 맞게 재구성 가능.
- 현재 10배 이상의 성능과 에너지 향상을 얻어내서 데모까지 공동 개발 마침.

5. (토론) 질문 및 의견

● 추가 제언이 있으시면 말씀 부탁드립니다.

- 사업의 목적과 유지 비용을 고려한 반도체 연구개발 필요.

  ※ 초거대 AI 모델 서비스 위한 다량의 칩 필요. 칩 필요량 고려 시, 현존하는 가장 저렴하고 전력 소모량이 낮은 것은 엔비디아 칩임.
- 칩을 도구로 보는 것이 아닌 어떤 목적의 도구인지가 중요. 즉, 수요 발굴 중요.
- 무엇보다도 성능 만족이 우선이며, 소프트웨어는 다른 프로그래밍으로도 구현 가능.
- 칩 개발 기업 중심이 아닌 수요 기업들도 함께 목소리를 공유할 수 있는 마련의 장 필요.
- 칩 개발 기업은 수요 기업(네이버, 카카오, KT 등)과의 아이디어 및 방향성 등 논의를 통해 필요로 하는 요소를 파악하여 맞춤형 반도체 개발 필요.
- 우수 반도체 인력 확보를 위해서는 하드웨어 및 소프트웨어 지식을 모두 겸비한 인력이 필요하며, 칩 개발 기업과의 연구개발을 통한 지식과 역량 공유 필요.
- 계약학과 운영 시 하드웨어 사용 목적을 고려하여 탄탄한 기본 지식을 습득할 수 있도록 교육 필요.

  ※ 기본(하드웨어) 지식과 응용(소프트웨어)능력 습득만으로도 충분, 실제 현장에서는 트렌드에 맞춰 필요 역량 습득 및 확보 가능

세션 2 국가전략기술 핵심인재 육성 전략

		주요 내용
1	산업수요 기반 인재양성	▪ 반도체, 이차전지 등 기술패권의 중심에 있는 산업군은 인재부족 현상을 해결하기 위해 계약학과, 특성화 대학원 등을 통해 적극적 인재 양성 전략 수행 ▪ 실제 산업 현장 문제를 경험할 기회를 제공함으로써 수요 기반 인재양성 전략 추진
2	고급 R&D 인재에 대한 기업의 적극적 수요	▪ 반도체, 이차전지, 6G 등 우리나라가 선도하거나 초격차를 유지해야 하는 기술군은 R&D 경쟁력이 국가경쟁력을 의미할 정도로 중요. 따라서 R&D를 통한 고급 인재양성에 대한 수요 존재
3	역량중심의 융복합 인재양성 필요	▪ 반도체는 설계-웨이퍼 생산-패키징-판매까지 전 과정에서 다양한 인재 역량이 필요하기 때문에 융복합 인재에 대한 수요 존재 ▪ 이차전지는 셀-패킹, 전고체, 자동차 샷시, BMS* 등 전기화학, 기계, 산업공학, IT분야 등 생태계 전체가 동시 성장하고 있어 전 공학분야 인재가 필요하며, 기술 간 결합과 연계성을 전체적으로 이해할 수 있는 역량을 보유한 융복합 인재 필요 * Battery Management System
4	도메인 지식과 기초역량 기반 AI 활용 능력 중요	▪ 반도체, 통신 분야 등은 가장 기본이 되는 도메인 지식과 STEAM 역량이 중요. 기초 역량을 바탕으로 전체를 아우를 수 있는 시각이 필요 ▪ AI기술을 가장 적극적으로 도입하고 있는 통신분야는 AI를 툴로 활용할 수 있는 능력도 매우 중요. 도메인 전문성을 기반으로 문제를 제시하고, AI라는 툴로 복잡한 문제를 해결할 수 있는 역량 필요 - 해당 과정에서의 AI전문가들과 협업 중요(AI전문가들이 통신지식을 익혀서 문제를 제공하고 해결하기에는 시간적 효율성이 떨어짐.)
5	수요 파악을 통한 인력부족 문제 해결 및 데이터 기반 인력양성정책 수립 필요	▪ 대학-기업 간 인재역량의 미스매치 해결 필요 ▪ 인력부족현상의 해결을 위해서는 인력 수요 파악에 근거한 정책 수립 필요 ▪ 역량 중심의 인력 데이터가 필요하며, 이를 통해 정확한 인력수급 현황 파악 및 정책 수립 필요 ▪ 인력의 경험, 역량, 이동 등에 관한 정보를 확보하여 중장기적 시각에서 데이터에 기반한 효율적 인재양성 정책 수립 필요

발표내용 요약 (1)

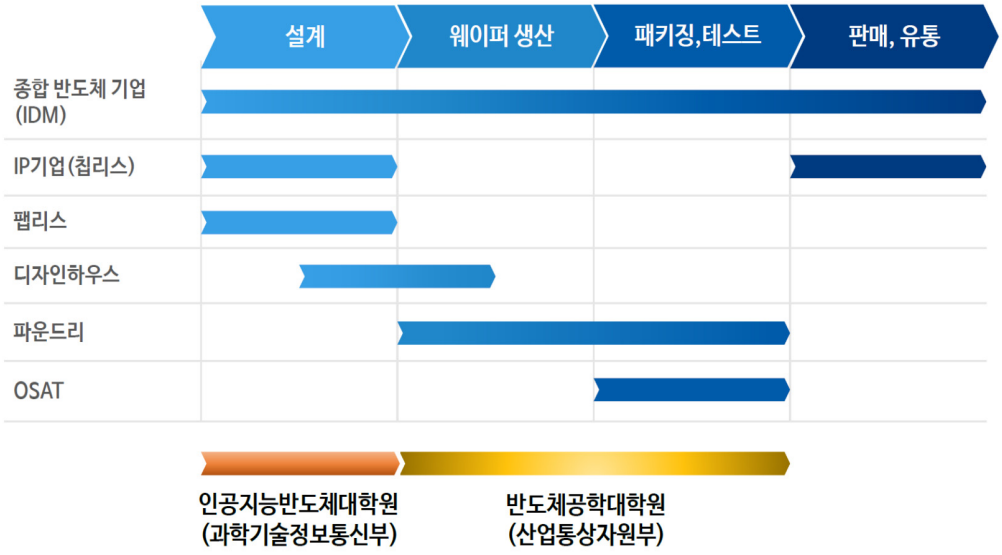
〈KAIST 반도체공학 대학원/교수〉

1. 반도체 산업의 중요성과 인재 양성의 필요성

- 반도체 산업은 국가의 미래를 결정짓는 중요한 분야로 우리나라뿐만 아니라 미국, 유럽, 중국, 대만, 일본 등 여러 국가에서도 핵심적인 산업으로 인식되고 있음. 이는 4차 산업혁명의 기본 인프라이자 글로벌 패권 경쟁의 중심에 있는 기술이기 때문임.

- 국가 반도체 경쟁력 제고의 핵심인 반도체 인재양성 현황
  - (대만) 우리나라보다 빠른 2021년에 5개의 우수 대학에서 반도체 대학원을 운영. 반도체 산업은 대만 경제의 50% 이상을 차지할 정도로 중요하기 때문에(우리나라는 약 15-20% 정도 차지) 반도체 인력양성에 집중
  - (우리나라) 2022년을 기준으로 향후 10년간 약 12만~13만명의 반도체 인력이 필요할 것으로 예측됨. 그러나 현재 우리나라의 반도체 관련 학과에서는 10년 간 약 4천 명의 석·박사 인력을 배출할 수 있으므로 인력 수급의 갭이 클 것으로 예상됨. 이러한 인력 부족은 국가의 글로벌 경쟁력을 약화시킬 수 있는 중대한 문제이므로 국가에서의 인재양성과 동시에 해외 인력 유입을 모두 고려해야 한다고 생각함.

- 설계, 공정 및 제조, 패키징, 마케팅까지 생태계가 이미 구축된 성숙 산업이므로 전주기 생태계를 아우를 수 있는 융합형 인재 양성 필요



2. 우리나라 반도체 인재양성 전략

- (학부 인재 양성) 전기및전자공학과 등 기존 관련 학과 및 계약학과 운영
- (석·박사급 인재 양성) 전기및전자공학과 일반 대학원, 반도체 특성화 대학원 운영
  - 특성화 대학원은 반도체 산업의 전체 생태계인 설계부터 제조, 패키징, 마케팅에 이르기까지 전 과정을 이해하는 융합형 인재를 양성하는 것이 목표이며, 산업 현장의 문제를 제공하고 있음.
- KAIST의 석·박사급 인재 양성을 위한 대학원 프로그램
  - (인공지능 반도체 대학원) 과학기술정보통신부의 지원을 받아 설계 분야의 인력을 양성, 연간 20명의 학생 양성을 계획.
  - (반도체 공학 대학원) 산업통상자원부의 지원으로 웨이퍼 생산, 반도체 칩 제조 공정, 장비, 소재 및 첨단 패키징 기술 등 반도체 전주기에 대한 R&D를 진행
  - ①반도체 교육용 시설 인프라 보유, ②34개 연구실(전기전자공학부, 신소재공학과, 물리학과, 기계공학과, 생명과학공학과)의 이 참여하여 반도체 설계, 공정, 소자 개발 등 다양한 융합 교육 제공, 양자대학원-인공지능 반도체 대학원-반도체 공학 대학원이 협업, ③실습중심, ④산업 현장과 연계된 프로젝트 진행 및 산업체 피드백 제공, ⑤지역기관 및 다양한 기업들과 컨소시엄을 통한 협력기반 구축
  - 특히, 산업 과제를 통해 학교에서는 배울 수 없는 주제(ex. 전류밀도를 향상하기 위한 결정화 기술 등)를 제공하여 현장 역량 강화

3. 질문 및 의견

- 반도체 특성화 대학원이 계약학과 및 기존 전기전자 학부 등과 취업 보장 이외의 차별점은 무엇인지 궁금합니다.
  - (수요 기반의 커리큘럼) 정부와 산업계의 수요를 반영한 커리큘럼을 통해 실제 현장의 문제들을 접할 수 있는 기회를 제공함으로써 산업계에서 필요한 인재를 양성하는데 초점을 두고 있음.
  - (학생들의 수요 충족) 반도체에 특화된 전문성을 대표적인 대학에서 함양하고자 하는 우수 인재들의 수요를 충족
  - 반도체 분야에 우수 인재를 유치함으로써 의대 쏠림현상 완화

- 인공지능 반도체 대학원(과학기술정통부)과 반도체공학대학원(산업통상자원부)가 동일하게 반도체 인력양성을 추진하고 있는데, 부처간 목표 차이나 괴리가 있지 않은지 궁금합니다.
  - 펀딩의 차이가 있을 뿐 반도체는 기본적으로 융합산업이기 때문에 어느 분야이건 함께 연구하고 있어 부처간 괴리감에 대한 어려움이 존재한다고 볼 수는 없음.

- 미래사회는 점차 영역간 특성이 불확실해 지는 사회로 변화하고 있음. 이에 따라 융복합적인 역량을 갖춘 인재가 필요할 것으로 생각됨. 다만, 융복합 적인 역량을 갖추기 위해서는 그 근간에 도메인 지식에 대한 기초 STEAM 역량이 뒷받침 되어야 함. 기업들도 이러한 역량을 갖춘 인재를 원하고 있음.
  - 반도체 산업에서 필요한 인력을 양성할때도 특정 기술분야에 국한되기보다 전체적인 시각을 갖추면서도 기초 STEAM역량을 보유할 수 있는 인재양성 전략이 필요.
  - 이를 위해 장기적 시점에서 사회에 필요한 인력양성 전략을 수립해야 미스매치 문제도 해결 가능할 것으로 생각됨.

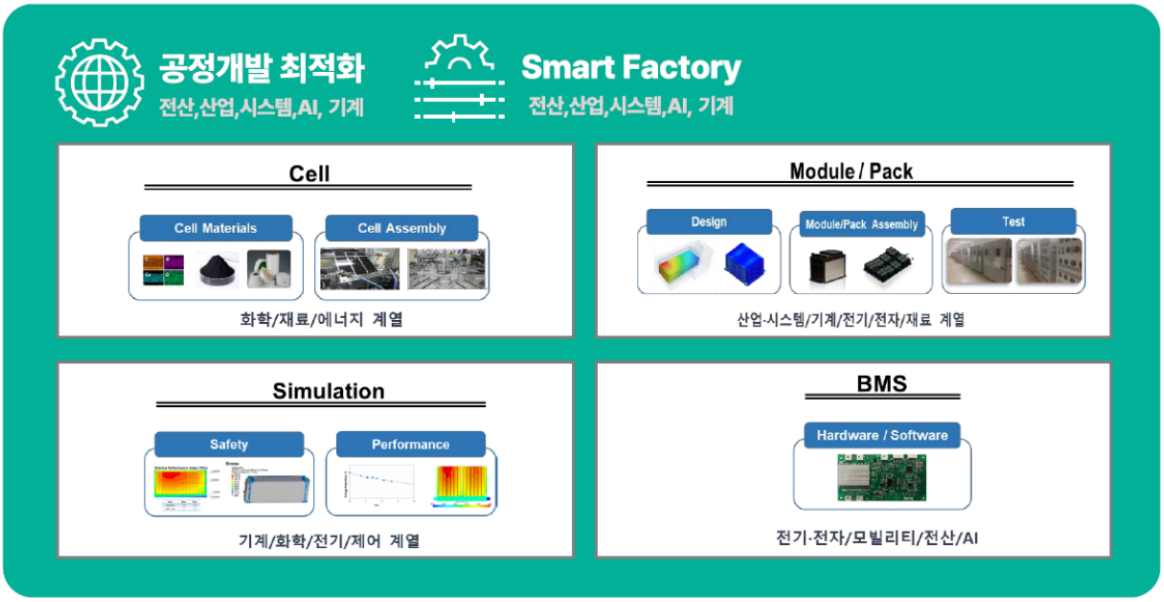
발표내용 요약 (2)

〈SKon 관계자〉

1. 이차전지 산업의 특징과 인재 수요 현황

- (급속 성장 산업) 이차전지는 급속하게 성장하고 있는 산업 분야이며, 관련 전 분야가 성장하고 있는 상황으로 밸류체인 자체도 같이 성장하고 있음.
  - 광물 소재 산업-셀 제조 산업-전기 자동차 산업- 인프라(전기 충전소 등)-리싸이클링 등이 시장 전반이 함께 성장하고 있는 대규모 산업
- (글로벌 산업) 미국, 유럽 등에 공장 건설을 적극적으로 확장 중이며, 미국 IRA, EU 배터리 규제 및 싸이클 등 국제적 표준을 고려해야 하는 산업임.
- (융합적 산업) 셀-패킹, 전고체, 자동차 샷시, BMS*에 들어가는 배터리 칩 개발, 스마트 팩토리 등 전 분야의 기술이 융합되어야 하는 산업분야임. 화학공학, 전기전자공학, 기계공학, 산업공학, AI 등 전 분야의 전문성이 융합적으로 필요

* Battery Management System



2. 인력수요 현황

- (빠른 성장에 따른 인력수요 급증) 빠른 산업 성장 대비 인력이 부족한 상황이며, 초·중급 인재는 어느정도 수급이 이루어졌다고 판단되나 고급인재는 항상 목표한 인력을 달성하지 못하는 실정임.
  - 반도체 산업이 가지고 있는 인력수급 사이클 궤도에 오르지 못했다고 판단하고 있으며, 기업에서 인재 확보를 위해 많은 투자를 하고 있음.
  - SK on은 2021년 정규직 기준 1,500명의 인원에서 2023년 현재 3,500명의 인원이 증가(2년간 2,000명 채용)했음에도 불구하고 R&D 인력 부족
- (글로벌 수요 대응을 위한 고급 인재 수요) 미국 IRA, EU 배터리 규제 및 싸이클 등 국제적 표준을 충족하기 위한 지속적 R&D 필요로 고급인력이 수요 존재
  - 중국을 제외하고 한국의 3개 기업이 글로벌 시장을 리드하고 있고, 관련 소부장 기업들과 완성차 기업도 글로벌 경쟁력을 보유하고 있으나 전반적으로 인력이 부족한 실정
- (산업의 융합적 특성을 이해하는 융합인재 필요) 산업의 성장이 너무 빠르다 보니 광물 기초 소재에서부터 리사이클까지 아직까지 영역이 불분명하기 때문에 전분야를 융합할 수 있는 인재가 필요

3. 기업의 인재확보 전략

- 산학 협력, 계약학과(UNIST, 성균관대학교, 한양대학교, KAIST, 연세대학교 등), 공동 연구센터 설립 등 전방위적 인재확보 전략실행
- (KAIST 계약학과 사례) 기계공학과, 모빌리티 대학원, 전산학부, 산업 시스템 공학과, AI 대학원까지 모두 참여하여 다양한 전공 기반의 학생들이 배터리를 공부하고 연구할 수 있도록 운영
- 이차전지 고급인재는 해외에서 선호도가 높은 편으로 해외 유출 방지를 위해 국내 연구소에서 고급인재를 인큐베이팅해서 글로벌 공장에 배치하는 전략 실행 중임.

4. 질문 및 의견

- 계약학과와 기존 이차전지 관련학과(화학공학과, 신소재 공학과 등)의 차이점에 대해 말씀해 주십시오.

- 계약학과는 인력에 대한 수요는 많으나 공급이 부족하여 자율시장에 맡기기 어려운 상황에서 기업이 직접 개입하여 인력공급을 하고자 하는 전략임.
- (미스매치 문제 해결) 아카데믹한 측면에서 이루어지는 R&D와 기업에서 원하는 R&D역량에는 차이가 있을 수 있어 기업의 R&D를 경험해 볼 수 있는 커리큘럼이 미스매치 문제를 해결하는 방안이 될 수 있음.
- 규모가 매우 큰 R&D는 특성화 대학이 아니고서는 실행하기 어려운 한계가 있으며, 학생들에게도 이러한 R&D에 참여해보는 경험이 매우 유익할 것으로 생각됨.
- (학생 수요 충족) 취업에 대한 안정성을 제공하기 때문에 진로에 대한 안정적 수요를 충족. 또한, 전공보다는 직무, 직무보다는 본인의 역량에 집중하고자 하는 학생들의 수요를 충족
- (단점) 사업의 호·불황 싸이클에 따라 학생들의 선호도가 달라짐.

● 이차전지는 생태계 전체의 성장이 중요하기 때문에 자동차에 적용되는 이차전지뿐만 아니라 ESS로도 시장규모가 확산될 수 있을 것으로 예상되는데 이와 관련한 인재양성 현황에 대해 말씀해 주십시오.

- SK on ESS 연구부서에서 R&D를 진행하고 있으며, SK가스에서 상용화사업을 진행 중임. 다만, 아직까지 생태계가 덜 활성화 되어 있어 수익성이 높은 편은 아님. 그럼에도 불구하고 어떤 프로그램을 통해 관련 학생들을 육성할지에 대해 기업에서도 고민하고 있음.

● 발표자의 이력을 보면 제철-수소-이차전지 순으로 인력이 많이 필요한 산업분야에서 채용을 진행하셨는데, 향후 인력 수요가 많을 것으로 예측되는 분야는 무엇일지 의견 부탁드립니다.

- 미래 모빌리티(도심형 이동 수단 등) 산업이 크게 성장할 것으로 예측되며, 이에 따른 인력수요도 많을 것으로 예상됨. 모빌리티의 동력인 이차전지도 동반성장할 것으로 생각되며, 이를 제어할 수 있는 AI인력도 많이 필요할 것으로 판단됨.

● 기술인력양성이라는 하나의 키워드를 바라볼 때 노동부에서는 실업률, 산업부에서는 GDP, 여성부에서는 양성평등, 교육부에서는 대학 정원 등 각기 다른 관점이 존재함. 그러나 인력부족의 원인을 거시적 관점에서 바라보고 해결할 수 있는 방안을 제시하는 것도 중요하다고 생각함.

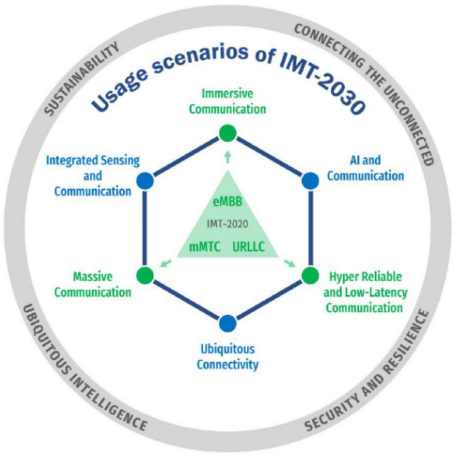
- 융복합 인재양성이 하나의 전략이 될 수 있음. 실제로 UNIST에서 셀분야를 전공한 학생이 테슬라 기가팩토리에서 공정 엔지니어로 활약하고 있는 사례가 있음. 즉, 전공에 따른 특정 분야로의 고착화가 이루어지기 보다 융복합 인재를 양성하여 학생의 진로 선택 다양화와 동시에 특정 분야의 인력부족문제를 해결할 수 있는 전략이 좋다고 생각함.

발표내용 요약 (3)

〈삼성리서치 6G 파트부문 관계자〉

1. 5G와 6G 기술의 차이점 및 기술 발달 방향

- (5G 3대 기술) eMBB(빠른 통신 속도), mMTC(소형 센서 및 장비), URLLC(통신의 안정성)
- (6G 기술) 5G 3대 기술에 AI, 통신 장비를 활용한 센싱, 커버리지 확대 기술(위성통신 등)이 추가되었고, 유스케이스별 필요 기능 제시



- 6G는 5G대비 속도를 높이는데 집중하기보다 통신 시스템 완성도를 높이거나 보완하는 형태로 기술 진화 예상
  - 통신 속도를 높일 수록 성능 최적화를 위한 계산이 매우 복잡해서 사람이 할 수 없는 상황에 AI 도입
  - 통신 트래픽, 인구 수에 따라 변화하는 데이터의 패턴을 분석하여 기지국 운영하는데 AI 도입 (기지국의 효율적 운영 및 전력 세이빙 효과)
  - 즉, 복잡성을 해결하기 위해 상황을 수식화하고 모델을 만들어서 AI로 문제 해결하고 있으며 통신 전 분야에 활용하고 있음

2. 인력 수요 및 양성 전략

- (기대 역량) 통신 분야 전문지식을 바탕으로 AI를 융합해서 활용할 수 있는 역량을 기대

- (신규 인력) 복잡성이 높거나, 시스템 모델이 없거나, 알고리즘 부재로 풀 수 없었던 통신분야 문제를 해결하는데 AI를 활용할 줄 아는 역량 및 경험 (삼성리서치, 애플, 구글 등 ICT기업의 인재기대 역량 동일)을 기대
- (기존 인력) ①기업 내 교육프로그램을 이용하거나 코세라, 교육부의 AI 온라인 교육플랫폼 등을 활용한 자체 역량 강화(전문가 프로그램은 수개월, 전처리, 딥러닝 등 단기 세부 프로그램은 3주 정도 소요), ②AI전공자들로 구성된 팀과 협업을 통한 역량 강화
- 통신분야 전공자는 문제를 제공하고, AI 전공자들은 함께 문제를 해결해 가는 역할로 협업 시 서로의 역량 강화가 이루어짐.
- AI를 툴로 활용할 줄 아는 기대역량이 강화됨에 따라 인력들의 통신전문성이 약화되는 경향도 있음. 문제를 제공할 수 있는 도메인 지식을 탄탄하게 습득하고, AI를 툴로 활용할 줄 아는 역량이 필요. 이러한 인재들이 기업에서도 좋은 포지셔닝이 가능.

3. 질문 및 의견

- 고급인재들은 도메인 지식과 AI를 활용할 수 있는 역량이 모두 필요하다고 하셨는데, 이 두가지 역량을 모두 함량할 수 있도록 지원하는 정부 프로그램 등에 대한 아이디어를 제안해 주십시오.
  - AI는 인프라 기술로 이해하고 있음. 다만, AI전공자들이 통신분야의 전문성을 숙련하려면 시간이 많이 소요될 수 있음. 따라서 통신분야 도메인 지식을 중심으로 해서 AI를 툴로써 활용할 수 있는 인재양성을 위한 교육 프로그램이 필요.

- 5G기술이 사회적으로 큰 환영을 받지 못하는 상황에서 6G기술이 등장했을 때의 기대감과 인식은 어떠할지와 기존 5G기술에 AI기술을 적용한 것보다 6G기술로 전환되었을 때 사용자 입장에서 어떠한 이점이 있을지 궁금합니다.
  - 네트워크를 인프라 관점에서 본다면, 스마트폰이 등장했을 때 LTE, 5G가 스마트폰을 활용할 수 있는 기반이 된 것과 같이 새로운 기술이 등장했을 때 안정적인 기반 인프라로 활용할 수 있도록 네트워크 기술을 미리 준비한다는 관점에서 바라보는 것이 필요.

발표내용 요약 (4)

〈한국직업능력연구원 인력수급분석센터 관계자〉

1. 재학 기간- 취업 후의 과업 비교 현황

- (과업 미스매치 발생) 바이오메디컬 분야 대상으로 대학 재학기간 동안의 과업과 실제 취업 후 과업을 비교한 결과, 과업의 미스매치가 발생한 것으로 나타남 (전미경제연구소 논문, 2023.02).
  - (인력) 재학 기간 중에 학습한 내용 및 성취와 관련하여 설명할 수 있는 상세한 포트폴리오를 보유하고 있지 않음.
  - (기업) 구인 시 상세한 직무기술서를 제시하지 않음.
  - 구직자와 구인자 간의 정보부족으로 과업의 미스매치가 발생하여 구직자는 취업 후 샐러리 패널티가 부여되는 현상이 발생
  - 샐러리 패널티를 받은 인력들은 이후 커리어가 정체되는 경향을 보임.
- 인력부족 현상을 해결하기 위한 인력양성 전략수립을 위해서는 과업의 미스매치 현상을 인력수급과 연계하여 면밀하게 분석해야 함.
  - 과학기술인력 수급을 위한 정책을 수립함에 있어 노동시장에 대한 정보 수요를 파악하는 것이 중요.

2. 고급인력 고용 직업 데이터

- 2021년 이공계 일반 대학원을 졸업한 졸업생들의 직업에 대한 통계 데이터에 의하면 ①전체의 20%에 대한 정보 부재(미취업 상태), ② 그외 20%는 사무직, 행정 경영 등으로 100명 중 20명은 취업을 못하고, 20명은 다른 분야로 취업하는 경향이 나타남.→ **일반 대학원을 졸업한 이공계 · 전공자들이 취업시장으로 이행하는 정보가 부재함.**

고용직업분류

2021년 일반대학원 졸업생 학과 소계열

직종	기계금속	생물화학환경	소재재료	전기전자	정밀에너지	컴퓨터통신	화공	총합계	비율
총합계	1,186	3,245	1,140	1,546	421	1,763	727	10,028	100%
미취업	212	605	158	286	102	380	67	1,810	18.0%
경영지원 사무원	198	298	213	318	46	222	120	1,415	14.1%
자연과학 연구원 및 시험원	136	621	169	94	93	78	130	1,321	13.2%
생명과학 연구원 및 시험원	23	776	45	15	28	20	84	991	9.9%
전기·전자공학 기술자 및 시험원	116	84	188	316	28	147	46	925	9.2%
소프트웨어 개발자	58	14	4	133	5	392	3	609	6.1%
화학공학 기술자 및 시험원	19	178	88	5	29	5	138	462	4.6%
기계·로봇공학 기술자 및 시험원	178	12	21	54	8	28	4	305	3.0%
안내·고객상담·통계·비서·사무보조 및 기타 사무원	34	29	9	33	5	33	8	151	1.5%
컴퓨터시스템 전문가	10	4		31		94	1	140	1.4%
금속·재료공학 기술자 및 시험원	23	7	84	9	-	4	5	132	1.3%
행정·경영·금융·보험 관리자	20	11	8	31	4	45	7	126	1.3%
경영·인사 전문가	12	6	22	23	3	36	3	105	1.0%
정부·공공 행정 사무원	15	53	11	7	4	8	7	105	1.0%
광고·조사·상품기획·행사기획 전문가	7	31	2	11	6	37	5	99	1.0%
인문·사회과학 연구원	6	48	8	11	7	11	7	98	1.0%
전기·전자 부품·제품 조립원	10	10	17	37	1	9	5	89	0.9%
데이터·네트워크 및 시스템 운영 전문가	9	9	1	12	2	44		77	0.8%
에너지·환경공학 기술자 및 시험원	10	32	7	3	6	5	9	72	0.7%
컴퓨터하드웨어·통신공학 기술자	3		3	35		28		69	0.7%
대학 교수 및 강사	2	32	7	4	2	14	4	65	0.6%

3. 효과적인 인력수급 정책을 위한 제언

- 급변하는 과학기술에 따라 부가가치를 창출할 수 있는 인력에 대한 수요가 급증하는데 비해 노동력 변화, 직무 이동 변화 등에 대한 정보가 부재한 실정으로 이에 대한 데이터 필요
  - 인재들의 역량을 파악할 수 있는 데이터를 수집하고, 이를 바탕으로 구인-구직자 간 미스매치를 해결할 수 있는 시스템 필요
    ex) IITP:정보통신기획평가원에서는 인재들의 경험과 역량을 취합해서 뱃지 형태로 제시함으로써 인력들 역량을 정보화
  - 이공계 분야 인재 부족으로 다양한 인재양성 정책을 수행하고 있으나 양성하고자 하는 인재의 수에 중점을 두기보다 인재 분포정보, 취업시장으로의 이행 정보 등을 바탕으로 인과 효과를 파악하고 장기적으로 모니터링할 수 있는 체계 필요
- 이러한 데이터들에 기반하여 인력수급 정책을 수립한다면 더욱 효과적인 인재 양성정책이 될 수 있을 것으로 생각됨.

4. 질문 및 의견

- 각 산업계에서 인력부족 현상을 겪고 있는 우리나라의 현재 상황에서 외국인, 고령자 등을 모두 포함하여 효율적으로 인력을 활용할 수 있는 전략 및 정책에 대한 의견 부탁드립니다.

- 인력부족을 단순히 계약학과, 특성화 대학원 등 인력 양성의 수를 증가시키는 관점에서 접근하는 것을 넘어 대학기간 내 학습 역량- 취업 후 필요역량에 대한 미스매치에 문제를 해결하여 발생하는 인적 손실을 감소시키는 전략이 중요. 이를 위해서는 대학-산업과의 연계를 강화, 경력단절 여성 인력을 활용할 수 있도록 보완적 장치 마련 등이 필요

● 급속하게 과학기술이 발전하면서 시대가 원하는 인재상도 빠르게 변화할 것으로 예상됩니다. 인재상이 변할 경우, 과거 데이터 기반을 통한 정책수립의 효율성에 대해 의견부탁드립니다.

- 인재상은 급변하기 보다 점진적으로 변화하다가 이런 변화가 축적되어 패러다임의 변화로 진화한다고 생각함. 따라서 과거부터 현재까지 인력에 대한 수요변화에 대해 면밀히 파악하는 것이 중요. 이를 위해 인력 데이터를 축적하고 구조화하는 것이 필요하며, 이를 기반으로 정책을 수립할 것을 제안함.