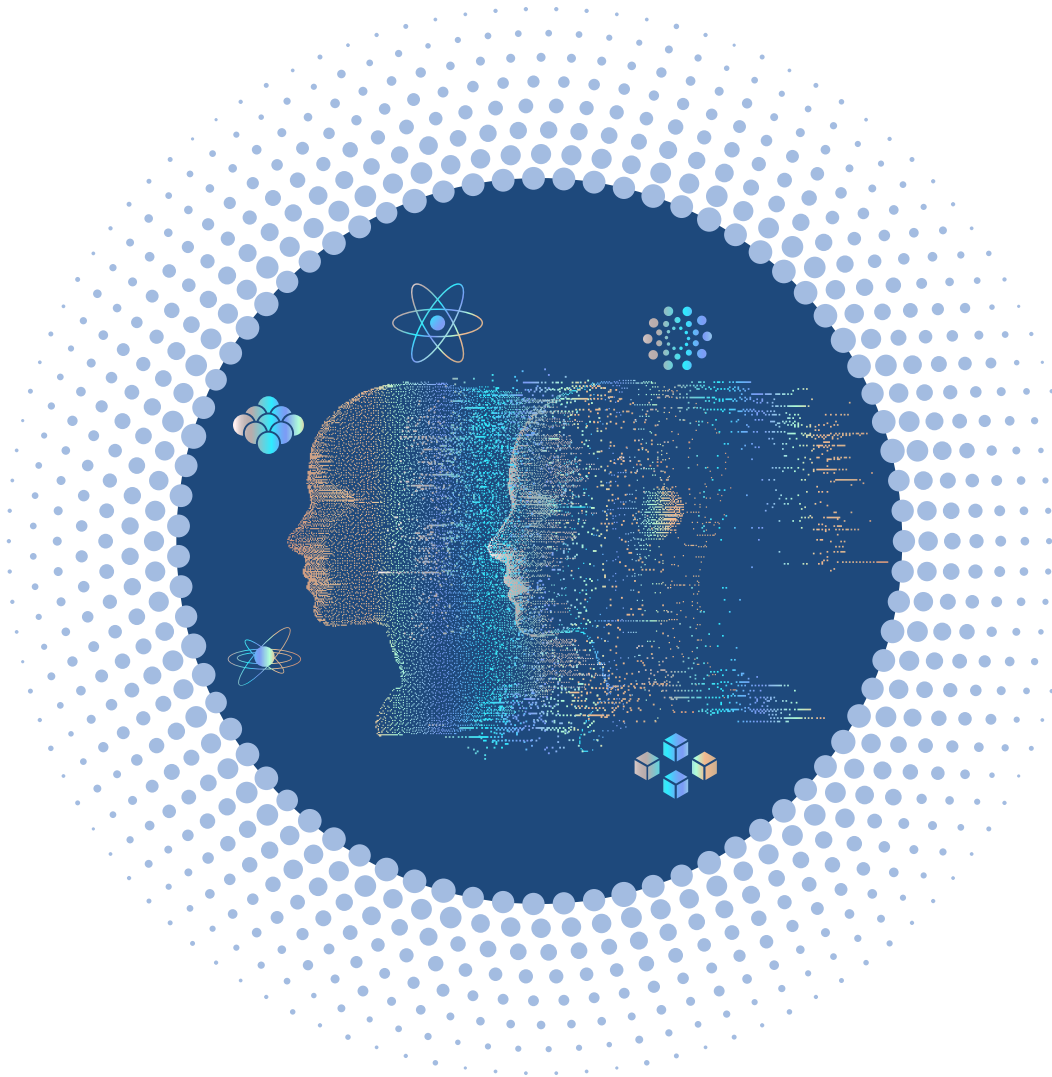


제195회 한림원탁토론회

양자컴퓨터의 전망과 도전: 우리는 무엇을 준비해야 할까?

일시 : 2022년 2월 14일(월), 15:00

(한국과학기술한림원 유튜브 채널에서 실시간 생중계)



초대의 말씀

빠른 속도로 진행되는 디지털 대전환 속에서 미래 산업과 기술 경쟁력의 핵심으로 꿈의 컴퓨터로 불리는 양자컴퓨터가 큰 주목을 받고 있습니다. 미국, 중국 등 해외 주요 국가들은 양자컴퓨터가 상용화되는 시대에는 지금과 차원이 다른 기술적 진보와 사회적 변화가 발생할 것으로 예상하며, 개발을 위한 정책 수립과 투자를 아끼지 않고 있습니다.

우리나라도 정부 차원의 지원과 정책이 추진되고 있으며, 올해 초 과학기술정보통신부에서는 미래 국가 경쟁력을 좌우할 첨단전략기술인 양자컴퓨팅 분야에 대한 정부 R&D 투자 확대 계획을 발표하기도 하였습니다.

이에 한국과학기술한림원에서는 양자컴퓨터 분야 최고 전문가분들을 모시고 우리나라가 양자컴퓨터에 대한 경쟁력을 갖추어 가기 위한 정책 방안을 모색하는 자리를 마련하고자 하오니 많은 관심과 참여 부탁드립니다.

2022년 2월
한국과학기술한림원

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 마련하고 국가사회 현안문제에 대한 과학기술적 접근 및 해결방안을 도출하기 위해 개최되고 있습니다.

사회 : 조영욱 교수 연세대학교 물리학과

시간	구분	내용
15:00~15:05 (5분)	개 회	개 회 사 : 한민구 원장 한국과학기술한림원
15:05~15:25 (20분)	주제발표 1	양자컴퓨터의 응용 및 비전 이진형 교수 한양대학교 물리학과
15:25~15:45 (20분)	주제발표 2	양자컴퓨터의 현황과 기술적 도전 김도현 교수 서울대학교 물리·천문학부
15:45~16:30 (45분)	지정 토론	
	좌 장	김태현 교수 서울대학교 컴퓨터공학부
15:45~16:30 (45분)	토론자	Quantum computing: dream or nightmare? 김윤호 교수 포항공과대학교 물리학과
		양자컴퓨팅 게임체인저 이준구 교수 한국과학기술원 전기및전자공학부
		KRISS의 양자기술 현황 및 연구 방향 문종철 팀장 한국표준과학연구원 양자기술연구소 초저온원자양자연구팀
		미래 모빌리티를 위한 양자컴퓨팅 기술 경우민 책임연구원 현대자동차그룹 융복합소재연구팀
16:30~17:00 (30분)	자유토론	
17:00	폐 회	

※ 본 토론회에서 논의된 내용은 한국과학기술한림원의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

발표자 및 패널 약력

사회



조영욱

연세대학교 물리학과 교수

- 한국차세대과학기술한림원 회원
- 前 KIST 양자정보연구단 선임연구원

주제발표자



이진형

한양대학교 물리학과 교수

- 양자정보과학기술 연구회 총무
- 한국연구재단 국책연구본부 전문위원
- 前 한국광학회 양자광학및양자정보 분과위원장



김도현

서울대학교 물리·천문학부 교수

- 한국차세대과학기술한림원 회원
- 연구재단 반도체 프로그래머블 양자컴퓨팅 연구개발단장
- 서울대학교 양자과학기술포럼 간사

좌장 및 지정토론

좌장



김태현

서울대학교 컴퓨터공학부 교수

- 서울대학교 공과대학 정보화위원장
- 국가과학기술자문회의 산하 양자기술특별위원회 민간위원
- 前 SK텔레콤 Quantum Tech. Lab. Project Leader

토론자



김윤희

포항공과대학교 물리학과 교수

- 한국과학상 수상(2021)
- The Optical Society (미국광학회) Fellow
- 한국광학회 성도광과학상 수상(2014)



이준구

한국과학기술원 전기및전자공학부 교수

- KAIST AI양자컴퓨팅 ITRC 센터장
- Qunova Computing 대표이사



문종철

한국표준과학연구원 책임연구원

- 양자기술연구소 초저온원자양자연구팀장
- 前 MIT-HARVARD CUA 연구원



경우민

현대자동차 융복합소재연구팀 책임연구원

- 현대자동차 글로벌R&D 전문가

I

주제발표

주제발표 1 양자컴퓨터의 응용 및 비전

- 이진형 교수 한양대학교 물리학과

주제발표 2 양자컴퓨터의 현황과 기술적 도전

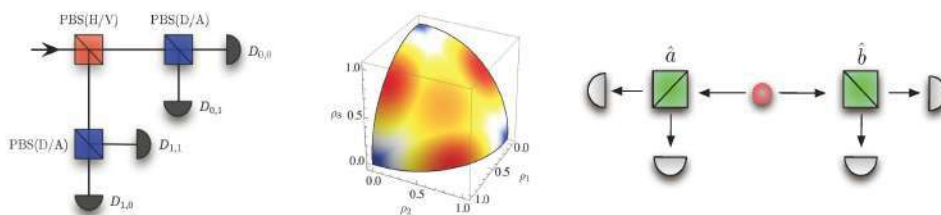
- 김도현 교수 서울대학교 물리·천문학부

주제발표 1 양자컴퓨터의 응용 및 비전

이진형

한양대학교 물리학과 교수

양자컴퓨터의 응용 및 비전



이진형
한양대학교

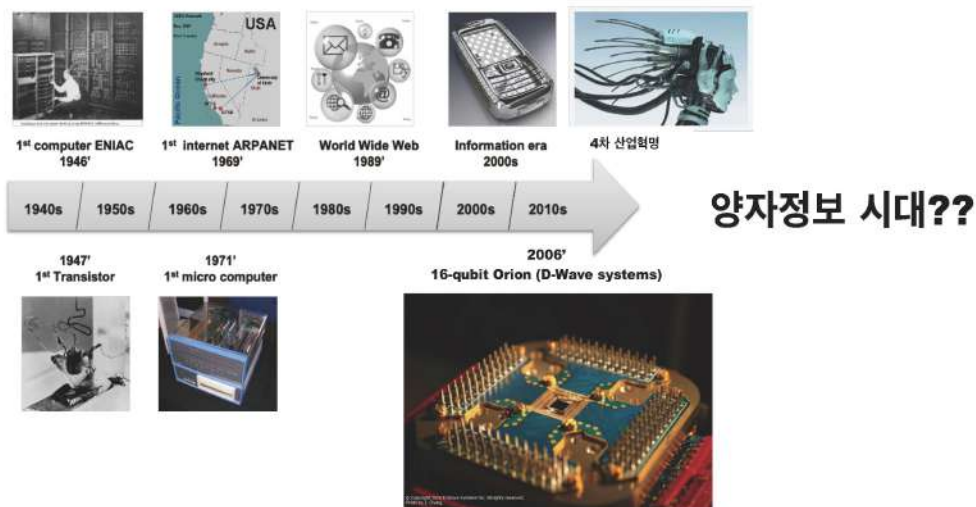
제195회 한림원탁토론회 2022년 2월 14일

내용

- * 양자 컴퓨팅의 소개
- * 활용 및 응용
- * 연구 개발 및 투자 현황
- * 발전 방향 및 비전

컴퓨터 역사

- * 1946년 에니악 개발 이후 전자 컴퓨터는 눈부시게 발전
- * 인터넷, 스마트폰, 머신러닝, AI, ...

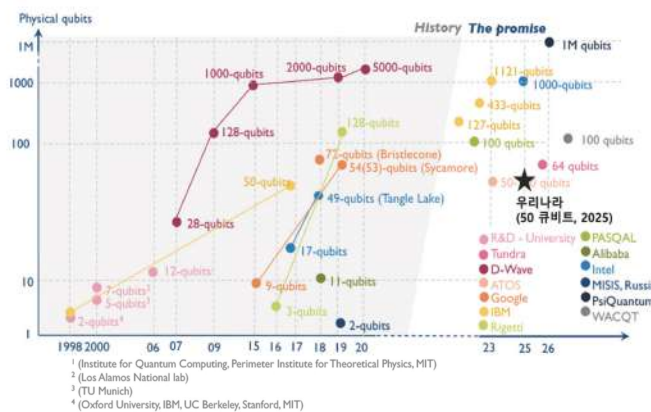


양자 컴퓨터

- * 1998년 2 큐비트 최초 개발 이후,
최근 IBM, google 등이 50개 이상의 큐비트 양자 컴퓨터 개발
- * 2026년 1000개 큐비트 개발 목표

1998-2026 Physical qubit roadmap for quantum computer

(Source: Quantum Technologies 2021, Yole Développement, June 2021)



양자 컴퓨터 분야의 주요 사건

년도	연구자	내용
1973	Bennett	가역 (고전) 컴퓨팅이 가능하다.
1975	Poplavskii	고전 컴퓨터로 양자 시스템을 모사하는 것은 불가능하다.
1976	Ingarden	고전정보 이론은 양자계에 적용할 수 없다. 새로운 이론인 양자정보 이론 제안.
1982	Benioff	양자 컴퓨터 제안.
1982	Feynman	양자 컴퓨터 제안, 고전 컴퓨터로 양자계를 모사하는 것은 효율적이지 못할 것으로 예상.
1982	Wotters and Zurek 독립적으로, Dieks	복제 불가 정리.
1985	Deutsch	범용 양자 컴퓨터 제안. 범용 양자 컴퓨터로 다른 양자 컴퓨터를 효율적으로 모사 가능함을 증명. Church-Turing thesis의 양자 버전.
1985	Peres	양자 오류정정의 필요성 역설.
1988	Yamamoto and Igeta	CNOT 게이트를 원자와 광자로 처음 구현.
1989	Chakrabarti et al.	양자 터널링 효과를 이용한 양자 어닐링의 모형을 제안.
1992	Deutsch and Jozsa	Deutsch-Jozsa 알고리즘 발명. 첫 양자 알고리즘.
1994	Shor	소인수 분해 양자 알고리즘 발명.
1994	Chuang and Yamamoto	Deutsch 알고리즘 구현을 위한 양자 광학 구현 제안.
1994	Cirac and Zoller	트랩 이온으로 CNOT 게이트 구현 제안.
1995	Shor	첫번째 양자 오류정정 방법 제안.
1995	Monroe and Wineland	트랩 이온으로 CNOT 게이트 처음 구현.

년도	연구자	내용
1996	Grover	데이터베이스 탐색 양자 알고리즘 발명.
1996	Steane	오류정정 코드 (Steane code) 설계.
1996	DiVincenzo	양자 컴퓨터 개발을 위한 최소 필요 조건 제시.
1997	Cory, Fahmy, Havel, Gershenfeld and Chuang.	NMR으로 양자 게이트 구현.
1997	Kitaev	위상 양자 컴퓨팅 제안.
1997	Loss and Divincenzo	양자점으로 구축하는 양자 컴퓨터 제안.
1998	Jones and Mosca, Chuang et al.	2개 큐비트(NMR)로 Deutsch 알고리즘과 Grover 알고리즘 최초 구현.
1998	Kane	실리콘 NMR 양자 컴퓨터 제안
1998	Hishimori et al.	양자 어닐링이 고전 어닐링보다 좋다는 사실을 증명.
1998	Gottesman and Knill	특정 양자 계산이 고전 컴퓨터로 효율적 모사를 할 수 있음을 증명.
1999	Nakamura and Tsai	초전도 큐비트 구현
2000	Pati and Braunstein	양자 삭제 불가 정리 증명. 복제 불가 정리와 함께 모르는 양자 정보는 생성도 삭제도 불가능하다.
2001	Liden and Popescu	대부분의 양자 작업에서 양자 얽힘이 필요 조건임을 증명.
2001	Knill, Laflamme, Milburn	단일 광자 광원과 단일 광자 검출기가 있다면, 선형 광학 양자 컴퓨팅이 가능함을 증명.
2001	Raussendorf and Briegel	측정 기반 양자 컴퓨팅을 제안
2003	Blatt et al.	트랩 이온으로 Deutsch-Jozsa 알고리즘 구현.
2006		12개 큐비트 양자 컴퓨터

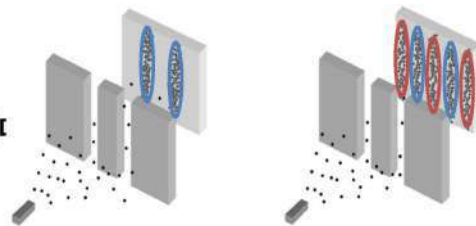
양자 컴퓨터: 구현 물질 기준

- * 모든 정보는 물리계를 거쳐 처리된다.
- * 물리학 법칙이 정보처리의 근본 성능을 결정한다.
 - * 예시) 빛은 소리보다 빠르다.
- * 양자정보학
 - * 양자정보학 = 양자물리학 + 정보학
 - * 고전정보학 = 고전물리학 + 정보학
 - * 양자물리학은 고전물리학과 굉장히 다르다.



양자 컴퓨팅이 빠른 이유: 양자 규칙 vs 고전 규칙

- * 양자 중첩, 양자 얽힘 등에 기인한,
“비고전 양자 규칙”이 양자 컴퓨팅을 빠르게 하는 원인이다.
- * 고전 규칙: 논리 (**Boolean algebra**), 예) 조건 명제: $a \rightarrow b$
 - * 왼쪽 틈새 통과 \rightarrow 왼쪽 흔적
 - * 오른쪽 틈새 통과 \rightarrow 오른쪽 흔적
- * 고전 확률 표현: $P(a \rightarrow b)$
 - * (왼쪽 틈새 \rightarrow 왼쪽 흔적)과 (오른쪽 틈새 \rightarrow 오른쪽 흔적)만 가능하다.
- * 양자 규칙
 - * 추가 규칙: 고전 규칙에서 불가능.
 - * (양자 중첩 \rightarrow 중앙 흔적) 등이 추가된
- * 양자 정보학: 양자 규칙을 활용.



고전 규칙

양자 규칙

양자정보 기술 분류



양자 컴퓨터 종류

* 구현 모형

- * 회로 기반 양자 컴퓨팅, 측정 기반 양자 컴퓨팅, 단일 양자 컴퓨팅, 위상 양자 컴퓨팅, 분산 양자 컴퓨터, ...

* NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) 컴퓨팅

- * 대규모 이전 단계로,
작은 잡음을 허용하는 중간 규모 양자 컴퓨팅

* 구현 물질

- * 초전도 큐비트, 트랩 이온 큐비트, 광자 큐비트, 반도체 큐비트, 중성 원자, ...
- * 새로운 후보 물질 꾸준히 연구

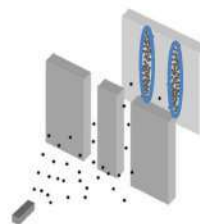
* 활용 관점

- * 범용 양자 컴퓨터, 양자 시뮬레이터, 양자 머신러닝, 분산 양자 컴퓨터, 에뮬레이터 등

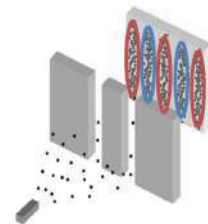
활용 및 응용

양자 알고리즘

- * 양자 범용 컴퓨팅은 고전 범용 컴퓨팅을 포함한다
(양자 **Church-Turing thesis**).
- * 양자 알고리즘 — 고전 알고리즘보다 훨씬 더 빠른 알고리즘
 - * 모든 양자 컴퓨팅 알고리즘이 고전 알고리즘보다 빠른 것은 아니다.
 - * 일반적으로 양자 연산 속도는 고전 연산 속도보다 훨씬 느리다.
 - * 동등한 알고리즘이라면, 양자 컴퓨팅이 고전 컴퓨팅보다 훨씬 느리다.
 - * 비고전 양자 규칙을 활용한 알고리즘이 빠른 잠재성을 가지며,
이는 항상 확인이 필요하다.
 - * 양자 알고리즘을 찾는 보편적인 방법을 알지 못한다.



고전 규칙



양자 규칙

발명 또는 발견된 양자 알고리즘

- * 양자 푸리에 (**Fourier**) 변환 기반
 - * 대표 — 소인수 분해 알고리즘, 양자 위상 추정 알고리즘, 숨은 부분군, ...
- * 확률진폭 증폭 (**amplitude amplification**) 기반
 - * 대표 — 데이터 찾기 알고리즘, 양자 세기 (**counting**), ...
- * 양자 걸음 (**walk**) 기반
- * **BQP-complete** 문제
 - * **BQP (bounded-error quantum polynomial time)** — 문제 해결(한계 오류 내에 수렴)을 위해 다항 함수 시간이 걸리는 양자 알고리즘. 참고) 고전 대척점, **BPP** = 한계 오류 내에 들어가기 위해 다항 함수 시간이 걸리는 확률 알고리즘.
 - * 대표 — 양자 시뮬레이션, 선형 방정식 풀기, ...
- * 양자/고전 융합 (**hybrid**) 알고리즘
 - * 대표 — **QAOA, VQE**, ...
- * 양자 머신러닝
 - * 대표 — **SVT, QBM**, 양자/고전 융합 머신러닝, ...

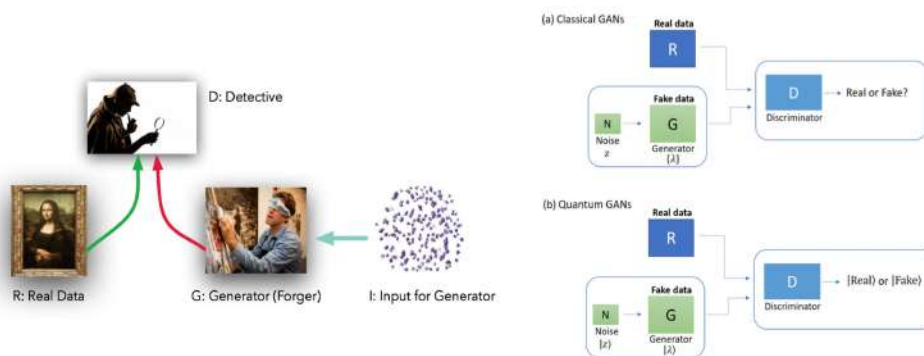
양자정보과학기술 연구회 위키 <https://wiki.quist.or.kr/>

활용 및 응용이 기대되는 도전 분야

- * 머신러닝, 인공지능(**AI**)
 - 다양한 활용. 음성, 이미지, 필기 인식 등 빅데이터 처리
- * 계산 화학
 - (암모니아) 비료 생산 촉매, 고온 초전도체, (환경) 이산화탄소 제거 촉매, 고체 배터리 등
- * 신물질, 신약 설계 및 개발
 - 주로 **trial-error** 방식 채택, 화학 반응 규명,
- * 사이버 보안
 - 사이버 공격을 방어, 암호 생성,
- * 물류 및 주식 투자 등 경제
 - **Monte-Carlo** 모사, 주식 투자 모형, 물류 최적화,
- * 기상 예보
 - 많은 기상 변수 처리, 기상 패턴 인식 (양자머신러닝), 정밀 기상 모형 개발

활용 및 응용이 기대되는 도전 분야

- * 머신러닝, 인공지능(AI) — 다양한 활용. 음성, 이미지, 필기 인식 등 빅데이터 처리
- * QuGAN (Quantum Generative Adversarial Networks)
- * GAN — 가짜와 진짜 구별

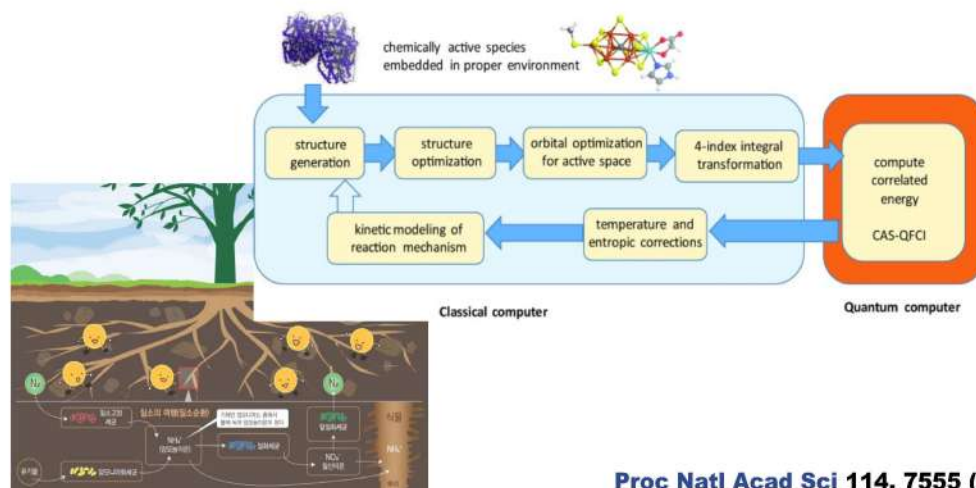


arxiv 1804.08641 (2018)

<https://medium.com/@devnag/generative-adversarial-networks>

활용 및 응용이 기대되는 도전 분야

- * 계산 화학 — 질소 고정 효소, 고온 초전도체, 이산화탄소 등 환경 오염 물질 제거, 고체 배터리 등
- * 질소 고정 효소 — 공기 중 질소를 암모니아로 전환하는 효소. 비료 생산.



Proc Natl Acad Sci 114, 7555 (2017)

<https://m.khan.co.kr/science/science-general/article/202002062153005#c2b>

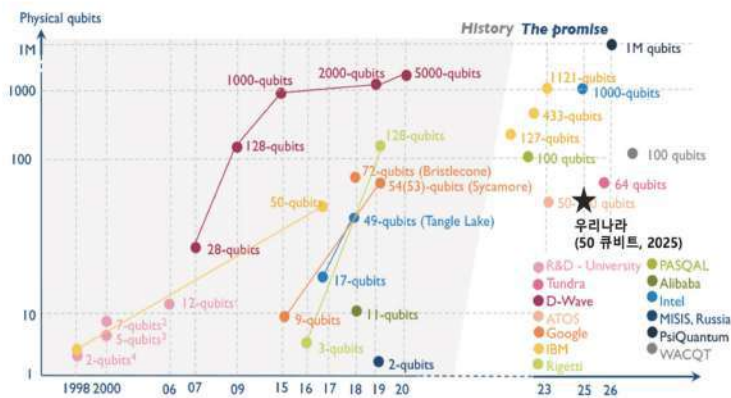
연구 개발 및 투자 현황

양자 컴퓨터 로드맵 (큐비트 개수)

- * 1,000,000개 큐비트 구현 필요
- * 2025년 직후 1000개 큐비트 구현 목표
- * 국내 50개 큐비트 구현 목표

1998-2026 Physical qubit roadmap for quantum computer

(Source: Quantum Technologies 2021, Yole Développement, June 2021)



¹ (Institute for Quantum Computing, Perimeter Institute for Theoretical Physics, MIT)

² (Los Alamos National lab)

³ (TU Munich)

⁴ (Oxford University, IBM, UC Berkeley, Stanford, MIT)

해외 연구 현황 및 주요국 정부 투자 현황

 US National Quantum Initiative Act proposes US\$1.2 billion over 5 years	 China's National Lab for Quantum Info Science received 7B RMB in funding
 Canada invested over CAN\$1 billion over the last decade	 UK program has exceeded £1B in cumulative investments since 2013
 EU Quantum Flagship program budgeted at €1.0B over 10 years	 Japan set aside more than 30B yen for quantum in a 10-year research plan

- * 각국 정부가 장기적, 구체적 투자 계획
- * 전략 기술로 전환 중
- * 학연계-정부-산업계가 연동

양자 분야 투자 규모 (제멋대로 기준, 표면적)

- * 전 세계 추정치 = 24400백만달러 (3.9조원)
- * 한국 추정치 = 37백만달러 (44.5억원, 0.15%)



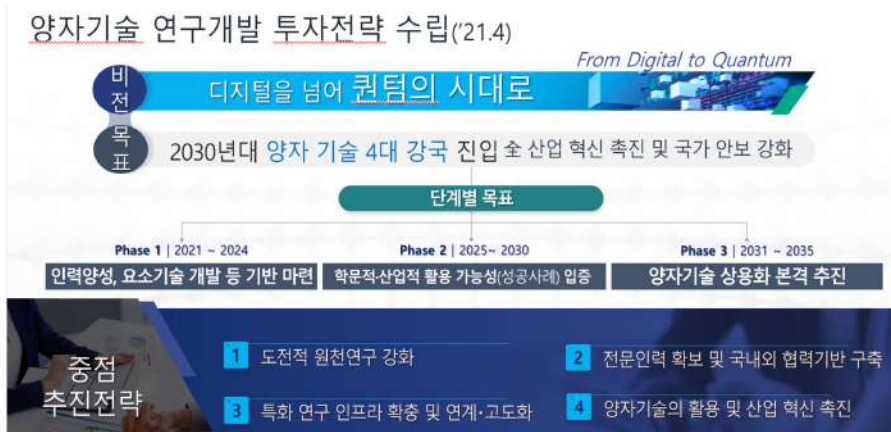
양자 컴퓨팅 관련 기업

- *글로벌 기업 뿐 아니라
학연에서 **spin-off** 한 스타트업 다수



<https://sifoundry.medium.com/>

국내 정부 투자 전략 (2021년 4월 기준)



- * 장기적 인력 양성 포함, 공격적 투자 계획
* 참고) 2022년 약 800억 투자 계획 (2021년 약 450억 대비 약 2배 증가)

- * 국가기술자문회의의 산하 “양자기술 특별위원회” 설치**

과학기술정보통신부(2021.12.10.), 「양자기술 육성 방향 및 추진 계획」, K-Quantum Square

국내 학연산 현황

* 학연 현황: 개인 연구 중심 \Rightarrow 집단 연구 중심

연구분야	대학 교수			
범용 양자컴퓨팅 (26명)	초전도 소자	3명	소자 제어	1명
	이온 트랩 소자	4명	알고리즘	2명
	NV-중심 소자	2명	기반 이론	2명
	양자점 소자	3명	emulator	3명
양자 시뮬레이션 및 양자 머신러닝 (17명)	중성 원자/분자	7명	알고리즘	2명
	광자 및 광학	4명	양자 머신러닝	4명
양자 센싱 및 이미징	11명			
양자통신 및 암호	10명 + alpha			
양자정보과학 (기반기술)	13명			

대학 71명

연구분야	ETRI + KIST + KRISS			
범용 양자컴퓨팅 (13명)	초전도 소자	2명	소자 제어	1명
	이온 트랩 소자		알고리즘	2명
	NV-중심 소자	4명	기반 이론	1명
	양자점 소자	2명	emulator	1명
양자 시뮬레이션 및 양자 머신러닝 (10명)	중성 원자/분자	1명	알고리즘	1명
	광자 및 광학	7명	양자 머신러닝	1명
양자 센싱 및 이미징	8명			
양자통신 및 암호	7명			
양자정보과학 (기반기술)	7명			

3개 연구소 45명

* 기업 현황

- * 통신 3사 - SKT, KT, LG U+, LG 전자, 삼성 전자, 현대자동차, SK하이닉스, 포스코, 한국전력 등
- * 학연에서 spin-off 된 스타트업 거의 전무

발전 방향 및 전망

* 범용 양자 컴퓨터 상용화는 아직 불확실성이 크다.

- * 하지만, 그 파급 효과는 매우 크기 때문에,
연구 및 개발을 지속적으로 할 필요가 있다.
- * 주요 선도국은 양자정보 기술을 전략 기술로 이미 취급하고 있다.

* NISQ 양자 컴퓨팅은 가까운 미래에 실현될 가능성이 높다.

- * 작은 잡음을 허용하면서 중간 규모의 양자 컴퓨팅은 실현 가능성이 높다.
- * 양자 시뮬레이션, 양자 머신러닝과 같은 (특수 목적) 양자 컴퓨팅도
다양한 분야에 다양한 활용이 가능하다.

발전 방향 및 전망

* 전략(?)

- * 범용 양자 컴퓨터 개발을 꾸준히 하면서,
- * 동시에 특수 목적 양자 컴퓨터를 연구 및 개발하는 전략이 필요하다.
- * 이를 위한, 연구 개발 생태계를 조성할 필요가 있다.
- * 가장 중요한 것은 전문 인력 양성이다.
 - * 저변 확대, 교육 프로그램 개발, 교수진 확보 등.

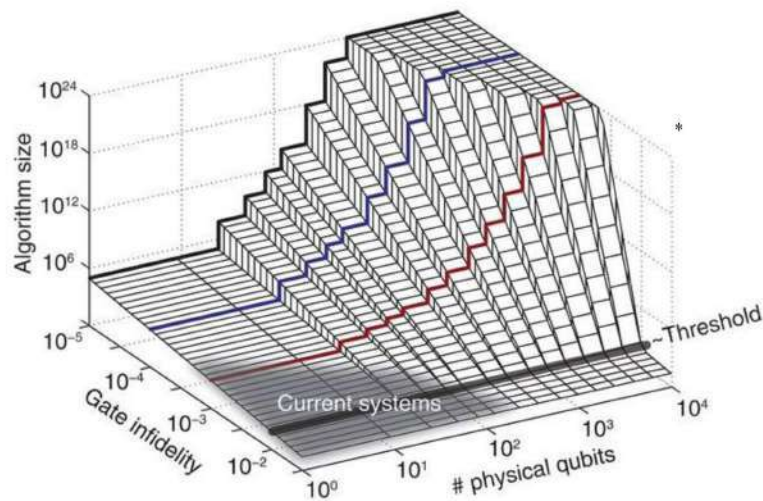
	2023	2025	2030
양자컴퓨터/ 양자시뮬레이터	• 양자컴퓨터/양자시뮬레이터의 연구, 원천 기술 확보.	• 50 큐비트 초전도 양자컴퓨터 및 클라우드 • 유용성 검증	• 양자컴퓨터/시뮬레이터 이용 • 머신러닝 등 실용적인 문제 적용
양자통신/ 양자네트워크	• 양자암호통신의 산업 응용 확대 (기술수출) • 한반도 양자암호통신 네트워크 구축	• 실환경 양자암호교환, 다중 양자얽힘 분배 구현 (수십 km) • 양자네트워크에 적용할 수 있는 양자메모리 기술	• 양자컴퓨터/양자센서에 양자네트워크 연결/지원
양자센서		• 양자 자기센서의 산업 응용 (배터리 QC 등)	
인프라/생태계	• 인력 배출 • 기술 경쟁력 있는 스타트업 3개		

주제발표 2 양자컴퓨터의 현황과 기술적 도전

김도현

서울대학교 물리·천문학부 교수

한림원 원탁토론회



양자컴퓨터의 현황과 기술적 도전



김도현

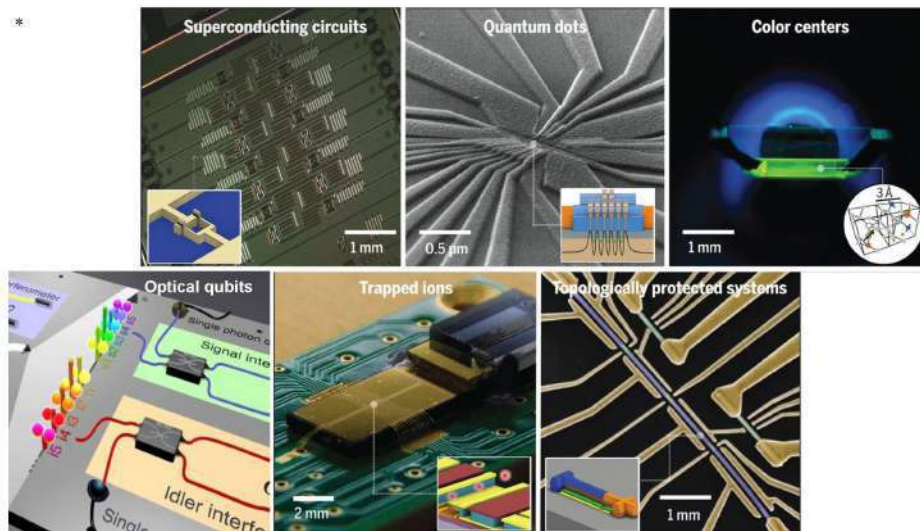
서울대학교 물리천문학부

**Science, 372 253 (2021)*

1

Background

다양한 양자컴퓨팅 플랫폼



*Science. 372 253 (2021)

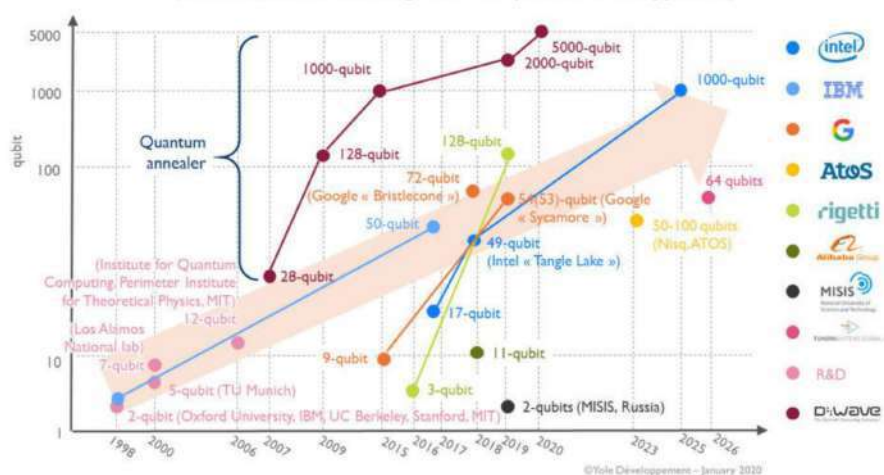
1

Background

양자컴퓨터 하드웨어 현황과 로드맵

Physical qubit roadmap for quantum computer

(Source: Quantum Technologies 2020 report, Yole Développement)



See also: 주요 하드웨어 개발기관의 로드맵: <https://research.ibm.com/blog/ibm-quantum-roadmap>, <https://ionq.com/posts/december-09-2020-scaling-quantum-computer-roadmap>, <https://www.eetimes.eu/cea-leti-details-silicon-based-quantum-computing-roadmap/> 등

1

Background

양자컴퓨터를 위한 제어계측분야 현황



Keysight technologies



Zurich instruments



Quantum machines

Key Specifications

Measurement range	100 MHz to 10 GHz
Measurement accuracy	±0.1 dB
Measurement resolution	0.01 dB
Measurement speed	1000 samples/s
Measurement bandwidth	100 MHz to 10 GHz
Measurement resolution	0.01 dB
Measurement accuracy	±0.1 dB

- Features
- Measure signal levels with large dynamic range and clarity for manual tests
 - Displacement capacity for fixed and random tests and signal conditioning components
 - Compatible with the Precision digital oscilloscope secondary mode
 - Low distortion features for random noise and support of long signal reference lines
 - Large loading power with 100 W of continuous power at 20 MHz, low loss temperature of 17 MHz and low loss 10 MHz, 100 W at 100 MHz for several weeks of operation at 100 W



Oxford instruments



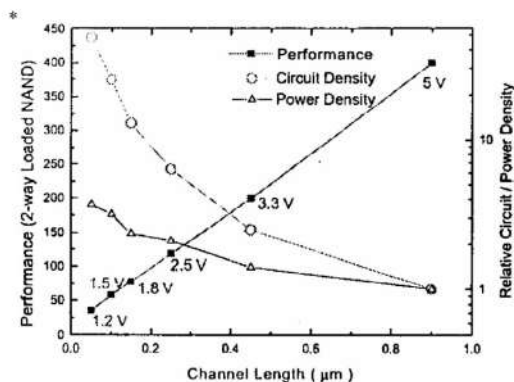
Bluefors

극저온 냉동기, 고주파 신호발생기, 큐비트 측정 및 피드백 등

2

Challenges

양자컴퓨터: 왜 만들기 어렵나?

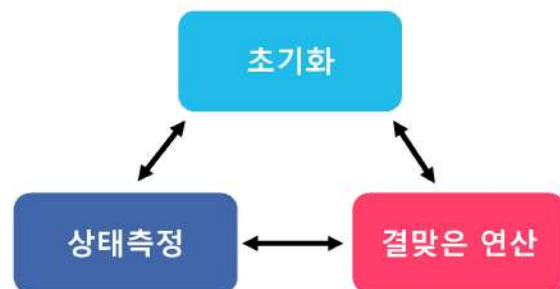


고전 디지털 컴퓨터

(최근까지는) 트랜지스터를 30% 작게 만들면,

- 43% 동작속도 향상
 - 2x 집적도 향상
 - 30% 누설전류 감소
 - 65% 소모전력 감소
- 작게: 어렵지만.. "일석다조"

* G. G. Shahidi, "Challenges of CMOS scaling at below 0.1μm," The 12th International Conference on Microelectronics (2000)



양자 컴퓨터

- So far : 극한환경 (극저온 and/or 초고진공)
- (원리적으로) 상충되는 목표,
- 상호작용 증가: 동작속도 향상, but 결맞음 감소
- 강한 상태 측정: SNR 증가, but backaction
- 다중큐비트: crosstalk

2 Challenges

현수준 vs. 범용, 대규모 계산이 가능한 양자컴퓨터

Superconducting (QEC)

Semiconductor (VQE)

Ion trap (QML)

범용, 실용 양자 컴퓨터

현재 수준

- QuTech (silicon, 2Q), Nature 601, 343 (2022)
- Google Quantum AI (supercon. 21Q), Nature 595, 383 (2021)
- IonQ (ion trap, 11Q), arXiv:2012.04145 (2020)

2 challenges

범용 양자 컴퓨터

➤ 거시 세계의 범용 문제를 양자 세계의 법칙을 통해 풀기 위해 두 세계 사이를 넘나들며 정보를 교환하는 기술이 핵심

**범용 양자 컴퓨터
프로그래밍 인터페이스**

범용 프로그래밍 언어

**논리 큐비트
양자 연산**

양자 연산 알고리즘

**물리 큐비트
전기신호로 제어**

큐비트 state

고전 비트 state

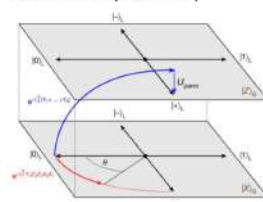
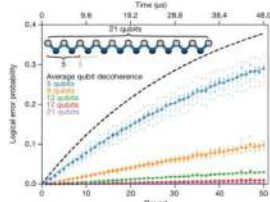
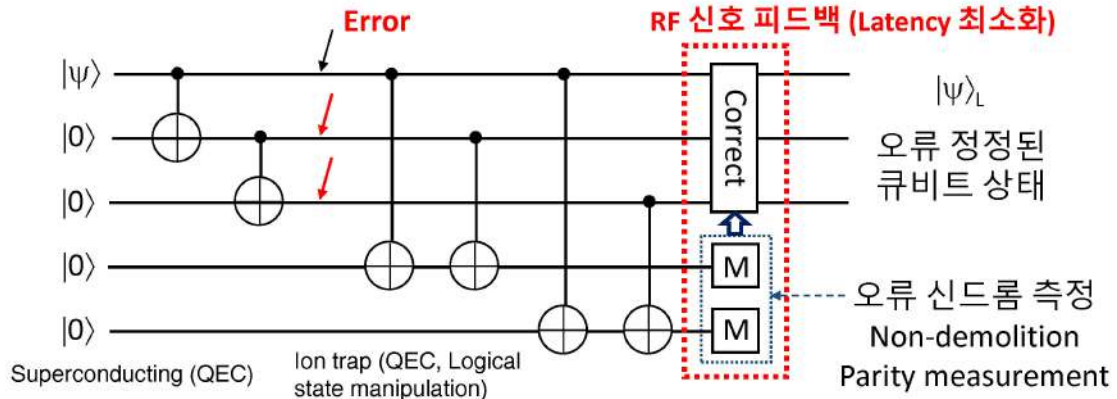
고전 물리 세계

양자 물리 세계

2

Challenges

양자 오류보정



- Google Quantum AI (supercon. 21Q), Nature 595, 383 (2021)
- UMD (ion trap, 15Q), Nature, 598, 281 (2021)

Not only 계산의 오류보정, but also 초기화와 측정의 오류?

양자컴퓨팅 시스템의 확장: 양자물리만의 문제가 아닌 고전회로 + 양자회로 접목기술 발전필요

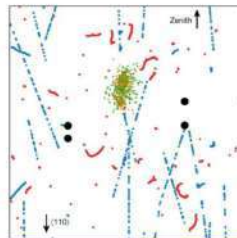
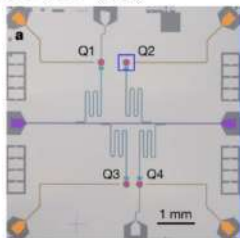
2

Fundamental challenge

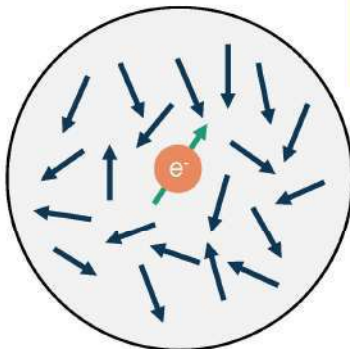
양자 오류보정 – not just technical challenge

현존하는 오류보정 코드의 대부분: uncorrelated 에러를 가정
– 그러나 실제로는 correlated error 존재

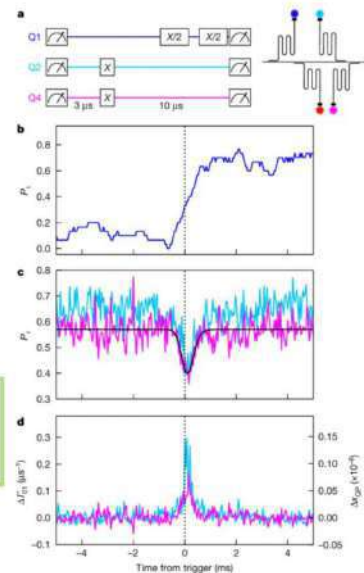
- Nature 594, 369 (2021)



Ex 1. Superconducting QC – correlated relaxation due to cosmic ray



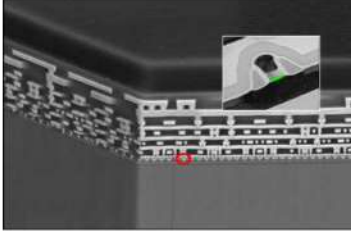
Ex.2 반도체 스핀 큐비트: non-Markovian nuclear noise



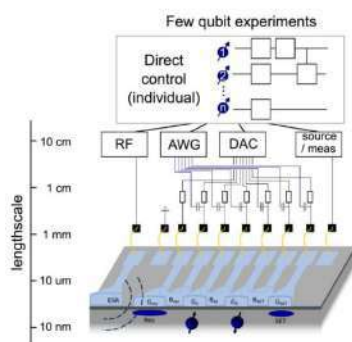
3

Technological challenge

확장성 이슈



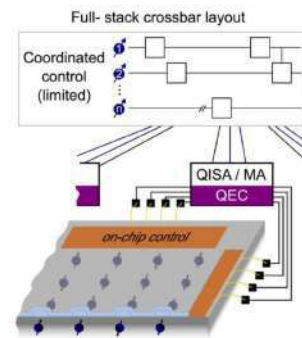
Like complex interconnects, multiplexing circuitry in Classical computers,



Quantum Rent's rule for g qubits

$$T = t g^p$$

$$\begin{array}{l|l} \text{RT wires} & \\ \hline p_{RT} = p_{IO} & p_{RT} < p_{IO} \\ \text{chip IOs} & \\ \hline p_{IO} = p_g & p_{IO} < p_g \\ \text{gates} & \\ \hline p_g \sim 1 & p_g \sim 0.5 \end{array}$$



• Microprocessors and microsystems 67, 1 (2019)

How to reduce the exponent in Rent's rule for Quantum computing circuit architecture ?

3

State of the art

큐비트 하드웨어 집적화

[출처 : Bardin, ISSCC'19]



Qubit 당 2개 이상 케이블이 외부로 연결

72-Qubit 컴퓨터에 필요한 전자장비

- 240대의 고속 AWG 장비
- 84대의 Up-converter (Write)
- 12대의 Down-converter (Read)
- 24개의 고속 ADC
- 168개의 상온-4K 간 케이블
- 168개의 4K-10mK 간 초전도 케이블
- 3Tb/s 이상의 초고속 데이터 송수신기

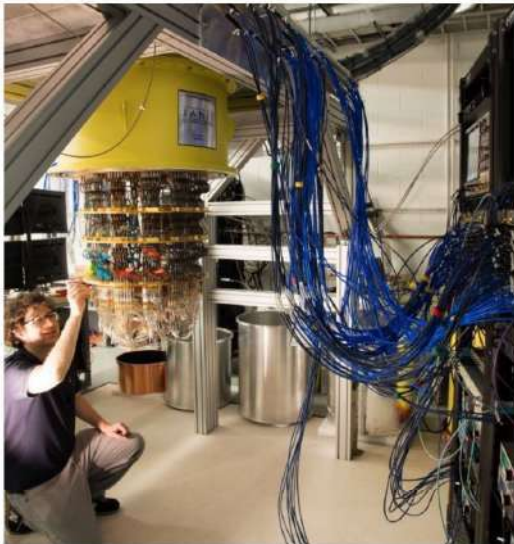
3

Challenges

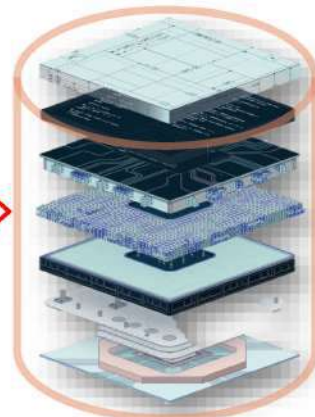
결국 양자-고전 인터페이스 확보가 관건

Scale-up 가능한 양자컴퓨터 & 에러율을 유지 또는 감소시키면서.

[출처 : Bardin, ISSCC'19]



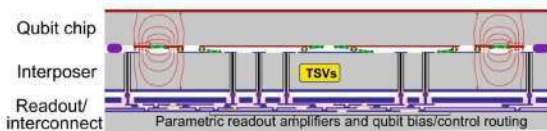
72 큐비트

1,000,000
큐비트?확장형
양자 컴퓨터

3

Challenges

플랫폼 별 확장성 확보를 위한 노력



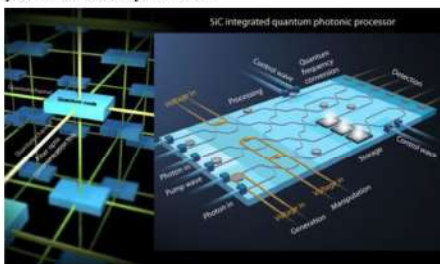
npj Quantum Inf. 3, 42 (2017)

mK 동작가능한 제어회로 (초전도) 와
큐비트 chip 의 3D integration

Nature comm. 10, 4692 (2019)

Ion trap & NV center : 수~수십개
큐비트의 노드와 광자매개 quantum
network 를 이용한 모듈러 방식

Courtesy of C.E. Bradley/TuDelft

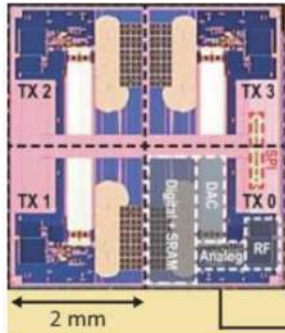
Linear optical quantum computing :
단일광자광원, 초고속 광스위칭, 고효율
단일광자 검출기의 집적화 추진• www.brianantao.co.uk

3

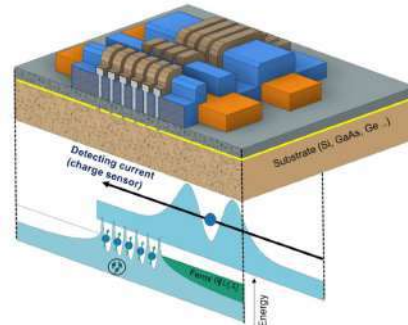
Challenges

양자제어기와 큐비트 레이어의 통합화

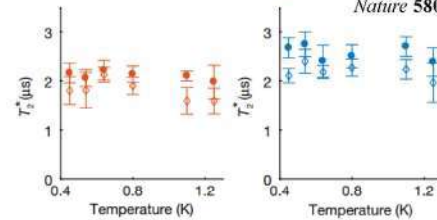
제어회로



스핀 큐비트



Nature 580, 355 (2020)



Main hurdle:

제어회로의 전력소모와 발열

큐비트 Layer : 극한환경 필요
(극저온 and/or 고진공)

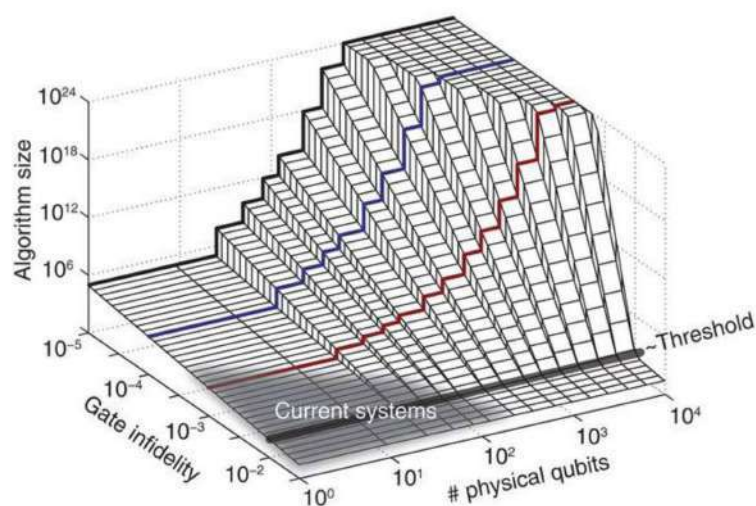
높은 온도에서 동작하는 큐비트 + 1K 급 제어회로 집적화 추진 중

4

Outlook

대규모 계산이 가능한 양자컴퓨터

*Science, 372 253 (2021)



확장성과 에러보정을 위한 기술적 + fundamental challenge 돌파 필요

II

지정토론

좌 장 : 김태현 교수 서울대학교 컴퓨터공학부

지정토론 1 Quantum computing: dream or nightmare?

- 김윤호 교수 포항공과대학교 물리학과

지정토론 2 양자컴퓨팅 게임체인저

- 이준구 교수 한국과학기술원 전기및전자공학부

지정토론 3 KRISS의 양자기술 현황 및 연구 방향

- 문종철 팀장 한국표준과학연구원 양자기술연구소
초저온원자양자연구팀

지정토론 4 미래 모빌리티를 위한 양자컴퓨팅 기술

- 경우민 책임연구원 현대자동차그룹 융복합소재연구팀

지정토론 1

Quantum computing: dream or nightmare?

김 윤 호

포항공과대학교 물리학과 교수

QUANTUM COMPUTING: DREAM OR NIGHTMARE?

Yoon-Ho Kim
Department of Physics
Pohang University of Science and Technology

POSTECH

2/14/2022

QUANTUM COMPUTING: DREAM OR NIGHTMARE?

The principles of quantum computing were laid out about 15 years ago by computer scientists applying the superposition principle of quantum mechanics to computer operation. Quantum computing has recently become a hot topic in physics, with the recognition that a two-level system can be presented as a quantum bit, or "qubit," and that an interaction between such systems could lead to the nonclassical logic. (S

Recent experiments have deepened our insight into the wonderfully counterintuitive quantum theory. But are they really harbingers of quantum computing? We doubt it.

Serge Haroche and Jean-Michel Raimond

two interacting qubits: a "control" bit and a "target" bit. The control remains unchanged, but its state determines the evolution of the target: If the control is 0, nothing happens to the target; if it is 1, the target undergoes a well-defined transformation. Quantum mechanics admits additional options. If the control is in some coher-

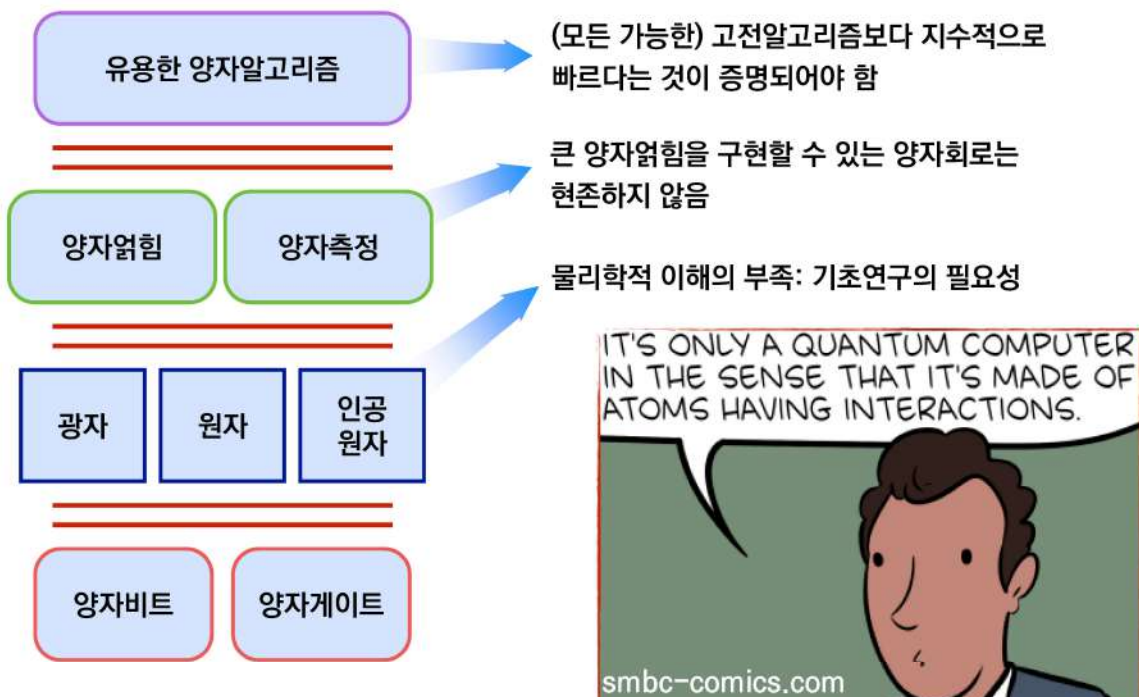


ments is also an important and challenging task. Rather than teaching us how to build a large quantum computer, such experiments are more likely to teach us about the processes that would ultimately make the undertaking fail. It is important to advertise this fascinating subfield of quantum optics for what it really promises, which is a deeper insight into the most counterintuitive theory yet discovered by physicists.

Nobel Physics Prize (2012)

Physics Today 49, 51 (1996)

“양자컴퓨터”를 의미 있게 정의하는 것이 중요함



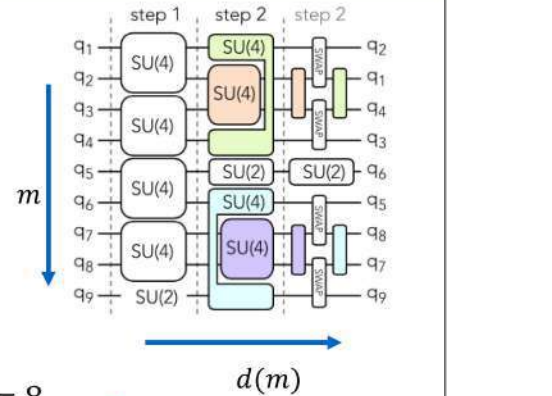
“양자프로세서”의 성능 평가?

$$\log_2 V_Q = \operatorname{argmax}_m \min(m, d(m))$$

– using HOP: $h_d > \frac{2}{3}$

에러율

양자비트 수



- IBM Q 20-q Jönköping..... $\log_2 V_Q = 3 \rightarrow V_Q = 8$
PRA 100, 032328 (2019)
- IBM Q 20-q Jönköping..... $\log_2 V_Q = 5 \rightarrow V_Q = 32$
PRX Quantum 1, 020318 (2020)
- IBM Q 27-q Montreal..... $\log_2 V_Q = 6 \rightarrow V_Q = 64$
Quantum Sci Tech 6, 025020 (2021)
- Honeywell (Ion trap)..... $\log_2 V_Q = 6 \rightarrow V_Q = 64$
Nature 592, 209 (2021)

“양자부피”의 지수적
증가는 부적절한
정의에 의한 착시

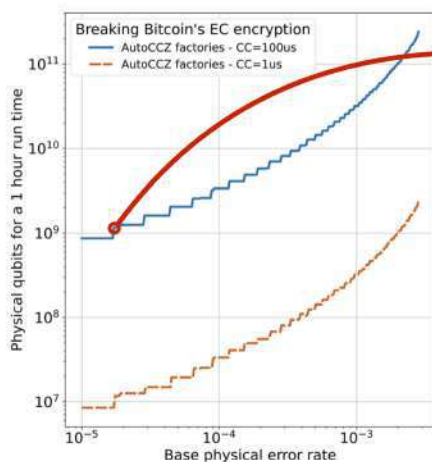
In the news...

한경 IT·과학

비트코인 '블록체인 암호' 양자컴퓨터로 깰 수 있다?

(2/4/2022)

연구진은 큐비트 작동 시간을 $1\mu\text{s}$ 로 가정했을 때, 3억1700만 큐비트가 있으면 비트코인 암호체계를 한 시간 안에 깰 수 있다고 분석했다. 비트코인 블록 생성 주기인 10분 안에 맞춰 깨려면 19억 큐비트가 필요하다고 계산했다.



AVS Quantum Sci 4, 013801 (2022)

19억개의 양자비트 필요... 😱

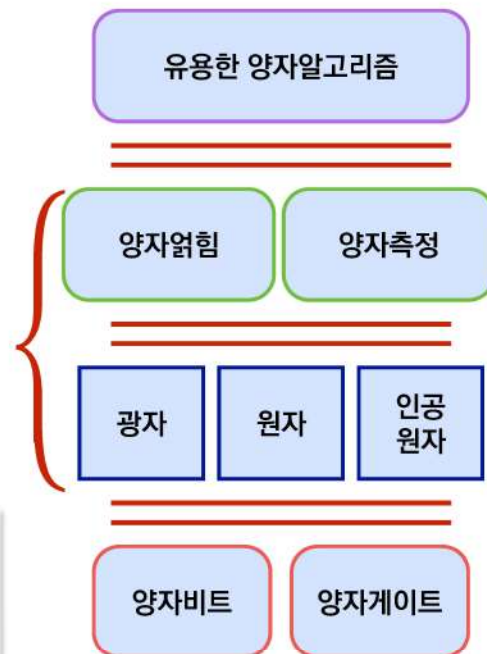
양자비트 6개에 양자게이트 6회 최대 적용 □



앞으로의 방향은?

- “양자컴퓨터”는 현존하지 않는다는 인식을 기반으로 하는 장기적 연구전략 필요...
 - “양자컴퓨터”, “양자인터넷”개발이 아닌 양자정보과학의 연구
- 양자물리 \neq 양자정보과학
- 중요한 핵심 문제를 해결하려는 노력...
 - 양자정보과학의 물리
 - 임팩트 큰 성과에 기반을 둔 평가 및 지원
 - R & D = Research & Discovery

Quantum phenomena do not occur in a Hilbert space, they occur in a laboratory!
- A. Peres



지정토론 2 양자컴퓨팅 게임체인저

이 준 구

한국과학기술원 전기및전자공학부 교수


KAIST ELECTRICAL ENGINEERING
a KAIST start up

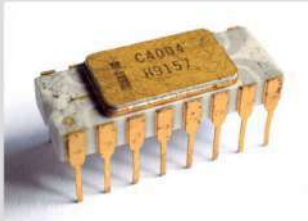
The Gamechangers in Quantum Computing

이준구
KAIST AI양자컴퓨팅 센터
Qunova Computing, Inc.

rhee.jk@kaist.edu

Computing Frontiers

세계 최초의 마이크로프로세서



Intel C4004 – 4 bit CPU
Faggin, Hoff, Shima, 1971
2250 개의 트랜지스터

최신 마이크로프로세서

- Intel Core i9– 64 bit CPU
- 2021
- ~ 1000 억개의 트랜지스터

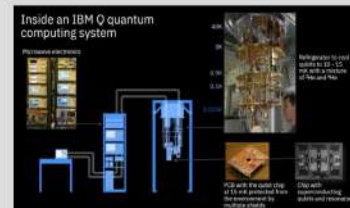


rhee.jk@kaist.edu

Quantum Computing Frontiers

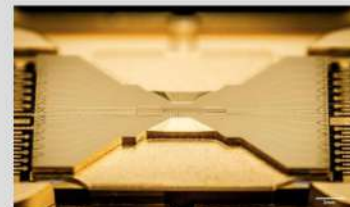
초전도 QPU 클라우드

- 2016 – IBM Q, 5 qubit
- 2021 – IBM Q, 127 qubit, rigetti, 32 qubit
D-Wave 5000 annealer qubit
Alibaba, Baidu 10+ qubit, ...



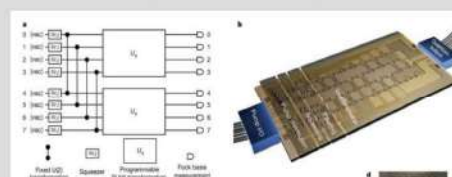
이온트랩 QPU 클라우드

- 2019 – Ion Q, 11 qubit, Honeywell, 5 qubit
- 2021 – Ion Q, 32 qubit



광자 QPU 클라우드

- 2020 – Xanadu, 24 qubit



rhee.jk@kaist.edu

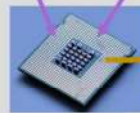
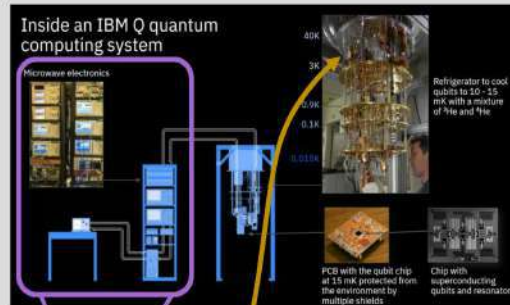
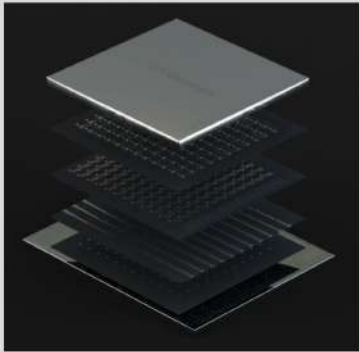
Game Changers

초전도 QPUs - 기술 로드맵

- IBM Q - 3D architecture

System Integration

2022년 - 속도 향상, 2023년 1121 qubit



Cryo 내부에 장착
> 속도 향상, 회선 절감

ARM 코어보다
간단한 ASIC

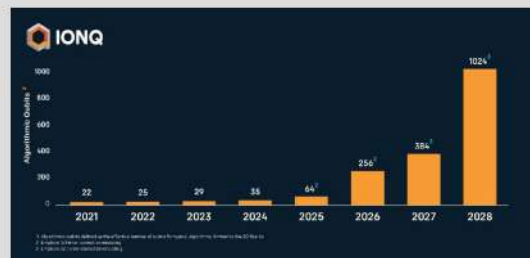
rhee.jk@kaist.edu

Game Changers

이온 트랩 QPU

Modular Ion Trap – 32 qubit X N

Ion Q : 2028년 1024 algorithm qubit



Ion Q 64 qubit

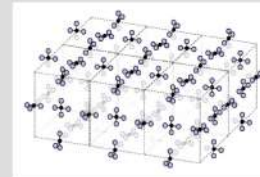
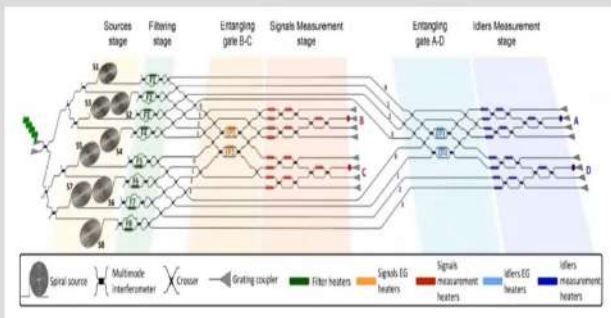
$$\text{Algorithm Qubit} \cong \log(\text{Quantum Volume})$$

rhee.jk@kaist.edu

Game Changers

광자 QPUs

- 2 mode squeezed state 활용
- Entanglement solution
- 1,000,000 qubit cluster states
- 1000x1000 시공간 큐비트



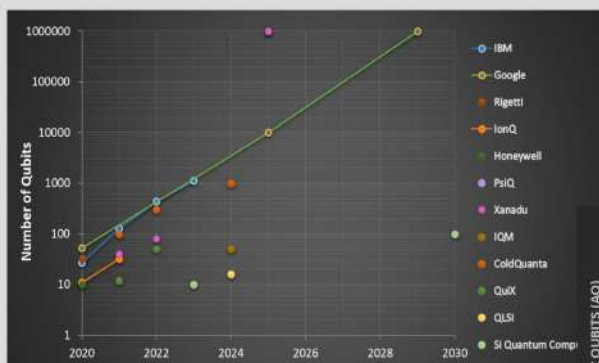
- 측정기반 양자 에러 정정
 - 1,000,000 큐비트로 수백개의 논리적 큐비트 달성

rhee.jk@kaist.edu

Game Changers

실험실 기술 → 상용화, 재화화 (commodity)

- 경쟁 기반 시장 형성 -- 2025년 수퍼컴 성능 능가 기대



- 100+ 개의 양자컴퓨팅 응용 기술 벤처
- 2021년 1년간 1조원 이상의 벤처 투자



rhee.jk@kaist.edu

본질적인 문제

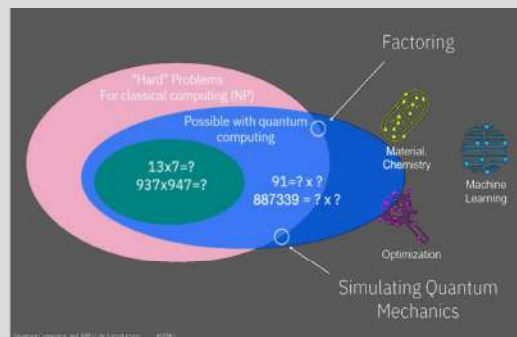
양자 데이터 임베딩 – 고전 데이터의 양자 정보화

- 매우 비싼 기능

양자 결과의 판독 – 샘플링 : 수 만 번의 측정

- 측정 이후 원래 데이터의 파괴 - 반복적인 양자 데이터 임베딩

기술적으로 양자데이터 베이스가 불가능 – 제한된 응용



rhee.jk@kaist.edu

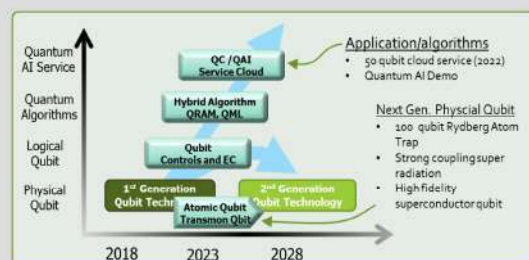
How to get to Quantum Computing?

기술적으로 아직 활용성에 관한 확정적인 결론을 얻기 어려움

- High Risk High Return !!

정부 투자

- High Risk 에 많은 어려움 (부정적인 시각에 더욱 민감)
- 기초 투자에 충실
 - 50 큐비트 사업 – 인적 자원 확보
 - 미래의 새로운 기술
- Risk Taking
 - 2025년 대비 양자컴퓨팅 응용 기술
 - 국제적 시야
 - 2030년 High Return 기대
 - 국가적 성장 동력 추구



rhee.jk@kaist.edu

지정토론 3 KRISS의 양자기술 현황 및 연구 방향

문 종 철

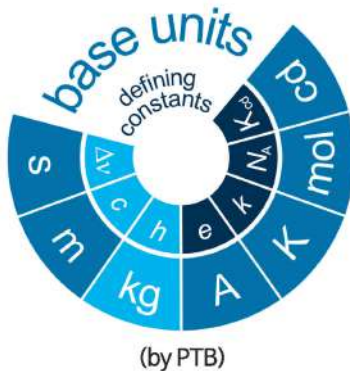
한국표준과학연구원 양자기술연구소 초저온원자양자연구팀 팀장



측정표준과 양자 연구



■ The New SI

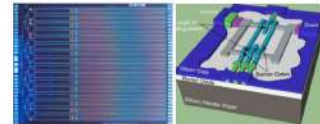


■ 물리표준본부

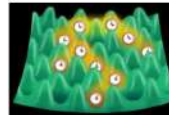
- 광도표준그룹
- 길이표준그룹
- 시간표준그룹
- 역학표준그룹
- 음향진동초음파표준그룹
- 전기자기표준그룹
- 전자파표준그룹

■ Quantum Metrology & Quantum Standards

전기표준/키블저울



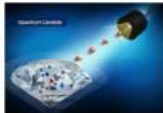
원자시계



열역학 표준



(광도 표준)



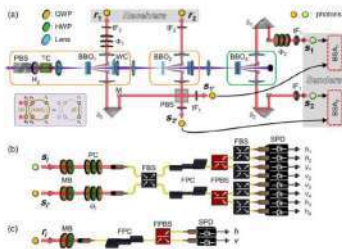
양자기술연구소 (QTI)



양자정보 하드웨어 연구

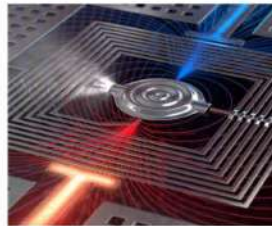


■ 광자



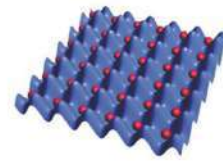
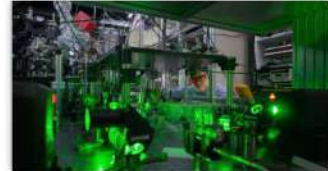
- 상온/저온 단일방출체 기반 단일 광자광원
- 다광자 양자얽힘 생성/제어/측정 및 양자정보처리

■ 초전도



- 초전도 큐비트 정밀측정기술
- 큐비트 상호변환 양자인터페이스 기술

■ 원자



- 단일원자 큐비트 제어 및 대규모 큐비트 생성 기술
- 양자 시뮬레이터를 이용한 다체 양자문제 해결

양자기술의 전략적 가치: 안보 및 정보보안



■ 양자 기술 → 국가 안보·미래 산업 경쟁력의 핵심 전략 기술(Game Changer)

- 초고속 연산(양자컴퓨터), 초신뢰 보안(양자통신), 초정밀 계측(양자센서)

1 양자컴퓨터



기존 기술 (슈퍼컴퓨터)



1,024비트
암호해독 100만년
전력소모 30MW



안보 강화 · 신 산업창출



- 양자 컴퓨터
- 암호해독시스템
- 양자 인공지능

2 양자통신



기존 기술 (유·무선 통신)



해저케이블 도감청
위성/무선통신
해킹 등 위험

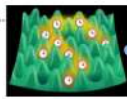


통신 보안 · 미래 통신



- 도감청·해킹 차단
- 양자 암호통신
- 유·무선 전송통신

3 양자센서



기존 기술 (센서·장비)



미세암세포 식별불가
라이다 주변 잡음
제임 상황 측위 제한



초정밀 · 고감도 측정



- 스텔스 탐지
- 신약개발
- 양자 센서

기술패권 경쟁

■ 세계 각국 핵심·전략 기술로 양자기술 집중 육성

- 양자 기술은 기존 기술을 융합·재창조 하여 신 산업 창출 가능한 미래 산업의 핵심기술
- 군사 암호 해독, 도감청·해킹 차단, 스텔스·잠수함 탐지 등 가능한 핵심 안보 기술
- 미·중·EU·일 등 양자 주요국 양자 기술 확보를 위한 패권 경쟁 중
 - ✓ 대규모 투자와 더불어 교육·인프라 확장 등 양자 기술 생태계 집중 조성

주요국 양자기술 집중육성 현황



- 미국 안보 우위를 위한 20대 핵심유망기술로 양자정보과학 선정(美 NSC, '20.10.)
- 양자법(National Quantum Initiative Act, '18.12.) 제정 및 전 방위적 지원(~'23., 1.4조원)



- '30년 국가전략구현 6대 중대 프로젝트 선정, 시진핑 주석 주도 국가 연구개발 역량 집중
- 국립양자과학연구소 설립('17.~, 13조원) 및 세계 최초 양자암호통신위성(묵자호) 발사



- EU 산하 양자기술자문위원회 설립. 제2의 양자혁명 선도를 위한 26개 회원국 역량 집결
- 양자 플래그십(Quantum Flagship) 프로그램('19.~'28. 약 1.3조)을 통한 독자적 양자기술 구축



- 3대 국가전략기술로 양자 기술 선정. '20년 양자기술 이노베이션 전략 수립 및 집중 투자
- 광·양자 쿼텀도약 플래그십, 양자 관성센서, 클라우드 등 3천억 이상 집중 투자

양자기술 인력양성 방향

양자 전문인력 부족 및 육성 필요성

양자기술 전문인력 부족



양자기술 패권 전쟁은 '인재 전쟁'

<2030 기술분야별 혁신인재 수요전망 결과>



* (우측 30년 신규수요 최대치)를 7등급 군중 구분: ①-1,085명 이상 ②-1,085명 미만-1,025명 이상 ③-1,025명 미만-1,374명 이상 ④-1,374명 미만-1,113명 이상 ⑤-1,113명 미만-852명 이상 ⑥-852명 미만-591명 이상 ⑦-591명 미만

인력양성 필요대두

현재 국내 핵심연구인력
약 150명 내외로 추산

과학기술정보통신부
2030년 양자인력 1000명 확보 목표

해외 우수인재 유입 및
양자기술 인력양성 필요



중장기 연구 비전

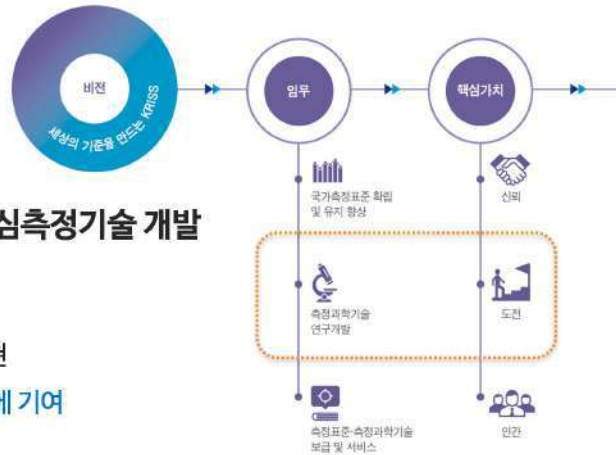
■ 미래비전 2035

■ 양자기술 실용화를 위한 핵심측정기술 개발

- 실용화의 의미 정립
- 기술적, 사회적 양자 이득 실현
- **전략기술로서의 경쟁력 확보에 기여**

■ 인력 확충 및 양자연구 생태계

- 해외 신진연구자 네트워킹 노력
- 산업계-학계 지원
- 연구 생태계 선순환 노력
- 연구전략실 협력 강화



감사합니다.

지정토론 4 미래 모빌리티를 위한 양자컴퓨팅 기술

경 우 민

현대자동차그룹 융복합소재연구팀 책임연구원

매우 제한적인, 그러나 매우 혁신적인

1. 거의 모든 공학 분야에는 **고전 알고리즘**으로 풀기 어려운 문제가 있다.
2. **고전 알고리즘**의 난제 중 **양자 알고리즘**으로 용이하게 해결할 수 문제가 있다.
3. 양자 컴퓨터는 **양자 알고리즘**을 구현할 수 있는 장치이다.



Connected



Autonomous

CASE



Shared



Electric

Autonomous – 경로 최적화

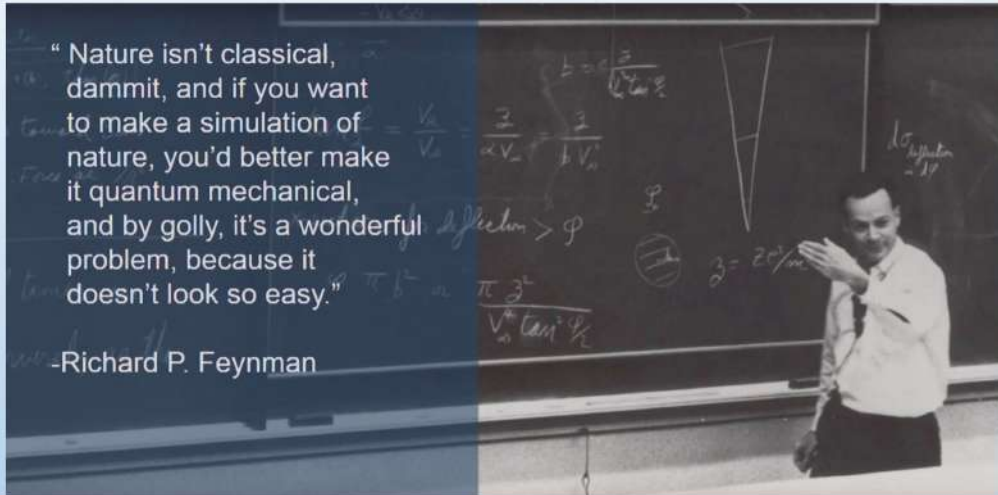
Traveling Salesman Problem : 모든 도시들을 단 한 번만 방문하고 원래 시작점으로 돌아오는 최소 비용의 이동 순서

모든 경로의 수는 입력 도시 수 n 에 대해서 $n!$, $O(n!)$
(입력이 10개라면, 경우의 수는 3,628,000개)

양자 알고리즘을 이용하면 복잡도를 낮출 수 있다.

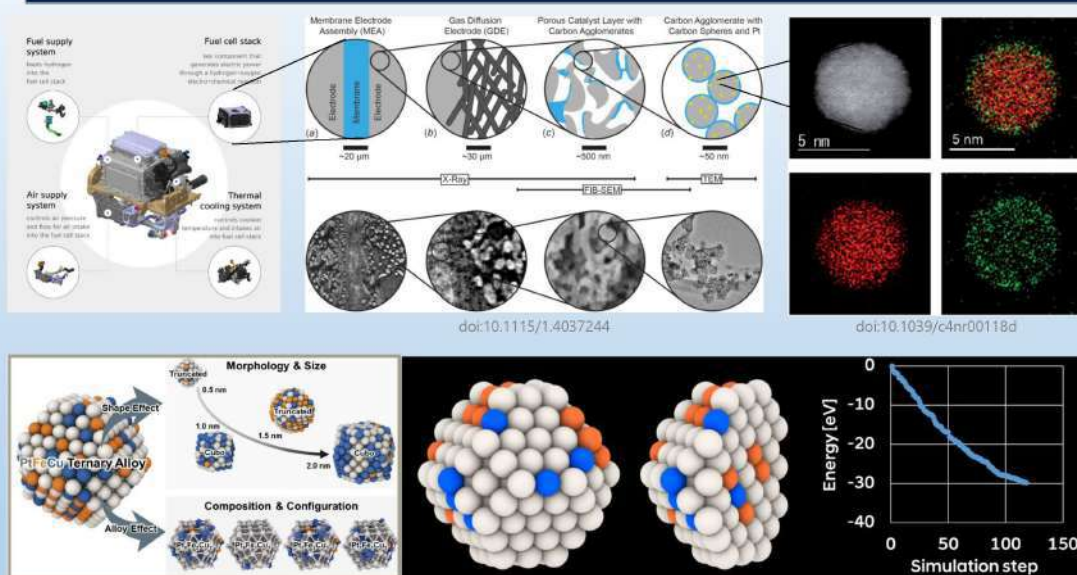


Electric – 전동화



배터리/연료전지 등 전기화학적인 반응 시스템 개발
 ▶ 정확한 ‘양자 화학 시뮬레이션’

Electric – 전동화



고전 컴퓨팅을 이용한 은 나노 입자 시뮬레이션 (2,057 atoms)
 : 300코어 컴퓨터로 240시간 소요 ('13)

한림원탁토론회는...

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 세우고, 동시에 과학기술 현안 문제에 대한 해결방안을 모색하기 위한 목적으로 개최되고 있는 한림원의 대표적인 정책토론 행사입니다.

지난 1996년 처음 개최된 이래 지금까지 190여회에 걸쳐 초·중·등 과학교육, 문·이과 통합문제, 국가발전에 미치는 기초과학 등 과학기술분야의 기본문제는 물론 정부출연연구소의 발전방안, 광우병의 진실, 방사능, 안전 방제 등 국민생활에 직접 영향을 미치는 문제에 이르기까지 광범위한 주제를 다루고 있습니다.

한림원은 과학기술 선진화에 걸림돌이 되는 각종 현안문제 중 중요도와 시급성에 따라 주제를 선정하고, 과학기술 유관기관의 최고책임자들을 발제자로 초빙하여, 한림원 석학들을 비롯해 산·학·연·정의 전문가들이 심도 깊게 토론을 진행하고 있습니다.

토론결과는 책자로 발간, 정부, 국회와 관련기관에 배포함으로써 정책 개선방안을 제시하고 정책 입안자료를 제공하여 여론 형성에 기여하도록 힘쓰고 있습니다.

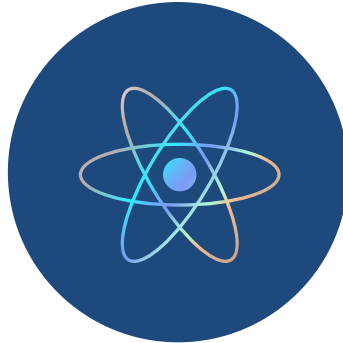
■ 한림원탁토론회 개최실적 (2019년 ~ 2022년) ■

회수	일 자	주 제	발제자
133	2019. 2. 18.	수소경제의 도래와 과제	김봉석, 김민수, 김세훈
134	2019. 4. 18.	혁신성장을 이끄는 지식재산권 창출과 직무발명 조세제도 개선	하흥준, 김승호, 정지선
135	2019. 5. 9.	과학기술 정책성과와 과제	이영무
136	2019. 5. 22.	효과적인 과학인재 양성을 위한 전문연구요원 제도 개선 방안	곽승엽

회수	일 자	주 제	발제자
137	2019. 6. 4.	마약청정국 대한민국이 흔들린다 마약류 사용의 실태와 대책은?	조성남, 이한덕
138	2019. 6. 28.	미세먼지의 과학적 규명을 위한 선도적 연구 전략	윤순창, 안병옥
139	2019. 8. 7.	일본의 반도체·디스플레이 소재 수출규제에대한 과학기술계 대응방안	박재근
140	2019. 9. 4.	4차 산업혁명 시대 농식업(Agriculture and Food) 변화와 혁신정책 방향	권대영, 김종윤, 박현진
141	2019. 9. 25.	과학기술 기반 국가 리스크 거버넌스, 어떻게 구축해야 하는가?	고상백, 신동천, 문일, 이공래
142	2019. 9. 26.	인공지능과 함께할 미래 사회, 유토피아인가 디스토피아인가	김진형, 홍성욱, 노영우
143	2019. 10. 17.	세포치료의 생명윤리	오일환, 이일학
144	2019. 11. 7.	과학기술 석학의 지식과 경험을 어떻게 활용할 것인가?	김승조, 이은규
145	2020. 2. 5.	신종 코로나바이러스 감염증 대처방안	정용석, 이재갑, 이종구
146	2020. 3. 12.	코로나바이러스감염증-19의 중간점검 - 과학기술적 관점에서 -	김호근
147	2020. 4. 3.	COVID-19 팬데믹 중환자진료 실제와 해결방안	홍석경, 전경만, 김제형
148	2020. 4. 10.	COVID-19 사태에 대비하는 정신건강 관련 주요 이슈 및 향후 대책	심민영, 현진희, 백종우
149	2020. 4. 17.	COVID-19 치료제 및 백신 개발, 어디까지 왔나?	신형식, 황응수, 박혜숙
150	2020. 4. 28.	Post COVID-19 뉴노멀, 그리고 도약의 기회	김영자
151	2020. 5. 8.	COVID-19 2차 유행에 대비한 의료시스템 재정비	전병율, 홍성진, 엄호기
152	2020. 5. 12.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 정보 분야	강홍렬, 차미영
153	2020. 5. 18.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 경제·산업 분야	박영일, 박진
154	2020. 5. 21.	젊은 과학자가 바라보는 R&D 과제의 선정 및 평가 제도 개선 방향	김수영, 정우성
155	2020. 5. 25.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 교육 분야	이윤석, 이혜정

회수	일 자	주 제	발제자
156	2020. 5. 28.	지역소재 대학 다 죽어간다	이성준, 박복재
157	2020. 6. 19.	대구·경북에서 COVID-19 경험과 이를 바탕으로 한 대응방안	김신우, 신경철, 이재태, 이경수, 조치흠
158	2020. 6. 17.	코로나 이후 환경변화 대응 과학기술 정책포럼	장덕진, 임요업
159	2020. 6. 23.	포스트 코로나 시대의 과학기술교육과 사회적 가치	이재열, 이태억
160	2020. 6. 30.	코로나19 시대의 조현병 환자 걱정 치료를 위한 제언	권준수, 김 윤
161	2020. 7. 9.	Living with COVID-19	정은옥, 이종구, 오주환
162	2020. 7. 15.	포스트 코로나 시대, 농식품 산업의 변화와 대응	김홍상, 김두호
163	2020. 7. 24.	건강한 의료복지를 위한 적정 의료인력과 의료제도	송호근, 신영석, 김 윤, 안덕선, 한희철
164	2020. 7. 30.	젊은 과학자가 보는 10년 후 한국 대학의 미래	손기훈, 이성주, 주영석
165	2020. 8. 7.	집단면역으로 COVID-19의 확산을 차단할 수 있을까?	황응수, 김남중, 천병철, 이종구
166	2020. 8. 24.	포스트 코로나 시대, 가속화되는 4차산업혁명	윤성로, 김정호
167	2020. 9. 8.	부러진 성장사다리 닦고 싶은 여성과학기술리더가 있는가?	김소영, 문애리
168	2020. 9. 10.	과학기술인재 육성을 위한 대학의 역할	변순천, 안준모
169	2020. 9. 17.	지난 50년 국가 연구개발 투자 성과, 어떻게 나타났나?	황석원, 조현정, 배종태, 배용호
170	2020. 9. 23.	과학기술 재직자 역량 강화 전략	차두원, 김향미
171	2020. 9. 25.	COVID-19 치료제의 개발 현황	김성준, 강철인, 최준용
172	2020. 10. 7.	미래세대 기초·핵심역량 제고 방안	송진웅, 권오남
173	2020. 10. 13.	대학의 기술 사업화 및 교원 창업 활성화 방안	이희숙, 이지훈, 심경수
174	2020. 10. 14.	한국판 뉴딜, 성공의 조건은?	박수경
175	2020. 10. 22.	성공적인 K 방역을 위한 코로나 19 진단 검사	이혁민, 홍기호, 김동현
176	2020. 11. 5.	4단계 BK21 사업과 대학의 혁신	노정혜, 정진택, 최해천
177	2020. 11. 9.	COVID-19의 재유행 예측과 효과적 대응	이종구, 조성일, 김남중
178	2020. 11. 27.	우리나라 정밀의료의 현황과 미래 : 차세대 유전체 염기서열 분석의 임상응용과 미래	방영주, 박웅양, 김열홍

회수	일 자	주 제	발제자
179	2020. 12. 4.	대학 교수평가제도의 개선방안	최태림, 림분한, 정우성
180	2020. 12. 8.	COVID-19의 대유행에서 인플루엔자 동시감염	김성준, 송준영, 장희창
181	2020. 12. 9.	COVID-19 환자 급증에 따른 중환자 진료 대책	김제형, 홍석경, 공인식
182	2021. 2. 19.	세계대학평가 기관들의 객관성 분석과 국내대학을 위한 제언	이준영, 김 현, 박준원
183	2021. 4. 2.	인공지능 시대의 인재 양성	오혜연, 서정연
184	2021. 4. 7.	탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언	박진호, 정병기, 윤제용
185	2021. 4. 15.	출연연구기관의 현재와 미래	임혜숙, 김명준, 윤석진
186	2021. 4. 30.	메타버스(Metaverse), 새로운 가상 융합 플랫폼의 미래가치	우운택, 양준영
187	2021. 5. 27.	원격의료: 현재와 미래	정 용, 최형식
188	2021. 6. 17.	배양육, 미래의 먹거리일까?	조철훈, 배호재
189	2021. 6. 30.	외국인 연구인력 지원 및 개선방안	이한진, 이동현, 버나드 에거
190	2021. 7. 6.	국내 대학 연구 경쟁력의 현재와 미래	이현숙, 민정준, 윤봉준
191	2021. 7. 16.	아이들의 미래, 2022 교육과정 개정에 부처: 정보 교육 없는 디지털 대전환 가능한가?	유기흥, 오세정, 이광형
192	2021. 10. 15.	자율주행을 넘어 생각하는 자동차로	조민수, 서창호, 조기춘
193	2021. 12. 13.	인간의 뇌를 담은 미래 반도체 뉴로모픽칩	윤태식, 최창환, 박진홍
194	2022. 1. 25.	거대한 생태계, 마이크로바이옴 연구의 미래	이세훈, 이주훈, 이성근



제195회 한림원탁토론회

양자컴퓨터의 전망과 도전: 우리는 무엇을 준비해야 할까?

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로
우리나라의 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.

행사문의

한국과학기술한림원(KAST) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42(구미동) (우)13630
전화 (031)726-7900 팩스 (031)726-7909 이메일 kast@kast.or.kr