

양자컴퓨팅 생태계 및 정책 동향 분석

이선재·조병선·정선화

본 보고서는 ETRI ICT전략연구소 기본사업인
“국가 지능화 기술정책 및 표준화 연구”를 통해 작성된 결과물입니다.



Executive summary

○ 양자컴퓨팅의 중요성

- (기술 파급력) 양자 고유의 특성(중첩, 얽힘 등)을 활용하여 기존 컴퓨팅에서 해결 가능 영역의 문제는 더 효율적으로 해결하고, 해결 불가능 영역의 문제 일부도 해결 가능성을 갖게 하는 혁신적인 컴퓨팅 기술
 - 반도체 고집적화 제약 등으로 기존 컴퓨팅 기술이 한계에 직면한 상황에서 양자컴퓨팅은 컴퓨팅 개념을 바꾸면서 새로운 컴퓨팅 시대로 이끌 기술로 주목
- (산업 파급력) 다양한 산업에서 실제 문제를 해결할 수 있는 양자컴퓨팅이 개발된다면 경제에 미치는 영향력은 광범위하고 매우 클 것으로 전망
 - 현재, 범용 양자컴퓨팅이 아직 개발되지 않았음에도 불구하고 에너지, 교통·물류, 항공·우주, 신약 개발, 금융 등 다양한 분야에서 활용될 수 있는 잠재력을 보여주고 있음
 - McKinsey(2023)에 의하면, 양자정보통신 전체 시장 규모는 2040년 1,060억 달러에 이를 전망
- (안보 파급력) 미래의 안보 분야에서는 양자기술이 중요한 창과 방패 역할을 할 것으로 전망
 - 암호해독 등을 가능케 해주는 양자컴퓨터가 창으로 표현된다면 암호해독이 불가능한 양자통신은 방패 역할
- (사회 파급력) 방대한 데이터를 처리해 재해를 예방하거나, 기후위기를 극복할 신소재 개발 등 사회적 영향력이 매우 클 것으로 전망
 - 개인정보 및 금융정보 유출 등과 같은 사이버 공격에 활용될 경우, 부정적 측면도 존재

○ 연구배경 및 목적

- (연구 배경) 경제·안보·사회 모든 분야에서 파급력 측면에서 양자기술은 게임체인저로써 미래 산업 생태계 전반에 혁신을 가져오며 판도를 바꿔놓을 것으로 전망
 - 세계 각국은 기술 선점 및 기술 우위 유지를 위한 정책을 추진하는 등 경쟁이 가속화되고 있음
- (연구 목적) 생태계 관점에서 산업·정책의 전략적 접근을 위해 양자 산업 공급사슬 및 선도국인 미·중·EU에서 추진 중인 정책 동향을 분석하고, 이를 바탕으로 우리나라 양자 컴퓨팅 정책에 주는 시사점을 도출하고자 함

- R&D 전략 방향성, 인재, 양자 산업 생태계 조성을 위한 정책 시사점 도출

○ 양자컴퓨팅 산업 공급사슬



- (투자자) 양자컴퓨터에 대한 투자의 대부분은 정부투자이고, 그 추세는 계속 증가할 것으로 예상
 - 정부의 양자 자금 투입은 퀀텀 하드웨어, 서비스 및 소프트웨어 등 전 세계 퀀텀 관련 기업에 대한 총투자의 75% 이상을 차지
 - 민간 자본 투자는 내결함성을 갖춘 대규모 양자 하드웨어, 소프트웨어 및 서비스를 개발할 수 있도록 지속 가능한 자본을 제공하는 데 투자
- (하드웨어 공급업체) 기술별 생태계의 성숙도/확장성 차이가 큼
 - 높은 인건비와 주요 구성요소/시스템이 매우 고가로 시장경제 제약 요인이 존재
 - 양자컴퓨팅을 국가 안보 및 경제 안보 우선순위로 간주
- (소프트웨어 공급업체) 영향력 있는 양자컴퓨터 알고리즘이 부족
 - 기존 솔루션에 비해 상업적 이점(예: 비용, 결과 품질, 운영 효율성 또는 전력 소비의 이점)에 대한 크레딧을 제공하기 어려움
- (서비스 제공업체) 양자컴퓨팅 리소스에 대한 액세스는 한쪽 끝에서 완전한 온-프레미스 소유권에서 클라우드 액세스, 애플리케이션 통합까지 등 다양
 - 양자컴퓨팅 클라우드 서비스는 양자-고전 하이브리드 모델에서 기술의 발전에 따라 QCaaS로 진화
- (사용자) 사용 사례를 보면, 2022년에는 주로 QML이 주 사용 사례(66%)였는데, 2023 설문조사에서는 QML(35%), Simulation(34%), Optimization(31%)로 나타남
 - 산업별 사용자의 사례를 보면 금융서비스 분야에서 가장 관심을 보이고 있고, 다음으로 학계 및 생명과학 분야임
 - 양자컴퓨터 기술 사용을 확대하는데 장애요인은 내부 전문성 부족, 기술이 너무 복잡함, 비용이 너무 많이 듦 등을 꼽고 있음

○ 양자컴퓨팅 산업에 대한 전략적 시사점

- 양자컴퓨팅 산업은 과학(Science) 및 공학(Engineering)의 ‘토탈 패키지’ 산업
 - 지속적인 R&D 투자단계로 산업화 초기 수준으로, 글로벌기업들의 경쟁이 극심하지만 절대 강자로 불릴만한 시장 참여자가 없는 산업화 초기 단계여서 우리나라가 추격할 기회가 있을 것으로 판단 됨
 - 이학과 공학적 사고가 결합 된 융합인재가 필요한 산업으로 양자역학을 비롯한 기초과학 분야와 직접 맞닿아 있어, 이 분야에서 대학이나 국가기관 연구원들이 산업 현장에서 결정적 역할을 함
- 기초과학과 정보기술 양측에서 미래 선도를 위한 R&D 전략이 필요
 - 양자컴퓨터는 새로운 ICT 패러다임을 만들어낼 기술로써 세계 최선도국 미국도 원천기술을 개발하려 적극 지원하는 분야로 추격형 기술개발 전략이 적합하지 않은 분야
 - 국내 양자정보기술 정책은 단기적으로도 성과가 가능한 양자통신에 집중해 왔으나, 시장 규모나 파급효과가 큰 양자컴퓨터 분야에 대한 투자 확대가 필요
- 양자컴퓨팅 분야는 고난도의 융합형 인재를 필요로 함
 - IBM 등 양자컴퓨터 선도기업이 양자컴퓨터 HW·알고리즘 개발을 선도하는 R&D 허브가 되면서 인재와 지식을 흡수하는 중
 - 양자컴퓨터 개발에는 막대한 자금과 기술력이 필요하지만, 양자컴퓨팅을 활용한 소프트웨어나 양자컴퓨터의 구축·운영을 도울 수 있는 하드웨어 플랫폼 등의 세부적인 접근 기회는 존재

○ 양자컴퓨팅 선도국 정책 분석

- 미·중의 기술패권 경쟁 가운데, EU는 미국과 기술동맹으로 협력하는 한편 독자적인 기술확보를 위해 노력함
 - 마중은 국가안보 위협에 대한 대응 관점에서 양자기술을 바라보는 반면, EU는 기술블록화를 경계하면서도 양자기술을 인간의 삶을 풍요롭게 하는 측면에서의 활용 전략을 마련함
- 미국 NQI는 지속적인 기술 우위 유지, 중국 13차 5개년 계획은 기술 자립 및 선도적 위상 차지, EU Quantum Flagship은 유럽의 양자산업 선도 및 생태계 조성을 정책 목표로 설정함
 - 시기별 추진한 다양한 정책 중 미국의 NQI, 중국의 13차 국가과학기술혁신계획, EU의 Quantum Flagship을 가장 중요한 정책으로 판단
 - 본격적으로 R&D투자 시기에 시행된 해당 정책들은 투입된 인력, 예산 규모, 주요성과 측면에서 가장 중요

표 양자기술 선도국 주요 정책 비교

구분	미국	중국	EU
주요 정책	National Quantum Initiative Act	제13차 국가과학기술혁신계획	Quantum Flagship
목적 (지향점)	미국의 기술우위 유지를 위해 10년 동안의 양자 분야 우선 과제 선정, R&D 목표 설정, 성과평가 및 투자 계획 등을 제시하였으며, 특히 인력양성을 우선과제로 선정	외국기술의 모방에서 벗어나 기술자립 및 선도적 위상 차지	미·중을 제치고 유럽이 양자 분야를 선도하기 위해 유럽의 과학적 리더십과 우수성을 확장하고 경쟁력 있는 양자 산업 생태계를 조성
목표	양자컴퓨터, 양자통신, 양자센서, 양자기술의 기반을 이루는 과학기술 연구 등 종합적인 연구 수행	양자통신·컴퓨터를 2030년까지 추진할 신규 중대 과학기술 프로젝트로 규정하고 양자통신기술, 양자 시뮬레이터 등의 연구개발 추진	대형 프로젝트를 통해 유럽 주요 지역에 양자암호 통신망 구축, 양자컴퓨터와 양자센싱기술 개발
주요 예산	최초 NQI 예산 2019-2023년 최대 12억 달러 (최초 예산 대비 매년 증액 중)	양자정보과학국가연구소예산 1,000억 위안 (2018~2022년, 약 13조원)	10년 동안 10억 유로
특징	정부의 연구 토대 확립 및 연구개발 투자, 빅테크 기업 간 혁신 경쟁 및 민간 투자 확대	국가 주도의 대규모 집중 투자	EU 차원의 양자기술 로드맵에 맞춰 영국·독일·네덜란드 등의 국가별 독자적인 전략 수립과 투자도 진행
주요 성과	양자컴퓨터 개발 성공 및 선도기술 유지 (구글, IBM)	양자통신위성 발사 성공 (목자호)	EU만의 독자적인 양자 프로세서 제작

* 출처: 저자작성

○ 양자컴퓨팅 정책에 대한 전략적 시사점

- 미·중은 정책을 통한 기술우위 유지에 노력하고 있으며 이에 위기감을 느낀 EU는 대규모 투자를 통해 양자 분야에서 선도적인 위치를 확보하고자 가운데, 우리나라도 정부 주도의 전략적 정책 접근이 필요
 - 우리나라는 대한민국 양자과학기술 전략(23. 06)에서 “우리 기술로 양자컴퓨터 개발·활용”을 양자컴퓨팅 분야 최우선 정책 목표로 선정하면서 EU의 정책방향성과 유사
 - 초기에는 다양한 후보 기술을 폭넓게 지원하면서 독자적인 양자컴퓨터 개발을 통해 주요 큐비트 기반 기술 축적 필요
 - 향후 우리나라가 강점을 지닌 산업과의 연계 가능성을 고려하여 선택과 집중을 통해 전략적으로 우리의 미래 기술을 확보해나가는 노력 필요
- 우리나라도 양자컴퓨팅 산업의 생태계 조성이 중요한 초기 단계임을 감안할 때, 정책의 전략적 방향성이 유사한 EU 정책의 벤치마킹 필요
 - EU는 KPI로 QPU 성능 뿐만 아니라 실제 사용사례 및 알고리즘 개발, 사용자에게 양자컴퓨팅 시스템 제공과 같은 양자컴퓨팅 생태계 조성 및 활성화에 집중

목 차 C O N T E N T S

Executive summary

I. 양자컴퓨팅 기술의 중요성 및 전망	1
1. 정의 및 중요성	1
2. 시장 규모 및 전망	3
II. 양자컴퓨팅 생태계와 비즈니스	9
1. 양자컴퓨팅 발전과 성장 역학	9
2. 양자컴퓨팅 생태계 분석	12
3. 주요 비즈니스 기업 동향	16
III. 양자컴퓨팅 산업 공급사슬 분석	21
1. 투자자 분석	22
2. 하드웨어 공급업체 분석	26
3. 소프트웨어 공급업체 분석	30
4. 서비스 공급업체 분석	33
5. 사용자 분석	36
IV. 양자기술 선도국 정책 동향 분석	41
1. 미국	41
2. 중국	51
3. EU	55
4. 선도국 주요 정책 목적 및 추진 동인 분석	68
[참고] EU R&D 프로젝트 성과 분석	71
V. 결론 및 시사점	79
참고문헌	86



참고문헌

○ 국내자료

- 4차산업혁명의 엔진, 양자기술 글로벌 혁신 기술 트렌드 및 향후 전망(리서치컴퍼니, 2022)
- EU 2030년 디지털 중장기 전략(2030 디지털 컴파스)(IITP, 2021)
- ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP(2020)
- ICT 산업동향-양자컴퓨팅 시장, ETRI 기술전략연구센터·비즈니스전략연구소(2022)
- K-Quantum Service Cloud 제공방안, Megazone Cloud(2023)
- 국가전략기술별 국내외 기술-시장-정책 동향 분석 및 중점 이슈 심층 조사, ETRI(2023)
- 대한민국 양자과학기술비전, 과기정통부(2023)
- 미국 양자연구집중지원법 제정의 주요 내용과 시사점(NARS, 2020)
- 빛의 속도로 계산하는 꿈의 컴퓨터, 양자컴퓨터, KISTEP(2019)
- 양자기술 과학·기술·산업 분석 보고서, KISTI(2022)
- 양자기술 지역산업생태계 발전세미나(2023)
- 양자기술 투자정책 동향 분석(KRISS, 2023)
- 양자정보기술백서, 한국지능정보사회진흥원(2022)
- 양자컴퓨터 R&D 정책 현황과 전망, KISTI(2019)
- 양자컴퓨터의 현재와 전망, 중소기업기술정보진흥원(2022)
- 주요국의 양자기술 개발과 투자 전략 - 전략기술 분야와 중점 R&D를 중심으로(IITP, 2022)

○ 국외자료

- Fortune Business Insights(2022), Quantum Computing
- Gartner(2022), Emerging Tech: Emergence Cycle for Quantum Computing
- Gartner(2023), Emerging Tech: Boosting Sustainable Technologies With Quantum Computing
- Gartner(2023), Emerging Tech: How to Make Money From Quantum Computing



Gartner(2023), Emerging Tech: Innovators for Quantum Computing
IDC(2021), Quantum Computing Market and Adoption Trends
IDC(2022), IDC Market Glance
IDC(2022), Market Analysis Perspective
IDC(2022), Quantum Computing Adoption Trends in Financial Services
Key Performance Indicators for Quantum Technologies in Europe(European Commission, 2023)
McKinsey(2021), Quantum computing use cases are getting real-what you need to know
McKinsey(2023), Quantum Technology Monitor
National Quantum Initiative Supplement to the President's FY 2023 Budget(NSTC, 2023)
Omdia(2022), 2023 Trends to Watch: Quantum Computing
Omdia(2022), Market Radar Quantum Computing
Omdia(2022), Quantum Computing Adopter Survey – 2023 Analysis
Omdia(2022), Quantum Computing Hardware – 2022 Analysis
Omdia(2023), The Quantum Technology Regulatory and Government Investment Analysis
Quantum Manifesto(European Commission, 2016)
Strategic Research Agenda(European Commission, 2020)
Strategic Research and Industry Agenda (European Commission, 2022)
The EU's Quantum Flagship an overview of major achievements in 2018-2021(Ramp-Up Phase)(European Commission, 2022)
The Quantum Insider(2023), The Quantum Insider Intelligence Platform
크런치베이스(crunchbase.com) 데이터베이스(2022년 9월 19일 기준)

○ 웹사이트

(NQI 홈페이지) <https://www.quantum.gov/>

(OpenSuperQPlus 홈페이지) <https://opensuperqplus.eu/>

(Qtedu 홈페이지) <https://qtedu.eu/>

(Quantum Flagship 홈페이지) <https://qt.eu/>

(양자산업생태계지원센터) <https://www.kqic.kr/main/ecosys.html?sub1=2&sub2=6>

저자 소개

이선재 ETRI ICT전략연구소 기술정책연구본부 기술경제연구실 박사후연구원

e-mail: lseonj@etri.re.kr Tel. 042-860-1017

조병선 ETRI ICT전략연구소 기술정책연구본부 기술경제연구실 책임연구원

e-mail: tituscho@etri.re.kr Tel. 042-860-1136

정선화 ETRI ICT전략연구소 기술정책연구본부 기술경제연구실 책임연구원

e-mail: sh-jeong@etri.re.kr Tel. 042-860-6511

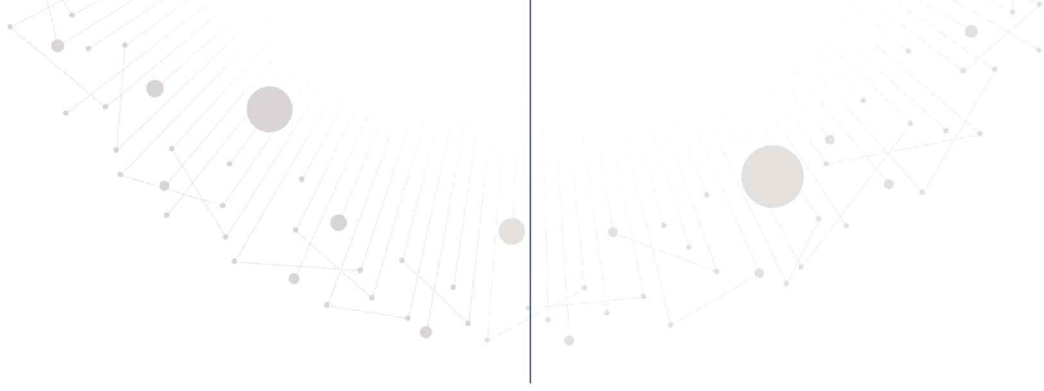
양자컴퓨팅 생태계 및 정책동향 분석

발행인 한 성 수

발행처 한국전자통신연구원 ICT전략연구소

발행일 2023년 12월 31일





www.etri.re.kr

본 저작물은 공공누리 제4유형:
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.



ETRI Electronics and Telecommunications
Research Institute

34129 대전광역시 유성구 가정로 218
TEL.(042) 860-6114 FAX.(042) 860-6504

