

양자 컴퓨팅 기술이 산업에 미칠 영향

[애자일] KIAT 산업기술정책단 정책기획실('25.4.9)

- ◆ 향후 첨단 산업의 게임체인저로서 그 산업 규모와 영향력이 점차 확대되고 있는 양자 분야 중 '양자 컴퓨팅' 기술의 진보는 미래 산업 구조 자체에 대한 접근과 이해를 획기적으로 변화시킬 것으로 전망
- ◆ 다만, 상용화 단계가 아닌 개발 단계에서의 치열한 글로벌 경쟁이 진행 중이기 때문에 현재 시점에서 기술적 한계로 지적되는 문제들과 양자 컴퓨팅 기술이 가져올 산업 구조 변화에 대한 고찰이 필요

1. 양자 컴퓨팅 시장의 성장

● 양자 기술의 등장과 양자 컴퓨팅 시장

- (등장) 20세기 초 양자역학이 등장하고, 1980~90년대에 양자기술이 본격적으로 응용되기 시작한 후 양자 산업은 현재 양자 컴퓨팅* 기술을 중심으로 양자통신, 양자센싱 등 다양한 분야에서 상용화를 위한 기술 개발 경쟁이 치열하게 진행 중
 - * 1985년 물리학자 데이비드 도이치와 리처드 파인만이 양자역학 원리를 적용한 컴퓨팅 개념과 알고리즘을 제시
- (전환) 초고속 연산, 초신뢰 보안, 초정밀 계측 등* 기존 기술의 한계를 혁신적으로 뛰어 넘는 양자 기술의 등장은 주요 기업의 사업 재편과 새로운 산업 생태계로의 전환을 불러오고 있음
 - * 「양자기술 연구개발 투자전략」 수립(과학기술정보통신부, 2021.4.30.)
- (수요) 디지털 시대의 도래와 빅데이터의 상용화에 발맞춰 급변하는 산업 환경과 비즈니스 대상의 니즈를 빠른 시간 내에 분석할 수 있는 고성능 컴퓨터 수요가 급증
 - * 생성형 AI 기술을 양자 컴퓨팅 응용 분야에 접목하여 기업들을 대상으로 다양한 서비스를 제공하기 위해 Open AI, Google, IBM, Microsoft, Meta 등 주요 글로벌 기업의 기술 경쟁이 본격화

[표1. 일반 컴퓨터와 양자컴퓨터 차이]

구 분	일반 컴퓨터	양자컴퓨터(초전도체)
최소 단위	비트(Bit)	큐비트(Qubit)
기본 단위 상태	0과 1이 단일한 상태로 존재	0과 1이 동시에 존재
구현 방법	전기회로	초전도체
연산방식	순차적(Sequential)	양자병렬(Quantum parallelism)
암호해독 시간(612자리 정수 기준)	백만 년	수분 이내

* 출처: 「양자 과학기술의 미래(2023년 기술영향평가 결과)」(과학기술정보통신부, KISTEP, 2023)

- (양자 우위) 특히 2019년 Google이 슈퍼컴퓨터 시카모어를 통해 양자 우위*를 선언한 이후 글로벌 양자컴퓨팅 시장은 급속도로 성장하여 2031년에는 약 32조 원에 이를 것으로 전망

* 기존 슈퍼컴퓨터 대비 압도적 연산 능력(정보 처리량, 속도)과 함께 양자컴퓨터 시대의 본격적인 시작을 알림

[표2. 글로벌 양자기술 분야별 시장 전망]

(단위 : 억원)

구 분	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	CAGR
양자통신	43,831	55,230	73,957	96,618	121,587	147,235	189,709	229,333	26.7%
양자센싱	18,862	20,633	22,576	24,707	27,045	29,611	32,427	35,520	9.5%
양자컴퓨팅	89,155	99,604	137,328	165,961	194,730	239,918	273,164	321,202	20.1%
합계	151,848	175,467	233,861	287,286	343,361	416,763	495,300	586,055	21.3%

* 출처: 2024 양자정보기술백서(과기부, NIA), McKinsey(2024) & Mind Commerce(2024)

- 국내 양자기술의 분야별 시장 전망을 살펴 보면 양자컴퓨팅의 경우 2024년부터 연평균 19.1%의 지속적인 성장을 통해 2031년에는 약 3,197억 원 규모에 이를 것으로 전망

[표3. 국내 양자기술 분야별 시장 전망]

(단위 : 억원)

구 분	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	CAGR
양자통신	388	496	674	894	1,142	1,404	1,860	2,282	28.8%
양자센싱	391	440	489	547	611	680	761	849	10.2%
양자컴퓨팅	789	895	1,252	1,536	1,829	2,287	2,679	3,197	19.1%
합계	1,568	1,830	2,416	2,977	3,582	4,371	5,300	6,328	22.1%

* 출처: 2024 양자정보기술백서(과기부, NIA), IQ41(2022) & McKinsey(2024) & Mind Commerce(2024)

● 양자 컴퓨팅의 부문별·수요산업별 글로벌 시장 동향

- 글로벌 양자컴퓨팅 시장은 2025년 하드웨어 분야 비중이 전체 9.9조 대비 약 78%(7.8조)를 차지할 것으로 전망하나, 응용 소프트웨어 분야와 QCaaS(양자 컴퓨팅 서비스)분야의 급격한 성장이 예측되면서 2031년에는 전체 32.1조 대비 약 60%(19.3조)의 비중으로 감소 예측

[표4. 글로벌 양자컴퓨팅 부문별 시장 전망]

(단위 : 억원)

구 분	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	CAGR
양자컴퓨팅	89,155	99,604	137,328	165,961	194,730	239,918	273,164	321,202	20.1%
하드웨어	71,378	77,756	104,353	121,180	136,379	158,362	172,068	192,694	15.3%
응용 SW	15,198	18,455	27,411	37,182	48,309	67,172	83,591	105,982	32.0%
QCaaS	2,714	3,528	5,428	7,599	10,178	14,384	17,505	22,526	35.5%

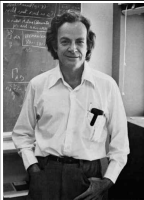
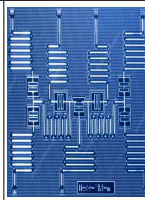
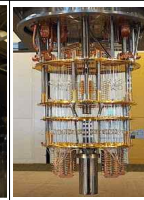
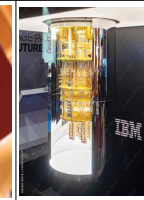
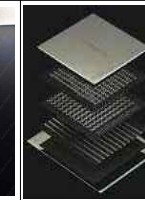
* 출처: 2024 양자정보기술백서(과기부, NIA), Mind Commerce(2024)

2. 양자 컴퓨팅 기술의 발전·한계

● 양자 컴퓨터 기술 개발 연대기

- 리처드 파인만이 1980년대 양자 역학 원리를 이용한 컴퓨팅 기술과 개념을 제시한 이후, 2000년대에 들어 IBM과 MIT의 연구팀이 7큐비트의 양자컴퓨터를 사용하여 소인수분해 성공*
* 기존의 암호 시스템 체계에 대한 심각한 도전과 양자컴퓨터의 효율적 계산 능력 입증 측면에서 의미가 있음
- 2011년 D-Wave가 세계 최초 양자 어닐링* 방식의 상업용 양자컴퓨터를 출시한 이후 IBM과 Google 등 주요 글로벌 IT 기업들을 중심으로 양자컴퓨터는 빠르게 기술 수준이 향상됨
* 양자 어닐링(Quantum Annealing) : 특정 최적화 문제를 해결하기 위해 사용되는 양자 컴퓨팅의 한 방식
- IBM도 2019년 세계 최초 범용 양자 컴퓨터 Q-System One을 출시하면서 양자 컴퓨터 상용화 경쟁이 본격화 되었고, 컴퓨터의 핵심 부품인 양자 프로세서에 대한 개발 경쟁도 가열

[표5. 양자컴퓨터 발전 과정]

						
(리처드 파인만) 양자컴퓨터의 기본 원리 및 개념 제시	(IBM, MIT) 7큐비트 양자컴퓨터로 소인수분해 성공	(D-Wave) 양자 어닐링 방식 상용 양자컴퓨터 최초 출시	(IBM) 50큐비트 양자컴퓨터 개발	(Google) 72큐비트 양자프로세서 Bristlecone 공개	(IBM) 최초 범용·상용 양자컴퓨터 Q-System One 공개	(IBM) 세계 최초 127큐비트 단일 양자 프로세서 Eagle 출시
1985	2001	2011	2017	2018	2019	2021

* 출처: 양자 컴퓨터의 현재와 전망(TIPA), 이슈리포트(2022)의 양자컴퓨터 발전 과정을 기반으로 재구성

● 양자 컴퓨팅 시스템 구성 요소

- 다수의 큐비트를 통제하기 위해 양자 컴퓨팅 시스템은 크게 4가지 요소로 구성되어 있음

[표6. 양자 컴퓨팅 시스템 구성 요소]

구성 요소	내용
양자 프로세서(QPU)	양자 컴퓨팅의 핵심 하드웨어로 양자역학을 활용한 정보처리의 물리적 기본 구현 단위
냉동기	큐비트의 양자적 성질 부여하는 초전도 현상 유지를 위해 극저온 환경 조성
마이크로파 시스템	큐비트를 정확하게 제어하고 상태 변경을 하기 위한 신호 제어·측정 체계
소프트웨어	큐비트 제어·측정을 위한 마이크로파 펄스 생성

* 출처: 2024 양자정보기술백서(과기부, NIA), Mind Commerce(2024)

● 양자 컴퓨팅 기술 개발 현황 및 전망

- 글로벌 기업들의 경쟁에서 확인할 수 있듯이, 타 산업과의 기술 개발 연계와 상업적인 요소 등을 고려할 때 양자컴퓨팅 분야 기술 개발에 대한 시장의 관심은 계속해서 확대되는 상황
- 특히 큐비트 수의 확장은 양자컴퓨터의 복잡한 계산 처리 능력 및 다양한 알고리즘 적용 가능성과 직결되기 때문에 주요 기업들은 지속적으로 기술 개발을 추진하고 있으며, 2023년 IBM이 현재 까지 가장 큰 큐비트 규모인 1,121큐비트의 양자프로세서 'Condor'를 발표
- 이처럼 점차 고도화 되는 양자 컴퓨터 기술은 큐비트의 얽힘과 중첩 특성을 통해 병렬처리로 문제에 접근하여 해결함으로써, 기존 컴퓨팅 체계에서는 수행하기 어려운 연산 처리 가능
- 하지만 현재 양자컴퓨팅 기술 개발 단계 수준은 2019년 구글이 선언한 '양자 우위'를 완전하게 달성했다고 할 수 없는 수준으로, 상용화를 위해 해결해야 할 주요 기술적 난제가 여전히 존재

[표7. 양자 컴퓨팅 기술 상용화 난제]

난제 구분	내용
불안정성	매우 민감한 상태인 큐비트의 양자 중첩 상태와 얽힘 현상을 유지하는 것은 매우 어려운 일이며, 주변 온도나 전자기파, 기타 환경적 요인들에 대한 정밀 제어가 필요
오류 수정	양자 컴퓨터의 실용화는 엄청난 수의 큐비트를 안정적으로 통제할 수 있어야 하고 이를 통해 오류를 최소화할 수 있으나, 적정 수준의 오류 수정 작업은 현재 기술로는 한계
경제성	양자 컴퓨터 장비 자체에 대한 비용과 더불어 초저온 상태를 요구하는 환경 때문에 고비용의 냉각 장치가 필수적인만큼 현재 기술 수준으로는 많은 재정적 부담이 따르는 상황
표준화	현재 각 기업들이 개별적으로 진행하고 있는 양자컴퓨팅 기술에 대해 적절한 표준이 없을 경우 상용화 된 양자컴퓨터 간 호환성 문제와 함께 특정 기업에 과도하게 기술적으로 의존하는 문제가 발생하게 됨. 이에 국제적 표준화 작업을 위한 여러 주체들의 협력이 필요한 상황

* 출처: 「양자 과학기술의 미래」(과기부, KISTEP, 2023)의 일부 내용 편집 및 재구성

- 위와 같은 기술 상용화 난제 속에서 실제 양자 컴퓨터의 상용화 시점에 대해서는 다양한 논의가 제기되고 있으며, 주요 글로벌 기업 대표들이 각기 상반된 의견들을 내고 있음

* [NVIDIA] 젠슨 황: "유용한 양자 컴퓨터 등장하려면 최소 20년은 필요" (CES 2025 기조연설, 2025.1.7.)

* [Microsoft] 미트라 아자지라드: "2025년은 양자 기술 준비의 해, 올해 기술 개발 속도 가속화(2025.1.15.)

- 특히 '양자 우월성'이라는 개념을 최초로 제시했던 캘리포니아 공과대의 존 프레스킬은 이후 양자 컴퓨터의 기술적 한계를 대표하는 'NISQ*' 개념도 제시하면서 양자 컴퓨터의 뛰어난 성능과 함께 미래기술 도래에 대한 성급한 예단을 경계하기도 함

* NISQ(Noisy Intermediate-Scale Quantum): 잡음(noise), 오율(error rates) 등에서 완벽하게 해결되지 않은 채, 당분간 양자 컴퓨터가 수백개 큐비트 정도의 중간 규모 사양에 머무를 것을 상징적으로 표현

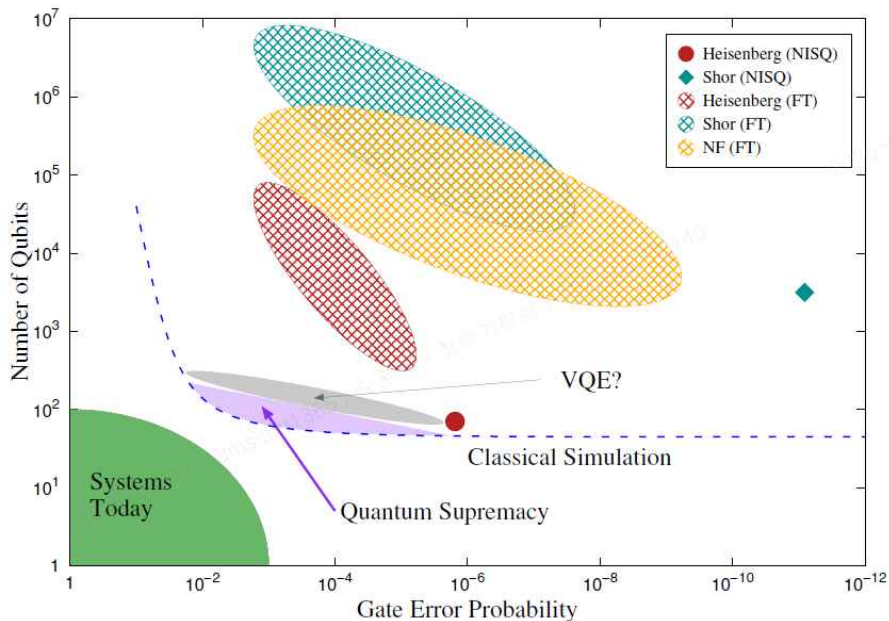
● 양자 컴퓨터의 성능에 대한 고찰

- 컴퓨터의 유용성은 특정 계산 작업에 대한 성공적 수행 능력으로 측정되는데, 일반적인 컴퓨터와 달리 양자 컴퓨터는 시스템 내의 컴퓨터 크기(큐비트 수)와 양자 회로 크기(알고리즘 내 양자 게이트 수)에 따라 그 성능이 제한되는 특징을 가지고 있음

* 현재 양자 컴퓨터 상용화 난제와 기술적 한계의 근본적 원인은 큐비트 수와 오류 가능성의 비례적 성격에서 기인

- 양자 컴퓨터 성능에 대한 한 연구 결과에 따르면, 그림 1과 같이 NISQ 단계에서 양자 컴퓨터 성능의 현 주소는 초록색 영역(Systems Today)에 해당하며, 파란색 점선(Classical Simulation)은 고전 컴퓨터로 시뮬레이션이 가능한 양자 컴퓨터의 성능 범위를 구분하는 경계를 나타냄
- 파란색 점선의 우상방 영역이 '양자 우월성(Quantum Supremacy)'을 나타내는 공간이며 정확한 경계는 유동적임. 하지만 보편적인 양자 우위를 선언하기에는 복잡한 양자 시스템을 구현할 수 있는 컴퓨터 자체와 시스템에 관해 여전히 기술적 해결 과제가 남아 있는 상황

[그림1. 양자 컴퓨터의 성능 공간]



* 출처: An Outlook for Quantum Computing (Proceedings of the IEEE, 2018)

- NISQ 시대를 벗어나 모든 방면에서 양자 컴퓨터가 기존 컴퓨터보다 우위를 달성할 시점에 대한 논쟁은 경제 주체의 투자 불확실성을 높이는 계기가 되고 있음. 그러나 양자기술 시장의 급속한 성장 및 다양한 산업 분야와의 연계성은 향후 미래 산업의 근간을 바꿀 게임체인저로서, 이 분야에 대한 글로벌 경쟁을 보다 치열하게 유도할 것으로 전망

3. 양자 컴퓨터가 가져올 산업 구조 변화

● 양자 컴퓨팅 산업의 공급사슬 구조

- 양자 컴퓨팅 산업은 ①과학과 공학의 **토탈 패키지** 산업, ②지속적인 R&D 투자 단계로서 **산업화 초기 수준**, ③이학과 공학적 사고가 결합된 **융합인재가 필요**한 산업이라는 3가지 특징을 가지고 있음

[표8. 양자 컴퓨팅 산업의 특징]

주요 특징	내용
과학과 공학 토탈 패키지 (Science & Engineering)	소자 제작 인프라(반도체 공정, 극저온 기술 등), 큐비트 생성·유지 소자 시스템 (프로세서, 메모리 등), 제어 하드웨어, 알고리즘 소프트웨어 등의 가치사슬 형성
산업화 초기 수준	실용화 수준에 도달하지 않았으나, 본격적인 보급이 시작되는 시점에 전 세계적인 기술 패권 경쟁이 심화될 것으로 예상 및 기술 주권 확보를 위한 주요국 투자 확대
융합 인재 수요	기초과학 분야와 밀접하게 연계된 양자 컴퓨팅 산업은 이학과 공학적 사고 및 역량이 융합된 고급 인재가 필요한 산업

* 출처: 「시장 측면에서 본 양자컴퓨팅 산업」 (ETRI, 2024)

- 양자 컴퓨팅은 소재부터 플랫폼, 디바이스, 소프트웨어, 서비스로 연계되는 산업으로서 산·학·연 협력이 매우 중요한 산업이며, 현재 투자의 대부분은 정부의 공공투자가 주도하고 있는 상황

* (중국) 2018년 이후 양자 분야 공공투자 추정 가치 150억 달러, (미국) 양자 분야 정부 누적 투자 금액 37.4억 달러

[표9. 양자 컴퓨팅 산업의 공급사슬 구조]

투자자	HW 공급업체	SW 공급업체	서비스 제공업체	사용자
• 공공 투자	• 소재	• 양자컴퓨팅 소프트웨어	• QCaaS (Quantum Computing as a Service)	• 수요 산업
• 민간 투자	• 양자 기본 플랫폼 • 양자컴퓨팅 하드웨어	• 양자컴퓨팅 알고리즘		

* 출처: 「시장 측면에서 본 양자컴퓨팅 산업」 (ETRI, 2024)

● 양자 컴퓨터 활용 산업 분야 전망

- 양자 컴퓨터의 초고속 연산능력은 다양한 산업 분야의 한계로 지적되는 각각의 문제들에 시간·비용적 측면에서 최적의 해결 방안을 제시할 수 있을 것으로 기대하고 있음. 특히 복잡한 계산 작업을 필요로 하는 산업 분야(제약·AI·항공 등)에 그 활용 가치가 높을 것으로 판단됨

- (바이오) 신약 개발, 신소재 합성 등의 혁신적인 성과를 위해서 복잡한 화학 반응과 물질 구조, 약물 효능 시뮬레이션 등을 탐색·연구하는 데에 드는 비용을 획기적으로 낮춤
- (AI) 현재 생성형 AI로 대표되는 LLM(대형 언어 모델)은 방대한 양의 데이터를 학습하고 필요한 정보를 생성해 낼 때 그 답변의 정확성이 한계로 지적됨. 이에 양자 컴퓨팅 기술을 통해 AI의 데이터 식별 및 정확성을 높이는 학습과 처리 속도 능력을 대폭 상승시켜 한계 극복 가능
- (교통·물류) 실시간으로 변화하는 거대한 교통 정보를 분석하여 최적의 물류 경로를 제시하는 한편, 특정 재화나 서비스에 대한 수요를 예측하고 이를 바탕으로 재고를 관리하여 공급망 리스크에 적시성 있는 최적의 대응을 할 수 있도록 양자 컴퓨팅 기술 적용 가능
- (자동차) 자동차 분야는 제조업의 집합체로서 반도체·이차전지·자율주행·소재 등 다양한 산업 요소가 결합된 특징을 가지고 있기 때문에, 각 요소의 설계·실험 측면에서 양자컴퓨팅 기술의 접목은 획기적인 기술 개발 속도를 가져올 것으로 기대

[그림2. 양자 컴퓨터 활용 분야]



* 출처: 「미래 기술 패권을 좌우할 게임체인저, 양자컴퓨터」 (국회도서관, 2025)

● 양자 컴퓨팅 분야에 대한 우리나라 정부의 최신 대응(퀀텀 이니셔티브 추진 전략)

- 미래 핵심 전략기술인 양자 분야의 글로벌 생태계에 진입하기 위해, 우리 정부는 후발 주자로서의 새로운 양자 산업 육성 전략인 「**퀀텀 이니셔티브 추진 전략**(2025.3.12.)」을 발표
- 특히 10대 과제 중 '**양자이득 조기실현**'이라는 양자 컴퓨터와 관련 과제를 달성하기 위해 글로벌 양자 컴퓨터 및 컴퓨팅 시스템을 도입함으로써 양자컴퓨터 활용 역량 내재화 도모

※ 한국산업기술진흥원 산업기술정책단 정책기획실 오은총 연구원 / dmschd1365@kiat.or.kr
 ※ 본 자료에 수록된 내용은 작성자의 개인의견으로 기관의 공식 견해가 아님을 밝힙니다.