

2025.04

Vol.05

글로벌 시장동향보고서

양자 기술

(Quantum Technology)





본 보고서는 과학기술정보통신부에서 시행하는 연구개발지원단 육성·지원사업의 일환으로 과학기술정보통신부와 서울특별시의 지원을 받아 서울연구개발지원단(서울테크노파크 전략기획팀)에서 작성한 연구보고서입니다.

본 보고서는 글로벌 시장정보 전문업체(statista 등)에서 제공되는 내용을 기반으로 작성된 보고서로 서울연구개발지원단의 공식적 견해는 아님을 알려드립니다.

본 보고서는 서울과학기술정보시스템(<https://www.stis.or.kr/>)에서 다운로드 가능하며, 본 보고서의 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.



글로벌

시장동향보고서



양자 기술

(Quantum Technology)

목차

1. 양자 기술 시장 현황

1.1 양자 기술 및 산업 개요	3
1.2 양자 기술 시장 전망	5
1.3 시장 동인 및 이슈	7
1.4 양자 기술 스타트업 현황	8

2. 양자 기술 관련 주요시장 동향

2.1 양자 컴퓨팅	13
2.2 양자 통신	16
2.3 양자 센싱	19

3. 주요국 정책·투자 동향 및 혁신 클러스터 현황

3.1 주요국 정책 및 투자 동향	23
3.2 혁신 클러스터 현황	28

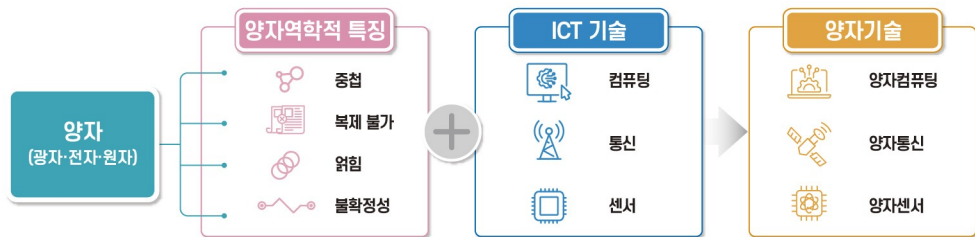
1. 양자 기술 시장 현황

1.1. 양자 기술 및 산업 개요

» ‘양자과학기술’이란 양자역학적 특성에 기반하여 시스템을 만들거나 정보를 생성·제어·계측·전송·저장·처리하는 기술로서 양자암호, 양자통신, 양자센서, 양자소자, 양자컴퓨터, 양자시뮬레이터 등을 구현하기 위한 과학과 기술 일체

※ 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률(양자기술산업법)」, 2023.10.31. 제정, 2024.11.1. 시행

- (정의) ‘양자(Quantum, 量子)’는 더 이상 나눌 수 없는 에너지의 최소량의 단위이며, 미시 세계의 양자에 대하여 묘사한 것이 ‘양자역학(Quantum Mechanics)’. 그 중 ‘양자 중첩(Superposition)’과 ‘양자 얽힘(Entanglement)’이 핵심적인 특성
- (중첩) 고전적인 정보처리는 논리값을 0과 1로 표현. 반면에, 양자정보처리에서는 0과 1 뿐만 아니라, ‘0’일 확률과 ‘1’일 확률이 동시에 존재하는 ‘양자 중첩’ 상태 가능. 이런 특성을 이용하여 큐비트(Qubit)를 정의
- (얽힘) ‘얽힘’이란 2개 이상의 양자계(System) 사이에서 고전역학적으로는 설명할 수 없는 방식으로 상호작용하는 현상. 서로 공간적으로 멀리 떨어져 있고 정보를 주고받지 않더라도, 측정하는 순간에 한 계의 상태가 결정되고 그 즉시 ‘얽혀있는’ 다른 계의 상태까지 결정됨
- 양자 기술은 초미시 세계의 양자 물리적 특성을 기반으로 기존의 정보통신 전 영역에 적용하여 초고속 연산, 초신뢰 연결(보안), 초정밀 계측 등을 가능하게 함
- 양자 기술의 특성은 정보통신기술 영역뿐만 아니라 우주항공 및 해양, 인공지능, 바이오, 반도체 등 미래기술 영역은 물론 금융, 국방, 의료, 산업 등에 적용되어 미래 경제·사회 전반의 패러다임 변화와 혁신을 이끌 게임체인저 기술로 인식되고 있음



출처 : 과학기술정보통신부, 양자기술 연구개발 투자전략(안) (2021)

[그림 1] 양자 특성과 ICT 기술 융합 개요

❧ 양자 기술 및 산업은 크게 양자 컴퓨팅(QC : Quantum Computing), 양자 센싱(QS : Quantum Sensing), 양자통신(QComm : Quantum Communication) 분야로 분류

- 광의의 양자기술은 양자역학적 현상의 결과로 일어나는 대부분의 반도체 기술, 신소재 기술, 정밀계측 기술 등을 모두 포괄

〈표 1〉 양자 기술 세부 분야

분야	기술 정의	세부 연구분야
양자 컴퓨팅 (Quantum Computing)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 얽힘 등 양자역학적 특성을 이용하여 기하급수적 성능향상이 가능한 병렬연산 관련 HW/SW 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • (플랫폼) 큐비트(Qubit)의 물리적 근원에 따라 다양한 플랫폼 영역에서 구현 <ul style="list-style-type: none"> - ▲초전도 큐비트 기반, ▲반도체 양자점 기반, ▲이온 트랩, ▲양자광학 기반, ▲다이아몬드 Nitrogen Vacancy(NV) 센터, ▲리드버그(Rydberg) 기반 • (SW) ▲양자원리를 계산 방식에 적용하는 알고리즘 연구, ▲하드웨어와 인터페이스를 목적으로 하는 소프트웨어의 개발, ▲사용자와 인터페이스를 위한 소프트웨어의 개발
양자 센싱 (Quantum Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 상태로 구현된 정보 단위를 송수신하여 정보 탈취가 불가능한 특징을 가지는 통신 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • (양자 키 분배) 양자 상태에서부터 암호키를 추출하는 기술로, 대표적인 양자 보안기술. 유선 기술은 전용 광선로가 필요하며, 무선 기술은 대기 중으로 신호를 송수신 • (양자난수생성기) 양자암호 프로토콜 요소기술로, 방사능, 전기 회로 시스템, 경로 분기 방식 등의 무작위성에 기반하여 난수를 생성 • (양자중계기) 송수신 거리를 확장하기 위한 기술로, 양자인터넷의 핵심 요소 • (양자보안기술) 양자/인증 서명 기술, 비밀분산, 양자 기반 암호화 기술 등 • (양자 네트워크) 양자상태를 전송하는 기술로, 양자 인터넷을 구축하기 위한 기술
양자통신 (Quantum Communication)	<ul style="list-style-type: none"> • 고전 센싱 대비 더 민감한 특정 물리량(전·자기장, 빛, 중력 등)의 초정밀 측정을 위해 필요한 양자 시스템 또는 양자 현상을 활용한 초고성능 센서 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • (관성센서) 물리량에 따라 중력, 가속도, 회전 등의 측정을 위한 기술 • (시간·주파수센서) 높은 정확도 및 안정도의 시간 및 주파수를 발생, 동기 및 측정에 결맞음, 간섭 등의 양자현상을 이용하는 기술 • (전기장·자기장센서) 고전기술의 한계를 극복하고 높은 감도 및 대역에서 측정하는 기술 • (광학센서) 얽힘 상태 등의 양자광원을 이용해 고전적인 측정의 한계를 돌파하는 기술. 양자조명, 양자레이더, 양자레이더, 양자이미징, 양자가스센싱 등

출처 : 과학기술정보통신부 등 (2024.1); 2023 양자정보기술 백서-II. 양자기술 R&D 동향

1.2. 양자 기술 시장 전망

▶ 양자 산업 생태계는 2035년까지 최대 2조 달러의 경제적 효과를 얻을 것으로 전망되며, 2024년 여러 정부에서 강력한 공공자금 투입을 발표

- McKinsey는 모든 산업에서 양자 기술을 적용하여 얻을 수 있는 추가 수익과 비용 절감 효과가 2035년 기준 최대 2조 달러 규모에 달할 것으로 예상했으며, 특히 화학, 생명공학, 금융, 모빌리티 4개의 산업 부문에 양자 컴퓨팅의 영향에 가장 빠르게 나타날 것으로 전망

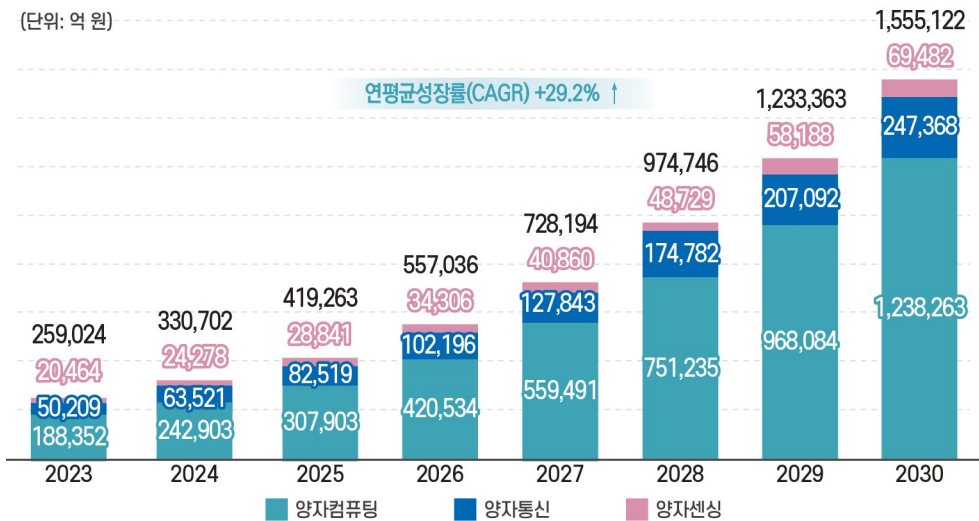
〈표 2〉 양자 기술 시장 규모 시나리오(2035년, 2040년)

구분	2035년	2040년
양자 컴퓨팅 (Quantum Computing)	\$280억 ~ \$720억	\$450억~\$1,310억
양자통신 (Quantum Communication)	\$110억~\$150억	\$240억~\$360억
양자 센싱 (Quantum Sensing)	\$5억~\$27억	\$10억~\$60억

출처 : McKinsey (2024)

- 양자 기술 시장은 초기 단계로, 2023년 기준 글로벌 시장 규모는 약 25조 9,024억 원이지만, 2030년까지 연평균성장률 29.2%로 성장하여 약 155조 5,112억 원에 달하는 시장 규모를 형성할 것으로 전망

(단위: 억 원)

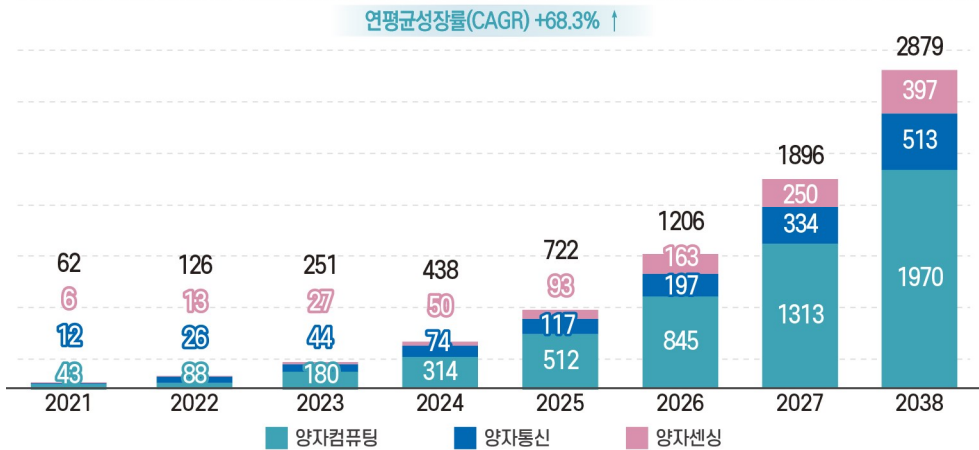


출처 : 과학기술정보통신부 등 (2024); 재가공

〔그림 2〕 글로벌 양자과학기술 분야별 시장 전망(2023~2030)

- 우리나라의 경우 매우 높은 성장률을 기록할 것으로 전망되며, 2021년 62억 원 규모에서 연평균성장률 68.3%로 고성장하여 2028년 2,879억 원 규모에 달할 것으로 전망됨

(단위: 억 원)



출처 : 한국전자기술연구원 (2023.6); 재가공

[그림 3] 글로벌 양자과학기술 분야별 시장 전망(2023~2030)

- 각국 정부에서 발표한 투자 발표의 총액은 420억 달러 규모로 전년 대비 26%가량 증가 하였으며, 양자 기술과 관련된 스타트업의 2024년 총 누적 투자액은 85억 367달러로, 전년 대비 25% 가량 증가

<표 3> 양자 기술 시장 투자 및 생태계(2023년)

글로벌 양자 스타트업 총 누적 투자액	양자 생태계 스타트업	총 정부투자 발표
85억 \$ 양자 컴퓨팅 : 67억 \$ 양자통신 : 12억 \$ 양자센싱 : 7억 \$	367개 스타트업 양자컴퓨팅 : 261개 양자통신 : 96개 양자센싱 : 48개	420억 \$
(전년 대비 25% 증가)	(전년 대비 5% 증가)	(전년 대비 26% 증가)

출처 : McKinsey (2024)

1.3. 시장 동인 및 이슈

» 내부 시장 규모 및 가치의 변화, 양자 기술 투자 환경에 따라 민간 투자, 신규 창업 등이 영향을 받고 있으며 AI 등과 같은 기술적 혁신, 양자 혁신 클러스터 및 생태계 등에 따라 양자 기술 시장이 영향을 받을 것으로 전망됨

〈표 4〉 양자 기술 시장 동향 및 이슈

구분	내용
 <p>양자 기술 투자 환경</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년에도 지속적인 모멘텀과 막대한 자금 조달이 발표됐지만, 민간 투자가 줄고 신규 창업도 감소함 • 연간 양자 기술 스타트업 투자 총액은 전년 동기 대비 27% 감소한 17억 달러로 전 세계 스타트업 투자 전체 감소율 38%보다 작은 감소세를 기록 • 모든 양자 기술에 대한 투자가 감소했으며, 양자 센싱이 가장 큰 감소세를 보임 • 2023년에는 더 적은 신규 양자 기술 스타트업이 설립되었으며(-44% YoY, 13개), 자금의 대부분(62%)이 5년 이상 전에 설립된 회사에 전달
 <p>기술적 혁신</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 오류 완화, 수정 제한 및 논리적 큐비트 시연은 잠재적으로 가속화된 양자 타임라인을 통해 대규모의 내결함성 양자 컴퓨팅에 대한 가능성을 보여줌 • 연구진은 양자통신에 혁신적인 기술을 활용해 양자키 분배 성능을 향상시키고, 전송 거리를 늘리고, 데이터 속도를 높이는 것을 시연하고 있음 • 다이아몬드 NV(질소 공극) 센터를 기반으로 하는 양자 센서 기술의 감도를 향상시키는 유망한 신기술의 지속적인 개발이 기대됨
 <p>양자 인재</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전 세계적으로 대학들이 더 많은 양자 기술 프로그램을 계속 제공하고 있으며, 유럽 연합은 양자 기술 관련 분야의 졸업생 수에서 계속 선두를 달리고 있음 • 양자 기술 관련 과를 운영하는 대학은 195개로 전년 대비 8.3% 증가하였으며, 양자 기술 관련 석사 학위는 10% 증가하여 55개로 늘어남
 <p>양자 혁신 클러스터</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 기술에 대한 학제간 융합, 기술을 시장에 출시하는 데 필요한 조정(예: 학계와 산업계 사이), 양자 기술에 대한 제한된 인식 및 채택 등 기술 산업화, 지적 재산 관리, 인재 격차 극복 등 다양한 극복 과제가 존재 • 양자 기술 개발을 위한 대규모 공공 자금이 발표되면서 양자 기술의 기술과 주요 사용 사례를 모두 발전시키기 위한 정부, 학계, 업계 간의 긴밀한 협력은 더욱 중요해짐
 <p>양자와 AI</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AI와 양자 컴퓨팅은 모두 가치를 끌어낼 수 있는 엄청난 잠재력을 가지고 있으며, 양자 컴퓨팅은 생성형 AI 훈련에 필요한 컴퓨팅 성능을 제공하는데 도움이 될 수 있고, 생성형 AI는 양자 시스템의 개발 및 테스트 시간을 단축하는 데 도움을 줄 수 있음

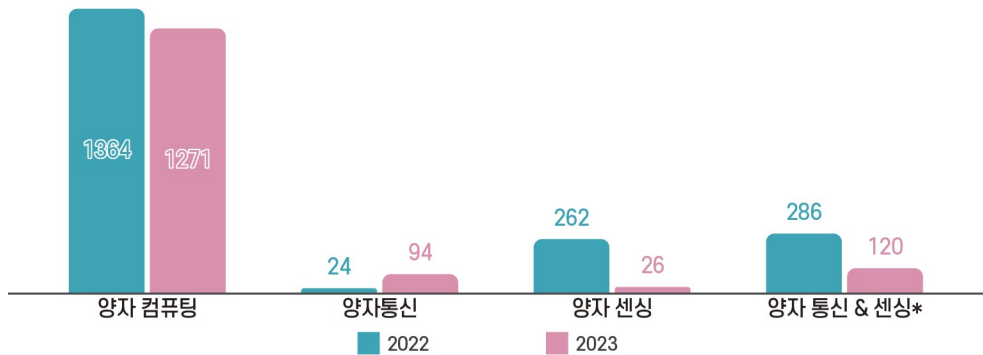
출처 : McKinsey (2024) 재구성

1.4. 양자 기술 스타트업 현황

▶ 양자 산업의 스타트업 기업에 대한 민간투자는 2023년 대비 둔화되었지만, 주요국의 정부 투자 규모는 약 420억 달러에 달함

- 2023년 양자 기술 스타트업에 대한 총 투자는 2022년 23억 5천만 달러 대비 27% 감소하여 17억 1천만 달러 규모로 집계되었으며, 양자 센싱 스타트업에 대한 투자 비율이 가장 크게 감소한 것으로 나타남

(단위: 백만 \$)



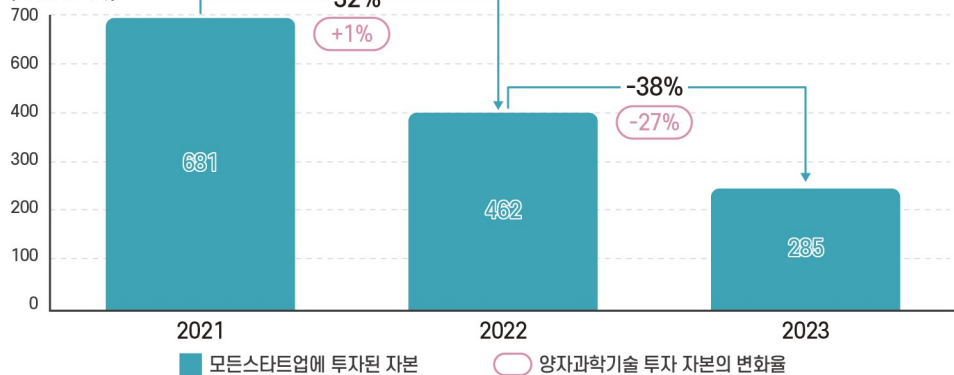
* 양자 통신과 양자 센싱 모두에 초점을 맞춘 기술을 보유한 회사 포함

출처: McKinsey (2024)

[그림 4] 글로벌 양자과학기술 분야별 스타트업 투자금(2022~2023)

- 2023년에는 전 세계적으로 모든 스타트업에 대한 투자 둔화가 지속되는 추세를 보여 인플레이션, 높은 이자율, 지정학적 불확실성 등으로 인한 투자 모금 환경의 변화에 따른 것으로 해석될 수 있음

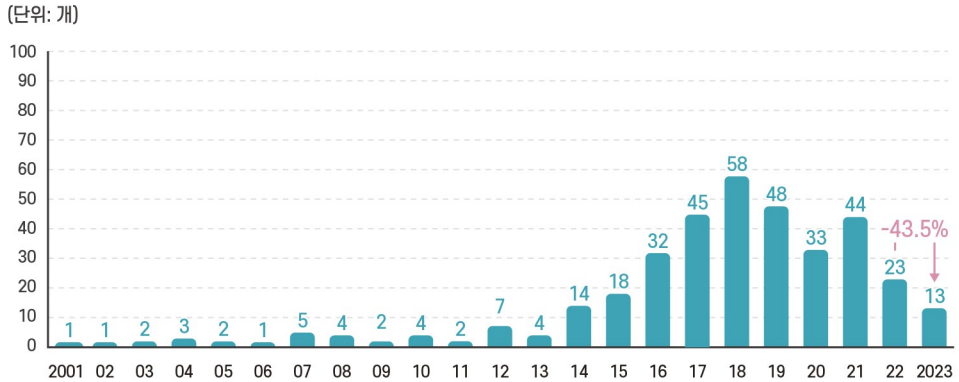
(단위: 10억 \$)



출처: McKinsey (2024)

[그림 5] 글로벌 스타트업 투자금(2021~2023)

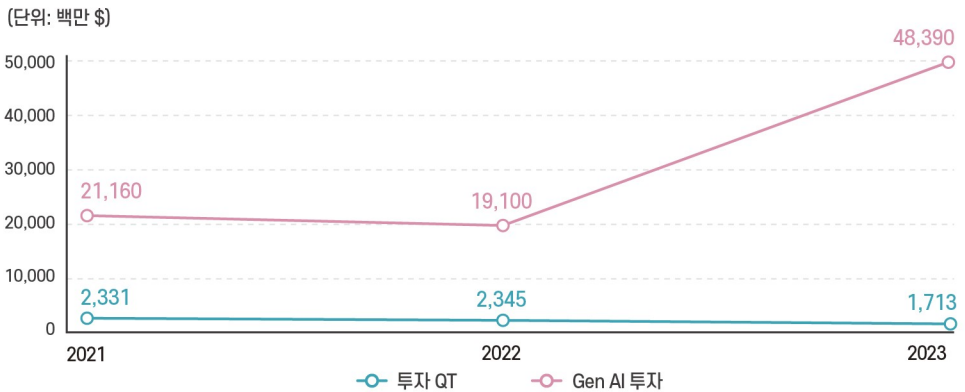
- 2023년에 양자과학기술 스타트업 창업은 둔화되었으며, 양자 컴퓨팅 분야 10개, 양자 통신 분야 1개, 양자 센싱 분야 2개의 스타트업이 신규 창업한 것으로 집계됨



출처 : McKinsey (2024)

[그림 6] 연간 설립된 양자과학기술 스타트업 수(2001~2023)

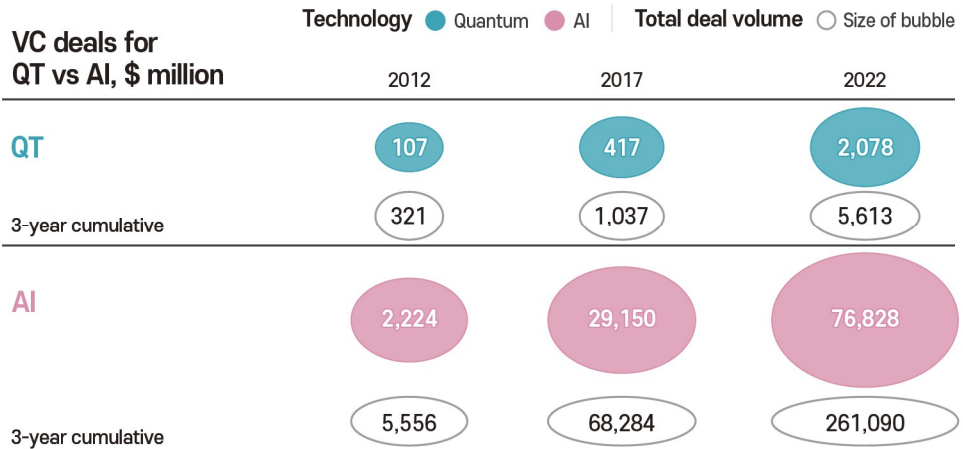
- 2023년도 기준 양자과학기술에 대한 투자는 줄고, 생성형 AI에 대한 투자는 크게 늘었는데 이는 생성형 AI가 단기적인 상업적 잠재력을 가진 것으로 초점이 전환되고, 양자과학기술의 경우 상업적 성공을 달성하기 위한 도입 일정의 불확실성 등에 따라 장기적인 개발 기술로 인식되고 있는 것이 반영된 것으로 해석될 수 있음



출처 : McKinsey (2024)

[그림 7] 양자과학기술 및 생성형 AI에 대한 글로벌 투자금액(2021~2023)

- 양자과학기술에 대한 VC의 거래 규모는 10년 전 AI 자금 조달과 비슷한 수준을 보이고 있으며, 양자과학기술의 3년간 누적 거래량은 10년 전 AI의 거래량보다 더 높은 수치를 기록하고 있으나 양자과학기술 개발 요구 사항은 AI의 자금 요구 사항 및 기술 성숙도 일정 등의 요구 사항과 다른 양상을 보임



출처 : McKinsey (2024)

[그림 8] 양자과학기술 및 AI에 대한 VC 거래 규모(2021~2023)

- 거래 규모별 2023년 양자과학기술 스타트업에 대한 상위 10개 벤처캐피탈/사모펀드 투자를 살펴봤을 때, 5개만이 가치가 50만 달러 이상으로 평가됨

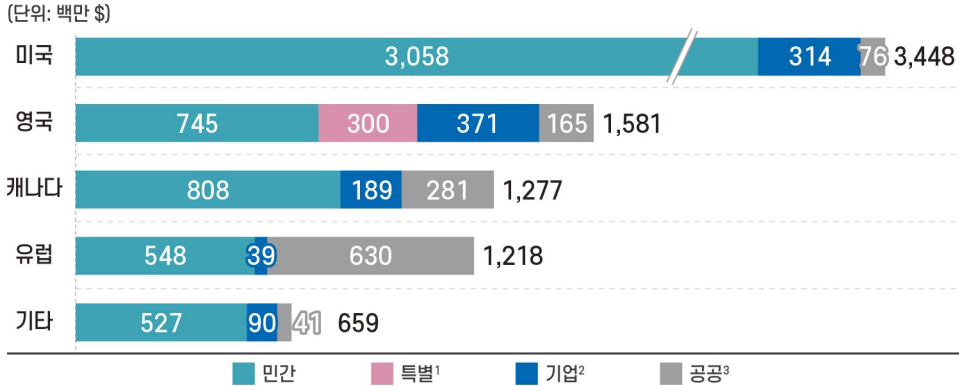
<표 5> 양자과학기술 스타트업에 대한 상위 10개 벤처 캐피탈/사모 펀드 투자(2023년)

회사명	국가	분야	구분	거래규모 (백만 달러)	유형
Pasqal	프랑스		하드웨어 제조	103	시리즈 B
Photonic	캐나다		하드웨어 제조	100	시리즈 D
OQC	영국		응용 소프트웨어	100	시리즈 B
Q-CTRL	호주		시스템 소프트웨어	52	시리즈 B
Quantum Motion	영국		하드웨어 제조	51	시리즈 B
Silicon Quantum Computing	호주		하드웨어 제조	50	시리즈 A
Xpanceo	아랍에미리트		하드웨어 제조	40	시드 라운드
Quandela	프랑스		하드웨어 제조	39	시리즈 A
Oxford Ionics	영국		하드웨어 제조	36	시리즈 A
NVision Imaging Technologies	독일		응용 소프트웨어	30	시리즈 A

출처 : McKinsey (2024)

- 양자과학기술 스타트업에 대한 총 투자의 대부분은 미국 기업에게 이루어졌으며, 영국, 캐나다, 유럽이 그 뒤를 따름

※ 해당 자료는 1PitchBook 데이터를 기반으로 한 내용으로 중국의 창업 투자에 대한 데이터 가용성이 제한적이어서 실제 투자 규모는 이보다 클 것으로 예상되어 해석에 유의 필요

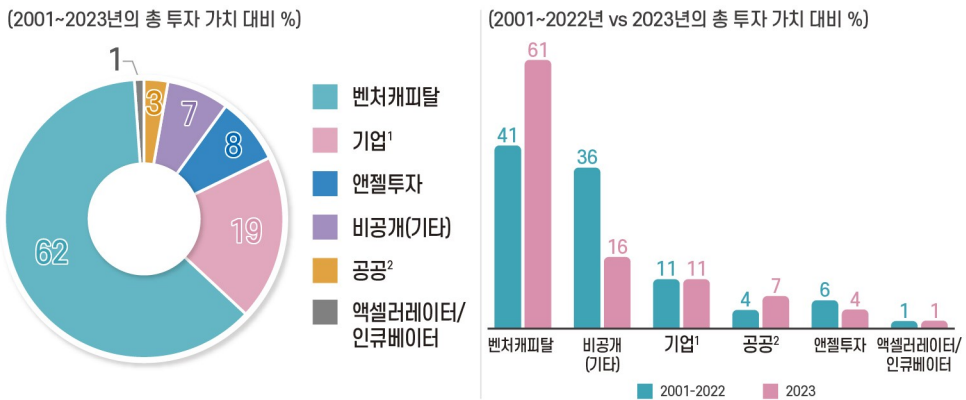


1. SPAC 및 기타 특별 거래 유형이 포함
2. 외부 스타트업에 대한 기업 및 기업 벤처 캐피탈의 투자를 포함(기업 내부의 양자 기술 관련 투자는 제외)
3. 정부, 국부펀드, 대학의 투자가 포함

출처 : McKinsey (2024)

[그림 9] 국가별 주요 투자자 유형별 양자과학기술 스타트업에 대한 투자 규모(2001~2023년 누적)

- 벤처캐피탈과 기타 민간 자본 투입이 양자과학기술 투자 유입의 거의 80%를 차지하고 있으며, 2023년도에는 벤처캐피탈의 투자가 60% 이상을 차지

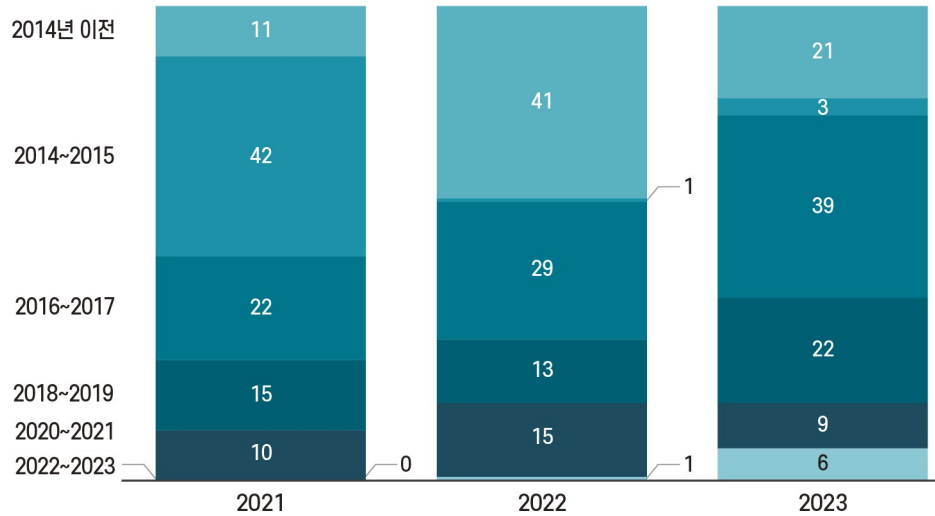


1. 외부 스타트업에 대한 기업 및 기업 벤처 캐피탈의 투자를 포함(기업 내부의 양자 기술 관련 투자는 제외)
2. 정부, 국부펀드, 대학의 투자가 포함

출처 : McKinsey (2024)

[그림 10] 투자자 유형별 양자과학기술 투자 비율(좌) 및 투자자 유형별 양자과학기술 투자 비율 변화(우)

- 2023년 기준 설립된 지 5년 이상된 양자과학기술 스타트업에 투자된 비율이 높은 것으로 집계되어 새롭게 설립된 스타트업은 자금 조달이 어려울 수 있음을 시사



출처 : McKinsey (2024)

[그림 11] 창업 연도 기준 양자과학기술 기업 투자 비중(2021~2023년)

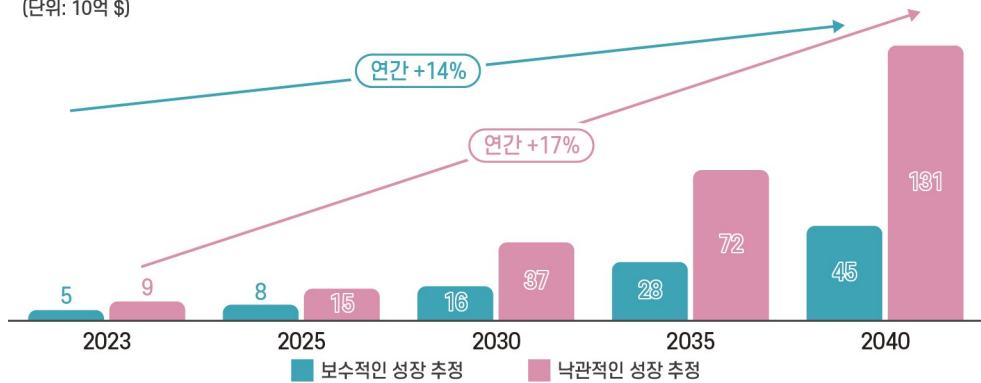
2. 양자 기술 관련 주요시장 동향

2.1. 양자 컴퓨팅

» 양자 컴퓨팅 시장은 향후 5~10년 내에 급격한 가속화가 예상되며, 2035년까지 280억~720억 달러, 2040년까지 450억~1,310억 달러에 이를 것으로 전망

※ 시장 예측은 현재 양자과학기술에 대한 이해와 예상되는 전체 고성능 컴퓨팅 시장 규모를 기반으로 양자 이점에 대한 타임라인을 가정한 양자 컴퓨팅 채택 곡선을 따름

(단위: 10억 \$)



출처: McKinsey (2024)

[그림 12] 각 시나리오별 양자 컴퓨팅 시장 예상 규모

» 양자 컴퓨팅 기술의 영향으로 비양자과학기술 산업에 대한 전체 가치 사슬에 걸친 경제적 가치는 약 1조~2조 달러에 달할 것으로 예상됨

- 가장 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 산업은 금융서비스, 화학, 여행·운송·물류, 제약, 자동차 순으로 전망됨

산업	양자컴퓨팅 핵심 세그먼트	경제적 가치 ¹⁾		2035년 시장규모 (단위: 1조 \$)	심층분석 2035년까지 양자과학기술의 영향을 받는 가치 (단위: 10억 \$)
		~2025-2030	~2030-2035		
금융 ²⁾	금융서비스	++	+++	14.1	400-600
에너지 및 소재	석유 및 가스	+	++		
	지속가능 에너지 ³⁾	+	+++		
	화학	++	+++	6.1	200-500
여행, 운송, 물류	여행, 운송, 물류	+	+++	14.1	
	제약 및 의료제품	제약	++	+++	3.1
자동차		+	++	8.3	
첨단산업	항공우주 및 방위	+	++		70-400
	전자회로	+	++		
	반도체	+	++		
보험	보험	+	++		50-100
통신, 미디어	통신	+	++		
	미디어	+	+		
총 합계					900-2,000

출처: McKinsey (2024)

[그림 13] 양자 컴퓨팅 기술 도입에 따른 타 산업에서의 경제적 가치 향상

» 양자 컴퓨팅 관련 연구 개발 측면에서 기술 혁신이 나타나고 있으며, 논리적 큐비트 경쟁에서 주요 플레이어들이 생태계를 구축하고 있음

- 다양한 기업과 연구기관들이 양자 컴퓨팅의 확장성, 회복성 등을 확보하기 위하여 기술 개발 추진 중에 있음

〈표 6〉 양자 컴퓨팅 관련 최근 주요 기술 혁신

관련 기관	주요 내용	의미
	<ul style="list-style-type: none"> • 2024년 4월 Microsoft의 큐비트 가상화 시스템과 Quantinuum의 이온트랩 하드웨어를 활용하여 물리적 큐비트보다 800배 더 나은 오류율을 기록하며 기록상 가장 신뢰할 수 있는 논리적 큐비트를 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 논리적 큐비트가 노이즈로부터 보호되고 장시간 계산이 가능한 회복성 있는 양자 컴퓨팅 가능성 확인
	<ul style="list-style-type: none"> • 288개의 물리적 큐비트를 사용하여 약 100만 번의 실패 사이클 동안 보존된 12개의 논리적 큐비트를 2024년 3월 시연 	<ul style="list-style-type: none"> • 이전에는 동일 작업을 위해서는 약 3,000개의 물리적 큐비트가 필요했음
	<ul style="list-style-type: none"> • 대부분의 오류를 초전도 트랜스몬을 기반의 특수 클래스로 변환시키는 “삭제 오류 감지 및 수정 (erasure error detection and correction)”이라는 새로운 접근 방식을 2024년 3월 시연 	<ul style="list-style-type: none"> • 올바른 상황에서 삭제 오류를 감지하고 수정할 시에 오류 수정 오버헤드를 크게 줄일 수 있음
	<ul style="list-style-type: none"> • Alice&Bob은 장치 기반 노이즈로부터 보호하는 qubit 토폴로지인 cat 큐비트 1,500개를 사용하여 10~8의 오류율을 지닌 신뢰할 수 있는 논리적 큐비트를 2024년 1월 시연 	<ul style="list-style-type: none"> • 쇼어 알고리즘은 2,000만 개의 큐비트가 필요한 것과 대조적으로 10만 개의 cat 큐비트로 실행 가능
	<ul style="list-style-type: none"> • QuEra, Harvard, MIT, NIST는 48개 논리 큐비트에서 복잡하고 오류가 수정된 양자 알고리즘을 실행하고, 60개 중성 원자 큐비트에서 2큐비트 게이트 충실도 99.5%를 달성 	<ul style="list-style-type: none"> • 확장가능하고 내결함성이 있는 양자 컴퓨터를 개발할 수 있는 토대를 마련

출처 : McKinsey (2024), 재가공

» 미국과 캐나다에서 양자 컴퓨팅 스타트업 활동이 가장 활발하게 이루어지고 있으며, 양자 컴퓨팅 가치 사슬 스타트업 중에서는 하드웨어 제조업체가 계속해서 가장 많은 투자를 받고 있음

- 2023년 기준 미국의 양자컴퓨팅 스타트업은 2022년 대비 3개 증가한 75개로 글로벌 양자 컴퓨팅 스타트업의 28.7%를 차지하였으며, 연구 그룹은 2022년 대비 3개 증가한 70개로 글로벌 양자 컴퓨팅 연구 그룹의 37.8%를 차지하여 가장 활발하게 양자 컴퓨팅 관련 활동이 이뤄지고 있는 것으로 집계됨

〈표 7〉 국가별 양자컴퓨팅 스타트업 및 기관 수(2023년)

구분	스타트업	기존 기업	공공/정부기관	연구 그룹	
T o p 7		75	9	18	70
		28	0	2	10
		24	1	2	14
		14	1	0	7
		11	1	3	9
		11	2	1	7
		10	2	12	11
기타	88	1	19	55	
총합계	261	17	57	185	

출처 : McKinsey (2024)

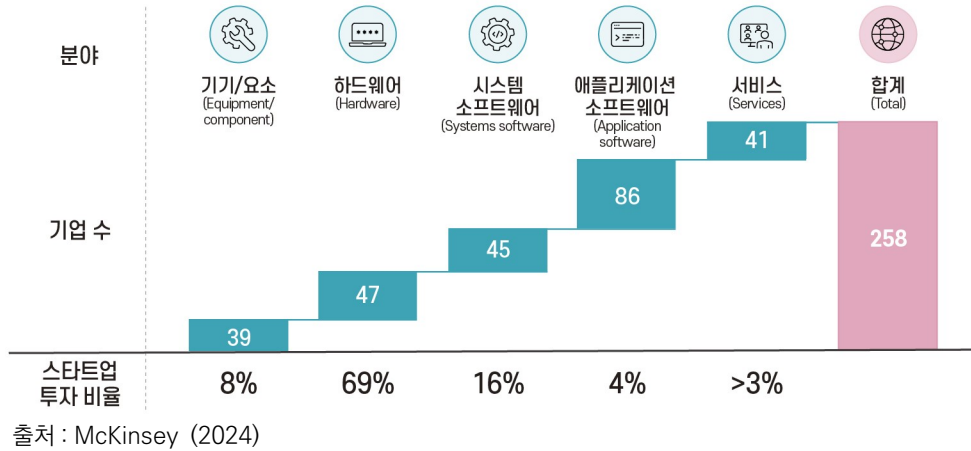
〈표 8〉 국가별 양자컴퓨팅 스타트업 연도별 현황(2021~2023년)

국가	2023년	2022년	2021년	국가	2023년	2022년	2021년
미국	75 +3*	72	60	이스라엘	6	6	4
캐나다	28	28	26	스위스	5	5	5
영국	24 +2	22	19	스웨덴	3	3	2
일본	14	14	13	덴마크	3	3	2
독일	12 +1	12	8	콜롬비아	2	2	2
프랑스	11	11	8	폴란드	3 +1	2	2
중국	10 +1	9	8	싱가포르	2	2	2
호주	8	8	7	오스트리아	3 +1	2	2
스페인	8	8	7	UAE	2	2	2
네덜란드	7	7	6	이탈리아	2	2	1
필란드	7 +1	6	6	체코	1	1	1
인도	6	6	5	대한민국	1	1	0

* 빨간색 표기는 2022년 이후 변동 사항

출처 : McKinsey (2024)

- 양자컴퓨팅 창업 비율은 지난 4년 동안 둔화되었으며, 가치 사슬 중에서는 애플리케이션 소프트웨어 분야의 스타트업이 가장 많은 창업 수를 보이나 투자 비중에서는 하드웨어 분야가 가장 많은 투자를 받고 있음



[그림 14] 가치사슬별 양자 컴퓨팅 스타트업 수 및 투자 비율

2.2. 양자 통신

» 양자 컴퓨팅 관련 사이버 보안 위험이 증가함에 따라 향후 10년 동안 양자통신채택이 가속화 될 것으로 예상됨

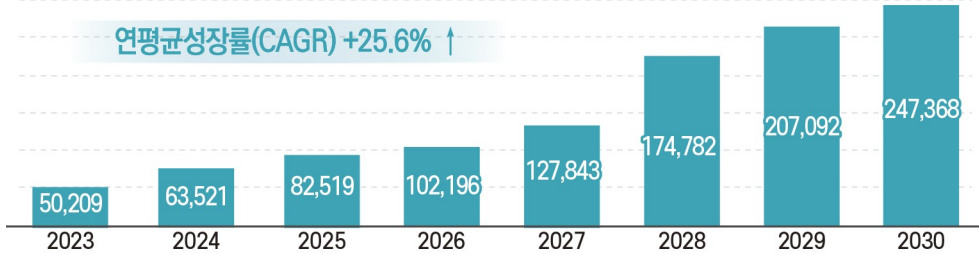
- 단거리 보안 양자는 선두 주자들이 구현 실험을 시작하여 현재 이용 가능하며, 장거리 통신 필요한 양자 중계기가 현재 핵심 요소들이 개발되어 향후 몇 년 내에 현장 시연이 가능할 것으로 예상됨
- 양자 암호화는 특히 통신, 금융 및 방위 분야의 활용을 위하여 향후 10년 동안 더 폭넓게 채택될 것으로 예상됨
- 양자 컴퓨터가 성숙해지면 양자 통신을 통해 병렬 양자 컴퓨팅을 위한 프로세서와 데이터 센터 간의 연결이 가능해짐



[그림 15] 안전한 양자 통신을 위한 마일스톤 및 기술 지원 요소(예시)

▶ 양자 통신 분야의 글로벌 시장 규모는 '23년 5조 209억원에서 연평균 25.6% 성장하여, '30년에는 24조 7,368억원 규모 시장으로 성장할 전망

(단위: 억 원)



출처 : 2023 양자정보기술 백서 (2024)

[그림 16] 글로벌 양자 통신 분야 시장 전망(2023~2030)

▶ 양자 통신 관련된 기술 개발에 있어 다양한 파트너십의 역할이 중요하게 나타나고 있음

- 다양한 기업과 연구기관들이 양자 통신의 보안, 전송 속도 등을 확보하기 위하여 기술 개발 추진 중에 있음

<표 9> 양자 통신 관련 최근 주요 기술 혁신

관련 기관	주요 내용	의미
 UNIVERSITY OF CALIFORNIA	<ul style="list-style-type: none"> • 중국 과학자들은 웹 3.0을 보호하는데 도움이 될 수 있는 장거리 자유 공간 양자 보안 직접 통신 (LF QSDC) 기술의 도입은 2024년 2월 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전한 웹 3.0으로 나아가기 위한 양자 암호화용 QSDC 프로토콜의 발전
 LG전자	<ul style="list-style-type: none"> • LG전자 연구진들은 QSDC DL04 프로토콜 표준의 한계를 극복한 고차원, 단일 광자 기반 보안 직접 통신 프로토콜을 2024년 1월 제안 	<ul style="list-style-type: none"> • 기술적 한계를 극복하여 양자 통신 시스템의 보안성과 전송 속도를 향상
 中国科学院 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES (중국과학원)	<ul style="list-style-type: none"> • 중국과 러시아의 과학자들은 러시아 모스크바 근처의 지상국에서 중국 우루무치 인근 다른 기지국 까지 양자 키로 암호화된 두 개의 이미지를 전송하여 3,800km가 넘는 양자 통신을 2023년 12월 시연 	<ul style="list-style-type: none"> • BRICS1 국가의 성공적인 협력은 양자 통신에 대한 강력한 전략적 초점을 보여줌
 Adtran Orange Quantum Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Adtran과 Orange는 400G 기술을 활용하여 184 km에 걸쳐 QKD1 보안데이터를 전송하는 것을 2023년 10월 시연 	<ul style="list-style-type: none"> • QKD 및 PQC의 설계와 구현을 발전시키는 게 있어서 파트너십의 역할을 보여줌

1. BRICS : Brazil, Russia, India, China, South Africa

출처 : McKinsey (2024), 재가공

양자 통신 장비 관련 스타트업이 해당 분야에서 가장 많은 자금을 조달하였으며, 2024년 양자 통신 분야에 초점을 맞춘 새로운 스타트업은 거의 없는 것으로 나타남

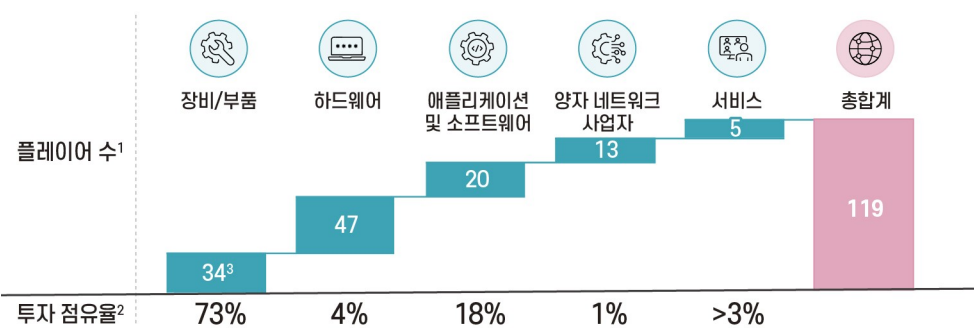
- 2022년은 2021년 대비 5개의 스타트업이 늘어났으나, 2023년은 2022년과 동일한 스타트업 수를 보였으며, 2023년 기준 미국의 양자통신 스타트업은 20개로 글로벌 양자 통신 스타트업의 20.8%를 차지

〈표 10〉 국가별 양자통신 스타트업 연도별 현황(2021~2023년)

국가	2023년	2022년	2021년	국가	2023년	2022년	2021년
미국	20	20	19	호주	2	2	2
중국	16	16	16	인도	2	2	2
영국	14	14	14	러시아	2	2	1
캐나다	9	9	8	콜롬비아	1	1	1
프랑스	4	4	4	핀란드	1	1	1
독일	4	3	3	이스라엘	1	1	1
네덜란드	3	3	3	불가리아	1	1	1
스위스	3	3	3	한국	1	1	1
싱가포르	3	3	3	스코트랜드	1	1	1
스페인	3	3	2	리히텐슈타인	1	1	0
일본	2	2	2	포르투갈	1 +1	0	0
폴란드	2	2	2	총합계	96 +1	95	90

* 빨간색 표기는 2022년 이후 변동 사항
출처 : McKinsey (2024)

- 양자 통신 관련 가치사슬 부문별 기업 수를 살펴보았을 때, 양자 통신 장비 스타트업은 하드웨어 스타트업보다 적은 기업 수를 보였으나, 자금 조달은 73%를 차지하여 가장 많은 자금을 조달한 것으로 나타남



- 양자통신 제품을 개발하거나 제공하는 신생 기업 및 기존 기업을 포함
 - 내부 부서 또는 재직자의 프로젝트에 대한 투자는 제외되며, PitchBook에 기록되고 언론에 발표된 스타트업에 대한 공공 투자를 기반으로 함
 - 공급업체는 100개 이상이나 양자통신 관련 스타트업은 34개에 불과
- 출처 : McKinsey (2024)

〈그림 17〉 가치사슬 부문별 양자통신 플레이어 수

▶ 단기적으로 양자 통신 분야는 계속해서 기술 발전이 이뤄지고 정책적으로도 뒷받침될 것으로 예상되며, 상업적인 관심을 끌며 다양한 생태계와 허브가 생성되고 있음

〈표 11〉 양자 통신 관련 현황

상업 및 정책 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 하이퍼스케일러*(예 : AWS), 통신업체(예 : Orange) 및 양자키배포(QKD) 회사 (예 : Toshiba Europe)는 클라이언트와 함께 메트로 규모 QKD 네트워크의 프로토타입을 배포 중 • 스타트업은 범위, 전송속도와 같은 QKD 시스템의 성능과 프로토콜을 지속적으로 개선 중 • 포스트 양자 암호화(Post quantum cryptography, PQC)는 Apple의 양자 안전을 위한 iMessage, Codafone 및 SandboxAQ용 PQ3 VPN 등 기술 회사가 PQC 배포를 출시함에 따라 주목을 받고 있음 • 전 세계 정부와 조직은 포스트 양자 암호화에 대한 이니셔티브를 수립하기 시작하였으며, 미국 CISA은 NATO의 첫 양자 전략의 일부인 PQC 이니셔티브를 발표
기술개발 현황	<ul style="list-style-type: none"> • NIST는 2022년에 선정된 4개의 PQC 중 3개에 대한 표준 초안을 발표 • 고체 스핀, 희토류 이온, 원자 증기를 기반으로 한 양자 메모리 생성에 대한 연구가 지속적으로 이뤄지고 있음 • 트래핑된 이온을 사용하여 통신 파장에서 작동하는 양자 반복기가 시연됨 • 장거리에 적용한 수 있는 QKD 성능 개선 등은 연속 변수 QKD 등 보다 정교한 접근 방식을 통해 달성 • 유럽연합 전체에 안전한 양자 통신 인프라를 배포하기 위한 프로젝트 Petrus가 개시
생태계 및 허브 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 : 보스턴 지역 양자 네트워크, 시카고 양자 네트워크 • EU : 이탈리아 양자 백본, 마드리드 양자 통신 인프라 • 영국 : 런던 양자 보안 메트로 네트워크 • 아시아 : 베이징·상하이 백본 네트워크(BSBN), 도쿄 QKD 네트워크, 싱가포르 국립 양자 안전 네트워크





* 클라우드 컴퓨팅 및 데이터 관리 서비스를 제공하는 대규모 데이터 센터
출처 : McKinsey (2024)

2.3. 양자 센싱

▶ 양자 센싱(Quantum Sensing)은 기존 센서보다 더욱 민감하고 신뢰할 수 있는 측정을 통해 새로운 애플리케이션을 가능하게 할 수 있으며 다양한 산업에 영향을 미칠 것으로 예상

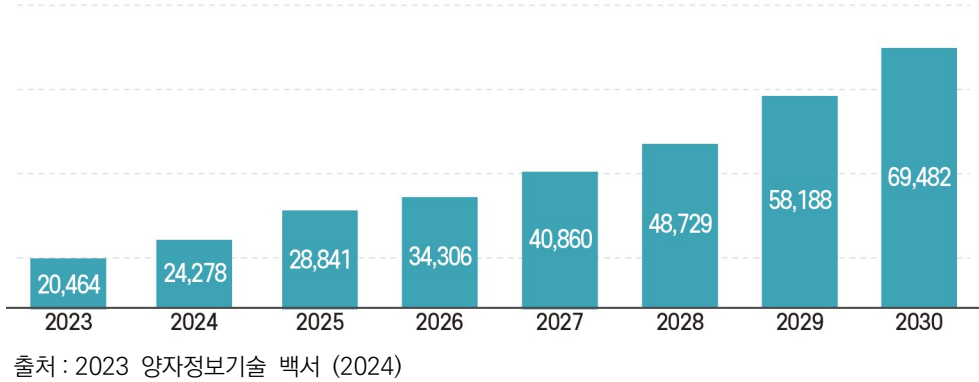
- 양자 센싱은 실용적인 환경에서 양자 계측학을 응용한 것으로 외부 세계에 대한 양자 시스템의 향상된 감도를 활용하여 더 높은 정밀도를 확보할 수 있으며, 매우 크기가 작은 범위나 높은 해상도 또는 접근 불가능했던 위치에 새로운 액세스가 가능하도록 하는 이점이 있음
- 양자 센싱은 바이오이미징, 레이더 통신, 분광학, 기초연구 등 기존 센서가 활용되고 있는 다양한 분야에 응용 가능하며, 다양한 산업에 영향을 미칠 것으로 예상

〈표 12〉 양자 통신 관련 최근 주요 기술 혁신

산업 (Industry)	모니터링 (Monitoring)	이미징 (Imaging)	주행 (Navigation)	식별 (Identification)
 석유 및 가스	<ul style="list-style-type: none"> • 지진 모니터링 • 예측·유지 관리를 위한 파이프라인 모니터링 			<ul style="list-style-type: none"> • 천연자원 식별
 자동차 및 조립	<ul style="list-style-type: none"> • 생산 라인 최적화 및 품질 보증 		<ul style="list-style-type: none"> • 고정확도 GPS 네비게이션을 위한 정밀 원자 시계 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산 중 결함 부품 식별
 항공우주 및 방위			<ul style="list-style-type: none"> • 고정확도 GPS 네비게이션을 위한 정밀 원자 시계 	
 첨단 전자공학 및 반도체	<ul style="list-style-type: none"> • 생산라인 최적화 및 품질 보증 • 배터리 수명 개선 • 예측·유지 관리 			<ul style="list-style-type: none"> • 마이크로 전자공학에서의 결함 부품 감지
 의료기술	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 대사 프로세스 	<ul style="list-style-type: none"> • 뇌 스캔, 영상촬영 • 단백질 구조 		
 미디어		<ul style="list-style-type: none"> • 게임 인터페이스, 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface, BCI) 		
 공공 부문	<ul style="list-style-type: none"> • 화산 예측, 지진 교란, 날씨 예측 등 공공 안전 환경 모니터링 			

출처 : McKinsey (2024), 재가공

▶ 양자 센싱 분야의 글로벌 시장 규모는 '23년 2조 464억원에서 연평균 19.1% 성장하여, '30년에는 6조 9,482억원 규모 시장으로 성장할 전망



[그림 18] 글로벌 양자 센싱 분야 시장 전망(2023~2030)

▶ 최근 업계에서의 양자 센싱 채택과 다양한 기관들의 연구개발은 양자 센싱의 잠재력을 보여주고 있으나, 아직 많은 기술 혁신이 이뤄지지 않는


<표 13> 양자 센싱 관련 현황

업계 채택	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 4월, 양자 센싱 회사 QUSPIN은 생체 자기 응용 분야를 위한 새로운 통합 광학 펌핑 자력계(Optically Pumped Magnetometer, OPM)를 출시하였으며, 감도는 SQUID(Superconducting quantum interference devices) 장치와 동등한 최초의 OPM 중 하나(~10fTHz-1/2) • 2023년 2월, 미 공군은 GPS를 대체할 양자 센싱 개발을 위해 SandboxAQ 계약을 체결 • 2023년 10월, Bosch Quantum Sensing은 양자 센서의 소형화를 목표로 하여 양자 센서를 칩에 통합하기 위해 노력 • 2024년 1월, Q-STRL은 위험 보기 감지, 물 자산 모니터링 등 지질 과학을 위해 양자 자기 측정법과 같은 양자 센싱 기술을 사용하는 것을 목표로 USGS와의 파트너십을 발표
주요 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 2024년 2월, MIT 연구원들은 양자 센싱에 활용할 수 있는 큐비트를 생성하기 위해 다이아몬드 내부의 더 많은 수의 미세 결함을 제어하는 새로운 기술을 개발 • 2023년 8월, 미국 국립과학재단(National Science Foundation)은 미국 대학의 18개 팀에 2,900만 달러를 투자한다고 발표했으며, 초정밀 원자 시계로 산의 높이와 밀도를 측정하는 것부터 양자 얽힘 입자로 살아있는 세포의 내부 기능을 밝히는 것까지 다양하고 광범위한 연구 활동 수행을 계획 • 2023년 10월 코펜하겐의 Niels Bohr Institute(NBI)은 양자 센서의 정밀도를 높일 수 있도록 양자 잡음(quantum noise)을 감지하고 완화하는 새로운 방법을 개발 • 2023년 10월, UC Berkeley 연구원들은 다양한 시스템에 통합할 수 있는 양자 센서를 위한 새로운 3D 프린팅 기술을 시연

출처 : McKinsey (2024)

- 양자 센싱과 관련해서는 아직 많은 기술 혁신이 이뤄지지 않았으나 질소-공석 등 새로운 선도적 연구 분야들이 이머징 하고 있음

〈표 14〉 양자 센싱 관련 최근 주요 기술 혁신

관련 기관	주요 내용	의미
	<ul style="list-style-type: none"> • MIT 연구원들은 질소-공석(NV) 센터를 기반으로 감도를 더욱 향상시킬 수 있는 새로운 양자 센서 기술의 개발을 2024년 2월 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 양자 센싱 분야의 선도적 연구 분야인 NV 중심 기반 양자 센싱 분야 가능성 확인

출처 : McKinsey (2024), 재가공

- ▶ 양자 센싱 분야에서는 현재 창업 활동이 미미한 수준이며, 스타트업 투자는 애플리케이션 /서비스 개발 비중이 가장 높은 것으로 나타남

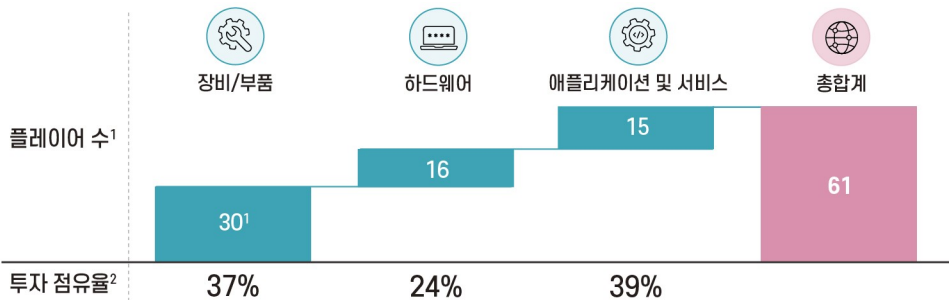
〈표 15〉 국가별 양자 센싱 스타트업 연도별 현황(2021~2023년)

국가	2023년	2022년	2021년	국가	2023년	2022년	2021년
미국	15 +1	14	13	호주	1	1	1
스위스	5	5	5	캐나다	1	1	1
독일	5	5	4	핀란드	1	1	1
영국	5 +1	4	4	일본	1	1	1
프랑스	4	4	4	싱가포르	1	1	1
중국	3	3	3	스웨덴	1	1	1
네덜란드	2	2	2	터키	1	1	1
덴마크	2	2	2	총합계	48 +2	46	44

* 빨간색 표기는 2022년 이후 변동 사항

출처 : McKinsey (2024)

- 양자 센싱 관련 가치사슬 부문별 기업 수를 살펴보았을 때, 양자 센싱 장비/부품 관련 기업이 50% 정도의 비율을 보이나, 스타트업의 자금 조달은 애플리케이션/서비스 개발의 비중의 가장 높은 것으로 나타남



1. 공급업체는 100개 이상이나 양자 센싱에 특화된 스타트업은 30개에 불과
2. 내부 부서 또는 재직자의 프로젝트에 대한 투자는 제외되며, PitchBook에 기록되고 언론에 발표된 스타트업에 대한 공공 투자를 기반으로 함

출처 : McKinsey (2024)

〈그림 19〉 가치사슬 부문별 양자 센싱 플레이어 수

3. 주요국 정책·투자 동향 및 혁신 클러스터 현황

3.1. 주요국 정책 및 투자 동향

주요국에서는 양자 기술 개발을 위한 대규모 공공 자금 투자 및 정책을 마련하고 있으며, 기업들은 다양한 기술 개발 현황을 발표

〈표 16〉 주요국 정책 및 기술 개발 소식

국가	정책(Policy)	뉴스(News)
	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 11월 국가양자이니셔티브(National Quantum Initiative) 재승인법(Reauthorization Act)이 미국 의회에서 통과 	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 12월, QuEra Computing은 48개의 논리적 큐비트를 갖춘 대규모 알고리즘 양자 오류 정정 실험 시연을 발표 2023년 12월 IBM은 1,121개의 초전도 큐비트 기반 칩인 Condor를 발표 2023년 10월, Atom Computing은 1,180큐비트의 원자 배열 생성 2023년 2월 구글은 표면 코드를 이용한 논리적 큐비트 생성 시연을 발표
	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 3월 연구, 인재, 사업화 등에 3억 6천만 달러를 투자하는 국가 양자전략을 발표 	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 11월, 광연결 실리콘을 이용하여 양자컴퓨터를 개발하고 있는 Photonic은 1억 달러 모금 2023년 9월 IBM canada, Quebec Digital과 Quantum Innovation Platform (PINQ2)은 127큐비트를 갖춘 캐나다 최초의 양자 시스템을 공개 2023년 3월 OVHCloud는 Quandela의 디자인으로 구동되는 MosaiQ 컴퓨터 구매를 발표
	<ul style="list-style-type: none"> 2024년 1월 Origin Quantum을 가속하기 위한 지속적인 정책을 진행 중이며, 72개의 계산 큐비트와 126개의 커플러 큐비트를 갖춘 초전도 큐비트 기반 양자 컴퓨터인 Origin Wukong을 출시 	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 12월, 중국과 러시아의 과학자들이 위성 Mozi와의 광 링크를 통해 2,300마일 이상 양자 통신을 시연 2023년 10월, Hon Hai 양자 컴퓨팅 연구소가 얽힌 이온 기반 QC를 위한 연구실을 개설 2023년 9월, 차이나 텔레콤 양자 정보 기술 그룹(China Telecom Quantum Information Technology Group)이 허페이 국가 하이테크 산업 개발구(Hefei National High-Tech Industry Development Zone)와의 협력 계약을 통해 13억 달러 이상을 투자한다고 발표 2023년 5월, Bose Quantum이 자체 개발한 100큐비트 코히어런트 광 양자 컴퓨터를 출시
	<ul style="list-style-type: none"> 과학 및 산업 R&D를 지원하고 8년 안에 5~1000개의 물리적 큐비트를 갖춘 중간 규모 양자 컴퓨터를 개발하는 것을 목표로 하는 National Quantum Mission을 시작 	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 10월, Samsung Semiconductor India Research와 IISc-Bengaluru가 양자 기술 연구를 촉진하기 위해 협력 2023년 9월, IIT Bombay가 Chicago Quantum Exchange(CQE)와 협력하여 연구 협업을 촉진하고 숙련된 인재 풀을 개발 2023년 6월, BosonQ Psi가 Tech Mahindra Makers Lab과 협력하여 다양한 산업 응용 분야에 양자 기술 도입을 촉진 2023년 3월, Centre for Development of Telematics가 개발한 인도 최초의 운영 양자컴퓨팅 기반 통신 네트워크가 발표

국가	정책(Policy)	뉴스(News)
	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 양자 유니콘 벤처 기업을 만드는 것을 목표로 양자 미래 사회 비전을 수립 • 일본 정부의 Moonshot Goal 6은 2050년까지 내결함성 범용 양자 컴퓨터를 달성하는 것을 목표로 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 12월, 일본은 클라우드 플랫폼을 통해 액세스 가능하고 오사카 대학의 도요나카 캠퍼스에 배치된 세 번째 양자 컴퓨터를 출시 • 2023년 10월, Fujitsu는 RIKEN과 협력하여 64큐비트 초전도 양자 컴퓨터의 성공적인 개발을 발표하였으며, Fujitsu는 64큐비트 초전도 양자 컴퓨터와 40큐비트 양자 시뮬레이터를 연결하여 최적의 양자 컴퓨팅을 결합한 하이브리드 양자 컴퓨팅 플랫폼을 출시 • 2023년 8월, SKY Perfect JSAT Corp.는 총무부를 위해 양자 암호화 광통신 장치를 출시 • 2023년 3월, 일본 최초의 국산 양자 컴퓨터인 Eiga RIKEN에서 가동됨
	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 6월, 양자 기술 회사와 인재 수를 늘리고 2035년까지 양자 기술에서 글로벌 시장 점유율을 10% 확보하는 것을 목표로 포함한 국가 양자 과학 전략을 발표했으며, 2035년까지 23억 달러 이상을 투자할 계획 • 2023년 4월, 미국과 한국 정부는 양자 정보 과학 및 기술 협력에 대한 공동 성명을 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 2024년 2월, IBM은 Korea Quantum Computing이 IBM과 협력하여 AI 소프트웨어와 인프라를 제공한다고 발표했으며, 2028년까지 부산에 IBM Quantum System Two 양자 컴퓨터를 배치할 계획이 포함 • 2024년 2월, PASQAL이 한국과학기술원과 대전시와의 파트너십을 발표 • 2023년 9월, QuEra Computing, 세종특별자치시, 한국과학기술원이 세종시에 양자 산업 생태계를 구축하기 위한 파트너십을 발표
	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 1월, Israel Innovation Authority이 폴스택 양자 컴퓨팅 솔루션에서 초전도, 트랩 이온 및 광자 큐비트 기술을 탐구할 새로운 양자 컴퓨팅 컨소시엄을 위해 3년에 걸쳐 약 3,200만 달러를 자금 지원한다고 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 4월, 광자 양자 컴퓨터 개발에 주력하는 Quantum Source가 시드 라운드를 2,700만 달러로 확대하기 위해 1,200만 달러를 모금 • 2023년 3월, 양자 제어 솔루션을 제공하는 Quantum Machines와 NVIDIA가 GPU 가속 양자 컴퓨팅 시스템인 DGX Quantum을 발표
	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년 국가 양자 컴퓨팅 계획(National Quantum Computing Plan)을 발표하여 5년 동안 양자 기술에 13억 달러를 지원 • 프랑스 정부는 2030년까지 양자 기술 부문에서 16,000개의 새로운 일자리를 창출하기를 희망 	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 12월, Alice & Bob이 오류 수정을 위해 cat qubits를 결합한 16qubit 양자 처리 장치인 Helium 1의 테이프 아웃을 발표 • 2023년 11월, 광자 기반 양자 컴퓨터를 개발하는 신생 기업 Quandela가 시리즈 B 펀딩에서 5,400만 달러를 모금 • 2023년 7월, 실리콘 qubit 기반 양자 컴퓨터를 개발하는 신생 기업 Quobly가 시드 라운드 펀딩에서 2,000만 달러를 모금 • 2023년 1월, 중립적 원자 기반 양자 컴퓨터를 개발하는 신생 기업 PASQAL이 시리즈 B 펀딩에서 1억 700만 달러를 모금

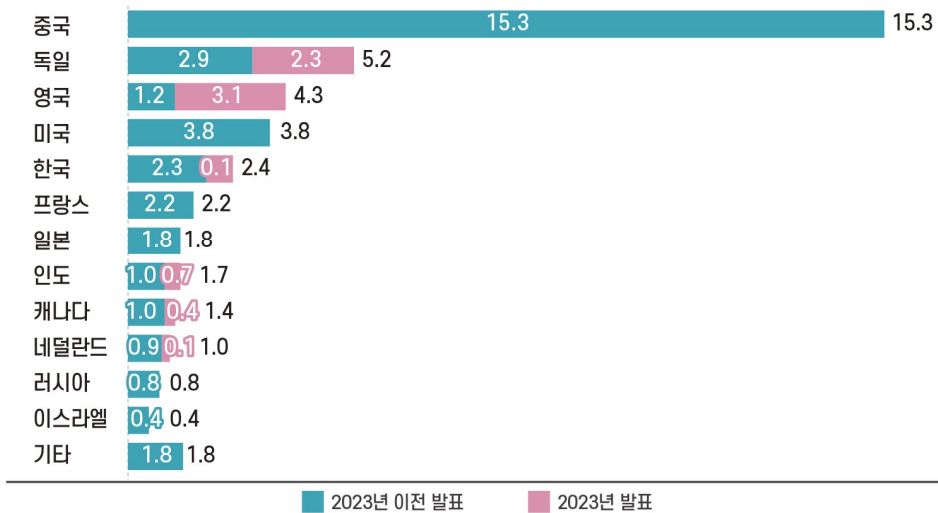
국가	정책(Policy)	뉴스(News)
	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 4월, 독일 정부는 양자 기술 행동 계획을 발표했으며, 2026년 까지 범용 양자 컴퓨터를 구축하기 위해 3년간 22억 5천만 달러의 자금을 제공 • 양자 기술의 실용적인 응용 프로그램을 추진하고 양자 기술을 시장에 출시하기 위한 생태계를 육성하는 것을 목표로 한 행동 계획을 발표 	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 6월, IBM은 에닝겐에 최초의 유럽 기반 양자 데이터 센터를 건설할 계획을 발표했으며, 각각 100개 이상의 큐비트를 갖춘 여러 개의 QC 시스템이 2024년에 운영될 예정
	<ul style="list-style-type: none"> • 이탈리아는 EU 자금과 지역 전략을 사용하여 양자 기술 개발과 생태계 개발을 지원 • 2023년 1월에 출범한 NQSTI(National Quantum Science and Technology Institute) 컨소시엄은 NextGenerationEU에서 자금을 지원받고 양자 기술 교육, 기술 이전, 사회적 홍보를 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • ICSC(ICSC National Research Centre for High-Performance Computing, Big Data & Quantum Computing.)의 Spoke 10은 QC 애플리케이션, 하드웨어/소프트웨어, 확장성에 중점을 둠 • EuroQCI 인프라 내의 QUID 프로젝트는 이탈리아에서 IQB에 연결된 13개의 QMAN을 개발하고, 지역은 유럽 연합에 따라 스타트업과 분사 기업을 위한 생태계를 만드는 전략을 개발했습니다. • 2024년 2월, 이탈리아 최초의 영구 다중 노드 다중 공급 업체 양자 광역 네트워크가 이탈리아 양자 백본에 연결되어 나폴리에서 개통되었으며 이탈리아 기업부의 Competence Center Meditech에서 자금을 지원받았고 Made in Italy에서 제작됨 • 2023년 4월, SEEQC는 나폴리의 Federico II University와 공동 연구실에서 개발한 이탈리아 최초의 풀스택 양자 컴퓨터 SEEQC System Red를 시연
	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 정부의 국가 양자 전략은 2024년부터 10년 동안 추가로 31억 달러를 투자하여 2033년까지 영국이 선도적인 양자 기반 경제가 되도록 민간 투자에서 13억 달러를 창출하는 것을 목표로 함 • 2033년까지 영국은 양자 과학 출판물의 품질에서 상위 3위를 유지하고 양자 관련 분야에서 1,000명의 대학원 연구생을 추가로 지원하는 것을 목표로 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 2024년 2월, 영국 정부는 NQCC(National Quantum Computer Centre)에 테스트 베드를 구축하기 위해 7개 회사에 수여하는 것을 포함하여 양자 기술에 대한 5,700만 달러의 투자를 발표했으며, NQCC에 테스트 베드를 구축하는 회사로는 영국에 본사를 둔 ORCA Computing, Oxford Ionics, Aegiq, Quantum Motion이 포함

출처 : McKinsey (2024)

» 양자 기술에 대한 글로벌 공공 투자는 420억 달러 이상의 투자 계획이 2023년까지 발표되었으며, 2023년 기준 총 100억 달러에 달하는 추가 공공 자금 지원이 발표됨

- 2023년 이전에는 중국과 미국이 가장 많은 양자 기술 관련 공공 자금 지원을 발표했으며, 2023년에 독일, 영국, 한국이 새롭게 공공 자금 지원을 발표
- 많은 공공 자금 지원 발표에는 전체 프로그램 목표의 일환으로 민간 투자 유치 계획을 포함

정부 투자 발표 (단위: 10억 US \$)



※ 투자 계획을 포함한 투자액으로 투자 일정은 국가마다 상이

출처: McKinsey (2024)

[그림 20] 양자 기술에 대한 글로벌 정부 투자 발표

〈표 16〉 주요국 양자 기술 투자 규모 (~2023년 발표)

국가	총 공공 투자 (total public investment)	공공 투자 주요 내용	민간 투자 (Private investment)
	~37억 5천만 달러	미국은 2018년에 국가 양자 이니셔티브를 발표 했는데, 이는 5년 동안 12억 달러를 양자 기술 개발에 제공	~38억 달러
	~14억 달러	2023년에 3억 6천만 달러를 투자하겠다고 발표 하며 국가 양자 전략(NQS)을 시작	~13억 달러
	~153억 달러	중국은 보안, 국방, AI 분야를 포함한 양자 기술 연구 및 개발에 대한 정부 예산을 150억 달러 이상으로 늘림	~3억 5,900만 달러
	~17억 5천만 달러	인도 정부는 7억 3천만 달러의 자금을 지원하여 과학 및 산업 R&D를 육성하고, 확대하고, 양자 기술 분야에서 활기차고 혁신적인 생태계를 조성하는 것을 목표로 하는 국가 양자 미션(NQM)을 발표	~240만 달러
	~18억 달러	일본 정부는 2022년에 발표된 18억 달러에 이어 자동차, 화학, 금융 등의 분야에서 사용 사례 개발을 촉진하기 위해 클라우드 플랫폼을 통해 공유 양자 컴퓨팅의 확장을 지원하기 위한 3,200만 달러 투자를 2023년 발표	~3,200만 달러
	~23억 3천만 달러	한국 정부는 2035년까지 양자 과학 및 기술에 23억 달러를 투자할 계획이며, 이를 통해 양자 기술 분야를 선도하는 국가가 된다는 목표	~6,200만 달러
	~22억 달러	프랑스는 국제 양자 기술 경쟁에서 선두 자리를 차지하기 위해 2021년에 13억 달러의 투자를 발표	~1억 1,300만 달러
	~52억 달러	독일 정부는 양자 기술에 22억 5천만 달러를 투자 한다고 발표했으며, 2026년까지 약 100큐비트, 단기적으로 500큐비트의 범용 양자 컴퓨터를 개발 한다는 목표	~1억 4백만 달러
	~43억 달러	영국의 국가 양자 전략은 시장 성장 자극, 연구, 인재를 포함한 향후 10년간의 새로운 전략적 목표를 제시했으며, 추가 투자 규모는 31억 달러	~15억 달러

출처 : McKinsey (2024)

3.2. 혁신 클러스터 현황

» 전 세계적으로 양자 기술을 발전시키는 공통 목표를 향해 여러 이해 관계자를 포함하는 생태계가 부상하고 있으며, 이러한 지역 혁신 생태계는 양자 기술의 광범위한 채택과 상용화를 달성하는 데 결정적인 요소가 될 것

- 양자 기술 개발에는 기술 산업화, 지적 재산 관리, 인재 격차 등 다양한 과제가 존재하며, 이를 극복하기 위해서는 여러 이해 관계자의 협력이 필요

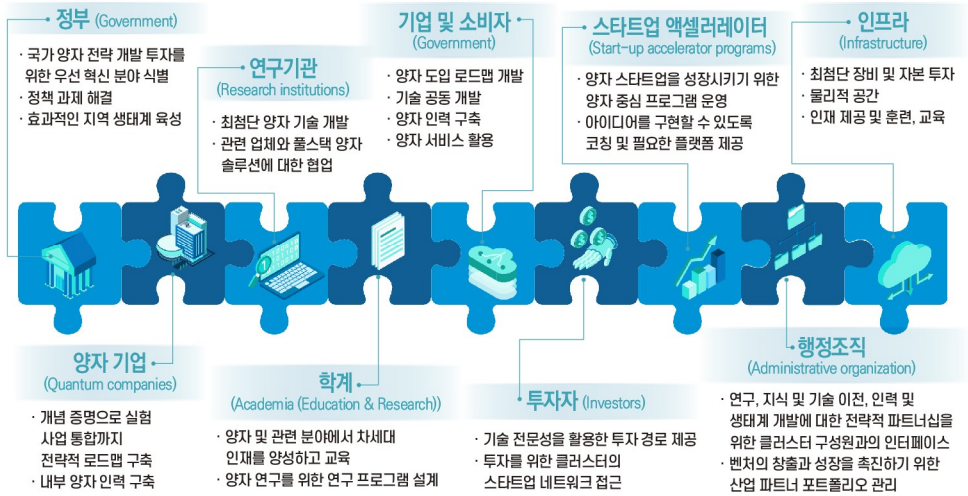
〈표 17〉 양자 기술 개발의 과제

기술적 문제 (Technological challenges)	<ul style="list-style-type: none"> • 최첨단 하드웨어 및 인프라(예: 전문 소프트웨어, 전자, 제조 및 나노 제조 기능)에 대한 액세스 실제 세계 배포에 필요한 기본 연구 혁신의 타이밍 및 특성에 대한 불확실성(예: 양자 오류 수정) • 신생 양자 기술로 유용한 애플리케이션 처리(예: 많은 애플리케이션에 필요한 대규모 QC)
생태계적 문제 (Ecosystem challenges)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 기술에 대한 인식과 채택이 제한적(예: 기술 성숙도와 산업별 적용성 수준이 다름) • 기술을 시장에 출시하는 데 필요한 학제 간 조정 부족(예: 학계와 산업 간) • 개발과 혁신을 방해하는 인재 격차를 해소하기 위해 애쓰는 양자 기업(예: 인재에는 이론, 하드웨어, 소프트웨어 개발이 포함됨)

출처: McKinsey (2024)

- 양자 기술 클러스터는 연구자, 산업 파트너, 정부 기관 간의 관계 네트워크로 설명되며, 양자 기술의 기술적 발전에 기여하고 지역적 가치 창출을 촉진
 - ① 이론가, 기술자 및 이해 관계자 간의 광범위한 협업 촉진
 - ② 복잡한 과제에 대한 학제간 솔루션 개발을 위한 조정
 - ③ 연구 및 제조 역량에 대한 액세스 및 기존 인프라와의 통합 가능
 - ④ 혁신을 위한 가치 실현 시간을 단축하기 위한 신속한 상용화 및 확장 가능
 - ⑤ 투자를 위한 주요 영역에 대한 정보 제공 및 우선순위 지정 지원
 - ⑥ 관련 기술과 경험을 습득하는 인재의 준비

❧ 혁신 생태계와 클러스터를 구축하려면 이해관계자의 다양한 지원 조치가 필요하며, 산·학·연·관 간 협력이 필수적



출처 : McKinsey (2024)

[그림 21] 양자 기술 혁신 생태계 구성 및 역할

- 혁신 클러스터는 양자 기술의 기술과 주요 사용 사례를 모두 발전시키기 위해 정부, 학계, 업계 간의 긴밀한 협력을 촉진하는 데 매우 중요하며, 성공적인 혁신 클러스터에는 학술 연구, 스타트업, 액셀러레이터 및 업계 파트너로 구성된 생태계가 필요






<표 18> 양자 기술 혁신 생태계 구성원 예시

구분	주요 내용	예시	
		시카고	델프트
학술 연구 (Academic research)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 기술 인재와 물리적 인프라를 위한 최첨단 혁신, 교육 및 훈련을 제공 • 종종 혁신 클러스터를 위한 인큐베이터 앵커(incubator anchor)를 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • University of Chicago • Northwestern University • Argonne National Laboratory • Fermilab 	<ul style="list-style-type: none"> • TU Delft • TNOQuTech
스타트업 (Start-ups)	<ul style="list-style-type: none"> • 상용화를 위해 개발 및 배포되는 최첨단 기술 제공 • 주요 요구 사항에는 자본 투자, 물리적 인프라, 멘토십 및 인재가 포함 	<ul style="list-style-type: none"> • EeroQ • memQ • qBraid 	<ul style="list-style-type: none"> • Q-Bird • QuanWare • Single Quantum • Otange Quantum Systems • Qblox • QphoX

구분	주요 내용	예시	
		시카고	델프트
액셀러레이터 (Accelerators)	<ul style="list-style-type: none"> 양자 기술 상용화를 위한 멘토링 및 교육 제공, 초기 단계 자금 지원 중종 학술 기관과 연관되며 자연스럽게 생태계의 일부로 포함 	<ul style="list-style-type: none"> Duality 	<ul style="list-style-type: none"> Infinity
업계 파트너 (Industry partners)	<ul style="list-style-type: none"> 양자 기술, 인프라 및 자금 조달에 대한 실질적인 요구 사항 제공 중종 자체 연구 및 개발의 일부를 포함하여 양자 기술에 대한 시장 수요의 초기 대규모 소스가 됨 	<ul style="list-style-type: none"> Boeing IBM 	<ul style="list-style-type: none"> Intel Fujitsu Juniper Networks

» 다양한 대륙과 지역에서 양자 생태계가 발전하고 있으며, 다양한 연구소들이 정부 또는 민간의 지원을 받아 연구 개발을 진행 중

〈표 19〉 주요국 양자 연구기관 및 생태계 현황(2023년 기준)

국가	주요 연구기관	주요 생태계 또는 허브
	국가 양자 이니셔티브의 일부인 주요 연구 센터 및 연구소 14개	<ul style="list-style-type: none"> 보스턴 지역 양자 네트워크(Boston Area Quantum Network) 시카고 양자 교환소(Chicago Quantum Exchange) 미드 애틀랜틱 퀀텀 얼라이언스(Mid-Atlantic Quantum Alliance)
	-	<ul style="list-style-type: none"> DistriQ 양자 혁신 구역 몬트리올 양자 연구 허브 퀘벡 디지털 및 양자 혁신 플랫폼(PINQ2)
	양자 기술 전담 연구 기관 및 연구실(labs) 29개	<ul style="list-style-type: none"> Hefei 국가 하이테크 산업 개발구(National High-Tech Industry Development Zone) 국립 타이완 대학-IBM 양자 컴퓨터 센터(National Taiwan University-IBM Quantum Computer Center)
	60여개 의 양자 기술 연구실	<ul style="list-style-type: none"> 인도 정부는 국가 양자 임무(National Quantum Mission)의 일환으로 전국에 21개의 양자 허브와 4개의 양자 연구 공원을 건설할 계획
	12개 의 정부 지원 연구실	<ul style="list-style-type: none"> 양자-AI 기술 국립 첨단 산업 과학 기술 연구소 RIKEN 양자 컴퓨팅 센터(RQC) Tokai 국립 고등 교육 및 연구 시스템 양자 프린터 산업 개발 허브 양자 전략 산업 혁명 연합(Q-STAR)
	-	<ul style="list-style-type: none"> 한국양자산업협회(Korea Quantum Industry Association, KQIA) 대덕양자클러스터
	파리 양자기술 센터의 21개 의 연구실	<ul style="list-style-type: none"> 파리 양자 기술 센터(Paris Centre for Quantum Technologies) 고성능 컴퓨터 및 양자 시뮬레이터 하이브리드(High-Performance Computer and Quantum Simulator hybrid)

국가	주요 연구기관	주요 생태계 또는 허브
	양자 기술 및 응용 컨소시엄에 속해 있는 13개 회사	<ul style="list-style-type: none"> • DLR Quantum Computing Initiative • Quantum Technology and Application Consortium(QUTAC)
	양자 기술 생태계의 일부로서 학계 및 산업 파트너 70여개	<ul style="list-style-type: none"> • 국립 양자 과학 기술 연구소 • 고성능 컴퓨팅, 빅 데이터 및 양자 컴퓨팅 연구 센터 이탈리아 양자 백본(Research Centre Italian Quantum Backbone)
	양자 기술 프로그램 허브에 포함되는 24개 의 대학	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 양자 기술 프로그램(National Quantum Technologies Programme) • 국립 양자 컴퓨팅 센터, 양자 계측 연구소(National Quantum Computing Centre, Quantum Metrology Institute) • UKQuantum
	퀀텀 델타 NL의 일부인 5개 의 허브	<ul style="list-style-type: none"> • 퀀텀 델타 NL 허브(Quantum Delta NL hubs: Delft, Eindhoven, Leiden, Twente, Amsterdam) • Quantum Internet Alliance(QuTech에서 조정)
	Quantum Technology Finland의 연구 그룹 11개	<ul style="list-style-type: none"> • Quantum Technology Finland

출처 : McKinsey (2024)

참고문헌

- 과학기술정보통신부 등 (2024.1) 2023 양자정보기술 백서-II. 양자기술 R&D 동향
- McKinsey (2024.04) Quantum Technology Monitor
- Statista (2024) Semiconductor supply chains and strategies
- Strngthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era (2024.04) BCG x SIA