

주요국의 양자과학기술 정책 및 미국의 정책·R&D 추진 동향

보고서 관련 문의처

작성자 서민경 책임

소 속 정책기획팀

☎ 042-612-8213

✉ mkseo@iitp.kr

보고서 목차

1. 개요
2. 주요국 정책 동향
 - 가. 미국
 - 나. 중국
 - 다. 유럽연합
 - 라. 영국
 - 마. 일본
3. 미국의 정책 및 R&D 추진 동향
 - 가. 국가 양자 이니셔티브
 - 나. 정책 동향
 - 다. R&D 예산 동향
 - 라. 주요 R&D 프로그램
4. 한국의 정책 및 R&D 추진 동향
 - 가. 정책 동향
 - 나. R&D 동향
5. 결론 및 시사점

주요 내용 요약

□ 개요

- (정의) 양자역학적 특성에 기반하여 시스템을 만들거나 정보를 생성·제어·계측·전송·저장·처리하는 기술로, 크게 ▲양자컴퓨팅, ▲양자통신, ▲양자센싱 분야로 구분
- (시장동향) 글로벌 시장 규모는 연평균 29% 성장하여 '30년에 약 156조원에 달할 전망

□ 주요국의 양자과학기술 관련 정책 동향

- (미국) 「국가 양자 이니셔티브법(18.12)」을 근거로 국가 차원의 지원 정책을 추진 중. 또한, 향후 5년간의 대규모 지원을 위해 「국가 양자 이니셔티브 재승인법」 발의(23.11)
- (중국) 「14차 5개년 계획(21~25) 및 2035년 장기 목표」에서 전략적으로 육성할 8대 분야 중 하나로 양자정보를 제시했으며, 전용 사업을 통해 꾸준히 투자 중
- (유럽연합) 대규모 장기 연구 이니셔티브인 '양자 플래그십 프로젝트(18~27)를 추진 중이며, 새로운 양자기술 로드맵인 '전략연구산업아젠다(SRIA) 2030' 발표(24.2)
- (영국) 「국가 양자전략」과 향후 10년간 25억 파운드(약 4조원)의 투자 계획 발표(23.3)
- (일본) 30여 년간의 꾸준한 투자를 기반으로 「양자 미래산업 창출 전략」 발표(23.4)

□ 미국의 양자과학기술 관련 정책 및 R&D 추진 동향

- (국가 양자 이니셔티브) 법안을 근거로 ▲국가양자조정실(NQCO), ▲양자정보과학 분과위원회(SCQIS) 등 거버넌스를 구축하여 연방정부의 정책 및 투자를 조정하며, 이니셔티브에 초기 5년간(19~23) 12억 달러를 양자 연구에 투자하도록 권한 부여
- (정책) 「양자정보과학 국가전략 개요(18.9)」의 6대 권고사항을 기반으로 추진. 이를 보완하기 위해 추가적으로 ▲양자 프런티어(20.10), ▲양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식(21.1), ▲양자센서의 실현(22.2), ▲양자정보과학기술 인력양성 국가전략 계획(22.2) 등 전략을 발표했으며, 추가적인 조치 달성에도 중점을 두고 정책 추진
- (R&D 예산 및 프로그램) 미국은 최근 3년간 연평균 9.8억 달러(약 1.3조원)를 투자. ▲국립표준과학연구소(NIST), ▲국립과학재단(NSF), ▲에너지부(DOE), ▲국방부(DOD), ▲항공우주국(NASA) 등 주요 연방기관에서 R&D 프로그램을 추진

□ 한국의 양자과학기술 관련 정책 및 R&D 추진 동향

- (정책 동향) 「대한민국 양자과학기술 전략」 발표(23.6) 및 「양자산업법」 국회 통과(23.10)
- (R&D 동향) R&D 투자를 확대하고 있으며, '양자 플래그십 프로젝트' 예타 추진 중

□ 결론 및 시사점

- ▲장기적이고 안정적인 과감한 투자 전략, ▲우리나라의 강점을 최대화하기 위한 기술개발 및 상용화 전략, ▲고급 인재양성을 위한 장기적 관점의 인재양성사업 운영, ▲사업화 및 시장 창출까지 고려한 정책적 지원, ▲공공부문 및 일반 대중의 저변 확대

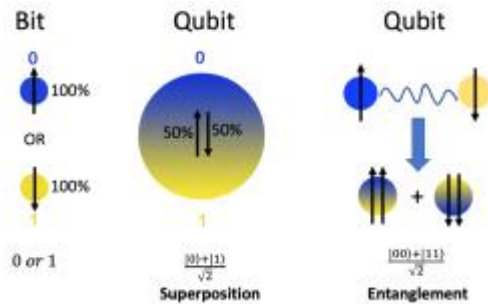
ИТР

1 | 개요

▣ 양자과학기술(Quantum Science Technology)의 정의 및 기술범위

- (정의) ‘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 일체¹⁾
- (정의) ‘양자(Quantum, 量子)’는 더 이상 나눌 수 없는 에너지의 최소량의 단위이며, 미시세계의 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 1뿐만 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

그림1 양자 중첩과 양자 얽힘 개념도



자료 : Sukhpal Singh Gill et al. 6, Quantum Computing: A Taxonomy, Systematic Review and Future Directions, Preprint in Software Practice and Experience, 2022.1

- (용어) 지칭하는 표준화된 용어가 부재하여, 국가·기관마다 ‘양자기술’, ‘양자정보기술’, ‘양자정보과학기술’, ‘양자과학기술’, ‘양자정보과학’ 등 용어 혼용
- 우리나라에서도 다양한 용어로 지칭했으나, 최근 제정된 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률(양자기술산업법)」(23.10)^{*}에서 ‘양자과학기술’로 정의
 - * 양자과학기술의 연구기반을 조성하고 양자산업을 체계적으로 육성하기 위해 제정되었으며, ▲추진체계, ▲지원 및 기반 조성, ▲인력양성, ▲클러스터 지정, ▲협력강화 등 명시

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

- (기술범위) 양자과학기술은 크게 ▲양자컴퓨팅, ▲양자통신, ▲양자센싱 분야로 구분하지만, 광의의 양자기술은 양자역학적 현상의 결과로 일어나는 대부분의 반도체 기술, 신소재 기술, 정밀계측 기술 등을 모두 포괄

표1 양자과학기술의 분야 및 세부 연구분야

분야	기술 정의	세부 연구분야
양자 컴퓨팅	<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 통신	<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, 양자인터넷을 구축하기 위한 기술
양자 센싱	<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, 양자라이다, 양자레이더, 양자이미징, 양자가스센싱 등

자료: 과학기술정보통신부 등, 2023 양자정보기술 백서-II, 양자기술 R&D 동향, 2024.1, pp.146~455; 과학기술정보통신부, 국가전략기술 선정(안), 2023.12.20. IITP 정리

양자과학기술의 잠재력 및 시장 전망

- (잠재력) 기존 기술의 한계를 뛰어넘는 초고속 대용량 연산(양자컴퓨팅), 초신뢰 보안(양자통신), 초정밀 계측(양자센서)을 가능하게 할 기술 잠재력을 보유, 이에 따라 전 세계에서 게임체인저 기술로 주목

- 양자컴퓨팅의 경우 일부의 특정 문제에서 양자 우위(Supremacy) 및 양자 이득(Advantage)*이 증명되고 있으며, 향후 5~10년 안에 상용화될 것으로 기대. 또한, 양자센싱 분야는 산업화 과정이 비교적 일찍 진행될 것으로 전망

* 양자컴퓨터가 고전컴퓨터의 성능을 뛰어넘음

- 양자컴퓨팅이 인류의 모든 난제를 해결할 수는 없지만, 전산화학과 재료과학에서는 실용성이 높을 것으로 예상됨. 최근 문제 중 다수는 화학과 재료과학 문제로 귀결되며, 양자컴퓨팅이 화학과 재료과학에만 도움을 준다 해도 인류의 100%에게 영향을 미치는 모든 공산품의 96%에 영향을 미칠 것으로 추정²⁾

2) 김우용, "양자 컴퓨팅의 환상에서 벗어나자: 화학 및 재료 과학 분야에 적합, 빅데이터 처리는 부적합", ZDNET Korea, 2023.5.3. (검색일: 2024.5.28. <https://zdnet.co.kr/view/?no=20230503120627>)

- (시장 동향) 양자과학기술 시장은 초기 단계이며, '23년 기준 글로벌 시장 규모는 약 25조 9,024억원이지만, 연평균 29.2% 가파르게 성장하여 '30년에는 시장 규모가 약 155조 5,112억원에 달할 전망³⁾
 - 양자컴퓨팅 분야의 글로벌 시장 규모는 '23년 18조 8,352억원에서 연평균 30.9%로 가파르게 성장하여, '30년에는 시장 규모가 123조 8,263억원에 달할 것으로 전망
 - 양자통신 분야의 글로벌 시장 규모는 '23년 5조 209억원에서 연평균 25.6% 성장하여, '30년에는 24조 7,368억원 규모 시장으로 성장할 전망
 - 양자센싱 분야의 글로벌 시장 규모는 '23년 2조 464억원에서 연평균 19.1% 성장하여, '30년에는 6조 9,482억원 규모 시장으로 성장할 전망

표2 🔗 글로벌 양자과학기술 분야별 시장 전망 (단위: 억원)

구분	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	CAGR
양자컴퓨팅	188,352	242,903	307,903	420,534	559,491	751,235	968,084	1,238,263	30.9%
양자통신	50,209	63,521	82,519	102,196	127,843	174,782	207,092	247,368	25.6%
양자센싱	20,464	24,278	28,841	34,306	40,860	48,729	58,188	69,482	19.1%
합계	259,024	330,702	419,263	557,036	728,194	974,746	1,233,363	1,555,122	29.2%

자료 : 과학기술정보통신부 등, 2023 양자정보기술 백서, 2024, p.32

- 국내의 경우도 글로벌 시장과 마찬가지로 매우 높은 성장률을 기록할 것으로 전망되며 특히, 양자컴퓨팅 시장 규모가 가장 크며, 성장률도 가장 높을 것으로 예상

표3 🔗 국내 양자과학기술 분야별 시장 전망 (단위: 억원)

구분	2023	2024	2025	2026	2027	2028	CAGR
양자과학기술	251	438	722	1,206	1,896	2,879	68.34%

자료 : 한국전자기술연구원, 국내외 양자정보기술 동향 및 시사점, 2023.6, p.20

- (활용 분야별 시장 전망) 향후 다양한 산업 분야에서 활용될 것으로 기대되며, 특히 항공·우주 및 국방 분야에서의 활용·매출이 클 것으로 전망
 - 양자과학기술은 태동 이래 초기에는 물리학, 수학 등 기초과학 중심으로 연구되어 왔지만, 최근 컴퓨터공학, 재료공학, 전기공학 등의 학문과의 융합을 통해 활용영역이 전방위적으로 확장
 - ▲양자 키 분배(QKD)나 양자암호통신과 같은 양자통신 기술, ▲양자 이미징 센서, 원자시계, 중력센서, 자력계 등 양자센싱 기술, ▲기계학습, 최적화, 시뮬레이션, 금융서비스, 전자소자, 사이버보안 등 양자컴퓨팅 애플리케이션이 각 분야에서 활용될 것으로 예상

3) 과학기술정보통신부·한국지능사회진흥원·미래양자융합포럼, 2023 양자정보기술백서, 2024.1

표4 양자기술 기반 글로벌 매출의 산업별 구성비 (단위: %)

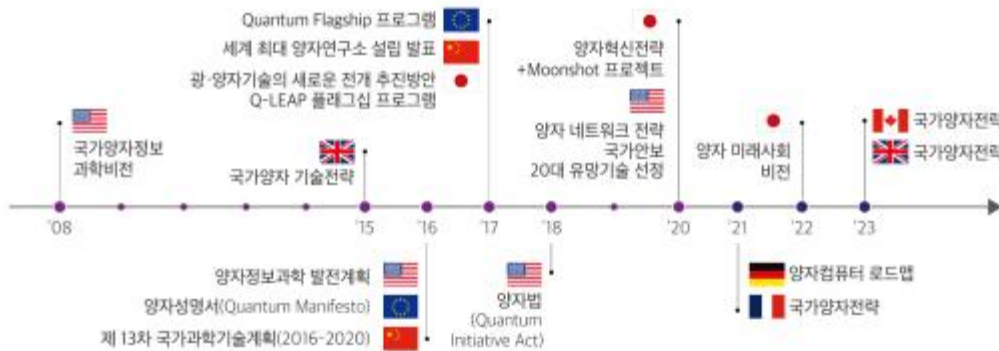
구분	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
항공·우주	30.2	30.5	30.8	31.0	31.3	31.5	31.8	32.0
국방	24.4	24.3	24.3	24.2	24.1	24.1	24.0	23.9
에너지·석유	22.0	21.9	21.8	21.6	21.5	21.3	21.2	21.0
금융·보험	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.6	10.6
물류·유통	4.9	4.7	4.6	4.4	4.3	4.2	4.0	3.9
보건·의료	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
화학·재료	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
기타	4.7	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2
합계	100	100	100	100	100	100	100	100

자료: 과학기술정보통신부 등, 2023 양자정보기술 백서, 2024.1, p.33

주요국은 양자과학기술을 육성하기 위한 정책·투자 추진

- 미국, 중국, EU, 영국, 일본 등 주요국은 양자과학기술의 잠재력을 인식하고 전략기술로 선정했으며, 정책적·선제적 투자 추진 중
 - 주요국은 양자과학기술이 미래의 경제·사회 전반의 혁신 패러다임 전환을 이끌 게임체인저가 될 것이라 전망하여 전략적으로 기술개발 및 산업 육성 추진 중
 - 안정적인 정책 추진을 위하여 법 제정, 국가전략 수립 등 기반을 마련했으며, 이를 통해 재정 지원 프로그램, 산업 지원 프로그램 등 운영

그림2 주요국 양자분야 정책 및 입법 현황



자료: 과학기술정보통신부, 대한민국 양자과학기술 전략, 2023.6.27.

- 초기부터 투자를 추진했던 주요국의 기술수준은 우리나라에 비하여 압도적
 - 양자정보통신 상대기술수준: 유럽(100), 미국(99.6), 중국(99.1), 일본(92.3), 한국(87.4) 순⁴⁾

4) 정보통신기획평가원, 2022 ICT 기술수준조사 및 기술경쟁력분석 보고서, 2024.3

2 | 주요국 정책 동향

가 미국

□ 세계 최초의 「국가 양자 이니셔티브법(18.12)」 제정으로, 안정적 지원 기반 마련

- 「양자정보과학 국가전략 개요(18.9)」* 발표 및 향후 10년간의 국가 차원 지원 의지를 담은 「국가 양자 이니셔티브법(18.12)」** 제정

* National Strategic overview of Quantum Information Science / **National Quantum Initiative Act

- (양자정보과학 국가전략) 6대 권고사항으로 ▲과학 우선 접근법 채택, ▲인력양성, ▲민관 협력 강화, ▲중요 인프라 제공, ▲국가안보 및 경제성장 유지, ▲국제협력 강화 등 제시⁵⁾
- (국가 양자 이니셔티브법) 미국의 경제 및 국가안보를 위해 양자 연구개발을 가속화하려는 목적으로 제정되었으며, 향후 10년(19~28)간의 지원방안이 포함. 주요 내용으로 ▲거버넌스 구축을 위한 조직 신설 및 역할, ▲R&D 투자, ▲국립표준기술연구소(NIST), 국립과학재단(NSF), 에너지부(DOE)의 연구소 신설, ▲범부처 차원 정책 조정 및 관련 연방기관* 간의 활동 연계, ▲산학연관 협력 촉진, ▲인력양성, ▲표준개발 가속화 등 제시⁶⁾

* (관련 연방기관) ▲국립표준기술연구소(NIST), ▲국립과학재단(NSF), ▲에너지부(DOE), ▲미항공우주국(NASA), ▲국방부(DOD), ▲국가안보국 물리과학연구소(LPS), ▲정보고등연구기획국(IARPA)

※ 초기 5년(19~23)간 12억 달러를 양자 연구에 투자하도록 권한을 부여했으며, 본 프로그램은 '23.9.30일 만료

- (핵심기술 선정) 「반도체와 과학법(22.8)」에서 명시한 10대 핵심기술에 '양자컴퓨팅'이 포함되었으며, 경쟁·혁신을 위한 대규모 지원 예산 투입 계획 시사
- (정책 보완) 「양자정보과학 국가전략(18.6)」에서 제시한 6대 권고사항을 기반으로 추진하지만, 「NQI법」에 근거하여 출범한 백악관 국가과학기술위원회(NSTC) 산하 양자정보과학 분과위원회(SCQIS)에서 정책 보완을 위한 추가적인 전략을 발표. ▲양자 프린티어(20.10), ▲양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식(21.1), ▲양자센서의 실현(22.2), ▲양자정보 과학기술 인력양성 국가전략계획(22.2) 등⁷⁾
- (재승인법 발의) 국가 양자 이니셔티브 자문위원회(NQIAC)는 '국가 양자 이니셔티브 프로그램'에 대한 첫 번째 평가 보고서*를 발표(23.6)했으며, 「NQI법」의 재승인 및 확대 권고.⁸⁾ 이에 따라, 하원에서 「국가 양자 이니셔티브 재승인법」 발의(23.11)⁹⁾

* Renewing the National Quantum Initiative: Recommendations for Sustaining American Leadership in Quantum Information Science

5) NSTC, National strategic overview for quantum information science. 2018.9

6) Congress, H.R.6227 - National Quantum Initiative Act, 2018.12

7) SCQIS 홈페이지(<https://www.quantum.gov/>)

8) NQIAC Report on Renewing the National Quantum Initiative, 2023.6.2

9) THE GURU, 美 양자 이니셔티브 재승인 임박...中과 경쟁 격화, 2024.2.9.

나 중국

☐ 최상위 계획에서 전략기술로 선정, 지속적인 투자 중

● 중국공산당 중앙위원회와 국무원이 공동으로 발표한 「14차 5개년 계획」 등의 안건에서 ‘양자’를 최우선 전략 과제로 선정

※ 중국에서는 당과 정부가 공동으로 발표하는 안건이 최상위 국가전략

- (‘06) 국무원의 「국가 중장기과학기술 발전계획(‘06~’20)」에서 15년간 중점적으로 추진할 국가 전략 미래기술 4대 분야중 하나로 양자제어를 포함하여 국가 차원의 개발을 시작¹⁰⁾
- (‘16.5) 중앙위원회 및 국무원의 「제13차 5개년 국가과학기술혁신 계획(‘16~’20)」에서 양자를 전략분야로 설정하고 이를 구체화하기 위해 ‘국가 혁신 주도형 발전전략’을 추진, 양자통신과 양자컴퓨팅을 ‘중대과학기술 프로젝트’로 규정¹¹⁾
- (‘21.3) 중앙위원회 및 국무원의 「14차 5개년 계획(‘21~’25) 및 2035년 장기 목표」에서 과학기술혁신을 최우선 전략 과제로 선정하고, 전략적으로 육성할 8대 분야 중 하나로 양자 정보를 제시¹²⁾, 연구개발비를 매년 7% 이상 증액하여 관련 분야들을 집중적으로 육성¹³⁾
- (‘24.3) ‘2024년 중국발전포럼’ 연차총회에서 국가발전개혁위원회*는 ‘과학기술혁신을 통한 산업혁신 선도’를 강조했으며, 양자기술 등의 새로운 트랙을 개척해야 한다고 언급¹⁴⁾

* 중국 국무원의 경제사회를 비롯한 국가발전과 관련된 종합 경제 관리 부서로, 전략, 정책 등을 조직·수행·조정하여 경제 내각 역할을 수행, ‘작은 국무원’이라고도 불림

● 양자과학기술의 중요성 인식 이후, 전용 사업을 통해 꾸준히 투자 중

- (국가중점연구개발계획) 중국 과학기술부의 「국가중점연구개발계획」에서는 ’16년도 계획부터 ‘양자정보과학’이 포함되었으며, ’16년 28개 사업 4억 위안, ’17년 27개 사업 8.8억 위안, ’18년 21개 사업 3.2억 위안, ’19년(양자과학으로 변경) 9개 사업 2.7억 위안 투자¹⁵⁾
- (2세대 양자체계 구축) ’20년 국가자연과학기금위원회에서 ‘2세대 양자체계 구축 및 제어 분야’ 프로젝트 지침을 발표¹⁶⁾했으며, ’23년까지 지속¹⁷⁾

10) 中国政府网, 国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006—2020年) (https://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm) (2024.4.16. 확인)

11) 中国政府网, 中共中央 国务院印发《国家创新驱动发展战略纲要》 (https://www.gov.cn/zhengce/2016-05/19/content_5074812.htm) (2024.4.16. 확인)

12) 中国政府网, 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要, 2021.3.13. (https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm)

13) 人民网版权所有, “十四五”科研经费年增7%以上, 2021.4.1. (<http://finance.people.com.cn/n1/2021/0401/c1004-32067045.html>)

14) 中国政府网, “各类企业在中国都将有广阔发展空间”——郑栅洁介绍国家发展改革委培育和发展新质生产力相关举措, 2024.3.24. (https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202403/content_6941211.htm)

15) KISTEP, 2019년도 글로벌 R&D 투자동향 분석, 2020.1

16) 新华社, 习近平：深刻认识推进量子科技发展重大意义 加强量子科技发展战略谋划和系统布局, 2020.10.17. (https://mp.weixin.qq.com/s/_LPvt1EhBXXKFQsUy65Qh1A)

17) 国家自然科学基金委员会, 关于发布第二代量子体系的构筑和操控重大研究计划2023年度项目指南的通告, 2023.04.25.

다 유럽연합

로드맵 기반의 대규모·장기 연구 이니셔티브 추진으로 기술역량 축적

● EU 내 산학연관 전문가 3,400여명이 참여한 「양자선언문(Quantum Manifesto, '16.5)」*을 통하여 단기·중기·장기 양자기술 로드맵과 분야별 목표를 제시했으며, 이를 기반으로 '양자기술 플래그십 프로젝트('18~'27)' 추진 중

- (양자선언문) EU 내의 양자 물리학자, 관련 기업 등 학계, 산업계, 정부에서 3,400명 이상의 전문가가 참여하였으며, 로드맵 구축을 통하여 양자기술 플래그십 발족 촉구
- (양자기술 플래그십) 미래신흥기술(FET) 프로그램*의 일환으로, 10억 유로를 지원하는 대규모 장기 연구 이니셔티브인 양자 플래그십(Quantum Technology Flagship) 프로젝트를 발족('18.10). 이를 통해, 4대 핵심 응용분야인 ▲양자컴퓨팅, ▲양자통신, ▲양자센싱, ▲양자시뮬레이션 관련 프로젝트와 ▲기초과학 연구, 양자기술 교육 및 국제협력 활동에 재원 지원

* (Future Emerging Technology) IT분야 내 새로운 아이디어와 주제를 탐색하고 관련 연구를 촉진하기 위한 장기 R&D 지원 프로그램

그림3 EU 양자기술 플래그십 초기단계('18~'21)의 자금 지원 프로젝트 분야



자료: European Commission, The EU's Quantum Technologies Flagship, 2022.10.28.

- (플래그십 추진 경과) 플래그십 초기단계('18~'22)에 유럽 31개국 내 24개 프로젝트에서 양자통신, 컴퓨팅 등 다양한 분야의 성과를 달성¹⁸⁾했으며, 플래그십의 첫 번째 보고서를 통해 '16년부터 '23년 1월까지 1억 7,500만 유로 이상을 투자했고, '21~'27년 동안 Horizon Europe 프로그램을 통해 최소 5억 유로를 투자할 것이라 발표('23.1)¹⁹⁾

18) European Commission, EU is at the frontier of quantum technological discovery with Quantum Technologies Flagship delivering first results, 2023.1.31.

19) European Commission, Quantum Tech Flagship Ramp-up Phase Report, 2023.1.31.

🌐 EU 「디지털 10년」* 정책의 이행지표인 '2030 디지털 나침반'의 세부 목표에 '양자 컴퓨터' 관련 목표 제시('21.3월 발표, '23.1월 발효)²⁰⁾

* (Digital Decade) 유럽의 인간 중심적이고 지속가능한 디지털 전환을 위해 향후 '30년까지의 목표, 정책 프로그램, 프로젝트 등을 포함한 디지털 혁신 정책 프레임워크. EU에서 디지털 전환을 위해 중점적으로 추진 중인 정책

- (양자컴퓨터 관련 목표) '25년까지 양자 가속 기능을 갖춘 최초의 슈퍼컴퓨터를 보유하고, '30년까지 최고 수준의 양자 역량을 보유하기 위한 길을 닦는 것을 목표로 제시

🌐 EU CEN-CENELEC FGQT*에서 양자기술 표준화 로드맵 발표('23.3)²¹⁾

* 유럽표준화위원회(CEN)와 유럽전기기술표준화위원회(CENELEC) 산하의 양자기술(QT, Quantum Technologies) 표준화 로드맵 개발을 위한 포커스 그룹(FGQT)

- (주요내용) 양자기술 표준화 필요성과 배경, 진행 중인 분야, 참여기회, 권장사항 등을 포함하여, 4대 주요영역인 ▲통신, ▲컴퓨팅, ▲시뮬레이션, ▲센싱을 중심으로 구성

🌐 '양자반도체' 개발 지원을 포함한 「EU 반도체법('23.7)」 발효('23.9)²²⁾

- (양자반도체 개발) '유럽 반도체 이니셔티브'의 5대 운영 목표 중 '양자반도체'가 포함. 양자 효과를 활용하는 반도체 및 관련 기술개발 가속화를 위한 역량 구축 계획

🌐 새로운 양자기술 로드맵 '전략연구산업아젠다(SRIA) 2030' 발표('24.2)²³⁾²⁴⁾

- (개요) 양자기술 연구뿐만 아니라 산업계*를 포괄한 로드맵과 '30년까지의 전략적 목표를 제시, 유럽이 '칩텀 밸리'로 도약하겠다는 '양자기술 선언문'의 의지를 반영한 로드맵
- (추진배경) 전략연구아젠다(SRA) 발표를 통해, 양자 플래그십의 비전, 추진 방향, 4대 핵심 분야 중심의 단기·중기·장기 목표를 제시('20)했으며, 전략연구산업아젠다(SRIA) 2030으로 업데이트하여 '30년까지의 전략 목표를 1차적으로 제시하고, 유럽반도체법 및 EuroHPC 등 프로그램에 양자기술 통합을 권고한 사전보고를 발표한 바 있음('22.11)
- (주요내용) 학계·연구계를 통합하는 비전을 제시했으며, 양자기술, 생태계, 핵심 인프라 등에서의 EU의 리더십 확보를 실현하기 위해 협력 및 거버넌스에서의 목표와 권고사항 제시
- (프로젝트 추진) 양자기술 플래그십은 SRIA의 목표를 달성하기 위해 플래그십의 첫 3년간의 활동에서 개발된 양자컴퓨팅 및 시뮬레이션 플랫폼을 발전시켜 실질적인 양자 우위를 확보하는 등 여러 신규 프로젝트를 진행 중²⁵⁾

🌐 세계 최고·최첨단 양자기술 연구 촉진을 위해 4천만 유로(약 592억원) 투자 발표('24.4)²⁶⁾

20) European Commission, Quantum, 2024.4.18. 업데이트

21) CEN-CENELEC, Standardization Roadmap on Quantum Technologies, 2023.3.

22) European Commission, European Chips Act: The Chips for Europe Initiative, 2023.12.6. 업데이트

23) The Quantum Insider, New Roadmap To Position Europe As The 'Quantum Valley' Of The World, 2024.2.14.

24) 한-유럽 양자과학기술협력센터, 유럽 양자기술 전략연구산업아젠다, 2024.4.30.

25) European Commission, Quantum Tech Flagship Ramp-up Phase Report, 2023.1.31.

26) European Commission, Commission invests €112 million in AI and quantum research and innovation, 2024.4.23.

라 영국

양자기술의 상업화·산업화를 통한 국가발전 목적의 정책 추진

● 「국가 양자기술 프로그램('14)」*을 통해 10년간 정부와 민간이 10억 파운드(약 1조 6,300억원) 이상 투자²⁷⁾

* UK National Quantum Technologies Programme, NQTP

- (주요내용) 정부, 학계, 산업계의 파트너십을 통한 국가 역량 강화를 목표로, ▲4대 양자 기술허브 구축 및 운영, ▲국가양자컴퓨팅센터 등 국립연구소 지원, ▲양자분야의 기초과학 지원, ▲상업화 및 산업화 지원을 위한 펀드 조성, 프로그램 운영 등 수행

● 비전과 전략목표, 우선이행 과제 등을 제시한 「국가 양자전략('23.3)」을 통해, '24년부터 향후 10년간 25억 파운드(약 4조원) 이상의 투자 계획 발표²⁸⁾

- (주요내용) '33년까지 달성할 ▲양자기술 4대 전략 목표와 ▲4대 목표 달성을 위한 우선 이행과제, ▲인력, 기업, 산업, 커뮤니티, 시장 등 다양한 측면에서 영국 양자기술 분야의 강점 및 도전과제 등을 정리

표5 영국 「국가 양자전략」의 4대 전략 목표

구분	세부내용	
R&D 및 인력 양성	<ul style="list-style-type: none"> ● 영국이 세계 최고의 양자과학 및 공학의 본거지로서, 영국의 지식과 기술을 발전시키도록 지원 	
	<ul style="list-style-type: none"> - (현재) ▲양자기술 학문 성과 창출 Top 10 국가 중 품질과 영향력에서 3위, ▲'14년부터 양자기술 또는 관련 분야 470명 이상의 대학원생에게 자금 지원, ▲미국과 양자기술 분야 협력 위한 협정 체결 	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) '33년까지 ▲양자기술 관련 연구 논문의 양을 늘리는 동시에 품질에서 3위 유지, ▲양자 관련 분야에서 추가로 1,000명의 대학원생에게 자금 지원, ▲실질적인 공동 작업 프로그램을 기반으로 5개 주요 양자 국가와 양자 협정체결
기업 지원	<ul style="list-style-type: none"> ● 기업지원으로 영국을 양자 비즈니스를 위한 최적의 장소이자, 글로벌 필수 공급망이며, 투자자와 글로벌 인재가 선호하는 장소로 변화 	
	<ul style="list-style-type: none"> - (현재) ▲'12~'22년 전 세계 사모펀드 양자 기업 투자 최대 12%를 영국 기업이 차지, ▲'12~'22년 영국은 전 세계 양자기술에서 9%의 세계 시장 점유율 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) '33년까지 ▲전 세계 사모펀드 양자 기업 투자의 최대 15%를 영국 기업이 유치, ▲전 세계 양자기술 시장의 15%를 점유
상용화	<ul style="list-style-type: none"> ● 경제, 사회 및 국가 안보에 혜택을 제공하기 위해 양자기술 사용 촉진 	
	<ul style="list-style-type: none"> - (현재) 영국 기업의 25~33%가 양자컴퓨팅 시대의 도래에 대응하기 위한 구체적 조치 단행 	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) '33년까지 영국 주요 산업 내 모든 기업이 양자기술의 잠재력 인식, 관련 기업 75%가 양자컴퓨팅 시대에 대비하기 위한 조치 단행
정책	<ul style="list-style-type: none"> ● 혁신과 양자기술의 윤리적 사용을 지원하고, 국가 역량과 안보를 보호하는 국내·외 규제 프레임워크 구축 	
	<ul style="list-style-type: none"> - (현재) 양자기술 분야 규제 및 표준 프레임워크가 부재 	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) '33년까지 양자 분야 글로벌 표준을 수립하는 글로벌 리더로 부상

자료: IITP, 디지털 해외정책 트렌드 2023-특집2호, 2023.9.14.

27) UK National Quantum Technologies Programme 홈페이지(<https://uknqt.ukri.org/>)

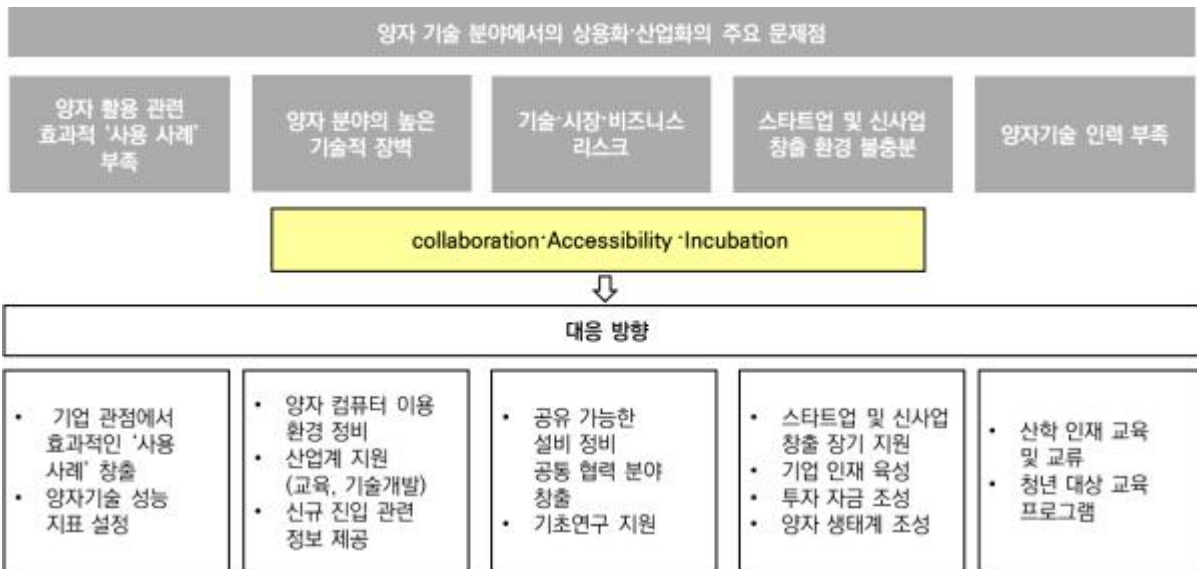
28) Department for Science, Innovation & Technology, National Quantum Strategy, 2023.3.15.

마 일본

30여 년간의 꾸준한 투자로 상용화·산업화 기반 마련

- 일본의 양자기술 분야가 직면한 다섯 가지 문제점을 도출하고 양자기술을 활용하여 지속가능한 사회·경제·환경을 조성하겠다는 비전을 구현하기 위해 3대 목표*를 제시한 「양자 미래산업 창출 전략(‘23.4)」 발표²⁹⁾
 - (추진배경) 「양자기술 이노베이션 전략(‘20.1)」, 「양자기술 로드맵 및 양자 미래비전(‘22.4)」 등의 정책을 추진한 바 있으며, 구체화하여 「양자 미래산업 창출 전략」 발표
 - (목표) ▲’30년 양자기술 이용자 1,000만명, ▲양자기술 관련 생산액 50조 엔, ▲양자 유니콘 벤처 기업 창출
 - (주요내용) ▲일본이 직면한 5가지 문제점과 그에 따른 대응방안을 제시했으며, ▲상용화 및 산업화의 방향성을 협업(Collaboration), 접근성(Accessibility), 인큐베이션(Incubation) 등 3개 관점에서 정리하고, ▲양자기술 분야별 전략과 기반구축 방안을 포괄하는 양자산업의 생태계 조성 전략을 제시

그림 4 일본 「양자 미래산업 창출 전략」의 대응방안



자료: 한국산업기술진흥원, 일본의 '양자 미래 산업 창출 전략'의 주요 내용, 산업기술정책 애자일 2023년-제8호, 2023

29) 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局, 量子未来産業創出戦略, 2024.4.14. (2024.4.24. 확인)

표6 일본 「양자 미래산업 창출 전략」의 상용화 및 산업화 방향성

방향성	주요 내용
협업	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 산업분야가 참여와 협력을 통해 '사용 사례(Use Case)'를 발굴하고 새로운 가치 창출로 연결하여 양자기술 이용자의 범위와 생산을 확대 * 소재, 화학, 금융, 건강·의료, 제조, 물류·교통, 환경, 농업, 에너지, 지역개발, 방위, AI, 정보통신 등 다양한 분야의 국내외 수요 기업 및 대학의 참여 필요
접근성	<ul style="list-style-type: none"> 양자컴퓨팅, 양자센싱, 양자보안 네트워크 등을 정비하고 기술 교육을 지원하여 기술·산업 현장에서의 양자기술의 개방적 이용환경을 조성
인큐베이션	<ul style="list-style-type: none"> 양자기술(HW, SW) 분야의 스타트업, 벤처기업, 신사업 창출을 적극적으로 지원하고 산학협력, 해외 진출, 금융 등을 포괄하는 양자기술 생태계를 조성

자료: 한국산업기술진흥원, 일본의 '양자 미래 산업 창출 전략'의 주요 내용, 산업기술정책 애자일, 2023년-제8호, 2023

▣ 기술선도국인 미국은 글로벌 리더십 유지를 위해 국가 차원 전폭적 지원 추진

- 미국에서는 경제 및 국가안보를 위해 양자과학기술 개발을 가속화해야 한다는 점에 공감대가 형성되었고, 의회의 압도적 지지로 「국가 양자 이니셔티브법」을 제정하여 국가 차원의 지원 정책을 추진
 - 양자과학기술 분야에서 미국과 중국, EU 등이 선두를 달리고 있으며, 영국, 캐나다, 호주, 일본 등이 추격하고 있는 상황. 하지만 국가 간의 차이는 압도적이지 않으며, 인프라, 인재 등이 전 세계에 분포
 - 또한, 미국은 경쟁국인 중국의 양자암호통신 실험 성공 등 양자과학기술 분야의 역량 향상을 계기로 위기를 인식했으며, 양자과학기술 분야 또한 경쟁 우위를 선점하기 위한 전략적인 정책을 추진 중

본 보고서에서는 양자과학기술 분야에서 가장 선두를 달리고 있는 미국의 「국가 양자 이니셔티브법」을 중심으로, 정책 추진 및 국가 R&D 동향을 분석하여 시사점을 도출하고자 함

3 미국의 정책 및 R&D 추진 동향

가 국가 양자 이니셔티브

□ 국가 차원의 포괄적인 이니셔티브 추진으로 양자 연구에 대한 지지 표명

- (개요) 새로운 거버넌스를 구축하여 조정되고 일관된 연구 및 표준개발 프로그램을 운영하고, 연구거점을 구축하며, 인재를 양성하여 생태계를 조성하는 등 미국의 경제 및 국가안보를 위한 포괄적인 양자과학기술 지원책으로 법제도 정비 추진

 - 세계 최초로 「국가 양자 이니셔티브법(이하, NQI법)」을 제정('18.12)하여 향후 10년간의 대규모·안정적 지원 기반을 구축. 연방정부는 본 법안을 근거로 거버넌스를 구축하고, 정책 및 R&D 프로그램을 추진 중
 - '23년, 제정 5년 만에 보다 장기적인 지원의 필요성이 제기되면서 하원에서 「국가 양자 이니셔티브 재승인법」이 발의되었으며, NQI 프로그램을 5년간 연장하는 내용을 담고 있음
- (추진 배경) 미국은 '90년대부터 국가안보 및 국방 차원에서 양자기술에 투자를 지속 해왔지만, 경쟁국인 중국과 EU에 비해 포괄적인 전략이나 투자 규모면에서 미흡했음. 이러한 상황에서 학계·산업계의 요구와 하원·상원의 압도적인 지지로 발의 6개월 만에 「NQI법」 제정('18.12)³⁰⁾

 - '09년, 국가과학기술위원회(NSTC)에서 발표한 '양자정보과학을 위한 연방 비전'* 보고서를 계기로, 대학 및 기관 등의 후원을 통한 유사한 주제의 워크숍이 여러 차례 개최
 - * A Federal Vision for Quantum Information Science
 - '16.6월, 오바마 행정부 임기 말에 NSTC에서 '양자정보과학의 발전: 국가적 도전과 기회' 보고서를 발표했으며, 이를 계기로 '16.10월 백악관 과학기술정책실(OSTP)이 주관하는 '양자정보과학에 관한 OSTP 포럼' 개최. 같은 시기, 국가 포토닉스 이니셔티브(NPI)*에서 만들어진 조직에서 의회 등에 국가 전략개발을 촉구하기 위한 노력을 시작했고, 이를 '국가 양자 이니셔티브'라고 명명. 광학학회(OSA) 등과 협업하여, 미국 전역의 학계와 산업계 과학자들로 구성된 팀을 조직하고, 의회에 제출하기 위한 제안서 작성 시작
 - * (National Photonics Initiative) 광학, 포토닉스 및 양자 과학 및 기술에 대한 인식을 높이기 위하여 조직된 산업계, 학계, 정부 간의 광범위한 협력 연합단체
 - '17.6월, NPI 팀이 미국 하원 과학우주기술위원회에 '국가 양자 이니셔티브 요청' 제출
 - '17.10월, 양자기술 분야의 미국 리더십에 관한 미국 하원 공청회 개최

30) Michael G.R·Christopher M, The US National Quantum Initiative, Quantum Sci. Technol. Vol.4 No.2, 2019

- '18.4월, NPI 팀이 미국 하원에 '국가 양자 이니셔티브 실행계획' 제출
- '18.6월, 하원 위원회는 '국가 양자 이니셔티브'의 창설을 승인하고, 국립과학재단(NSF), 에너지부(DOE), 국가표준기술연구소(NIST) 및 백악관의 역할을 정의하는 「NQI법」 발의. 미국 상원 상업, 과학 및 교통 위원회에서 '국가 양자 이니셔티브'를 위한 법 발의
- '18.9월, 「NQI법」의 미국 하원 통과, 하원과 상원의 협상을 통해 단일 법안이 결정되었으며, 공식 공청회 개최. 한편, 국가과학기술위원회(NSTC) 양자정보과학분과위원회(SCQIS)*에서 「양자정보과학을 위한 국가전략 개요」 발표

* Subcommittee on Quantum Information Science

- '18.12월, 하원·상원의 만장일치에 가까운 지지로 「NQI법」 제정 완료

● (국가전략) NSTC SCQIS는 「NQI법」의 기반이 되는 전략인 「양자정보과학 국가전략 개요('18.9)」를 통해 6개의 권고사항을 제시³¹⁾

표7 「양자정보과학 국가전략 개요」의 6대 권고사항

구분	세부 내용
과학 우선 접근법 채택	<ul style="list-style-type: none"> 연방정부가 자금을 지원하는 핵심 연구프로그램을 강화하고, 장기적인 연구를 지원하기 위해 다양한 접근방식 활용 여러 분야에 걸쳐 양자 중심 연구자 간의 대화와 협력을 촉진하고, 양자학계 발전 지원 양자정보과학분과위원회(SCQIS) 등 공식적인 조정기구 설치 및 활용 도전적 연구과제를 식별하고, 이에 대한 우선순위 설정 및 지속적 투자 지원
인력양성	<ul style="list-style-type: none"> 산학의 요구사항 충족을 위한 다양하고 융합적인 인력 프로그램 개발 지원 기존 프로그램을 활용한 양자정보과학 지원 인력 규모 확대 학계가 양자과학 및 공학을 독립된 학문으로 인식할 수 있도록 장려하고, 초중고 교과과정에 양자과학 포함 관련 기관 및 산업계가 협력하여 투자를 강조하고, 미디어 기관과의 협력 등을 통해 대중에게 홍보 강화 양자정보과학 커뮤니티가 인력수요를 예측할 수 있도록 권장
민관협력 강화	<ul style="list-style-type: none"> 산·학·관이 협력하여 양자컨소시엄을 구성하여, 요구 및 애로사항 등을 공유하는 대화채널을 구축하여 효율성 제고 pre-competitive 양자 연구개발 가속화를 위한 산·학·관 파트너십을 통해 양자기술 공동연구센터 투자 확대 연방정부 내에서 잠재적인 최종 수요자 애플리케이션 공간을 구축함으로써, 양자 혁명이 기관에 불리울 파급력과 기관의 양자기술 채택 방안에 대한 인식 유지
중요 인프라 제공	<ul style="list-style-type: none"> 가장 필요한 인프라를 파악하고 투자 장려 기관이 연구 커뮤니티에 기존·미래 시설 및 기술에 대한 접근성 지원 교육 및 참여와 함께, 테스트베드 시설을 구축하여 애플리케이션 탐색 지원 용도 변경 및 확장이 가능한 제조 설비를 포함한 기존 인프라를 활용하여 양자 기술개발 가속화
국가안보 및 경제성장 유지	<ul style="list-style-type: none"> 변화하는 과학기술 환경의 보안적 의미에 대한 이해 유지 모든 정부기관에서 양자정보과학 기술의 국방 및 안보적 의미에 부합하고, 경제성장의 이점과 기술이 창출하는 새로운 위험의 균형을 유지할 수 있도록 SCQIS와 같은 메커니즘을 촉진 연구와 관련된 조치에 대해 미국 대학 및 업계에 가능한 한 많은 양의 정보를 제공
국제 협력 강화	<ul style="list-style-type: none"> 뜻이 맞는(like-minded) 업계 및 정부 파트너와의 국제 협력 증진 모색 미국이 최고의 인재와 지속적으로 유치하고 유지하며, 국제기술, 연구시설 및 양자정보과학 전문지식에 접근할 수 있도록 보장

자료: NSTC SCQIS, National strategic overview for quantum information science, 2018.9

31) Executive office of the President of the United States, National strategic overview for quantum information science, 2018.9

☐ 「국가 양자 이니셔티브(NQI)법」

- (개요) 미국은 「NQI법」으로 향후 10년간 국가적 차원에서 양자연구에 집중할 의지를 표명했으며, 양자컴퓨팅, 양자통신, 양자센서 등 양자정보기술을 종합적으로 지원하는 것을 목표로 연구개발뿐만 아니라, 거버넌스, 연구소 설립, 인력양성, 민관협력, 연계 지원 법률 등을 명시
- (주요내용) 법안은 크게 4개의 파트로 구성, 새로운 조직을 설립하여 양자 거버넌스를 구축하며, 주요 연방기관인 ▲국립표준기술연구소, ▲국립과학재단, ▲에너지부 등 3개 기관에 양자정보과학 연구 관련 의무 및 권한 부여
 - 본 법안에서는 3개 기관에 대한 연구 활동만을 승인했지만, ‘국가 양자 이니셔티브’는 3개 기관을 넘어서는 범정부적인 접근 방식을 취함

표8 「국가 양자 이니셔티브법」 주요내용

구분	세부내용
국가 양자 이니셔티브	<ul style="list-style-type: none"> • 과학기술 담당 주요 기구에 양자 연구를 지원할 3개 조직 신설 <ul style="list-style-type: none"> - 제정일로부터 11년이 지나면 해당 설립 근거조항의 효력이 소실되나, 필요시 대통령이 연장 가능 • 국가양자조정실(National Quantum Coordination Office, NQCO) <ul style="list-style-type: none"> - 백악관 과학기술정책실(OSTP) 산하에 설치 - 양자 이니셔티브 프로그램을 추진하고, 관련 조직을 지원하며, 연방기관·기업·국민 간의 연결 역할 수행 • 양자정보과학분과위원회(Subcommittee on Quantum Information Science, SCQIS) <ul style="list-style-type: none"> - 백악관 국가과학기술위원회(NSTC) 산하에 설치 - 국립표준기술연구소(NIST), 국립과학재단(NSF), 에너지부(DOE), 항공우주국(NASA) 등 8개 이상의 연방기관으로 구성되어, 연방 양자연구 정책을 총괄하고 예산을 조정 • 국가양자이니셔티브 자문위원회(National Quantum Initiative Advisory Committee, NQIAC) <ul style="list-style-type: none"> - 대통령이 임명한 산학연 전문가로 구성된 독립기관 - 연방 양자연구 정책에 대한 자문 의견을 제공하고, 프로그램에 대한 독립적인 평가를 주기적으로 수행
국립표준기술연구소 (NIST)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 컨소시엄을 설립하고, 양자 기초·응용연구 및 산학연 협력 연구 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 타 연방 기관과의 협력을 통해 양자 기초·응용연구 지원 확대 및 효율성 증대를 꾀하고, 벤처 설립을 통한 산·학·연 협력을 제고 - 현재의 연구 수준을 평가하고 개선 방안을 제안할 양자 컨소시엄 설립 • 양자 기초·응용연구 지원 및 양자 컨소시엄 설립·운영을 위해 5년간 매년 8천만 달러 예산을 지급받음
국립과학재단(NSF)	<ul style="list-style-type: none"> • 학교 및 비영리기관을 중심으로 다학제 기초연구 활성화 및 인력양성 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 학교 및 비영리기관을 대상으로 하는 다학제 기초 연구 프로그램, 인력 양성 프로그램(양자분야 석·박사 과정 중인 시민권자를 위한 훈련 프로그램 등)을 운영하며 관련 교육을 지원 - 학교 또는 비영리기관이 설립한 다학제 양자 연구·교육센터(Multidisciplinary Center for Quantum Research and Education)를 2~5개 선정하여 재정 지원 • 센터당 5년간 매년 최대 1천만 달러 예산 지급 가능(5년 연장 가능)
에너지부(DOE)	<ul style="list-style-type: none"> • 국립 양자정보과학 연구소를 선정·운영 <ul style="list-style-type: none"> - 2~5개의 국립 양자정보과학 연구소(National Quantum Information Science Research Center)를 선정·운영하며, 국립연구소가 기존 연구 기관과 중복되는 불필요한 연구를 수행하지 않도록 조정 • 센터당 5년간 매년 최대 2.5천만 달러 예산 지급 가능(5년 연장 가능)

자료: 박소영, 미국 「양자연구집중지원법」 제정의 주요 내용과 시사점, 국회입법조사처 외국입법 동향과 분석 제30호, 2020.3.4.

- (예산) 초기 5년간('19~'23) 12억 달러를 양자 연구에 투자하도록 권한 부여
 - (주요 투자 방향) 법안 관련 연구개발 예산은 양자과학기술을 위한 6가지 핵심목표 달성에 투자하며, 국가 양자 이니셔티브 연구개발 프로그램은 양자컴퓨팅, 양자통신, 양자센서를 모두 포괄하고 양자기술의 기반을 이루는 과학기술 등 종합적인 연구를 수행
 - (예산 조정) 양자정보과학분과위원회(SCQIS)에서 기관 간의 예산을 조정하고 총괄
- (개정) 「NQI법」은 「국방수권법(NDAA)(FY '19, '20, '22)」과 「반도체와 과학법(22.8)」에 의해 개정되었으며, 국방부(DOD) 프로그램을 포함하여 양자기술을 위한 인프라, 표준 개발, 새로운 프로그램, 인력양성 등 지원 강화
 - (NDAA) ▲'19~'20 회계연도에는 국방부(DOD)가 양자정보과학 연구개발 수행, 인력양성, 인식 제고를 지원할 수 있도록 법제화했으며, 국방부 내의 모든 양자정보과학 기술 및 연구에 대하여 조정할 수 있도록 권한 부여. ▲'20년에는 양자정보과학 연구소 설립을 추가로 승인. ▲'22년에는 양자과학의 경제·안보 영향에 관한 NSTC 소위원회(ESIX)의 설립 근거 명시
 - (반도체와 과학법) 양자통신 인프라 개발, 양자통신 표준 개발, 연구 목적으로 미국에 기반을 둔 양자컴퓨팅 자원에 접근하는 것을 지원하기 위한 경쟁 촉진 프로그램 구축, 모든 수준의 STEM 교육과정에 양자정보과학 통합, 연방 장학 프로그램 등 「NQI법」을 개정했으며, 기술 혁신협력국(TIPS)에서 중점적으로 추진하는 10대 핵심기술에 명시적으로 양자정보과학을 포함
- (거버넌스) 「NQI법」에 따라 양자 거버넌스를 구축했으며, 이후 법 개정을 통해 강화

표9 국가 양자 이니셔티브(NQI)의 거버넌스 구조 및 기관별 주요 역할

구분	주요 역할
국가양자조정실 (NQCO)	<ul style="list-style-type: none"> • 「NQI법」을 근거로, 백악관 과학기술정책실(OSTP) 산하에 설치 • NQI 프로그램을 조정하고 지원하는 데 필요한 일상 활동을 수행 <ul style="list-style-type: none"> - ▲SCQIS, ESIX, NQIAC에 기술 및 행정 지원 제공, ▲NQI 프로그램의 기관 간 조정 감독, ▲민간 양자정보과학 활동 소통창구 역할, ▲컨소시엄과 다양한 양자 센터 간의 조정을 보장, ▲공공 지원 활동 등 수행
양자정보과학 분과위원회(SCQIS)	<ul style="list-style-type: none"> • 「NQI법」을 근거로, 백악관 국가과학기술위원회(NSTC) 산하에 설치 • 양자정보과학 및 관련 기술 분야의 연방 R&D 조정 <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술정책실(OSTP), 국립표준기술연구소(NIST), 국립과학재단(NSF) 및 에너지부(DOE)가 공동 의장 수행
국가양자이니셔티브 자문위원회(NQIAC)	<ul style="list-style-type: none"> • 「NQI법」을 근거로, 자문과 독립적인 평가를 제공하기 위해 신설 • 대통령, 의회 및 SCQIS가 NQI 프로그램을 검토하고 수정할 때 고려해야 할 권고안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 산업계, 학계 및 연방 연구소의 해당 분야의 리더로 구성 - '19.8월 '행정명령 13885'를 근거로 신설되었으며, '22.5월 '행정명령 14073'을 통해 강화
양자과학의 경제·안보 영향에 관한 소위원회(ESIX)	<ul style="list-style-type: none"> • 「NDAA FY 2022」을 근거로, 백악관 국가과학기술위원회(NSTC) 산하에 추가로 신설 • 양자정보과학의 경제 및 안보 영향을 기관 전반에 걸쳐 확산시키기 위해 설립, SCQIS와 협력하여 양자정보과학 관련 R&D 정책에 국가안보 관점에서 정보 제공 <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술정책실(OSTP), 국방부(DOD), 에너지부(DOE), 국가안보국(NSA)이 공동 의장 수행

자료: National Quantum Coordination Office 홈페이지(www.quantum.gov), ABOUT, (2023.6.10. 확인)

양자과학기술 관련 정책 추진 경과

● (SCQIS) NSTC 산하의 양자정보과학분과위원회(SCQIS)는 미국의 양자 관련 정책을 조정 및 총괄하고 있으며, 이와 관련하여 지금까지 11개*의 보고서를 발표

* 「양자정보과학을 위한 국가전략 개요(’18)」가 발표된 이후, 전략 문서(Strategy Documents) 7건 및 연례보고서 4건 발간

- 양자정보과학기술이 경제 및 국가 안보에 미치는 영향을 고려하여, 미국이 양자정보과학 분야에서의 우위를 지속적으로 유지하기 위한 전략과 정책적 시사점을 제공

표10 양자정보과학분과위원회(SCQIS)에서 발표한 보고서 및 주요내용

구분	주요내용	
과학 기술	미국 양자 네트워크를 위한 전략 비전 ('20.2) (A Strategic Vision for America's Quantum Networks)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 인터넷의 기반 기술을 발전시키기 위한 미국의 R&D 노력에 초점을 맞춰, 양자 네트워크에 대한 양자정보과학 커뮤니티의 목표를 설정하고 집중적인 연구 활동을 위한 6가지 특정 기술 분야를 권장
	양자 프런티어 ('20.10) (Quantum Frontiers)	<ul style="list-style-type: none"> • NQCO는 R&D 커뮤니티의 의견을 수렴하여, 그랜드 챌린지 해결 과정에서 양자분야의 혁신적인 발전으로 이어질 수 있는 분야인 '양자 프런티어'를 8개 선정 <ul style="list-style-type: none"> - ▲양자기술이 사회에 도움이 될 수 있는 기회 확대, ▲양자공학 분야의 발전, ▲양자기술을 위한 재료과학의 타겟팅, ▲양자 시뮬레이션을 통한 양자역학 탐구, ▲정밀측정을 위한 양자 정보기술의 활용, ▲새로운 응용을 위한 양자 얽힘 생성 및 분배, ▲양자 오류의 특성화 및 완화, ▲양자정보를 통한 우주의 이해
	양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식 ('21.1) (A Coordinated Approach to Quantum Networking)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 네트워크 연구의 중요성이 커지고 있음을 인식하고, 연방기관과 함께 양자 네트워크 활용에 대한 국가의 지식기반과 준비상태를 발전시키기 위한 조치를 권장 <ul style="list-style-type: none"> - ▲양자 네트워크의 사용 사례에 대한 지속적인 연구, ▲양자 네트워크를 위한 상호 유익한 핵심 구성요소의 우선순위 지정, ▲양자 네트워크를 지원하기 위한 기존 기능 개선, ▲'적절한 크기'의 양자 네트워크 테스트베드 활용
	양자센서의 실현 ('22.3) (Bringing Quantum Sensors to Fruition)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자센싱 기술은 NQI의 가시적이고 단기적인 목표로, 연방기관의 연구개발을 조정하고 적용을 촉진하기 위한 4가지 조치를 권장 <ul style="list-style-type: none"> - R&D를 주도하는 기관은 새로운 양자센싱 접근법 개발을 가속화하고 최종 사용자와의 적절한 파트너십을 우선시하여 새로운 양자센서의 기술준비도(TRL) 제고 - 센서를 사용하는 기관은 타당성 조사를 수행하고, R&D 리더와 공동으로 시제품을 테스트하여 유망기술을 식별하고 기관의 임무를 해결하는 양자센서에 집중 - 엔지니어링 R&D를 지원하는 기관은 양자기술 개발 및 규모의 경제를 촉진하기 위해, 광범위하게 적용 가능한 구성 요소 및 하위 시스템을 개발 - 기관은 양자센서 기술의 개발과 조기 채택을 장려하기 위해 기술이전 및 취득 관행을 간소화
경쟁력	양자정보과학에서 국제인재의 역할 ('21.10) (The Role of International Talent in Quantum Information Science Report)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자정보과학기술 분야에서 국제 인재 유치와 해외 파트너십이 미국 내 기업 활성화에 중요하며, 이를 통한 기술과 전문성 보호 및 유학생과 연구원 유입이 목표 달성에 필수적임을 강조. 이에 따라 4가지 정책 권고안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - ▲글로벌 인재를 유치하는 한편, 연구보안에 대한 균형 잡힌 조치 시행, ▲안전하고 활성화된 국제 양자정보과학 생태계 보장, ▲국가전략개요의 인력 부문 보강, ▲기술보호계획 개발
	양자내성암호 국가안보각서 ('22.5) (National Security Memorandum on Quantum-Resistant Cryptography)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자컴퓨팅에 대한 행정부의 정책을 개괄하고, 새로운 기술을 촉진하기 위한 전략을 제시하며, 암호화 위험 완화를 우선시하고, 지적재산보호를 보장하는 국가안보각서* <ul style="list-style-type: none"> * Promoting United States Leadership in Quantum Computing While Mitigating Risks to Vulnerable Cryptographic Systems
인력 양성	양자정보과학기술 인력양성 국가전략계획 ('22.2) (QIST Workforce Development National Strategic Plan)	<ul style="list-style-type: none"> • 경제 및 국가 안보를 보장하기 위해 양자정보과학기술 인력 현황을 평가하고, 더 많은 사람이 양자기술과 관련된 일자리에 대비하고, 모든 수준에서의 STEM 교육을 강화하고, 양자 개척 가속화 및 미래 산업을 위한 인재 풀을 확대하는 중요한 조치를 권장 <ul style="list-style-type: none"> - ▲단기·장기 관점에서 양자 생태계의 인력수요를 이해, ▲공공지원 및 교육 자료를 통해 일반 대중에게 홍보, ▲전문교육 및 훈련기회의 격차 해소, ▲관련 경력경로의 접근성 강화

자료: National Quantum Initiative, NATIONAL QUANTUM STRATEGY (2024.6.10. 확인), IITP 정리

- (연례 보고서) 양자정보과학분과위원회(SCQIS)는 「NQI법」에 따라, 연방기관이 집행한 R&D 예산 및 R&D 프로그램, 정책 추진 경과를 개괄하여 연례 보고서* 발간 중
 - * National Quantum Initiative Supplement To The President's FY 2024 Budget
 - '회계연도 2021 연례 보고서('21.1)' 이래로 매 해 발간하여, 가장 최근에는 4번째 보고서인 '회계연도 2024 보고서('23.12)'를 발간
- (NQIAC) 국가양자이니셔티브 자문위원회(NQIAC)는 NQI 프로그램의 추진 경과와 권장사항에 대한 첫 번째 평가 보고서*를 발표('23.6)³²⁾
 - * 국가 양자 이니셔티브 재승인: 양자 정보 과학 분야에서의 미국 리더십 유지 (Renewing the National Quantum Initiative: Recommendations for Sustaining American Leadership in Quantum Information Science)
 - (결론) ▲NQI는 출범 이후 5년 동안 양자정보과학기술 R&D 분야에서 미국의 역량을 강화, ▲양자정보과학기술의 발전은 미국 경제와 국가안보에 매우 중요, ▲미국이 양자정보과학기술의 완전한 경제적 영향과 이점을 실현하려면 과학, 공학 및 시스템 통합 과제가 남아 있으며 이에 대한 해결 필요
 - (주요 권고사항) ▲미국의 양자정보과학기술 리더십을 보장하기 위해서는 NQI법의 재승인 및 확대 필요, ▲미국 양자 관련 과학자·공학자 양성, 글로벌 인재 유치, 경력경로 다양화, 국제 협력 지원 강화 필요, ▲리더십 보호와 경쟁력 제고를 위한 신중한 정책 개발, 연구 활동 및 인프라 확장, 글로벌 공급망의 신뢰성 평가 및 개선, ▲사회를 위한 양자정보과학기술의 잠재력 실현을 위해 가치 있는 기술개발을 가속화
- (재승인법 발의) 미국 하원은 「NQI 재승인법」을 발의('23.11)했으며, 하원에서 심사 중³³⁾³⁴⁾
 - 하원 과학우주기술위원회는 '23.9.30일에 만료된 NQI 프로그램을 재승인하기 위한 법안을 발의했으며, 통과된다면 향후 5년간 양자연구에 약 36억 달러를 지원할 전망

32) National Quantum Initiative, NQIAC Report on Renewing the National Quantum Initiative, 2023.6.2.

33) House Committee on Science, Space, and Technology Republicans, Support Grows for the National Quantum Initiative Reauthorization Act, 2023.11.13.

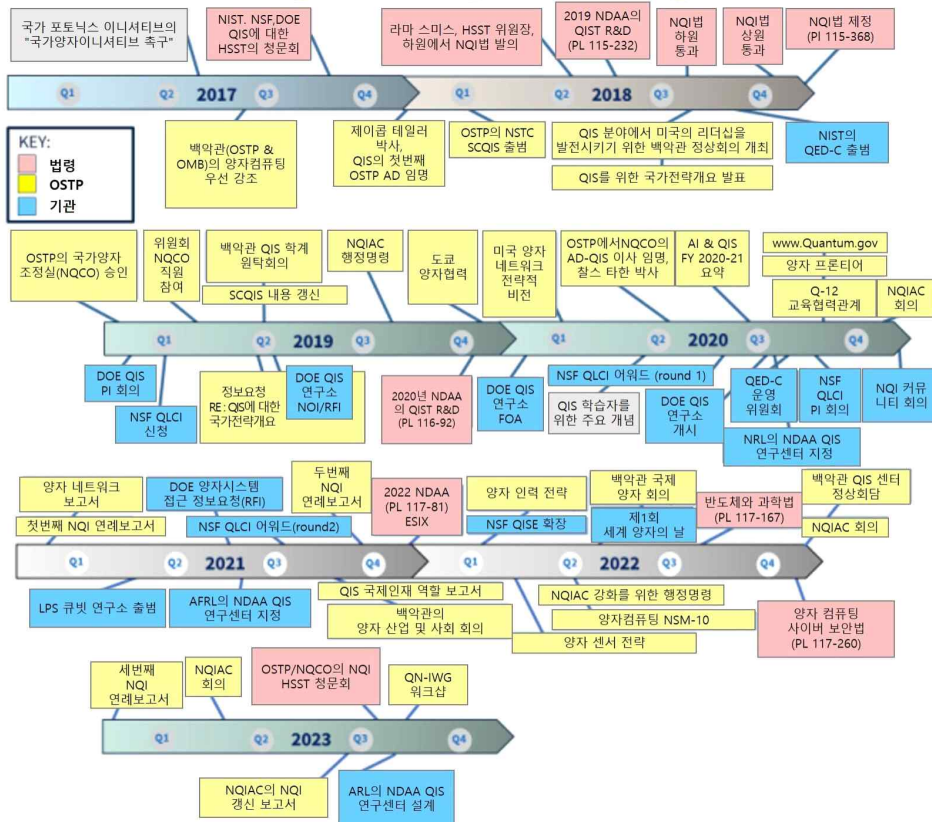
34) Johannes Lang and Andrew Moore, The quantum revolution may be just around the corner – Congress should act, The Hill, 2024.4.5.

나 정책 동향

미국의 양자 관련 정책 추진 경과 요약

- 미국은 NQI의 실현을 위해 지원 법률 제정했으며, 이를 기반으로 양자 거버넌스를 구성하여 정책 및 예산을 조정하고, 연구소를 설립했으며, 국제적인 협력을 강화하는 등 전략적으로 정책을 추진 중
 - 미국은 「NQI법」에서 명시한 바와 같이 주요 연방기관을 중심으로 컨소시엄 구성, 연구소 설립, 연구개발 지원, 인력양성 등을 수행 중
 - 한편으로는, 「국방수권법(NDAA)」, 「반도체와 과학법」을 통하여 「NQI법」 개정하여 보완했으며, 추가적으로 행정명령 발효, 새로운 정책 문서 발표 등을 통해 방향성 제시
 - 특히, 초기에 승인되었던 일부 프로그램이 '23.9월에 만료되면서 재승인을 앞두고 있으며, '24년이 중요한 전환점이 될 것으로 전망

그림5 미국의 「국가 양자 이니셔티브」 추진 타임라인('17~'23)



※ AFRL:공군 연구소 / DOE: 에너지부 / ESIX: 양자과학의 경제·안보 영향에 관한 소위원회 / HSST: 하원 과학우주기술위원회 / LPS: 국가안보국 물리 과학연구소 / NDAA: 국방수권법 / NQCO: 국가양자조정실 / NQIAC: 국가양자이니셔티브 자문위원회 / NSF: 국립과학재단 / NSTC: 백악관 국가과학 기술위원회 / OSTP: 백악관 과학기술정책실 / QED-C: 양자경제개발연합체 / QLCI: 양자도약챌린지연구소 / QIS: 양자정보과학 / QIST: 양자정보과학 기술 / QN-IWG: 양자 네트워크 기관 간 워킹그룹 / SCQIS: 양자정보과학 분과위원회

자료 : SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1.

▣ 「양자정보과학 국가전략개요」의 6대 권고사항 달성에 중점을 두고 정책 추진

- 연방정부 및 기관은 권고에 따라 일관된 정책을 추진하고 있으며, 「NQI법」에 따라 양자정보과학분과위원회(SCQIS)에서 총괄하여 경과를 연례 보고서로 발간
 - 또한, 「양자정보과학 국가전략개요(18.9)」를 보완하기 위해 추가로 발표한 전략을 반영

1 과학우선 접근법

- 양자정보과학의 과학적 발전을 확립하고 선도하는 것이 가장 우선이며, 이를 위해 핵심 R&D 프로그램을 강화하고, 새로운 양자센터를 설립하며, 양자 프린터 탐색 필요
 - 기초과학에 대한 투자가 국가의 번영과 안보의 기반이 되며, 과거부터 양자역학에 대한 탐구가 GPS, MRI 등 혁신기술 개발 촉진에 기여해왔음
 - 기술 기반을 구축하기 위해서는 기초연구에 대한 투자가 필요하며, 근본적인 문제 탐구를 위해 기술을 우선시하고 새로운 이해 및 역량을 개발하고 발견의 문화 조성이 필요

표11 과학우선 접근법 실현을 위한 정책 추진 경과

주체	세부 내용
양자정보과학 분과위원회 (SCQIS)	<ul style="list-style-type: none"> ● 정보를 공유하고, 정책을 개발하며, 토론 및 행사를 개최하고, 다양한 주제에 대해 기관 간 워킹그룹(IWG) 구성 <ul style="list-style-type: none"> - NQCO의 지원을 받아 홈페이지(www.quantum.gov)를 활용하여 NQI 활동 조정 수행 ● SCQIS 과학 IWG와 NQCO는 '제5회 연방 양자정보과학 프로그램의 날'을 개최 <ul style="list-style-type: none"> - 정부 전반의 양자정보과학 프로그램 관리자, 연구원 및 이해 관계자와 양자정보과학 R&D의 프로젝트 및 방향성 논의
에너지부 (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> ● 기초과학 및 공학 분야에 걸친 다양한 R&D 프로젝트 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 재료 및 포토닉스, 양자센싱, 양자컴퓨팅, 양자 네트워크 등의 기초연구 및 응용연구 ● 학술 및 산업 연구를 포괄하는 광범위한 양자정보과학 연구 커뮤니티의 사용자에게 전문지식 서비스 제공
국립과학재단 (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> ● 다수의 핵심 프로그램을 통해 R&D 투자 <ul style="list-style-type: none"> - (참여 부서) ▲생명과학국, ▲컴퓨터정보과학공학국(CISE), ▲수학물리과학국(MPS), ▲STEM 교육국, ▲사회행동경제 과학국, ▲기술혁신협력국(TIP), ▲다학제활동실, ▲국제과학 및 공학실, ▲EPSCoR 등 - (핵심 프로그램) ▲MPS의 원자 분자 및 광학 실험 물리학 프로그램, ▲CISE의 신형 기술 기초 프로그램 등 ● 소규모부터 대규모까지의 센터 지원 프로그램을 통해 R&D 및 인력개발을 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 양자도약챌린지연구소(QLCI) 프로그램은 최첨단 양자정보과학 기술을 발전시키기 위하여 대규모 학제 간 연구 프로젝트를 지원하며, 해당 분야의 특정 과학, 기술 및 인력 개발 목표에 대한 다학제적 접근 방식을 촉진 - 과거부터 센터 프로그램을 통해 ▲과학기술 센터, ▲엔지니어링 연구센터, ▲물리학 프린터 센터, ▲재료 연구과학 및 엔지니어링 센터 등의 양자정보과학 관련 프로젝트를 지원 중. 센터 프로그램은 FY 2024에도 계속되며, 지원을 확대할 것으로 예상
정보고등연구기획국(IARPA)	<ul style="list-style-type: none"> ● 이론과 실험의 공동 개발을 강조하는 프로그램을 통해 양자오류수정 및 내결함성의 근본적인 기초에 투자. 보편적인 내결함성 양자컴퓨팅 개발에 필수적인 과학적 접근 방식을 지지
국립표준 기술연구소 (NIST)	<ul style="list-style-type: none"> ● 2개의 캠퍼스(게이더스버그 및 볼더)와 공동 연구소(JILA, JQI, QuICS)에 참여하는 대학 등에서 여러 기초 양자정보과학 연구 프로그램을 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 복잡한 물리시스템과 큐비트 유형, 빛의 양자 상태, '표준 모델'을 넘어서는 물리학, 고전물리학과 양자물리학의 경계를 탐구하는 이론적·실험적 과학적 연구, 양자정보처리 및 특성화에 필요한 새로운 물리학 및 수학, 양자정보과학 응용 프로그램의 배치를 뒷받침하는 기술, 재료 설계 및 생물학과 화학을 위한 양자정보과학 등의 프로그램을 강화·확장

주체	세부 내용
국립보건원 (NIH)	<ul style="list-style-type: none"> • NQI의 지원 기반으로 기관 전반에 걸쳐 양자정보과학에 관한 실무 그룹을 설립 - 12개 이상의 NIH 연구소 센터의 담당자와 DOE, NIST, NSF의 전문가가 참여하여 양자정보과학을 활용한 생물 의학 분야의 파괴적 감지 및 컴퓨팅 기술에 대한 공동 기회를 논의
국방부 (DOD)	<ul style="list-style-type: none"> • 30년 이상 양자정보과학기술의 기초 연구를 주도 - DOD 기초연구실과 그 산하 기관인 ARO, ONR, AFOSR, Single Investigator 프로그램, Vannevar Bush 교수진 펠로우십 프로그램, MURIs 등 내부·외부 자금 지원 프로그램을 통해 연구수행 - 재료 과학, 응집 물질, 원자 및 광학 물리학 등의 분야에서 양자정보과학의 노력을 뒷받침하는 과학적 근간을 제공
국토안보부 과학기술국 (DHS S&T)	<ul style="list-style-type: none"> • 컨퍼런스 및 워크숍을 통해 과학 커뮤니티와 교류하고 양자경제개발연합체(QED-C)와 같은 조직에 참여 • 양자컴퓨팅 하드웨어가 발전함에 따라 양자컴퓨팅 지표 및 벤치마크 연구에 적극적으로 자금을 지원 - '23.8월, 전문가, 잠재적인 DHS의 양자기술 사용자 및 이해관계자, 양자정보과학 지분을 보유한 기관의 대표를 한 자리에 모으는 제1회 연례 양자 영향 워크숍을 개최
양자 네트워크 기관 간 워킹그룹 (Quantum Networking Interagency Working Group, QN-IWG)	<ul style="list-style-type: none"> • QN-IWG는 「양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식(21.1)」에 따라 국가전략의 실행을 촉진 - 15개 기관이 모여 전략 이행의 진전과 새로운 기회에 대해 논의한 QN-IWG 워크숍 개최 - (DOE) ASCR RENE, ASCR Scientific Enablers for Scalable Quantum Communication, SBIR/STTR 프로그램 등 양자 네트워크 관련 사업을 공모 및 선정. 또한, 양자 네트워크 테스트베드, 양자컴퓨팅 및 양자 네트워크 기초연구 워크숍 등과 같은 커뮤니티를 후원 - (DARPA) 새로 발족한 QuANET 프로그램은 중요 인프라에 필요한 하드웨어, 프로토콜, 소프트웨어 도구를 개발하여 양자통신을 운영하기 위한 최초의 실행 가능한 전환 전략을 촉진 - (공동) 6개의 대도시 기관을 다크 파이버 네트워크를 통해 연결하여 km 거리에서 얽힘 분산을 수행하는 광섬유 기반 네트워크인 DC-QNet 프로젝트에 NRL, ARL, USNO, NIST, NSA, NASA, NIWC, AFRL 등 기관 참여 - (NSF) 양자 시스템 혁신적 발전을 위한 양자 상호연결 과제(QuIC-TAQS) 프로그램은 미래 양자 네트워크에서 양자 장치를 연결하는 데 필요한 구성 요소 개발을 지원 - (NASA) NASA GSFC는 고다드(Goddard) 양자 네트워크 이니셔티브를 설립, 기본 노드는 고다드 로컬 양자 네트워크와 DC-QNet의 회원 노드 간에 양자 네트워크 리소스를 조율하기 위한 인터페이스를 제공
「양자센서의 실현(22.)」에 따른 정책 추진 경과	<ul style="list-style-type: none"> • SCQIS에서 발표한 「양자센서의 실현(22.3)」의 4대 권고사항에 따라 정책 추진 • (NSF) 양자센싱의 응용 분야를 발전시키기 위해 총 2,900만 달러의 보조금을 QuSeCTAQS 프로그램을 통해 지원한다고 발표 • (DHS S&T) 국가안보를 강화하기 위해 새로운 양자센서 기술 R&D 후원 • (NASA) ▲지구과학, 행성과학, 우주 항법 및 시간에 대한 R&D를 위해 양자공학 및 센서기술 연구소에 자금 지원, ▲NASA의 공학안전센터는 '23.9월에 양자센싱 역량에 대한 독립적인 기술 평가의 일환으로 양자센싱 워크숍을 개최하고 이와 관련된 NASA의 내부 요구와 역량을 이해 - 이 평가 결과는 기관의 미래 요구사항을 충족하는 데 필요한 최첨단 감지 역량과 기능을 개발하고 유지하기 위한 적절한 전략과 투자를 수립하는 데 도움이 될 것으로 예상 • (DOE) 양자센싱 관련 R&D 프로그램 공모 및 선정 - DOE BER는 양자 기반 바이오이미징 및 바이오에너지를 위한 센싱 접근법에 대한 애플리케이션 과제에 관심을 표명했으며, 관련 과제에 1,800만 달러를 지원 • (DARPA) AMBIIENT, A-Phi, SAVaNT, QuIVER 등 양자센싱 분야의 R&D를 선도하는 여러 프로그램 지원 • (DOD) RIMPAC 2022에서 DOD는 3주 동안 해상에서 양자센서를 테스트하고 시연하여 플랫폼의 기술준비도 (TRL)를 발전시킬 수 있는 유망한 징후를 입증 • (NIH) ▲양자정보과학에 대한 지식 공유를 촉진하고 NIH 내부 과학자, 연구원, 대학원생, 인턴을 위한 자원 제공을 위하여 '양자정보과학 및 양자센싱 생물학적 관심 그룹'을 설립, ▲양자 및 바이오메디컬 전문가가 모인 단기 응용 워크숍을 개최했으며, 그 결과물로 최종 사용자의 참여, 양자기술과 생물학 분야 간의 격차 해소, 인력 개발을 위한 권고안을 개발 - 바이오메디컬 분야에서의 양자센싱 애플리케이션을 지원하기 위한 특별 공지를 발표했으며, 추가적인 프로그램 개발을 위해 노력 중 • (QED-C) 양자경제개발연합체는 양자센서 국가전략을 보완하기 위하여 산업계의 관점을 제공하는 보고서 작성

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

2 인력양성

- 미국에서는 최근 몇 년 동안 양자기술 인력에 대한 산업계, 학계, 연방정부의 인력 수요가 공급을 초과하면서 인력 부족 현상이 심화
 - 미국은 지난 수십 년 동안 연구 인프라와 유능한 과학 및 기술 인력을 통해 양자정보과학의 강력한 기반을 구축해왔으나, 인력 수요가 경쟁적으로 증가함에 따라 압박이 증가
- 양자정보과학분과위원회(SCQIS)는 「양자정보과학기술 인력양성 국가전략계획(22.2)」에서 목표 달성을 위한 4대 조치를 제시했으며, 이에 따라 추진 현황 점검

표12 인력양성을 위한 정책 추진 경과

4대 조치	세부 내용
단기 및 장기적 관점에서 양자정보과학기술 생태계의 인력 수요에 대한 이해 개발 및 유지	<ul style="list-style-type: none"> ● (NIST) 양자 산업 인력 수요에 대한 지속적 분석, 인턴 교육 프로그램, 멘토링 프로그램, e-포스터 세션 주최 ● (DHS S&T) 양자 인력양성을 위한 솔루션 개발을 위해 대규모 양자 생태계를 위한 작업을 정기적으로 지원 ● (NQCO) 국제적인 인력수요와 동맹국들이 인재 부족 문제를 공동으로 해결할 수 있는 잠재적인 방법에 대해 양자 및 다자간 대화에 참여 ● (NSF) SCIQS의 다른 기관과 협력하여 양자정보과학 및 양자공학의 교육 환경을 연구하는 프로젝트에 자금을 지원하고, 관련 경력경로를 지원하기 위한 교육 혁신을 안내
대중 홍보 및 교육 자료를 통해 더 많은 사람들에게 양자정보과학기술 소개	<ul style="list-style-type: none"> ● (NSF) Q2Work 프로그램을 통해, 초중고 수준의 양자과학 교육에 중점을 둔 전국적인 프로그램 설립 지원 ● (백악관) '23.4.14일 '세계 양자의 날' 행사를 기념하여 기관별 홍보물 배포 및 이벤트 운영 ● (NSA LQC) 학생들의 양자 인식을 높이고 고등교육자들과 협력하여 산업 및 정부 전반에서 필요로 하는 양자 교육과 양자정보과학 기술을 연계하는 것을 목표로, 미국 대학과 여러 협력을 시작 ● (NIST) 대학과의 직접적인 참여 및 소외된 커뮤니티와 같은 광범위한 STEM 아웃리치 활동
전문 교육 및 훈련 기회에서 양자정보과학기술 격차 해소	<ul style="list-style-type: none"> ● 지식격차 해소를 위한 단기과정과 여름 프로그램 운영, 자금 지원 <ul style="list-style-type: none"> - (NSA LQC) '23.7~8월에 제3회 연례 여름 양자 단기과정을 개최 - (DOE) 고등학생과 저학년 학부생을 대상으로 제1차 RENEW Pathway Summer Schools 개최. 또한, 5개의 국립 양자정보과학 연구소가 진행하는 첫 번째 공동 여름학교가 '23.8월에 개최 - (NIST) SURF 프로그램을 통하여 학부생들에게 NIST에서의 연구경험 제공 ● 정책입안자의 양자정보과학 인식 제고 <ul style="list-style-type: none"> - (DHS S&T) DHS 차원의 양자 관심 커뮤니티(COI)를 개설하여 인식 수준을 높이고 잠재력을 이해할 수 있는 정기적인 교육 기회를 제공함으로써 기존 DHS 인력이 양자기술을 더 잘 활용할 수 있도록 지원 ● 인턴십을 통한 경험 제공 <ul style="list-style-type: none"> - (NASA) QuAIL에서 매년 12명 이상의 대학원생 수준의 인턴과 연구 조교를 선발, 멘토와 함께 프로젝트 진행 - (DHS S&T) 인턴십 프로그램을 통해 미래의 양자 스마트 인력 양성을 직접적으로 지원 ● 학생과 박사후연구원에 대해 기회 제공 <ul style="list-style-type: none"> - (NIST) NIST NRC 박사후 연구원 프로그램 등을 통해 양자정보과학 분야의 학생과 박사후 연구원을 지원 - (NASA) QuAIL에서 대학원생 약 50명을 초청하여 원격 및 대면 강연에 참여하도록 지원 - (IARPA) 학계, 산업계, 정부 연구소의 연구팀에 자금을 지원하며, 연구팀은 대학원생을 교육하고 박사 후 연구원을 멘토링하며 관련 분야를 포괄 - (NSF) ▲양자기술을 위한 폭넓고 다양한 인력을 개발하는 데 집중. FY 2023에 관련 프로그램을 운영했으며, 약 1,150명의 박사 후 연구원, 4,600명의 대학원생, 1,400명의 학부 연구생 등의 연구를 지원. ▲ '대학원 연구 펠로우십 프로그램(GRFP)'은 행정부의 우선순위와 일치하는 분야를 포함하여 다양한 연구 분야의 펠로우십을 지속적으로 지원. '23년 기준 2,555개 중 47개가 양자 관련. ▲STEM 대학원생을 지원하기 위한 '연구 연수 프로그램' 운영. '21~'23년 동안 진행된 70개 프로그램 중 10개가 양자 관련. ▲산학 공동 대학원 교육 프로그램인 'QISE-NET' 운영, ▲QLCI 활동에 양자과학기술 석사 과정 등 새로운 커리큘럼, 수업 및 학위 개발 등 - (DOE) R&D 보조금, 인턴십, 대학원 논문 연구를 통해 양자정보과학 분야의 학부생과 대학원생을 지원 - (NASA 및 DHS S&T) 신기술 및 애플리케이션 개발, 전문 시설 운영 및 이용, STEM 교육 및 인력 양성 등 양자정보과학 연구 분야의 국가적 노력에 협력하기 위해 MOU를 체결

4대 조치	세부 내용
양자정보과학기술 및 관련 분야의 경력에 대한 접근성과 공평성 제고	<ul style="list-style-type: none"> 역량 향상 및 참여도 제고 <ul style="list-style-type: none"> (NSF) ExpandQISE 추진을 계속하여 양자정보과학기술 인력개발 국가 전략 계획과 긴밀히 연계하고 현재 NQI에 참여하지 않거나 저조한 학술 기관의 참여를 장려 (DOE) 기존에 운영하던 소외된 기관의 교수 방문 프로그램을 1학기에서 3학기로 연장하고, 양자정보과학을 포함한 DOE 미션 영역에서 연구 경쟁력과 STEM 교육에 대한 두 가지 병행 트랙 제공 시작 (경력경로 지원) DOE에서 '22.9.14일, 5개의 국립 양자정보과학 연구소가 모두 C2QA 양자 커리어 페어에 참가. 또한, '23.9.13일에 개최된 제3회 연례 양자정보과학 커리어 페어를 타 기관과 함께 주최

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

3 양자산업과 혁신 생태계

● 국가 경제 성장과 번영을 위해 견고한 산업과 활발한 혁신 생태계가 필요

- 기초연구는 새로운 과학적 이해, 재료, 프로세스, 기술 등을 창출하며, 이로써 기술 인력 양성을 위한 교육을 제공하여 생태계를 활성화하고, 결과적으로 국가의 경쟁력을 제고
- 과학적 발견을 산업으로 전환하기 위해서는 혁신 생태계 구축이 필요하며, 정부는 혁신 커뮤니티, 사업화 및 응용 연구, 산업화 초기 지원 등 수행 필요

표13 양자산업과 혁신 생태계를 위한 정책 추진 경과

주체	세부 내용
다부처	<ul style="list-style-type: none"> 양자기술을 시장에 출시하려는 기업을 포함하여 스타트업과 중소기업의 초기 단계 R&D를 위한 초기 자금을 제공하기 위해 SBIR 및 STTR 프로그램을 활용
에너지부 (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> '혁신 체인'은 DOE 국립 양자정보과학 연구소 프로그램의 5가지 필수 요소 중 하나 <ul style="list-style-type: none"> 각 센터에는 산업계 파트너가 있으며 자문위원회에 업계 대표를 포함시켜 수행중인 R&D가 양자정보과학 상업 부문에서 직면한 과제를 해결할 수 있도록 지원 '신기술 혁신 가속화'는 미래 산업을 위한 신기술의 발견에서 상용화로 신속한 전환을 위한 기초 연구를 지원
국립표준기술 연구소 (NIST)	<ul style="list-style-type: none"> '19년 미국 내에서 강력한 상업용 양자 기반산업 및 관련 공급망의 활성화·성장을 위하여, '양자경제개발연합체 (QED-C)'를 설립하고 운영위원회에 적극적으로 참여 <ul style="list-style-type: none"> QED-C는 산업계 주도로 운영되며, 양자 사용사례, 기술, 표준 및 성능 지표, 인력개발, 양자 관련 법적 측면, 국가 안보를 위한 양자 등을 다루는 활동을 수행 대기업, 다국적 기업부터 소규모 스타트업에 이르기까지 170개 이상의 기업, 40개 학술 기관 및 전문 학회, 양자 산업 참여를 원하는 미국 내 여러 기관이 참여
항공우주국 (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 업계와 협력하여 게이트 기반 양자 컴퓨팅 프로세서를 이해하고 적용하여 복잡한 컴퓨팅 문제를 해결하고, 노이즈 모델 및 오류 완화 기술을 개발하고, 양자 HW에서 발생하는 현실적인 노이즈 시뮬레이션 등
국토안보부 (DHS)	<ul style="list-style-type: none"> 양자정보과학 양자 관심 커뮤니티(COI)를 통해 양자산업에 대한 참여를 강화 <ul style="list-style-type: none"> 현재 및 미래의 요구 사항을 충족할 수 있는 솔루션을 발전시키는 잠재적 산업계 파트너를 연결하는 수단으로 활용
IARPA	<ul style="list-style-type: none"> IARPA의 모든 양자 프로그램은 프라임 및 서브프라임 계약을 통해 양자산업 부문에 자금을 지원
국립과학재단 (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> 융합 촉진(Convergence Accelerator) 프로그램을 운영하며, 현재 기술혁신협력국(TIP)에 통합됨 <ul style="list-style-type: none"> 공공-민간 및 기타 유형의 파트너십을 활용하여 연구 결과를 사회에 큰 영향을 미치는 실용적인 양자기술로 신속하게 전환하고 교육 및 인력 개발에 대한 분야를 넘나드는 융합적 접근 방식을 개발하도록 요구 NSF 산학협력연구센터(IUCRC) 프로그램은 업계 혁신가, 세계적 수준의 학술팀, 정부 기관 간의 긴밀하고 지속적인 참여를 통해 획기적인 연구를 창출 양자과학과 연계된 활동이 포함된 'NSF 지역 혁신 엔진' 프로그램, 국가 양자기술 경제 부문의 발전을 가속화하기 위한 'NSF Q-AMASE-I 양자 파운드리 프로그램' 등 운영

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

4 인프라 구축

- 과학 인프라는 더 큰 커뮤니티에 주요 공유 기술 및 과학 역량을 지원함으로써 발견 및 탐구에서 기술개발로 이어지는 발전 주기를 가속화
 - 더욱 고도화된 연구가 수행됨에 따라 양자정보과학은 더 복잡한 실험 및 기술 시스템이 필요
 - 나노기술 및 반도체 개발 등 다른 맥락에서 이뤄진 투자를 기반으로 인프라에 대한 추가적인 투자를 통하여 발전을 촉진하고 과학적, 기술적 혁신 가능성을 제고 가능
 - 또한, 인프라는 R&D 사업을 추진하기 위해 특정 장비나 시설이 필요한 협업을 지원하고 팀을 하나로 모으는 역할을 수행

표14 인프라 구축을 위한 정책 추진 경과

기관	세부 내용
국립표준기술 연구소 (NIST)	<ul style="list-style-type: none"> • 연구자들에게 최첨단 나노 규모 측정 및 제조 도구와 방법, 관련 기술 전문지식을 제공하는 게이더스버그 나노 과학기술센터와 볼더 미세제조(Microfabrication) 시설을 업그레이드 • 국방부(DOD)와 협력하여 시계를 개선하기 위해 휴대용 광학 원자시계를 개발했으며, 미국과 국제 시간 유지에 기여하기 위해 광학 격자 시계를 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 이전에는 모든 광학 격자 시계가 연구용 시계로 지속적으로 개선되어 왔으며, 공식 시간 관리를 위한 작동 시간이 제한적 • 항공우주국(NASA)과 우주 비행을 위한 세계 최고 수준의 양자 계측 기능을 개발하기 위해 협력
우주항공국 (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> • 지구과학, 행성과학, 우주 항법 및 타이밍을 위한 극저온 원자 기반 센서에 대한 R&D 역량을 개발, 테스트 및 평가를 위한 양자 공학 및 센서 기술 연구소에 자금을 지원
국가안보국 (NSA)	<ul style="list-style-type: none"> • 내부 연구자, 교외 연구자 간의 협업을 통해 LQC 양자연구센터를 운영. 미국 연구자들에게 최첨단 큐비트를 공급하기 위한 파운드리 프로그램을 개시하여, 개별 연구소가 정교한 제조 장비에 투자해야 하는 장벽을 제거
국토안보부 과학기술국 (DHS S&T)	<ul style="list-style-type: none"> • 어떤 양자기술이 DHS가 구성한 공간을 보완할 수 있는지 탐색, 핵심 인프라를 제공하고 보호하는 것을 목표로 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 양자기술이 중요 인프라를 보호하는 데 도움이 될 수 있는 사이버보안 및 인프라기관(CISA)과 미국 해안경비대 (USCG)와 같은 DHS 구성 요소 내의 사용 사례를 포함
정보고등연구 기획국(IARPA)	<ul style="list-style-type: none"> • 연구를 위한 자금 지원으로 달성한 하드웨어 및 소프트웨어와 같은 양자컴퓨팅 인프라의 중요한 발전을 다양한 양자기술 발전에 도움이 되도록 다른 미국 정부 지원 프로그램에도 제공
국립과학재단 (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 주요 연구시설과 기타 연구 인프라에 투자하여 양자정보과학 전반에 걸친 연구가 가능하도록 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 국립 고자기장연구소, 고에너지 X-선 과학센터 등이 양자 재료분야의 프런티어 연구를 위한 주요 시설이 될 것 • 대형 과제를 해결하고 미래의 산업을 활성화할 수 있는 새로운 소재를 개발하기 위해 9개의 MRSEC를 지원 • STAQ 공동 설계 프로젝트는 양자 우위를 가진 실용적인 양자컴퓨터를 구축하는 것을 목표로 추진 • FY 2019에 NSF Q-AMASE-i 프로그램에서 양자 재료 및 디바이스의 신속한 시제품 제작과 개발을 위한 중간 규모의 인프라를 갖춘 파운드리를 설립했으며, 두 번째 파운드리는 FY 2021에 설립 • 산업계 파트너와 협력하여 양자컴퓨팅 플랫폼에 대한 클라우드 기반 액세스의 가용성을 촉진 • NSF NQVL은 사용 영감 및 응용 지향적 양자기술 개발을 목표로 하는 중요한 공유 인프라로 개념화되었으며, 기술혁신협력국(TIP)의 주요 양자 테스트베드로 기능
에너지부 (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> • DOE IP는 미국 내 안정 동위원소 생산을 크게 확대할 미국 안정 동위원소 생산 및 연구 센터의 건설을 진행 <ul style="list-style-type: none"> - 농축 안정 동위원소에 대한 미국의 러시아 의존도를 완화할 것으로 예상 • FY 2023에 인프라를 개발하고 이를 사용자 프로그램으로 전환하기 위한 최종 프로그램을 선정 • 'DOE ASCR 과학용 양자컴퓨팅 테스트베드 프로그램'은 연구 커뮤니티에 새로운 양자컴퓨팅 하드웨어 시스템에 대한 완전한 투명성을 제공하여, 산업화 준비가 부족한 유망한 차세대 양자 프로세서를 탐색할 수 있도록 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 장점 검토(Merit Review) 절차를 통해 양자컴퓨팅을 위한 클라우드 플랫폼에 대한 액세스를 제공 • Q-NEXT는 2개의 양자 파운드리를 구축, 재료 및 소자 연구의 성장부터 통합까지 국내의 중심 자원으로 활용 • SLAC 국립 가속기연구소의 파운드리는 초전도 큐비트, 센서 및 장치의 연구 및 제작을 위해 설계되었으며, 6개의 클린룸, 양자 재료, 장치 및 부품 개발을 위한 새로운 테스트베드와 도구를 포함

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

5 국가 안보 및 경제 성장

● 과학적 발견과 기술의 등장에 따라 미국이 양자정보과학기술의 경제적·안보적 이점을 실현할 수 있도록 종합적 접근 방식을 권장

- 동 전략은 ▲인식 및 대응력 유지, ▲양자정보과학 기술 시장 개발, ▲정부 차원의 조정 메커니즘 사용, ▲지적 재산 및 규제에 대한 적절한 접근 방식 유지 등을 포함

표15 국가 안보 및 경제 성장을 위한 정책 추진 경과

기관	세부 내용
양자과학의 경제·안보 영향에 관한 소위원회(ESIX)	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 기관이 양자정보과학과 그 지원 기술의 국가 안보적 영향에 대해 논의할 수 있는 포럼을 제공 - 기관 간 및 실무 그룹 활동을 통해 (1) 양자정보과학 투자의 경제 안보적 영향 검토 및 평가, (2) 국가 양자정보과학 포트폴리오에 대한 방첩 위험 및 해외 위험 검토 및 평가, (3) 양자정보과학과 관련된 기술 수출 평가, (4) (1)-(3)의 평가로 인한 위험 완화를 위한 권장 사항 제공이라는 FY 2022 NDAA의 임무를 해결 중
백악관	<ul style="list-style-type: none"> ● '23.5월, 백악관은 중요 신흥기술에 대한 국가표준전략을 발표 - 양자기술을 초기 단계의 중요 신흥기술로 규정하고, 기술적으로 건전하고 공정한 표준 개발을 촉진하기 위한 적절한 시기를 파악하기 위해 노력하는 전문가들의 중요성을 강조
국립표준기술연구소(NIST)	<ul style="list-style-type: none"> ● 기존 컴퓨터와 양자컴퓨터의 공격으로부터 암호화를 안전하게 보호하고, 기존 통신 프로토콜 및 네트워크와 상호 운용할 수 있는 양자내성암호(PQC) 표준을 수립하기 위한 광범위한 노력을 주도 - '23.8월, 선정된 4개의 PQC 알고리즘 중 3개의 알고리즘에 대한 표준 초안을 발표 ● 국가 보안 TAC 활동을 위하여 양자경제개발연합체(QED-C) 표준 및 성능지표와 양자(Performance Metrics and Quantum)를 지원 - NIST는 컨소시엄에서 제안된 표준의 잠재적 영향을 평가하고 미국 표준 개발자에게 산업계의 관점을 제공할 수 있도록 QED-C가 표준화 준비 수준을 개발할 수 있도록 지원 ● NIST 과학 연구보안 프레임워크는 광범위한 국제과학 및 기술 활동과 연방기금 이니셔티브에 걸친 미국 과학 및 연구 커뮤니티를 지원하는 지침을 수립
에너지부(DOE)	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자정보과학 R&D에 중요한 동위원소의 농축 및 생산을 위한 기술 개발에 투자하여 국가안보에 중요한 애플리케이션을 위한 자원의 토착화를 확대
국토안보부 과학기술국(DHS S&T)	<ul style="list-style-type: none"> ● 국가안보 강화를 위해 새로운 양자센서 기술 연구개발을 후원 ● 마이크로일렉트로닉스의 공급망 보안을 지원하는 애플리케이션에 양자센서의 잠재적 유용성을 평가하고 해외에서 제조된 집적 회로의 무결성을 확인하는 도구로서 양자 자격계를 개발
정보고등연구기획국(IARPA)	<ul style="list-style-type: none"> ● 국가안보에 미칠 수 있는 영향에 대해 연구 목표를 평가하는 강력한 연구기술보호 프로그램을 유지 - 프로그램의 경제 성장 잠재력은 연구 보호 결정에 영향을 미치지 않지만, IARPA의 개방적인 양자기술 프로그램의 특성상 연구자들은 양자정보과학 관련 분야에서 미국에 기반을 둔 스타트업 기업을 설립
피츠버그 양자연구소	<ul style="list-style-type: none"> ● NSF와 OSTP를 대신하여 양자컴퓨터의 보안을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 공격과 방어를 다룸 ● 약의적인 목적으로 사용될 수 있는 양자 알고리즘을 인식하기 위한 R&D 분야를 파악하는 세션을 운영하는 양자컴퓨팅의 사이버 보안 워크숍을 주최
국립과학재단(NSF)	<ul style="list-style-type: none"> ● 개발 관련 의견을 요청하는 공고(NSF 23-098) 개시 - 미국 연구 보안 및 무결성 정보 공유 분석 기구(RSI-ISAQ). RSI-ISAQ는 양자정보과학기술 연구를 포함한 여러 주제를 지원 가능 ● NSF 보안 및 신뢰할 수 있는 사이버 공간(SaTC) 프로그램은 '23.3월 양자컴퓨팅을 포함한 프로그램의 향후 방향에 대한 RFI(NSF 23-063)를 발표 - 양자내성암호(PQC) 연구는 SaTC 프로그램에서 계속 지원될 예정 ● NSF 연구 보안 프로그램(RRSP)의 개발을 알리는 공고(NSF 23-126) 개시 - RRSP는 양자정보과학 연구를 포함한 주제를 지원 가능

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

6 국제 협력 강화

- 미국 정부는 과학적 엄격성과 연구 무결성, 탐구의 자유, 성과 기반 경쟁, 개방성, 투명성 등의 기본 원칙을 기반으로, 양자정보과학 연구 및 기술개발에 대한 국제 협력을 촉진하고 지원하는 정책을 추진
 - 30개 이상의 국가에서 양자정보과학 연구를 위해 상당한 정부 자금을 지원하고 있으며, 적어도 17개 국가에서 양자기술 개발을 위한 국가 전략을 수립함. 양자정보과학은 인재, 인프라, 산업역량 등이 전 세계에 확산되어 있는 국제적 성격이 짙은 분야
 - 기본 원칙과 가치를 공유하는 국가들과의 협력을 강화함으로써 미국은 자국 및 동맹의 양자정보과학 역량을 유지하여, 활발하고 안전한 국제 양자정보과학 생태계 조성을 유도

표16 국제 협력 강화를 위한 정책 추진 경과

주체	세부 내용
양자정보과학 분과위원회 (SCQIS), 과학기술정책실 (OSTP), 국무부(DOS)	<ul style="list-style-type: none"> ● 국제협력 강화를 위해 3개 기관이 협력하며, 공동연구 노력 촉진, 교육기회 강화, 글로벌 양자시장 성장을 위한 공유 비전을 담은 양자협력 성명 등 추진 ● 미국은 프랑스, 네덜란드, 대한민국, 스위스와 양자정보과학을 위한 공동 협력 성명을 체결 <ul style="list-style-type: none"> - 성명서는 지난 해 호주, 덴마크, 핀란드, 일본, 스웨덴, 영국과 체결한 성명서에 추가 - 각 양자 성명은 개방성, 투명성, 정치적, 형평성, 공정 경쟁, 객관성, 민주적 가치 등의 원칙을 바탕으로 선의의 협력을 통해 활기찬 국제 양자 생태계를 구축하려는 미국의 노력을 강조 ● 영국과 프랑스가 각각 '22.11월과 '23.3월에 주최한 양자정보 관련 다국적 라운드테이블에 NQCO와 DOS 참여 ● 양자정보과학의 학생, 박사 후 연구원, 연구자들을 위한 국제 교류 기회를 강조하는 포털인 Entanglement Exchange 출범 <ul style="list-style-type: none"> - 호주, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 일본, 네덜란드, 스웨덴, 스위스, 영국, 미국의 공동 협력 성명 및 라운드테이블의 결과물 - 출범 이후 대한민국이 추가됨 ● 미국-EU 무역기술위원회('22.12)는 협력의 장벽을 낮추고 여러 양자정보과학 관련 문제에 관여하기 위해 양자정보과학기술에 대한 전문가 태스크포스를 출범 ● DOS 대사관 과학 펠로우 프로그램은 오스트리아, 덴마크, 핀란드, 독일, 네덜란드, 스웨덴, 스위스에 NIST, DOE, NSF, DOS 소속 미국 정부 직원을 파견하여 양자정보과학기술의 국제 협력을 촉진 ● DOS는 '23~'24년 과학 특사 코호트를 발표('22.12)하여, 저명한 과학자 및 엔지니어들이 전문 지식과 네트워크를 활용하여 연결을 형성하고 지속적인 국제 협력의 기회를 발굴 <ul style="list-style-type: none"> - '23년 코호트에는 미국 과학 특사로 활동할 최초의 전담 양자 과학자가 포함
에너지부 (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자정보과학 프로그램에 대한 국제적 참여가 계속 증가 <ul style="list-style-type: none"> - DOE 국립 양자정보과학 연구소에는 캐나다와 이탈리아의 기관이 정식 파트너로 참여하고 있으며, 공동 연구 프로젝트에 현물로 기여하는 국제 제휴 기관이 점점 더 증가 - ASCR의 양자 컴퓨팅 테스트베드는 최근 두 차례의 제안서 공모에서 국제 협력 프로젝트가 선정되는 등 국제 연구 커뮤니티의 관심을 주목
항공우주국 (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> ● MOU 및 기타 메커니즘을 통해 국제적으로 협력 <ul style="list-style-type: none"> - '26년 국제우주정거장(ISS)으로 발사되어 기초 물리학 테스트를 진행할 예정인 우주 원자시계 양상불을 위해 유럽 우주국(European Space Agency)과 협력 - 캐나다 우주국과 협력하여, 우주와 지구 간의 양자 광통신 연구 - NASA와 델프트 공과대학교는 양자 통신 및 네트워크, 우주 기반 과학 및 관측 응용 분야를 위한 양자센서, 지상 및 적응/동기화 기능을 갖춘 관측소 분야에서 잠재적 협력을 모색하기 위해 MOU를 체결하고 네덜란드의 응용과학 연구기구와도 유사한 협정을 체결 - NASA 본부는 호주, 캐나다, 프랑스, 카타르와도 양자정보과학 및 STEM 교육, 학생 및 교수진 교환 프로그램, 인력 양성을 위한 장기적인 공동 노력에 초점을 맞춘 협력 협정을 추진

주체	세부 내용
	<ul style="list-style-type: none"> • 국제우주정거장(ISS)의 기초물리실험실(CAL)은 독일 항공우주센터와 NASA의 양자 간 협력으로, CAL의 실험 및 과학적 역량을 더욱 확장하기 위해 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 다중 사용자, 다목적 실험 시설로서 아인슈타인의 등가 원리 테스트를 위한 이중 중 원자 간섭계, 스피너 및 스칼라 보즈-아인슈타인 응축물 및 가스 혼합물 연구, 강하게 상호작용하는 기체와 분자 등의 실험이 가능한 시설 - NASA 기초 물리학은 독일 우주국과 협력하여 암흑 에너지 가설의 직접적인 증거를 찾기 위한 원자 간섭계 실험인 아인슈타인 엘리베이터에서 암흑 에너지 직접 검출을 진행
국립표준기술연구소(NIST)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자경제개발연합체(QED-C)의 국제화 활동을 지원 <ul style="list-style-type: none"> - QED-C 컨소시엄은 현재 38개국으로부터 참여 신청을 받고 있으며, '23년에 2개 국가를 추가하고 QuiC(유럽 연합), QIC(캐나다), Q-STAR(일본) 등 유사한 국제 양자 산업 컨소시엄과도 협력 - NIST는 정기적으로 국제 커뮤니티와 협력하고 있으며, 최근에는 호주, 덴마크, 이탈리아, 일본, 싱가포르, 한국, 영국 등 다른 국가의 대표단을 초청하여 양자정보과학에 대한 협력을 논의 • 전 세계의 국립 계측·표준 연구기관과 협력 <ul style="list-style-type: none"> - 영국 국립물리연구소와 공동 양자정보과학 연구 기회에 관한 MOU를 체결 - 최근 구성된 '기술 위원회 25-양자 측정 및 양자 정보 위원회'의 의장을 수행
정보고등연구기획국(IARPA)	<ul style="list-style-type: none"> • IARPA의 포트폴리오에는 양자컴퓨팅 및 양자 오류 수정과 관련된 이론 및 실험 과학을 발전시키기 위해 긴밀히 협력하는 미국 팀과 국제적인 파트너들을 포함
국립과학재단(NSF)	<ul style="list-style-type: none"> • ▲스위스 NSF(NSF 23-049 참조), ▲독일 DFG(NSF 23-036 참조), ▲미국-이스라엘 바이네이션 과학 재단(NSF 20-094 참조), ▲캐나다 NSERC(NSF 22-031 참조), ▲영국 UKRI(NSF 23-128 참조), ▲인도 DST(NSF 23-114 참조), ▲프랑스 ANR(NSF 23-159 참조) 등의 협력 기관이 공동으로 자금을 지원하는 양자정보과학의 국제 협력 프로젝트를 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 국제기관과의 신규 또는 지속적인 협력에 대한 개방성은 공고 NSF 14-099에 명시 - NSF는 기존 양자정보과학 연구 수혜자에게 단기 또는 중기 방문을 포함하여 수상에 새로운 국제적 차원을 추가하거나 기존 차원을 강화하기 위한 추가 자금 지원을 요청(NSF 22-108 참조)
국무부(DOS)	<ul style="list-style-type: none"> • DOS는 S&T에 관한 미국-EU 공동 자문 그룹 회의를 소집하여 양자정보과학 인재 및 이동성을 포함한 다양한 주요 주제를 논의('22.10) • DOS는 학계, 산업계, 정부의 양자정보과학 전문가들을 모아 R&D 과제와 기초 연구 상업화 등의 주제를 논의하는 워크숍을 개최('22.12) <ul style="list-style-type: none"> - OSTP와 호주 산업과학자원부가 공동 의장을 수행 - '23.2월 미국-호주 공동위원회 회의(JCM)에서 후속 양자 세션의 씨앗 역할 • DOS는 미국-이탈리아 과학기술 협력 JCM을 공동 주최하여 DOE, NSF 등의 정부, 학계 및 민간 부문 전문가를 소집했으며, 양자정보과학과 광범위한 응용 분야를 보강할 수 있는 잠재력을 포함하여 상호 중요한 과학기술 문제에 대해 논의('23.1) • QED-C는 DOS 및 OSTP와 긴밀히 협력하여 백악관에서 출범한 미국-인도 중요 및 신흥 기술 이니셔티브(iCET)의 후원 하에 최초의 양자 간 양자정보과학 참여 행사인 미국-인도 양자 대화를 주최('23.5) • OSTP, DOS, 미국 정부기관은 제15차 미-일 과학기술 합동 고위급위원회에 참석하여 양자정보과학을 주제로 논의('23.5.16) <ul style="list-style-type: none"> - DOS, NIST, QED-C, 미국 과학 특사로 구성된 대표단 또한 일본 산업기술종합연구소를 방문하여 양자정보과학에 대해 자세히 논의 • 아라티 프라바카르 대통령 과학기술보좌관과 OSTP 국장이 이끄는 기관들이 제11차 한-미 과학기술공동위원회에서 한국 측 대표단과 조우('23.5.19) <ul style="list-style-type: none"> - 회의와 함께 4월 25일 한미 양자 공동성명 서명에 따른 후속 조치로 양자 정보에 대한 양국 간 이해와 협력을 확대하기 위한 민간 양자 라운드테이블을 미국 과학 특사, QED-C, NIST 및 DOS가 참여한 가운데 개최

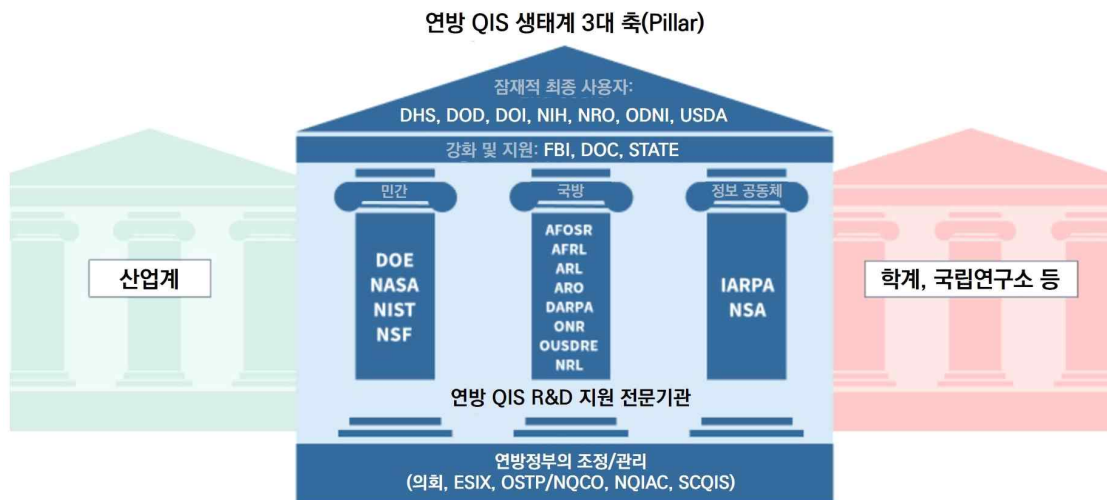
자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

다 R&D 예산 동향

□ 국가 양자 이니셔티브가 미국 양자정보기술 생태계의 상호작용을 촉진

- NQI 프로그램은 연방기관 전반에 걸쳐 양자정보과학 R&D 활동을 강화하고 조정할 수 있는 프레임워크를 제공
 - 미국 양자정보기술 생태계는 시장, 공급망, 인프라 및 양자기술 활용 능력의 발굴, 탐색 및 개발 노력을 동시에 촉진함으로써 양자정보과학에 대한 미국의 리더십을 가속화
 - 연방 양자정보과학 R&D 예산지원 전문기관이 3대 축을 지지하고 있으며, ▲민간 과학 기관, ▲국방부 기관, ▲정보공동체(IC) 기관이 정책을 총괄적으로 지원. ▲산업계, ▲학계, 국립 연구소 및 연방 자금지원 연구개발센터(FFRDC) 또한 생태계의 주요 요소

그림6 미국 양자정보과학(QIS) 생태계



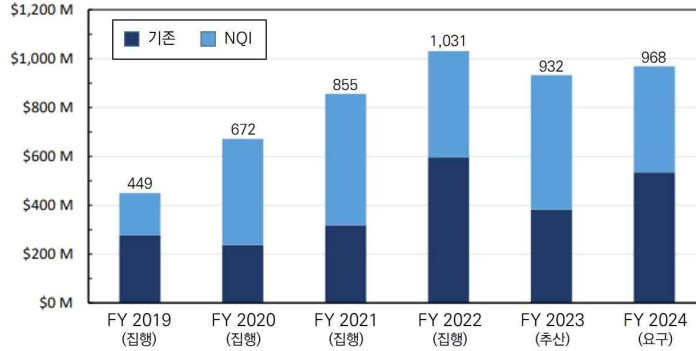
자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.

□ 전체 R&D 예산은 「국가 양자 이니셔티브법」 제정 이후 증가 추세

- 미국은 최근 3년간 연평균 9.8억 달러(약 1.3조원)를 투자, 「NQI법」 제정 전 대비 2배 이상 예산 증가
 - 미국이 양자정보기술을 미래 기술 경쟁력의 핵심 요소로 보고 집중적인 지원을 결정한 결과
 - ※ NIST, NSF, DOE, NASA, 국토안보부(DHS) 등 여러 기관에서 집계된 연방 예산 포괄하여 산정하며, 「NQI법」에 근거하여 승인된 예산을 구분하여 표시

- 증액된 예산의 상당 부분은 NIST의 양자 컨소시엄, NSF의 양자도약챌린지연구소(QLCIs), DOE의 국립 양자정보과학 연구소, 여러 기관의 핵심 양자정보과학 프로그램의 조정 및 강화 등에 지출

그림7 미국의 양자정보과학 R&D 전체 예산 (단위: 백만 달러)



자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.

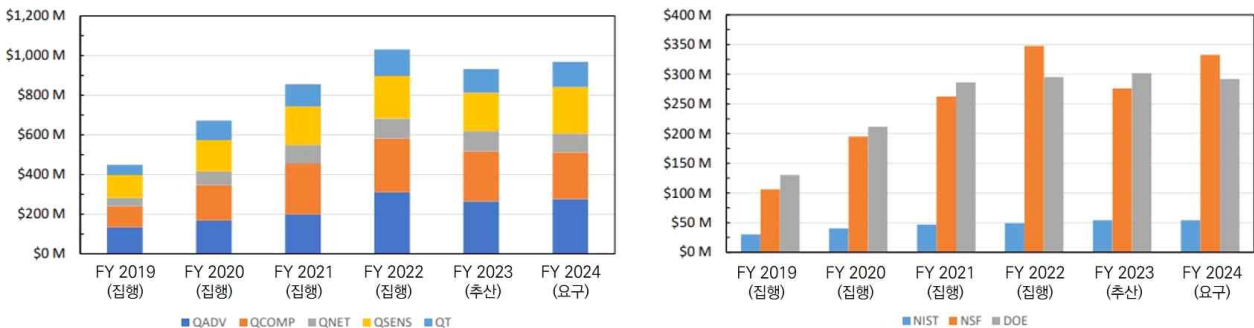
□ 각 구성 영역 및 주요 기관 별 증점에 따라 R&D 예산 분배

- 전체 R&D 예산을 5대 국가 양자 이니셔티브 프로그램 구성 영역 및 주요 기관으로 구분하여 비교

※ 세부 예산 내역은 공개하지 않음

- (구성 영역) '24년 기준 예산 규모는 ▲기초과학 발전을 위한 양자정보과학(QADV), ▲양자 컴퓨팅(QCOMP), ▲양자센싱 및 계측(QSENS), ▲양자기술(QT), ▲양자통신(QNET) 순
- (주요 기관) '24년 기준 예산 규모는 국립과학재단(NSF), 에너지부(DOE), 국립표준기술연구소(NIST) 순이며, '22년부터 기초과학 예산이 증액되면서 NSF가 DOE를 추월

그림8 5대 영역별, 주요 기관별 미국의 양자정보과학 R&D 예산 (단위: 백만 달러)



자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.

- NSF의 양자정보과학 R&D에 대한 예산은 '20년부터 '24년까지 계속 증가하는 추세
 - 기초과학 발전을 위한 양자정보과학(QADV)과 미래 애플리케이션(QTAPP) 분야의 '24년 예산이 '20년 대비 약 3배 증가

표17 국립과학재단(NSF)의 연도별 양자정보과학 R&D 예산 (단위: 백만 달러)

구분	2020 회계연도	2021 회계연도	2022 회계연도*	2023 회계연도 (추정)	2024 회계연도 (요청)
양자통신(QNET)	32.71	37.14	35.35	34.50	41.65
양자센싱 및 계측(QSENS)	37.09	46.05	29.25	29.52	37.42
양자컴퓨팅(QCOMP)	51.18	67.92	41.85	44.11	55.41
기초과학 발전을 위한 양자정보과학(QADV)	47.65	71.64	185.10	123.84	138.45
미래 애플리케이션(QTAPP)	13.03	17.37	39.06	34.32	46.45
위험 관리(QTRM)	7.09	9.54	4.52	4.37	6.60
지원 기술(QTSUP)	5.77	6.30	12.65	5.25	6.69
합계	194.52	255.06	347.78	275.91	332.67

* 2022 회계연도의 경우, 예산 요청이 더 많았기 때문에 미래 회계연도보다 예산액이 높을 수 있음
 자료: 과학기술정보통신부, 2023 양자정보기술 백서, 2024.1, 재인용

- DOE의 양자정보과학 R&D 예산은 NSF, NIST와 달리 점점 줄어드는 추세

표18 에너지부(DOE)의 연도별 양자정보과학 R&D 예산 (단위: 천 달러)

구분	2022 회계연도	2023 회계연도	2024 회계연도 (요청)
양자정보과학(Quantum Information Science)	293,075	288,749	280,429

자료: 과학기술정보통신부, 2023 양자정보기술 백서, 2024.1, 재인용

- NIST의 양자정보과학 R&D 예산은 '19년 이후 꾸준한 증가 추세이며, '24년 예산 요청 규모는 2억 1,100만 달러(약 3,303억원)로 확인³⁵⁾

35) GovWin, Federal Investment in Quantum Information Science in FY 2024, 2023.9.27.

라 주요 R&D 프로그램

미국은 양자정보기술 분야의 발전을 위해 연방 정부기관들을 중심으로 다양한 기초 및 응용 과학 기술 부문의 연구개발 프로그램을 추진

- 주요 연방기관은 ▲국립표준과학연구소(NIST), ▲국립과학재단(NSF), ▲에너지부(DOE), ▲국방부(DOD), ▲항공우주국(NASA), ▲국가안보국 물리과학연구소(NSA LPS), ▲정보고등연구기획국(IARPA) 등

1 국립표준과학연구소(NIST)

- 측정 과학, 표준 및 기술을 발전시킴으로써 미국의 혁신과 산업 경쟁력 촉진
 - 정밀 계측 및 사이버 보안에 중점을 두고, 국가 양자정보과학 의제의 모든 요소를 다루는 개방적이고 세계적인 연구를 수행
- 특히, 미국 양자 산업의 성장 가속화를 위해 산업 주도 컨소시엄인 ‘양자경제개발연합체(QED-C)’ 설립 및 지원
 - 기술, 공급망, 표준, 인력의 격차를 파악하고 협력을 통해 이를 해소하고자 QED-C를 설립

표19 국립표준기술연구소(NIST)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

번호	세부 내용
기초 및 응용 양자정보과학 연구 프로그램 지원	<ul style="list-style-type: none"> 양자센싱 및 정밀 측정, 양자 네트워킹 및 통신, 양자컴퓨팅 및 시뮬레이션, 기초물리학, 핵심 구현 기술, 화학, 재료, 생물학 및 의료 분야의 양자기술 응용에 관한 기초 및 응용 양자정보과학 연구 프로그램의 지속적인 성장 지원
양자 프로그램 성장 및 발전 지원	<ul style="list-style-type: none"> ▲양자 네트워크 프로그램의 지속적 발전, ▲양자기술을 위한 통합 포토닉스 프로그램 개시, ▲양자 특성화 및 벤치마킹 활동 강화, ▲기초 양자정보과학 R&D 활동을 지속적으로 성장, ▲원자시계 프로그램을 확장하여 시간 유지 애플리케이션을 위한 최첨단 기술을 배포할 수 있도록 지원 - NIST 양자 인력을 늘리기 위한 내부 전략의 일환으로 초기 경력 연구원에 대한 지원을 강조
CRADA 체결 및 QED-C와의 협력	<ul style="list-style-type: none"> 특정 기술 격차를 해소하기 위해 협력 연구 개발 계약(CRADA)을 통해 미국 양자 업계와 지속적으로 협력하고, 보다 광범위하게는 양자기술 및 관련 공급망 개발에 관여하는 QED-C와도 협력 - QED-C에는 총 230여 개의 회사가 참여하며, 38개 국가와도 협력 중
인력 개발 활동	<ul style="list-style-type: none"> 공동 연구소의 고등교육기관과의 파트너십, 전문 연구 경험 프로그램(PREP), 여름 학부 연구 펠로우십(SURF) 프로그램, 미국 국립연구위원회(NRC) 박사 후 펠로우십 프로그램 등 운영
양자정보과학 연구 협력	<ul style="list-style-type: none"> 공동 연구소에서 파트너 기관의 실질적이고 지속적인 후원을 포함하여 NSF, DOE, DOD 및 정보공동체(IC)와 오랜 기간 동안 양자정보과학 연구 협력을 지속
표준화	<ul style="list-style-type: none"> 표준화를 위한 후보 양자내성암호(PQC) 알고리즘과 4개의 분석 후보를 발표('24년 표준 발표 전망)
클린룸 시설 보유	<ul style="list-style-type: none"> 초전도 회로, 이온 트랩, 나노 기계 구조, 통합 광자 회로 및 스핀 큐비트 장치를 포함한 양자정보과학 장치 제작을 위한 최첨단 클린룸 시설을 보유하고 있으며, NIST 온 어 칩 프로그램은 정확한 측정 기술을 개발하기 위해 이러한 시설을 적극 활용

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

2 국립과학재단(NSF)

- 과학 및 공학의 다양한 분야에서 미국 전역에 있는 2,000개 이상의 학술기관에 연구 자금을 지원함으로써 과학 발전을 촉진
 - 「NQI법」에 근거하여 양자정보과학 연구 및 교육을 위한 종합 센터를 지원하고 관련 핵심 프로그램을 조정
 - NSF가 의회에 제출한 FY 2024 예산요청서는 양자정보과학 투자 목표로 ▲양자컴퓨팅, 통신, 센싱 및 네트워킹의 선구적 개발, ▲기존 기술 대비 우수한 양자 우위를 증명하는 새로운 장치, 도구 시스템 및 응용 개발을 명시

표20 🔗 국립과학재단(NSF)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

구분	세부 내용
양자도약챌린지연구 구소 (QLCI)	<ul style="list-style-type: none"> ● 「NQI법」에 따라 설립된 양자정보과학 및 엔지니어링 연구와 교육을 위한 대규모 다학제 센터 역할 수행 - '20~21년에 5개의 QLCI를 설립 - 현재 89개 교육 기관 및 67개 영리 기업과 파트너십을 형성했으며, 180명 이상의 교수진, 110명의 박사후 연구원, 400명의 학생이 참여 중. 또한, 280건 이상의 동료 검토 연구 논문을 발표
양자정보과학공학 역량확충 (ExpandQISE)	<ul style="list-style-type: none"> ● ExpandQISE(NSF 23-551 및 22-561)은 신설·기존 양자정보과학 센터 또는 연구기관 간의 긴밀한 협력 체계를 구축하고 유지하기 위한 지원을 제공함으로써, 연구 역량을 높이고 미국 전역의 양자정보과학 및 공학에 종사하는 기관의 참여를 확대하는 것을 지원 - 더 많은 기관에서 양자정보과학 인재를 확보하고 육성하는 것이 이 프로그램의 목표 - ExpandQISE 프로그램은 현재 6,240만 달러의 예산으로 총 33개의 프로젝트에 자금을 지원하고 있으며, 여기에는 역사적 흑인 대학(HBCU)에 8개, 경쟁적 연구 촉진 프로그램(EPSCoR) 관할 구역의 기관에 8개, 히스패닉 기관에 6개, 비-R1 기관에 28개의 등 포함
양자 시스템의 획기적 발전 프로그램 (TAQS)	<ul style="list-style-type: none"> ● TAQS 프로그램은 3인 이상의 연구자로 구성된 팀이 양자정보과학 엔지니어링 개념을 적용하는 협력적인 학제 간 프로젝트를 수행할 수 있도록 지원 - 매년 다른 과학기술 분야에 초점을 맞출 수 있으며, 가장 최근의 양자센싱 과제(NSF 22-630)는 양자정보과학 고려 사항을 적용하여 센서를 개선할 기회에 집중
국립양자 가상연구소 (NQVL)	<ul style="list-style-type: none"> ● NQVL 프로그램(NSF 23-604)은 기초 과학과 공학을 상업화 가능 기술로 전환하는 것을 촉진하는 동시에 기술의 과학적, 기술적 가치를 강조하고 발전시키기 위한 커뮤니티 전반의 노력을 촉진 - 공동 설계 개념에 따라 NQVL은 과학, 공학 및 기타 경제 분야의 여러 최종 사용자와 잠재 고객을 연구, 개발 및 실증 주기에 통합하여 활용 가능한 양자기술 개발을 촉진 - 양자기술 사용자가 새로운 애플리케이션을 개척하고 실현을 가속화할 수 있도록 장벽을 낮추는 역할
핵심 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> ● 핵심 프로그램은 컴퓨터 과학, 공학, 생물학, 수학 및 물리학을 비롯한 다양한 분야의 양자정보과학 및 양자 공학에 대한 NSF의 주요 지원 역할 수행 - NSF는 주로 핵심 프로그램을 통해 지원하고 있으며, 현재 2,000명 이상의 연구자가 이끄는 48개 주의 260개 이상의 기관에서 약 1,500개의 프로젝트에 자금을 지원하고 있으며, 4,000명 이상의 대학원생을 교육 중 - “Connections in QIS” 웹페이지에 양자정보과학 연구를 뒷받침하는 몇 가지 핵심 프로그램 목록을 제공
기타 대규모 양자정보과학 및 양자 공학 연구	<ul style="list-style-type: none"> ● 뉴멕시코 대학교의 양자정보 및 제어센터(CQuIC), 애리조나 대학교의 양자 네트워크 엔지니어링 연구센터 (CQN), 캘리포니아 대학교 산타바바라 캠퍼스의 NSF 쿼텀 파운드리, 몬태나 주립대학교와 아칸소 대학교가 공유하는 NSF 쿼텀 파운드리가 있으며, 이 외에도 많은 연구기관이 양자 공학을 위해 노력 중

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1. IITP 정리

3 에너지부(DOE)

- 기초 및 응용연구, 원천기술 개발, 동위원소 생산 등 다양한 노력을 통해 미국의 발전과 안보를 보장
 - 특히, 「NQI법」에 따라 5개의 국립 양자정보과학 연구소를 설립하였으며, 핵심 프로그램 전반에 걸친 양자정보과학 연구를 강화하고 조정. 세계 과학기관 중 독보적인 지적 자산 시스템으로, 미국 전역의 경제 성장 동력 역할 수행
 - DOE는 ▲첨단과학컴퓨팅연구(ASCR), ▲기초에너지과학(BES), ▲생물 및 환경연구(BER), ▲고에너지물리학(HEP), ▲동위원소프로그램(IP), ▲핵물리학(NP) 등 다양한 양자정보과학 프로그램에 투자하여 기술을 전반적으로 지원
 - R&D 수행 및 지원뿐만 아니라, 첨단 인프라를 구축하여 연구자들이 연구자원에 접근할 수 있도록 하며 이를 통해 생태계 육성 지원

표21 에너지부(DOE)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

구분	세부 내용
양자센싱	<ul style="list-style-type: none"> • ▲바이오센서 및 바이오 이미징 기기/애플리케이션, ▲차세대 검출기 및 특성화 도구 개발, ▲플라즈마 및 융합 과학의 진단 역량 강화, ▲새로운 물리학과 암흑 우주를 탐색하기 위한 양자센서와 실험, ▲핵물리학을 위한 센서, ▲방사선 복원성 양자 회로 및 ▲핵 시계의 사용
양자컴퓨팅	<ul style="list-style-type: none"> • DOE에서 수행 중인 여러 영역의 알고리즘, 컴퓨터 과학, 소프트웨어, 하드웨어, 양자 시뮬레이터, 양자컴퓨팅 애플리케이션 등 응용분야의 기초연구 수행
양자네트워크	<ul style="list-style-type: none"> • 얽힘 분포, 양자 상태 순간이동, 양자센서의 네트워크, 양자 네트워크의 구성 요소, 애플리케이션 및 테스트 베드 개발에 중점
양자정보과학 기술 및 인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 나노과학연구센터, 양자컴퓨팅 및 네트워크 테스트베드, 스핀 및 초전도 큐비트용 파운드리, 양자 시스템에 필요한 동위원소 생산 기술 개발 및 관리와 같은 인프라 개발
커뮤니티 자원	<ul style="list-style-type: none"> • 장점검토(Merit Review) 정책이 잘 수립되어 있으며, 개방 연구시설은 첨단 자원을 제공함으로써 양자정보과학 연구를 지속적으로 지원 중 <ul style="list-style-type: none"> - 리더십 컴퓨팅, X-선, 중성자, 나노과학 및 페르미랩 극저온 시설 등 연구시설과 긴밀한 협업 중 • DOE의 오크리지 국립연구소(ORNL)의 양자컴퓨팅 사용자 프로그램은 광범위한 사용자에게 산업용 양자컴퓨팅 리소스에 대한 접근을 제공 • DOE 과학센터의 양자컴퓨팅 테스트베드를 통하여, 샌디아·로렌스 버클리 국립연구소의 신설 양자컴퓨팅 하드웨어에 연구 커뮤니티가 접근할 수 있도록 지원
학제 간 센터	<ul style="list-style-type: none"> • 5개의 국립 양자정보과학 연구소는 연구 및 시설에 대한 투자를 활용하고, 다른 기관, 민간 부문 및 학계에서 개발한 노력과 시너지 효과를 창출하며, 커뮤니티 구축에 고유한 접근 방식을 도입 <ul style="list-style-type: none"> - NSF QLCI, QED-C 등 기관과 협력 • 에너지 프런티어 연구 센터의 일환으로 양자 재료 및 관련 양자정보과학 연구에 중점을 둔 소규모 연구팀을 지원

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

4 국방부(DOD)

- 기초 및 응용연구, 첨단 기술개발, 신기술 운영 테스트 및 평가를 통해 국가 국방 전략을 지원
 - 양자과학은 DOD의 14개 핵심 기술 분야중 하나로, 30년 이상 지속적·중점적으로 재원 지원 중
 - DOD는 연구 및 엔지니어링을 위한 ▲국방부 차관실(OUSD(R&E)), ▲국방고등연구계획국(DARPA), ▲공군 연구소(AFRL), ▲공군 과학연구소(AFOSR), ▲육군 연구소(ARL), ▲해군 연구소(NRL), ▲해군 연구청(ONR) 등 여러 부서, 기관 및 연구소를 통해 기초 양자정보과학 R&D 활동에 투자를 지속
 - 주로 국방 임무 수행, 군사적 우위 유지를 위한 기술에 투자하며 R&D 추진

표22 국방부(DOD)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

구분	세부 내용
원자시계	<ul style="list-style-type: none"> • 원자시계 프로그램은 제한된 환경에서 동기화된 타이밍 및 정밀 표적, 위치 확인, 탐색과 같은 국방부 임무를 지원하는 정밀 시간 유지 기술의 기술준비도(TRL)의 발전에 기여 <ul style="list-style-type: none"> - ONR의 차세대 원자시계(NGAC) 프로그램, ARL의 저비용 칩 규모 원자시계(LC CSAC) 프로그램, 미국 해군 관측소(USNO)의 USNO 마스터 시계를 위한 시간 유지 연구, AFRL의 양자 감지 및 타이밍 프로그램, DARPA의 H6 프로그램, DARPA의 강력한 광학 시계 네트워크(ROCKN) 프로그램 등
양자센서	<ul style="list-style-type: none"> • 양자센서는 정보, 감시, 정찰(ISR)과 정밀 항법 및 시간 유지(PNT) 분야에서 군사적 우위를 확보하기 위한 장기적인 군사 과제를 해결할 것으로 예상 • 자이로스코프, 가속도계, 자력계, 중력계, 전자계 등을 개발하는 연구개발 프로그램 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 첨단 양자 센싱 분야의 우수성을 위한 OUSD(R&E)/ARL 센터, 지구 고유 지형의 생물학적 이미징을 위한 DARPA의 원자 자력계(AMBIENT), 원자-포토닉스 통합(A-Phi), Macaroni, 신기술을 위한 원자 증기의 과학(SAVANT), 양자 Apertures, 벡터 전자기 방사선의 양자 이미징(Quantum Imaging of Vector Electromagnetic Radiation, Quantum Imaging of Vector Electromagnetic Radiation) 프로그램, 육군 계측 프로그램, Rydberg Atoms를 이용한 ARL의 전자기장 센싱, ARO의 향상된 계측 및 다중 큐비트 양자 상태 공학 프로그램, 관성 및 중력 센서를 위한 ONR의 원자 간섭계 노력, AFRL 전략 원자 항법 장치 및 시스템(Sands) 프로그램, AFOSR MURI on Cold Molecules 등
양자컴퓨팅	<ul style="list-style-type: none"> • 양자컴퓨팅은 고성능 컴퓨팅 및 보안 암호화 솔루션에 대한 접근과 같은 분야에서 장기적인 군사적 과제를 해결할 것으로 예상 <ul style="list-style-type: none"> - 기초연구에는 NISQ 장치를 사용한 최적화(ONISQ), 양자컴퓨터의 유용성 정량화(양자 벤치마킹), 유틸리티 규모 양자 컴퓨팅을 위한 미개척 시스템(US2QC) 프로그램, 양자 프로그래밍 언어, 소산 공학 및 양자 랜덤 액세스 메모리에 대한 AFOSR MURI, 스펙테이터 큐비트를 통한 향상된 양자 제어에 대한 ARO MURI, 모듈식 양자 컴퓨팅에 대한 ARO/AFOSR MURI 등
양자 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 네트워크는 근본적인 연구개발을 위한 자원이 될 것이며 양자컴퓨터와 같은 대규모 양자 시스템의 내부 아키텍처에 영향을 미칠 것으로 예상 <ul style="list-style-type: none"> - 국방부 서비스 연구소(AFRL, ARL, NRL)는 광자, 원자/이온, 초전도 기술을 포함한 이중 양자 네트워크 R&D와 통합 광자 부품의 알고리즘, 전송, 공동 이온-광자 설계를 위해 노력 - 국방부 양자 네트워킹 테스트베드는 AFRL 분산 양자 정보 테스트베드와 워싱턴 메트로폴리탄 양자 네트워크 연구 컨소시엄(DC-QNet)의 서비스 랩 참여를 포함 - 양자 네트워크 프로그램에는 DARPA 양자 증강 네트워크(QuANET) 프로그램, 양자 네트워크 과학 및 얽힘에 대한 ARO MURI, 텐서 네트워크의 광자 및 양자 정보 개념이 포함된 양자 다체 물리학에 대한 AFOSR MURI 등

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1., IITP 정리

5 항공우주국(NASA)

- 지식, 교육, 혁신, 경제 활성화, 지구에 대한 책임의식을 강화하기 위해 과학, 기술, 항공, 우주 탐사 분야의 발전을 주도
 - 제트추진연구소(JPL), 글렌 연구센터(GRC), 에임스 연구센터(ARC), 고다드 우주비행센터(GSFC)와 학계 및 산업계의 국내외 파트너와 함께 NASA 본부의 다양한 부서 및 프로그램이 주도하는 여러 양자정보과학 프로그램이 존재
 - NASA의 기초 및 응용과학과 공학 분야 연구 활동은 양자컴퓨팅, 양자센싱, 양자 통신 및 네트워크, 우주 기반 기초과학 및 탐사 분야 등 포괄

표23 미국 항공 우주국(NASA)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

구분	세부 내용
양자 중력 경사계 (Quantum gravity gradiometer) 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 기후 변화를 연구하기 위한 중력 경사계를 개발 추진 중 <ul style="list-style-type: none"> - NASA 고다드 우주비행센터(GSFC)는 지구의 질량 변화를 매핑하는 데 응용할 수 있는 초고감도 극저온 원자 중력경사계를 개발하기 위해 지상 테스트베드를 구축하여 기후 변화 과정과 물 및 천연자원 분포에 대한 새로운 이해를 가능하도록 허용 - NASA의 우주기술임무국(STMD)은 오스틴의 텍사스 대학교, 콜로라도 볼더 대학교, 캘리포니아 산타바바라 대학교로 구성된 컨소시엄인 양자 경로 연구소에서 열음 질량 손실과 해양 열 흡수를 포함한 지구 기후 변화를 측정하기 위한 양자 중력 경사계 기술 개발에 집중할 수 있도록 자원 지원
정부 간 양자 네트워킹 연구 및 실험 참여	<ul style="list-style-type: none"> • NASA GSFC는 DC-QNet 컨소시엄의 일원으로서 7개 기관과 함께 정부 간 양자 네트워킹 연구 및 실험에 참여 <ul style="list-style-type: none"> - NASA는 양자 증강 네트워크 모델 적용, 자유 공간 양자 네트워킹 연구, 광섬유 안정화를 위한 링크 모델링 등 다양한 연구 주제를 지원
혁신적 첨단 개념 연구과제 지원	<ul style="list-style-type: none"> • NASA 우주기술임무국(STMD)은 동적으로 조정 가능한 차세대 양자 레이더 기술을 사용하여 지구와 다른 세계에 대한 원격 감지 연구를 개선한 제트추진연구소(JPL)에 혁신적 첨단 개념 연구과제 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 궤도를 도는 다른 우주선의 반사된 지상 신호를 활용하여, 대형 안테나를 설치할 필요성 제거
자유공간 양자신호 처리를 위한 전문 테스트베드 구축	<ul style="list-style-type: none"> • MIT 링컨 연구소와 협력하여 자유 공간 양자 신호 처리를 발전시키기 위한 전문 테스트베드를 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 대기 난류와 적응형 광학 시스템 성능에 필요한 보정을 시뮬레이션하고 자유 공간 얽힘 소와평을 위한 광자 도착 동기화를 테스트하는 데 집중
양자정보과학 기초 물리학 프로젝트 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 우주 기반 광학 시계, 원자 간섭계 및 양자 네트워크의 새로운 기회를 확인하기 위해 우주정거장(ISS) CAL 시설에 대한 3개의 새로운 조사와 양자센싱 전반에 걸친 4개의 지상 조사를 포함하여 FY 2024에 지원할 7개의 새로운 양자정보과학기술 기초 물리학 프로젝트를 선정
토론토 대학교와 협력	<ul style="list-style-type: none"> • NASA ARC 양자 인공지능 연구소(QuAIL)는 개방형 양자 시스템을 시뮬레이션하기 위한 양자컴퓨팅 기술을 발전시키기 위해 DOE C2QA 산하 토론토 대학교와 협력 <ul style="list-style-type: none"> - 이러한 시스템은 고립된 시스템보다 시뮬레이션하기가 훨씬 더 어렵고, 이미 가장 큰 슈퍼컴퓨터의 성능을 뛰어넘은 상태
초전도 양자 프로세서의 견고성 입증 연구 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 초전도 양자 프로세서가 큐비트 수 증가로 인해 발생하는 추가적인 형태의 오류를 극복할 수 있는 충분한 견고성을 갖추고 있음을 입증하기 위해 NASA ARC QuAIL이 연구 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 더 많은 큐비트를 도입하면 오류의 수가 증가하기 때문에 양자 오류 수정 코드 크기가 증가함에 따라 논리적 성능이 향상되려면 오류가 충분히 낮아야 하는 필요성 존재
US2QC 프로그램을 위한 정부 테스트 및 평가 팀에 합류	<ul style="list-style-type: none"> • NASA QuAIL이 DARPA US2QC 프로그램을 위한 정부 테스트 및 평가 팀에 합류('23.3) <ul style="list-style-type: none"> - QuAIL 팀은 DARPA 양자 영감 클래식 컴퓨팅 및 양자 벤치마킹 프로그램에 대한 정부 테스트 및 평가의 일부로 지속적인 작업을 수행하는 등 DARPA에 오랜 기간 지원

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1. IITP 정리

6 국가안보국 물리과학연구소(NSA LPS)

양자정보과학 R&D와 이를 가능하게 하는 여러 기술을 지원

- 국가 안보에 대한 양자정보과학의 중요성에 기반하여 NQI를 지원하고 국가 양자정보과학 전략의 목표에 기여하기 위한 노력을 주도
- 또한, NSA는 사이버 보안 분야에서 적국의 암호화 관련하여, 양자컴퓨팅 역량으로 인한 위협으로부터 국가 보안 시스템을 방어하는데 있어 핵심적인 역할을 담당

표24 국가안보국(NSA)의 양자정보기술 주요 R&D 프로그램

구분	세부 내용
외부 양자컴퓨팅 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> • 외부 양자컴퓨팅 연구프로그램은 스핀 및 초전도 시스템을 이용한 고체 상태에서의 양자 컴퓨팅(QC-5), 안정적인 고충실도 갠힌 이온 시스템, 중간 규모 시스템의 양자 특성화, 새롭게 부상하는 큐비트 과학 및 기술 등을 포함 - 육군연구소(ARO)와 협약을 맺어 '23.5월 QC-5 프로그램을 시작했으며, 모듈형 양자 게이트, 빠른 제어 및 판독 방식, 고체 스핀 및 초전도 시스템의 잡음, 우수한 성능의 첨단큐비트 게이트 등 네 가지 하위 주제에 걸쳐 초전도 및 반도체 큐비트에 집중
양자정보과학 자금 지원 기회 마련	<ul style="list-style-type: none"> • 공군과학연구소(AFOSR)과 협력하여 2가지 새로운 양자정보과학 자금 지원 기회를 마련 중 - 재료 특성화 및 양자 성능 프로그램은 반도체 및 초전도체 재료 시스템으로 구축된 고체 상태 큐비트에 중점을 두고 최첨단 큐비트의 안정성과 재현성을 개선하기 위해 "재료 우선" 접근 방식을 채택 - AFOSR과 LPS는 협력 첫 해에 젊은 연구자 프로그램에서 3개의 우수한 양자컴퓨팅 과제를 선정
최첨단 초전도 및 스핀 큐비트를 제공	<ul style="list-style-type: none"> • 컴퓨팅 파운드리를 위한 큐비트(QCF)는 MIT 링컨 연구소 및 산업과 협력하여 다른 방법으로는 접근할 수 없는 연구 그룹에 최첨단 초전도 및 스핀 큐비트를 제공 - 전체 오픈링으로 전환한 최초의 파운드리 프로젝트는 연간 20개 이상의 연구 프로젝트를 지원할 수 있는 역량보유
'슈퍼 세미 랩' 개소	<ul style="list-style-type: none"> • LQC는 QIS 재료 연구, 초전도 큐비트 연구, 반도체 큐비트 연구를 지원하는 다중 희석 냉장시스템을 갖춘 다중 PI 연구실인 '슈퍼 세미 랩'을 개소
양자 센싱 연구 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> • 고체 물질의 결함 중심을 기반으로 고감도 자력계를 개발하고, 이러한 센서를 광범위한 국가 안보 문제에 적용하는 데 집중

자료: SCQIS, National Quantum Initiative Supplement to The President's FY 2024 Budget, 2023.12.1. IITP 정리

7 정보고등연구기획국(IARPA)

정보 커뮤니티와 연방정부에 혁신적인 기술을 제공하기 위해 고위험, 고수익형 R&D를 후원

- '08년 설립 이래 양자컴퓨팅 연구에 투자 중
- 논리 큐비트(Logical Qubit) 프로그램('16~'23년)과 얽힌 논리 큐비트 프로그램('23~) 등

4 | 한국의 정책 및 R&D 추진 동향

가 정책 동향

▣ 양자과학기술 관련 정책 주요 경과

- ('14.12) 미래 유망기술인 양자기술의 국내 산업 기반이 매우 취약했기 때문에 「양자 정보통신 중장기 추진 전략 수립」을 통해, 체계적인 육성을 목표로 3대 목표를 지정하고 '양자 정보통신 중장기 추진 전략'을 수립³⁶⁾
- ('18.11) 「ICT R&D 기술로드맵 2023」에서 '양자정보통신' 기술로드맵 제시³⁷⁾
- ('19.4) 양자컴퓨팅 및 양자센서 분야 전용 정부 R&D 프로그램 신설
- ('20.6) 첫 번째 양자정보주간(Quantum Week) 지정 및 연구지원센터 개소³⁸⁾
- ('21.4) 「양자기술 연구개발 투자전략」 발표로, 글로벌 기술 경쟁시대 도래로 양자기술 분야에서 경쟁력 확보를 위해 ICT 인프라, 반도체 역량 등 우리의 강점을 활용하여 총력 투자³⁹⁾
 - (주요내용) 초 산업 혁신 촉진 및 국가 안보 강화를 목표로 '양자기술 연구개발 투자전략'을 수립하고 4대 중점전략 및 투자전략* 추진
 - * ▲도전적 원천 연구 강화, ▲전문인력 확보 및 협력기반 구축, ▲특화 연구 인프라 확충 및 연계·고도화, ▲양자기술의 활용 및 산업혁신 촉진
- ('21.6) 「정보통신진흥 및 융합활성화 등에 관한 특별법」에 '양자정보통신' 추가
- ('21.11) 투자와 역량 결집을 통한 신속한 기술 추격을 위해 '제1회 양자기술 특별위원회'를 개최했으며, 범부처 차원의 전주기 의사결정 체계 구축⁴⁰⁾
 - (주요기능) 전 분야에서 신속한 양자 전환 추진을 위한 이해도 제고, 양자기술 분야 지원·협력체계 구축과 운영에 관한 사항을 조정

36) 미래창조과학부 보도자료, 정보통신기술(ICT) 정보보안 및 신(新)시장 창출을 위한 '양자정보통신 중장기 추진전략' 마련, 2014.12.5.

37) 정보통신기획평가원, ICT RnD 기술로드맵 2023, 2018.11

38) 대한민국 정책브리핑, 8월 넷째주 '양자정보주간' 지정...28일 연구지원센터 개소, 2020.8.24.

39) 과학기술정보통신부 보도자료, 미래 전략기술 확보를 위한 『양자 기술(Quantum Technology) 연구개발 투자전략』 수립, 2021.4.29.

40) 과학기술정보통신부 보도자료, 첨단전략기술의 핵심, 양자 기술(Quantum Technology) 육성에 민-관이 머리를 맞댄다, 2021.11.16.

- ('21.12) 「국가 필수전략 기술 선정 및 육성 보호 전략」에서 10대 국가 필수 전략 기술*에 '양자'를 포함⁴¹⁾

* ▲인공지능, ▲5세대(5G)·6세대(6G) ▲첨단바이오 ▲반도체·디스플레이 ▲이차전지 ▲수소 ▲첨단로봇·제조 ▲양자 ▲우주·항공 ▲사이버보안

- (선정) ▲공급망·통상, ▲국가 안보(외교·국방), ▲신산업(미래혁신) 등 통합적인 관점에서 기술 선정 원칙 및 기준을 가지고 우리나라가 반드시 주도권을 확보해 나가야 할 국가 필수 전략기술 추진
- ('22.10) 「국가전략기술 육성방안」의 12대 국가 전략기술* 중 하나로 양자기술을 선정, 양자 분야를 우선으로 국가 전략기술 과제 관리⁴²⁾

* ▲반도체·디스플레이, ▲이차전지, ▲첨단 이동수단, ▲차세대 원자력, ▲첨단바이오, ▲우주항공·해양, ▲수소, ▲사이버보안, ▲인공지능, ▲차세대 통신, ▲첨단로봇·제조, ▲양자

- (주요 내용) 차세대 원자력과 양자분야를 우선으로 국가 전략기술 과제를 관리하여 신속한 기획·착수가 이루어질 수 있도록 지원
- ('22.12) 「신성장 4.0전략 추진계획」 15대 프로젝트에서 50큐비트 양자컴퓨터 개발, 양자센서 시작품 개발 등을 목표로 제시했으며, 의료, 제약, 기상관측 등의 분야에서 양자기술 활용을 기대

- (주요내용) 50큐비트 양자 컴퓨터 개발과 양자 센서 시작품 3건 개발에 '23년 총사업비 399억원 +α 투자하고 '30년까지 500큐비트 이상 양자컴퓨터 개발 목표
- ('23.10) 「국가전략기술 선정(안)」에서 우리나라가 반드시 확보해야 할 기술개발 목표인 '12대 국가 전략기술' 중 하나로 '양자' 선정⁴³⁾

- (추진배경) '22.10월 12대 국가 전략기술을 선정한 바 있으며, 이들 기술을 중심으로 예산 집중 투자는 물론 '임무중심 전략로드맵'* 수립, '국가전략기술 프로젝트' 등 추진 중

* ('22년) ▲양자, ▲수소 → ('23.8) 기술패권 경쟁분야 - ▲반도체·디스플레이, ▲이차전지, ▲첨단 모빌리티 → ('23.10) 미래혁신 분야 - ▲첨단바이오, ▲인공지능 → ('24.2) 거대과학·필수기반 분야 - ▲차세대 원자력, ▲우주항공·해양, ▲차세대통신, ▲첨단로봇, ▲사이버보안을 발표하여 전략로드맵 완성

- (주요내용) 「국가전략기술 육성에 관한 특별법」 제정·시행으로 범부처 차원의 법적 근거가 마련됨에 따라, 정부는 양자기술을 12대 분야를 국가 전략기술로 공식 지정함과 함께 정책·투자의 핵심 대상이 될 총 50개의 중점기술 및 그 세부 정의를 구체화

- (양자 플래그십 프로젝트) '국가전략기술 프로젝트 10대 사업' 중 하나로 '양자 플래그십 프로젝트를 선정하였으며, 소규모 연구에서 벗어나 전략로드맵에 따른 산학연 연계 민-관 협력 대규모 통합 프로젝트로 추진 중

41) 과학기술정보통신부 보도자료, 세계 기술패권 경쟁시대, 기술주권 확보에 국가역량 결집, 2021.12.21.

42) 과학기술정보통신부 보도자료, 과기정통부, 10대 필수전략기술인 양자기술 육성 본격 추진!, 2022.01.27.

43) 과학기술정보통신부 보도자료, 기술패권 경쟁에서 우리나라를 지킬 '12대 국가전략기술' 공식 확정, 2024.1.31.

▣ 역대 최초의 국가전략 「대한민국 양자과학기술 전략」 발표44)

- 「대한민국 양자과학기술 전략(23.6)」을 통해 글로벌 양자 경제 중심 국가를 목표로 중장기 비전과 종합적인 발전전략을 제시했으며, 민-관 협력 기반 3조원 이상을 투자하여 양자 경제 실현을 위한 3단계 발전 전략 실행 추진
- ▲우리 기술로 양자컴퓨터 개발활용, ▲양자 인터넷 강국 도약, ▲최고 수준 양자 센서로 세계 시장 선점 등의 정책 목표를 가지고 전략 과제 시행
 - (생태계 조성) 양자 융합 핵심인재 2,500명 육성, 양자 소자·공정 인프라 확충, 양자 소재·부품·장비 고도화
 - (양자과학기술 발전) 양자 컴퓨팅의 기술 수준 80%, 양자통신·센서 기술 수준을 90%로 상승시켜 한국형 양자컴퓨터 서비스, 초기 양자 네트워크 실증 등 양자 기초연구를 지원
 - (기술-산업 융합) 양자 활용 수요 창출, 양자 집중권역 육성, 양자 스타트업·산업화를 지원하여 세계 시장 점유율 10% 목표
 - (투자) '23~'35년간 기초연구와 산업·응용연구를 위해 민-관 협력 투자 3조원 이상*
- * (정부) 2.4조원 + (민간) 6천억원
- 양자경제 실현을 위한 3단계 발전전략을 토대로 양자기기, 양자컴퓨팅-통신-센서 간 연계 실증 추진

표25 「대한민국 양자과학기술 전략」의 3단계 발전전략

구분	현재	1단계('23~'27) 양자센서·양자암호 통신 사업화 촉진	2단계('28~'31) 양자컴퓨팅 시스템 및 서비스 국산화	3단계('32~'35) 글로벌 양자 일류 국가 도약
핵심인력(누적)	384명	700명	1,400명	2,500명
양자컴퓨팅	10큐비트급 양자컴퓨터	50큐비트급 양자컴퓨터 구축 및 클라우드 서비스 개시	1,000큐비트급 (오류율 0.5%이하) 양자컴퓨터 구축 및 클라우드 서비스 개시	양자컴퓨터 상용화
양자통신	양자암호통신 상용화 진입	양자네트워크 요소기술 개발 (양자전송, 양자메모리 원천기술)	도시 간 양자 네트워크 초기 실증 (양자 메모리 기반 양자 중계기 시제품)	전국망 기반 양자인터넷 시범 구축
양자센서	양자센서 원천기술	이차전지 등 첨단산업 활용 양자센서 상용화	국방/의료/반도체 활용 세계 최고 수준 양자센서 융복합시스템(시제품) 개발	양자센서로 양자산업 기반 마련
인프라	양자팹(단일) 운영	공공 개방형* 양자팹 확충 공정인력 집중 양성 * 연구자 직접 사용	공공 전문생산 양자팹 (파운드리) 구축·운영	민간 전문생산 양자팹(파운드리) 확산

자료: 과학기술정보통신부, 양자시대를 여는 우리의 도전과 전략, 2023.6.27.

44) 과학기술정보통신부, 양자시대를 여는 우리의 도전과 전략, 2023.6.27

☐ 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률(양자산업법)」 국회 통과⁴⁵⁾

- 기술개발과 산업발전, 관련 기반 시설 구축과 생태계 조성을 종합 지원하기 위한 법률 제정을 추진하였으며, 국회 본회의를 통과('23.10)하여 최종 확정
- 양자과학기술과 산업을 집중 육성하기 위하여 종합계획 수립, 기술개발 및 상용화 촉진, 인력양성, 연구거점·클러스터 구축, 국제협력 등 종합적인 육성 근거 제시
- 향후 국무회의 의결을 거쳐 공포될 예정이며, 공포 1년 후 본격적으로 시행 예정

표26 🔗 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률(양자산업법)」의 주요내용

구분	세부내용
거버넌스	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자과학기술(통신·센서·컴퓨터 등)의 연구기반 조성과 양자 산업의 체계적 육성을 위한 종합진흥 체계를 구축 ● 범부처 역량을 집중하기 위한 양자전략위원회를 설치하고 양자종합계획을 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 국무총리를 위원장으로 민간위원 포함 20인 이내의 양자전략위원회를 설치(제7조) - 양자기술·산업 육성을 위한 종합계획을 5년마다 수립(제5조) - 양자과학기술의 파급력이 국가 전반에 미치는 영향을 분석하고, 양자기술 발전에 따른 보안위협 대응방안을 마련(제10조)
연구거점 구축	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자과학기술의 역량집중과 기존 첨단산업과의 융합을 위해 기술개발과 산업의 허브를 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 산·학·연 연구 협력의 거점기능을 담당할 양자과학기술 연구센터 지정(제18조) - 양자 연구·산업육성의 중심역할을 수행할 양자클러스터 지정(제24조~제28조)
인력양성	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자분야를 이끌어 나갈 인력 양성 및 우수 인력의 유치·활용을 지원하고, 전문교육기관을 선정·지원 <ul style="list-style-type: none"> - 인력의 양성부터 정착까지 전주기적으로 지원하고 양자과학기술에 특화된 인력양성을 담당할 대학 및 대학원 등 전문교육기관을 선정·지원(제21조~제23조)
기술개발 및 상용화 촉진	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자 기술개발 성과의 사업화 촉진을 위한 종합지원과 특례를 통해 산업화를 촉진 <ul style="list-style-type: none"> - 양자 기술개발과 양자산업의 선순환 생태계를 구축하기 위한 기술상용화 촉진, 창업 및 기업육성 체계 구축(제14조, 제16조) - 기업의 참여를 촉진하기 위하여 현금 부담비율 등 국가연구개발사업의 특례 및 기술이전 시 기업에 전용실시권을 설정할 수 있는 특례 규정(제12조, 제13조)
국제협력	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술패권 확보를 위한 경쟁 속에서 전략적인 국제협력 추진을 위한 근거 조항을 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 국제 공동연구, 국내 인력의 해외연수 및 인력 교류, 국제 표준화 등을 지원하기 위한 근거를 마련(제29조) - 해외 우수 연구개발센터의 국내 유치를 지원(제30조)

자료: 과학기술정보통신부 보도자료, 양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법, 국회 본회의 통과, 2023.10.6., IITP 정리

45) 과학기술정보통신부 보도자료, 양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법, 국회 본회의 통과, 2023.10.6.

나 R&D 동향

▣ '19년 이후 양자 전용사업 신설로 예산 대폭 증가

- 전용사업 신설로 예산이 대폭 증액, 기술개발과 기반 구축 사업의 투자액 모두 상승
 - '19년 이전까지 국내 양자기술 R&D는 기초연구나 출연(연) 사업 등 소액과제 위주로 추진, 선진국 대비 과제의 수와 예산 모두 낮은 수준
 - '19년을 기점으로 전용사업이 다수 신설되며, 예산이 '19년 106억원에서 연평균 87.5% 증가하여 '22년에는 699억원으로 대폭 증액. 4년간 기술개발에는 969억원, 기반구축에는 399억원이 투입돼 총 1,368억원 투자

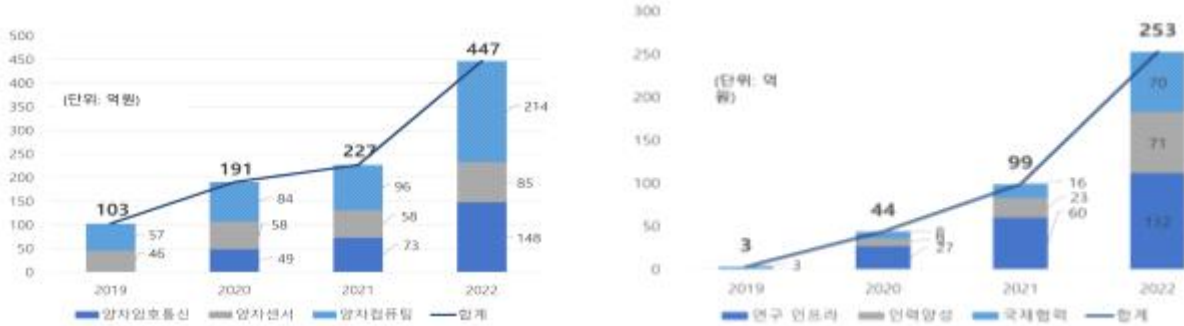
그림9 국내 양자 R&D 전용사업 투자 추이



자료 : 과학기술정보통신부 등, 2023 양자정보기술 백서, 2024.1

- 기술개발 사업은 ▲양자암호통신, ▲양자센서, ▲양자컴퓨팅으로, 기반구축 사업은 ▲연구 인프라, ▲인력양성, ▲국제협력으로 구분
 - (양자암호통신) 세부적으로 유선 양자암호통신 상용화를 위한 시스템 집적화와 단일광자 생성 얽힘 기술 등 원천기술 고도화, 양자 인터넷 원천기술 개발에 투자
 - (양자센서) 양자센서는 관성센서와 이미징센서, 자기장센서, 기타 기반기술 및 주력산업 연계 응용기술개발에 247억 투입
 - (양자 컴퓨팅) 한국형 양자 컴퓨팅 시스템, 양자 프로세서, 양자 시뮬레이터, SW 알고리즘 등 개발에 452억원 투자
 - (연구인프라) 양자팍 구축, 해외 클라우드 사용 지원 등에 지난 4년간 총 199억원 지원
 - (인력양성) 석·박사, Post-Doc 단기 해외연수를 중심으로 총 103억원이 지원, 이 외에도 ITRC 사업으로 양자 분야 3개의 센터에 연간 약 20억원이 지원
 - (국제협력) 해외 양자기술협력센터 운영·신진연구자 교류 등에 97억원이 투입

그림10 국내 양자R&D 기술개발 및 기반구축 사업 투자 추이



자료 : 과학기술정보통신부 등, 2023 양자정보기술 백서, 2024.1

▣ '24년도 양자분야 R&D 투자 동향(46)47)

❶ 과기정통부는 '24년도 연구개발 사업 종합시행계획을 확정, 양자분야에는 '23년 대비 32.7% 늘어난 1,285억원 투자 예정

- (예산 규모) 과기정통부의 '24년도 R&D 사업의 총 예산은 5조 8,577억원이며, 이중 정보통신·방송(ICT) 분야 예산은 1조 1,668억원. 양자분야는 전체 예산의 2.19%, ICT 예산의 11.01% 차지
- (중점 목표) ▲(연구자 지원) 연구자의 혁신·도전적인 R&D 추진 투자 강화, ▲(전략기술 투자 강화) 첨단바이오, 반도체, 디스플레이, 이차전지, 양자 등 전략기술 및 우주·원자력 등 거대과학 분야의 R&D 투자 강화, ▲(디지털 핵심 원천기술 확보) AI 및 차세대 AI 반도체, 차세대통신, 양자암호통신, 사이버보안 등 투자 강화, ▲(글로벌 우수 인재 양성) 12대 분야 석·박사급 인재를 양성, AI 분야 석·박사급 인재 양성, 학·석사 연계 지원, 지역인재 양성 등

❷ ▲국제협력, ▲양자팹*, 양자통신·컴퓨터·센서 등 전략기술 인프라 확충 및 기술개발 가속화, ▲양자통신·양자센서의 핵심기술 확보, 차세대 양자암호통신 기술개발 등

* 기존 반도체 클린룸에서 수행하기 어려운 양자소자 공정 전용 설비, 전문적 제작 서비스 제공 및 공정개발, 인력양성 등 지원('20~'25, 395억원)

- (국제협력) 후발주자로서, 양자과학기술 국제협력 전략 수립, 산·학·연 역량 집중 및 창의적 시너지 창출을 위한 퀀텀 플랫폼 구축방안 마련 등 추진
- (전략기술) 양자팹(60억원), 양자공통기반기술(24억원, 신규), 양자컴퓨팅(65억원), 양자인재(158억원) 등 투자
- (ICT 핵심기술) '24년에 총 309억원을 투자하며, 양자암호통신 산업 확산 및 차세대 기술 개발('24년 신규, 49억원) 등 추진

46) 과학기술정보통신부, 과학기술·ICT 강국 도약을 위해 '24년 총 5조 8,577억원 투자, 2024.1.4.

47) 과학기술정보통신부, 제3차 K-퀀텀 스퀘어 미팅 개최, 2024.1.11.

☐ 양자 관련 정보통신기획평가원(IITP)의 주요 사업

- IITP의 양자사업은 기술개발과 기반조성으로 구성, '24년 총 369.3억원 투자 예정
 - 기술개발사업은 양자기술의 핵심적인 연구 및 개발을 지원하며, 국제적인 기술 경쟁력을 확보하고, 관련 산업의 성장을 촉진
 - 기반조성사업은 양자기술 연구 및 개발을 위한 기반을 조성하고, 관련 산업 생태계를 활성화

표27 정보통신기획평가원(IITP)의 양자분야 주요 사업 및 2024년 예산

구분	사업명	사업목적	'24년 예산	과제 수
기술 개발	양자인터넷 핵심원천기술개발	양자기기를 연결하는 양자인터넷 구축에 필요한 핵심 부품과 원거리 유·무선 전송에 필요한 핵심 원천기술 확보	8,640백만원	5개(계속)
	양자암호통신 집적화 및 전송기술고도화	양자암호통신을 국가 필수기반 산업으로 육성, 이를 위한 송수신칩 집적화, 전송효율 향상, 상호운용성 보장을 위한 핵심기술 확보	6,700백만원	6개(계속)
	양자센서 핵심원천기술개발	4차 산업혁명 핵심기반 기술 중 하나인 양자센서 핵심원천기술개발을 통해 국가전략기술 확보 및 첨단산업 선도 기여 등 차세대 ICT 먹거리 확보	3,000백만원	3개(계속)
	양자센서 상용화기술개발	양자센서 4대 핵심 플랫폼(관성, 자기장, 시간, 광학)의 원천기술 및 상용 가능한 산업응용 양자센서 개발과 그 기반이 되는 공정기술 확보	7,740백만원	7개(계속)
	양자암호통신 산업확산 및 차세대기술개발	양자암호통신의 산업확산을 촉진하고, 차세대 양자암호통신 기술개발을 통한 글로벌 기술경쟁력을 확보	4,853백만원	4개(신규)
기반 조성	양자칩 공정기술고도화 기반구축	양자소자 연구속도를 가속화 시킬 수 있는 권역별 수요기반의 개방형 양자 인프라 및 퀀텀연구자들의 과학·기술역량 강화를 위한 퀀텀플랫폼 구축	6,000백만원	3개(신규)
합계			36,933백만원	

자료: 정보통신기획평가원 홈페이지(<https://www.iitp.kr>), 주요사업 (2024.6.19. 확인)

☐ '양자과학기술 플래그십 프로젝트' 예비타당성 조사 추진

- (개요) '30년대 양자과학기술 선도국 진입을 비전으로, 8년 내 가시적 성과창출이 가능한 분야별 임무지향형 사업을 추진하여 선도국 수준의 기술 대도약 및 산업화 역량 조기 확보
 - (사업비) 총사업비 9,960억원(국고: 9,456.2억원, 민자: 503.8억원)
 - (기간) '24~'31년(2단계, 8년)

● (사업구성) 내역사업은 양자컴퓨팅, 양자통신, 양자센싱으로 구성

- (양자컴퓨팅) 초전도, 중성원자 플랫폼 기반 양자컴퓨팅 시스템 구축을 위해 초전도 및 중성원자 양자프로세서 원천기술 개발 및 풀스택(Full Stack) 컴퓨팅 구축을 위해 필요한 SW 기술개발 집중 지원

표28 양자과학기술 플래그십 프로젝트 '양자컴퓨팅' 사업 목표

목표	초전도(범용), 중성원자(특수목적형) 플랫폼 기반 1,000큐비트급 양자컴퓨팅 시스템(한국형 양자컴퓨터) 개발 및 클라우드 서비스 제공
1단계	300큐비트급 양자 프로세서 개발
2단계	한국형 양자컴퓨터 클라우드 시연
전략과제	▲양자컴퓨팅시스템 구축, ▲초전도 핵심기술 개발, ▲중성원자 핵심기술 개발, ▲알고리즘, 소프트웨어, 클라우드

자료: 과학기술정보통신부, 양자과학기술 플래그십 프로젝트 사업, 2024.6.19. 확인(예타로 홈페이지)

- (양자통신) 장거리 양자 네트워크 구축을 위해 얽힘 기반 양자 중계기 개발, 양자 메모리 기반 신규 유망 양자 플랫폼 기술, 분산형 양자 연산 원천기술 집중 개발

표29 양자과학기술 플래그십 프로젝트 '양자통신' 사업 목표

목표	양자중계기 기반 한국 최초 얽힘 양자 네트워크(초기 양자인터넷) 개발 및 실증
1단계	양자중계기 원천 기술 및 양자 네트워크 국제 선행 표준 확보 (양자 중계기 5종 이상, 국제 표준 3건)
2단계	얽힘 정제 양자중계기 기반 양자 네트워크 실증 및 글로벌 표준 기술 확보 (≥3노드, 100km, 국제표준 3건)
전략과제	▲중계기 개발, ▲유망 양자 중계기 플랫폼, ▲양자 네트워크

자료: 과학기술정보통신부, 양자과학기술 플래그십 프로젝트 사업, 2024.6.19. 확인(예타로 홈페이지)

- (양자센싱) 양자센서 기반의 국가 전략기술을 확보하고 첨단산업 경쟁력 확보를 위한 혁신·도전적인 양자센서 핵심원천기술 및 고전한계 극복을 위한 차세대 핵심 양자센서 플랫폼 원천기술 개발

표30 양자과학기술 플래그십 프로젝트 '양자센싱' 사업 목표

목표	국가전략 및 차세대 양자 센서 핵심원천 기술 개발
1단계	양자센서 핵심 응용 및 원천기술 개발 (양자센싱 주요 플랫폼의 핵심원천기술 5개 확보)
2단계	국가 전략 및 차세대 양자센서 핵심원천기술 개발 (세계 Top-Tier 초고분해능 핵심원천기술 3개 확보 및 無-위성 항법 관성센서 등 시작품 3개 확보)
전략과제	▲국방 및 항공우주, ▲산업·안전, ▲핵심 원천기술

자료: 과학기술정보통신부, 양자과학기술 플래그십 프로젝트 사업, 2024.6.19. 확인(예타로 홈페이지)

● (경과) 예비타당성조사가 진행 중이며, '24년도 하반기에 결과가 발표될 전망

4 | 결론 및 시사점

가 결론

▣ 양자과학기술 선도국은 리더십 유지를 위해 국가 차원 정책 마련 및 투자 추진

- 양자과학기술은 엄청난 기술 및 시장 잠재력을 보유, 전 세계적으로 미래를 바꿀 게임 체인저 기술로 주목받고 있음. 이에 미국, 중국, EU, 영국, 일본 등 선도국은 국가 차원에서 양자기술을 전략적으로 지원하기 위한 정책을 수립하고 투자 추진

표31 주요국의 양자과학기술 관련 정책 동향

구분	주요 동향
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초로 「국가 양자 이니셔티브(NQI)법」을 제정('18.12)했으며, 제정 이후 10년간 이를 근거로 정책 추진 <ul style="list-style-type: none"> - (거버넌스) ▲국가양자조정실(NQCO), ▲양자정보과학분과위원회(SCQIS), ▲국가양자이니셔티브 자문위원회(NQIAC), ▲양자과학의 경제·안보 영향에 관한 소위원회(ESIX) 등을 통해 조정·협력 체계 구축 - (연구활동) 주요 3개 연방기관인 국립과학재단(NSF), 에너지부(DOE), 국가표준기술연구소(NIST)에 기술개발, 인프라, 인력양성, 표준, 산업화 등의 의무와 권한을 부여 - (NQI) 구축한 거버넌스를 기반으로 추진 하며, 주요 3개 기관 외 기관의 정책 및 R&D 투자도 조정 • 「양자정보과학을 위한 국가전략 개요('18.9)」를 기반으로 정책을 추진하고 있으나, 이를 보완하기 위한 새로운 전략도 추가적으로 발표 <ul style="list-style-type: none"> - SCQIS에서 주도하여 ▲미국 양자 네트워크를 위한 전략 비전('20.2), ▲양자 프린티어('20.10), ▲양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식('21.1), ▲양자센서의 실현('22.3) 등 발표 • 「반도체와 과학법」, 「FY '19~'22 국방수권법(NDAA)」 등을 통하여 「NQI법」을 개정하여 역할과 범위를 확대 • 초기 5년간('19~'23) 12억 달러를 양자 연구에 투자하도록 권한을 부여. 추가적으로 향후 5년간의 대규모 투자를 위하여 「NQI 재승인법」을 하원에서 발의('23.11) <ul style="list-style-type: none"> - 발효 5년이 지난 시점인 '23.9.30.에 프로그램이 만료되어 추가적인 투자를 위해서는 재승인법 제정이 필요
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 「14차 5개년 계획('21~'25)」에서 전략적으로 육성할 8대 분야 중 하나로 '양자'를 제시 • '2세대 양자체계 구축' 프로젝트 등 꾸준히 투자 중
EU	<ul style="list-style-type: none"> • 「양자선언문('16.5)」과 함께 발표된 단기·중기·장기 양자기술 로드맵과 분야별 목표를 토대로, 대규모 장기 연구 이니셔티브인 '양자 플래그십'을 발족('18.10)하여 운영 중 <ul style="list-style-type: none"> - 당초 10억 유로 규모 프로젝트였으며, '16~'23.1월 동안 1억 7,500만 유로 이상을 투자했고, '21~'27년 동안 Horizon Europe 프로그램을 통해 최소 5억 유로를 투자할 것이라 발표 - ▲양자컴퓨팅, ▲양자통신, ▲양자센싱, ▲양자 시뮬레이션, ▲기초과학 연구, 양자기술 교육 및 국제협력 활동 등 지원 • 새로운 양자기술 로드맵 '전략연구산업아젠다(SRIA) 2030' 발표('24.2) • '양자반도체' 개발 지원을 포함한 「EU 반도체법('23.7)」 발효('23.9)
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 「국가 양자기술 프로그램('14)」을 통해 10년간 정부 및 민간이 10억 파운드(약 1조 6,300억원) 이상 투자 추진 • 「국가 양자전략('23.3)」을 통해, '24년부터 향후 10년간 25억 파운드(약 4조원) 이상의 투자 계획 발표
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 지난 30여 년간 소액이지만 꾸준히 투자를 하고 있었으며, 최근 「양자 미래산업 창출 전략('23.4)」 발표를 통해 양자기술을 활용하여 지속가능한 사회경제환경을 조성하겠다는 비전 선포

미국은 「NQI법」을 근거로 정책 및 R&D 추진 중

- (정책 동향) 「양자정보과학 국가전략개요('18.9)」의 6대 권고사항*을 비롯하여, 「양자 네트워크에 대한 조정된 접근 방식('21.1)」, 「양자정보과학기술 인력양성 국가전략계획('22.2)」, 「양자센서의 실현('22.3)」 등 새로운 전략에서 제시한 조치 달성에 중점을 두고 추진
 - * ▲과학우선 접근법, ▲인력양성, ▲양자산업과 혁신 생태계, ▲인프라 구축, ▲국가 안보 및 경제 성장, ▲국제협력 강화
- 「NQI법」으로 구축한 양자 거버넌스 및 에너지부(DOE), 국립연구재단(NSF), 국립표준과학연구소(NIST), 국방부(DOD), 항공우주국(NASA), 정보고등연구기획국(IARPA), 국립보건원(NIH), 국토안보부 과학기술국(DHS S&T) 등
- (예산 동향) 양자 관련 R&D 예산은 「NQI법」 제정 이후 증가 추세이며, 미국은 최근 3년간 연평균 9.8억 달러(약 1.3조원)를 투자
- (R&D 동향) ▲국립표준과학연구소(NIST), ▲국립과학재단(NSF), ▲에너지부(DOE), ▲국방부(DOD), ▲항공우주국(NASA), ▲국가안보국 물리과학연구소(NSA LPS), ▲정보고등연구기획국(IARPA) 등 주요 연방기관에서 기초 및 응용 과학 기술 분야의 R&D 프로그램을 추진
 - 대표적으로 ▲(NIST) 미국 양자 산업의 성장 가속화를 위해 산업 주도 컨소시엄인 '양자경제 개발연합체(QED-C)' 설립 및 지원, ▲(NSF) 양자정보과학 및 엔지니어링 연구와 교육을 위한 대규모 다학제 센터인 '양자도약챌린지연구소(QLCI)' 5개 설립, ▲(DOE) 5개의 '국립 양자정보과학 연구소' 설립 및 운영 등

한국은 양자과학기술 선도국으로의 도약을 위해 국가전략 발표 및 투자 확대

- (정책 동향) 역대 최초의 양자분야 국가전략인 「대한민국 양자과학기술 전략」을 발표('23.6)했으며, 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률(양자산업법)」 국회 통과('23.10)
- (R&D 동향) R&D 투자를 확대하고 있으며, '양자 플래그십 프로젝트' 예타 추진 중
 - 전용 R&D사업 개시('19) 이후 예산이 대폭 증가하였으며, '24년은 1,285억원 투자 계획
 - ▲국제협력, ▲양자팹, 양자통신·컴퓨터·센서 등 전략기술 인프라 확충 및 기술개발 가속화, ▲양자통신·양자센서의 핵심기술 확보, 차세대 양자암호통신 기술개발 등 추진
 - '양자과학기술 플래그십 프로젝트'에서 '30년대 양자과학기술 선도국 진입을 비전으로 8년 내 가시적 성과창출이 가능한 분야별 임무지향형 사업에 최대 9,960억원을 투자할 계획

나 정책적 시사점

1 장기적이고 안정적이며 과감한 투자 전략

- 주요국은 가시적 성과가 없던 30년 이상 전부터 지속적으로 투자하여, 현재 양자 과학기술 분야 기술선진국으로 발돋움 할 수 있는 기반을 마련. 특히, 미국은 「NQI법 ('18.12)」 제정을 통한 법적 근거 마련으로 안정적이고 체계적으로 투자 추진
 - 전 세계적으로 투자금이 줄었던 'AI 겨울' 시기에도 캐나다, 미국 등 일부 국가에서는 소액이지만 지속적으로 지원했고, AI가 국가의 경쟁력을 좌우할 정도로 큰 파급력이 있는 범용 기술로 인정받고 있는 현시점에서는 지속적으로 투자한 국가들이 기술을 주도하고 있음
 - 현재, 양자분야는 양자통신 중 일부 기술만 상용화되었고, 나머지는 기술개발이 이뤄지고 있는 단계로 상업화 초기 혹은 그 전 단계로 볼 수 있음. 이후, 상용화되어 차세대 범용 기술이 되었을 때의 잠재력을 고려하면, 정부의 과감한 투자 전략이 필요할 것
- 한국은 선도국과 다소 기술격차가 있지만, 추격을 위해 혁신 환경을 조성하고 장기적이고 안정적인 지원 필요
 - 미국과 중국이 선두를 달리고 있으며, 독일, 프랑스와 같은 EU 회원국, 영국, 일본 등이 바짝 추격하고 있는 상황. 우리나라가 기술선도국으로 도약할 수 있는 골든타임을 놓치지 않도록 안정적이고 파격적인 지원이 필요

2 우리나라의 강점을 최대화하기 위한 기술개발 및 상용화 전략

- 세계 3번째 양자암호통신 상용화, 중력센서 등 우리나라가 강점을 가진 분야를 적극 활용하기 위하여 역량 집중
 - 우리나라가 강점을 가진 개별 기술을 적극 활용하여, 이러한 기술을 고도화하고 시장 진입 전략 모색이 필요
 - 또한, 글로벌 경쟁력을 갖춘 개별 기술을 추가적으로 발굴하고 집중적으로 지원 필요
- 양자과학기술의 본격적인 상용화 시점은 5년 정도 이후로 전망, 따라서 연구개발 된 기술 중 상용화 가능한 것부터 출시하여 시장 점유율을 높여가는 전략 필요
 - 가장 상용화 시점이 빠를 것으로 예상되는 양자센서 분야 및 이미 상용화가 시작된 양자 통신 분야에서 일부 기술일지라도 빠르게 사업화 하고, 시장 반응 및 원천기술 개발에 따라 보완해 나가는 방식 등 시장 점유율을 높이기 위한 전략 추진 필요

3 고급 인재양성을 위한 장기적 관점의 인재양성사업 운영

- 양자과학기술은 물리학, 수학, 컴퓨터공학, 전기전자공학, 재료공학 등 다양한 학문이 융합된 분야로, 높은 수준의 융합형 인재가 필요. 인재양성 사업을 추진하고 있지만, 공급이 수요를 따라가지 못하여 전 세계적으로 인재 부족 현상을 겪는 중
 - 이에 따라 미국, 영국 등은 고급 인재를 자국으로 모시기 위한 경쟁이 치열하며, 대학원 등을 지원하여 고급 인재 양성에 초점
 - 우리나라에서 학계 및 산업계에서 필요로 하는 석·박사, Post-Doc 수준의 인재를 양성하기 위해서는 2~3년 정도의 단기가 아닌 최소 5~10년간의 장기적인 사업이 필요. 'AI 대학원' 처럼 대학을 중심으로 특화 거점 및 센터를 지정하여, 석·박사과정생에게 안정적인 교육 및 연구 환경을 제공하고 필요하면 Post-Doc까지 수행 할 수 있도록 지원
- 혁신 생태계 구축을 위해서는 '인재양성' 필수적이며, 재정적 지원과 더불어 경력경로 개발, 교육 및 인턴 프로그램 운영 등 정책적 지원의 병행도 필요
 - 출연연 등 연구기관에서 양자과학기술 분야에 관심 있는 학부생 및 대학원생을 위한 인턴십, 멘토링 프로그램 등을 운영하여 초기 경력 연구자의 풀을 확대
 - 양자과학기술 인재양성사업을 통해 배출된 연구자가 다양한 경력경로를 탐색할 수 있도록 산학연관의 연계 및 협업을 위한 정책적 지원

4 사업화 및 시장 창출까지 고려한 정책적 지원

- 양자과학기술은 상업화 초기 단계이지만, 주요국은 이후를 준비하기 위해 상용화·산업화까지 고려한 정책을 발표 중. 우리나라도 본격적인 기술사업화 시점에 신속하게 추진할 수 있도록 대비 필요
 - 양자분야 스타트업 육성, 산업계와의 소통 체계 구축, 기업의 애로기술 지원 등 적극적인 산업 육성 지원이 필요하며, 특히 대학 및 연구기관의 연구결과물이 상용화까지 도달할 수 있도록 기술개발과 사업화 사업 사이의 이어달리기가 필요
- 실험뿐만 아니라 시제품을 생산하고 테스트할 수 있는 양자팹, 파운드리, 테스트베드 등 인프라 구축 필요
 - 양자 관련 제품은 생산을 위한 시설이 따로 필요하지만 파운드리 기업이 부재한 상황으로, 정부 주도의 시제품 제작 및 테스트가 가능한 시설 구축이 필요하며, 중소기업의 접근성을 높일 수 있는 정책적 지원 병행

● 정부의 적극적인 우수 사용사례 창출 지원

- 초기 단계인 현재에서는 정부가 가장 큰 투자자이자 수요자로서의 역할을 할 필요가 있으며, 혁신의료기기 사업과 같이 전용 인증 및 조달사업을 운영하여 기업의 혁신성장 지원이 필요

5 공공부문 및 일반 대중의 저변 확대

● AI의 사례처럼 양자과학기술이 본격적으로 상용화되면 큰 사회적으로 파급효과를 불러올 것으로 예상되며, 따라서 공공부문은 양자과학기술의 파급력과 활용에 대한 이해도를 제고하는 등 저변 확대를 통한 사회변화에 대비 필요

- 양자과학기술로 인한 사회변화에 대비하고, 빠르게 기술을 확산시킬 수 있도록 공공부문은 기술이해도를 제고할 필요가 있음. 따라서 정기적인 교육을 제공하고, 워크숍과 같은 행사에 참여를 권고하는 등 관심 확대가 필요

● 대국민 홍보, 초중고 교육에 포함, 문화체험 행사 등을 통해 일반 대중에게 양자과학기술을 알리고, 준비할 수 있도록 저변 확대

- 일반 대중까지도 양자과학기술에 대한 이해를 제고하고, 활용을 확산시킴으로서 인식 변화 및 시장을 확대하기 위한 정책적 지원이 필요

ICT SPOT ISSUE

- ☑ 발 행 일 : 2024년 7월 15일
- ☑ 저 자 : 정보통신기획평가원 정책기획팀
- ☑ 발 행 인 : 홍진배(정보통신기획평가원장)
- ☑ 발 행 처 : 정보통신기획평가원
- ☑ 주 소 : 대전광역시 유성구 유성대로 1548(화암동)
- ☑ 전 화 : 042) 612-8001
- ☑ 홈페이지 : www.iitp.kr
- ☑ 본 저작물은 정보통신기획평가원에서 작성하여 공공누리 제2유형(출처표시+상업적 이용금지)으로 개방하였으며, 기관 홈페이지(www.iitp.kr)에서 무료로 다운로드 받으실 수 있습니다.
- ☑ 본 보고서의 내용은 저자의 주관적인 의견으로 정보통신기획평가원의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.