



대한민국 양자과학기술 비전

양자시대를 여는 우리의 도전과 전략

2023. 6. 27.

목차

CONTENTS

서문

I. 왜 양자과학기술인가	06
01 대한민국이 양자과학기술에 주목하는 이유	08
02 반도체 강국에서 양자혁명의 리더로	10
03 우리나라 양자과학기술이 걸어온 발자취	12
II. 양자과학기술로 이루는 미래상	14
01 활력 넘치는 양자 경제 Quantum Economy	16
02 안전한 양자 사회 Quantum Safety	18
03 행복한 양자 일상 Quantum Life	20
III. 대한민국 양자과학기술의 비전과 정책목표	22
IV. 양자경제 실현을 위한 3단계 발전 전략	26
V. 7대 추진 방향	30
01 양자 인력 확보 최우선	32
02 임무지향적 연구개발 추진	34
03 양자 연구·산업 인프라 고도화	38
04 양자 경제를 향한 산업 기반 마련	40
05 국방·안보 도입 추진	42
06 글로벌 양자 리더십 확보	44
07 지속가능한 지원 체계 확립	46

비전 선언문
VISION

**“2035년 대한민국,
글로벌 양자경제 중심국가로
우뚝 서겠습니다”**



국민과 함께하는 대한민국의 새로운 퀀텀점프

“퀀텀 점프(Quantum Jump)”라는 양자역학 용어가 있다. 원자에 에너지를 가하면 낮은 궤도에서 핵 주위를 돌던 전자가 높은 궤도로 도약하면서 에너지 준위가 계단을 오르듯 불연속적으로 증가하는 현상이다. 마치 순간이동처럼 보이는 이 변화의 개념은 단기간의 비약적 혁신과 발전을 설명하는 표현으로 더 자주 쓰이고 있다.

대한민국은 건국 이래로 우수한 국민적 역량과 통찰력, 세계를 선도하는 과학기술과 산업에 힘입어 세계사에서도 유례를 찾기 힘들 만큼 큰 성공을 거두었고, 개발도상국에서 선진국으로 진입한 세계 유일의 나라가 되었다. 그리고 이제 양자 시대의 개막과 함께 또 한 번의 새로운 퀀텀 점프를 시작하고 있다.

과학기술은 인류 문명을 이전과는 전혀 다른 차원으로 이끄는 가장 강력한 힘의 원천이다. 그중에서도 양자과학기술은 일반인들에게 그간 잘 알려지지 않았을 뿐, 이미 오래 전부터 인간의 삶 구석구석에 지대한 영향을 미쳐 왔다. 현대인의 하루 일과 대부분과 함께하는 스마트폰과 노트북, 전자기기와 조명, 화학소재와 생명과학, 의료기술, 레이저와 원격통신에 이르기까지 21세기 거의 모든 첨단문명의 바탕에 원자라는 미시세계에 대한 이해가 자리를 잡고 있다. 우리는 이미 양자과학기술 없이는 한 발자국도 나아가지 못하는 세상에 살고 있는 것이다.

더욱 고무적인 것은 21세기 전 지구적 위기 극복과 새로운 인류 문명의 돌파구가 될 양자혁명이 완성형이 아니라 이제 막 무대의 막이 오르는 서막이란 사실이다. 생명의 근원과 우주의 기원을 밝히는 기초연구에서부터 기후위기 대응과 인류의 안전, 난치병 극복과 인간 수명의 연장, 새로운 에너지원 발굴과 미지의 우주개척까지 인류가 상상할 수 있는 모든 과학 기술 혁신의 단초를 제공해 줄 것으로 기대를 모으고 있다.

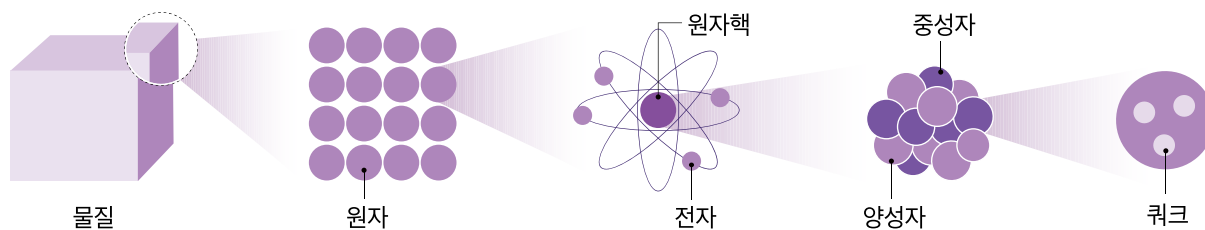
이에 따라 2023년, 대한민국은 국가 양자과학기술의 원년을 선포한다.

양자과학기술의 혁신을 향한 우리의 노력은 대한민국의 새로운 미래 성장 엔진 확보를 넘어 인류 공동체의 자유와 번영에 공헌하며 국가의 위상과 국격을 한층 높이게 될 가장 확실한 길이기도 하다. 어렵고 긴 여정, 하지만 반드시 가야할 그 길의 시작점에서 다시 한 번 운동화 끈을 바짝 죄고 있는 대한민국의 담대한 도전을 하나 된 마음으로 응원해주시길 바란다.

양자과학기술의 기본 개념

양자(Quantum)란?

불연속적인 입자성과 중첩이 가능한 파동성을 동시에 갖는 개체
에너지, 운동량 등 불연속적인 물리량 현상 전반을 의미




「양자 현상을 관측할 수 있는 작은 물리량」

양자에 대해 잘못 알려진 오해 중 하나는 양자를 입자로 해석하는 것으로
양자역학에서 양자(量子)는 입자(粒子)를 지칭하는 것이 아님

양자과학기술(Quantum Science & Technology)이란?

양자물리학적 특성을 컴퓨팅, 통신, 센서 등 정보기술에 적용하여 “초고속 연산”, “초신뢰 통신”, “초정밀 계측”을
가능하게 하는 기술





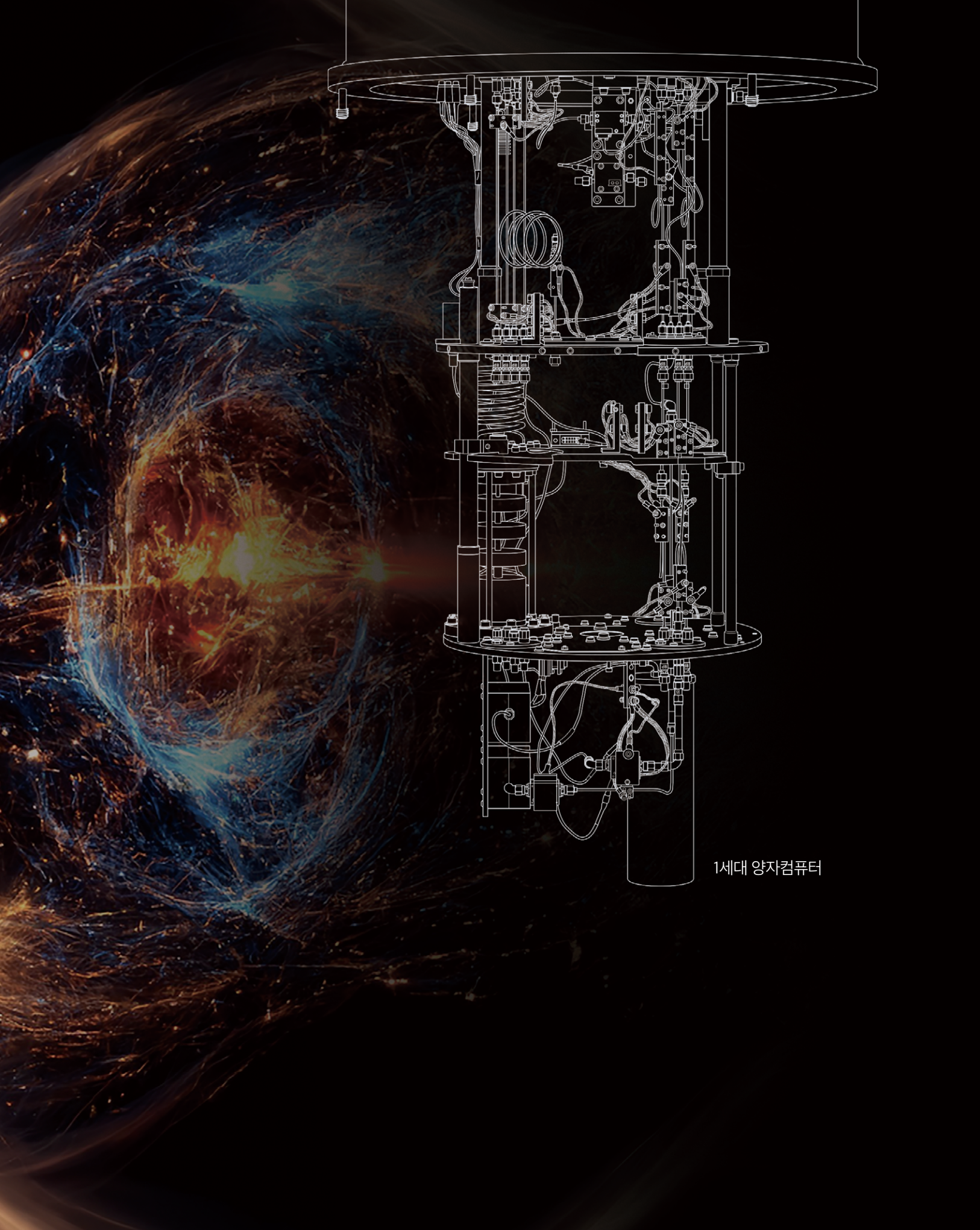
양자시대를 여는
우리의 도전과 전략

PART. I

왜 양자과학기술인가?

양자 얽힘

두 양자가 서로 멀리 떨어져 있어도 상관관계를 가지는 특성



1세대 양자컴퓨터

01 대한민국이 양자과학기술에 주목하는 이유

양자(量子, quantum)의 개념이 등장한 지 120여 년, 현대적인 양자물리학이 시작된 지 100여 년이 지났다. 양자물리학을 바탕으로 한 반도체 기술이 인류 문명에 혁명적 변화를 불러일으킨 20세기와 21세기 초반부를 일컬어 '1차 양자혁명'의 시대라 한다.

2차 양자혁명 시대의 도래

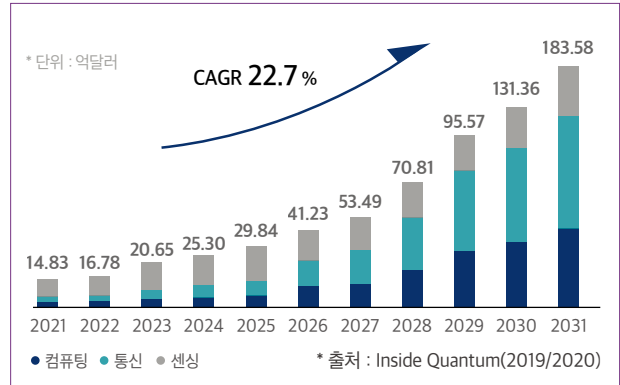
다가오는 '2차 양자혁명'의 시대는 중첩과 얽힘 같은 고차원적인 양자물리학적 현상을 더욱 자유롭게 활용하는 시대라 정의할 수 있다. 0과 1중 어느 하나를 취하는 기존의 정보 기본단위 비트(bit)를 넘어 중첩의 성질을 이용해 0과 1의 양쪽값을 동시에 취할 수 있는 새로운 정보 기본단위 큐비트(qubit), 그리고 큐비트 간 연동을 통해 연산 수행 능력이 기존의 슈퍼컴퓨터를 압도하는 양자컴퓨터가 인공지능 고도화, 신약 및 신물질 연구, 에너지, 우주 및 수학 난제 해결에 본격적으로 활용될 것이다.

양자컴퓨터의 등장은 기존의 디지털 컴퓨터로 풀 수 없었던 소인수분해 기반 암호체계의 붕괴를 의미하는 것이기도 하다. 이에 따라 세계 각국은 중첩과 얽힘, 관측에 따라 정보가 바뀌는 양자 현상을 이용해 획기적으로 보안성을 높일 수 있는 양자 암호 및 네트워크 기술 개발에도 사활을 걸고 있다. 또한 기존 센서의 근본적인 한계를 뛰어넘는 정밀도와 민감도의 양자 센서 기술을 국방을 비롯하여 고도의 탐지능력을 필요로 하는 첨단 산업 분야에 적용하기 위한 기술 경쟁도 시작되었다.



2차 양자혁명 시대를 향한 글로벌 기술패권 경쟁

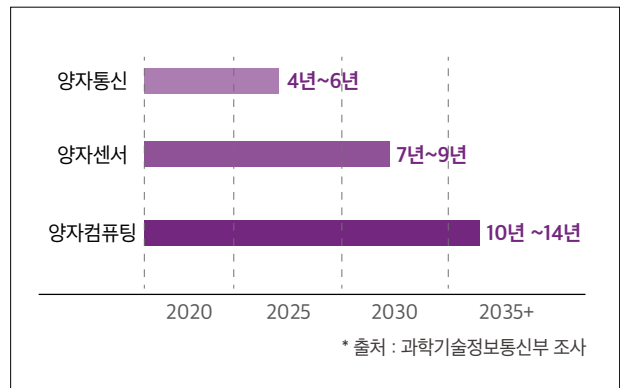
현재 전 세계 양자시장 규모는 21억달러(2.7조원) 규모에 불과하나 연평균 20% 이상의 높은 성장을 예고하고 있다. 양자암호통신의 경우 이미 초기 상용화 단계에 진입했으며, 양자 센서는 향후 7년에서 9년 사이, 양자컴퓨터의 경우 10년에서 15년 사이 상용화 시장이 열릴 것으로 예상되고 있다.



< 양자 시장 규모 전망 >

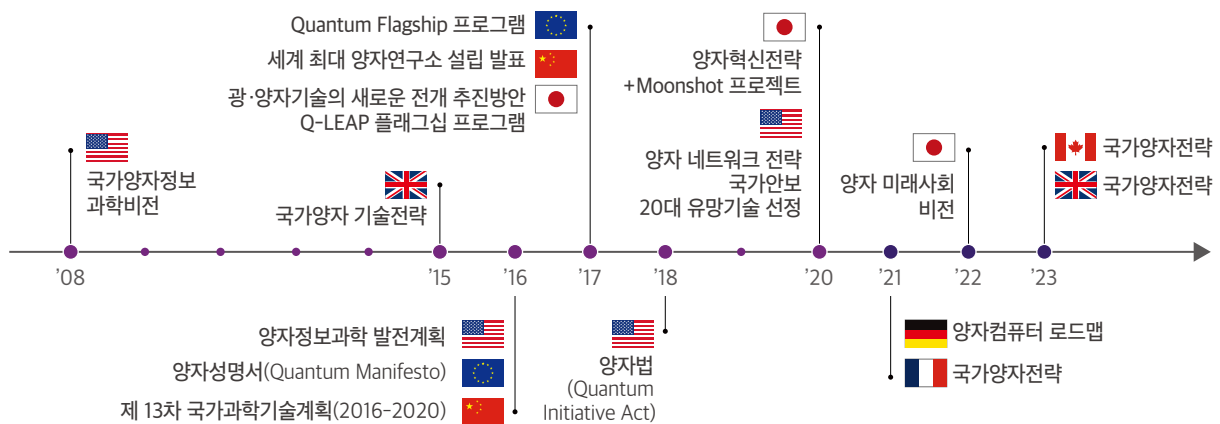
미국, 유럽, 일본, 중국 등 주요 강대국들은 우리보다 앞서 양자과학기술의 범용성과 파괴력에 주목해 범국가적인 발전 전략을 수립하고 대규모 연구개발 투자를 진행해 왔다.

우리나라 역시 최근 양자과학기술을 12대 국가전략기술 및 신성장 4.0 전략 15대 프로젝트의 핵심 분야 중 하나로 선정하고 인력 양성 및 공격적 투자 확대를 통해 선진국과의 격차를 좁히기 위해 노력하고 있다.



< 양자 시장 형성 시점 전망 >

< 각국의 양자과학기술 정책 현황 >



02 반도체 강국에서 양자혁명의 리더로

양자 분야의 일부 핵심원천기술들은 이미 초기 검증단계를 지났다. 하지만 아직 지배적 기술이 두각을 드러내지 못한 채 다양한 후보기술들이 경쟁하고 있으며, 여전히 어느 나라도 완성 수준에 이르지 못하고 있는 만큼 본격적인 경쟁은 지금부터라고 할 수 있다.

세계 최고 반도체·디스플레이 산업 국가의 ‘1등 DNA’

대한민국은 고도의 압축 성장과 빠른 추격을 통해 반도체, 자동차, 조선, 철강, 석유화학 등의 여러 첨단 제조업 분야에서 세계적인 성공을 거뒀다. 특히 반도체 산업 생태계의 인적·물적 역량은 1차 양자혁명에 해당하는 세계 반도체 산업의 성장을 견인해왔으며 곧 도래할 2차 양자혁명의 시대를 이끌 중요한 동력원이다. 세계 최고 수준의 반도체 공정 기술을 보유한 한국 기업들은 양자경제 시대의 핵심기술인 양자프로세서와 반도체 광소자 등의 개발과 양산에서도 선도자의 자리를 지킬 가능성이 높다.

전 세계 최적의 IT·서비스 테스트베드

대한민국은 제조업뿐만 아니라 물류, 교통, 의료, 금융 등의 첨단 서비스 시장에서도 세계를 선도하고 있다. 더불어 우수한 소프트웨어 인력까지 양자과학기술 시대의 구현에 필요한 핵심 자원들을 두루 확보하고 있다. 대한민국은 기존 산업과 양자과학기술의 융합을 통해 다시 한 번 세상에 없던 새로운 부가가치들이 탄생하는 국제적인 실험의 장이 될 것이다.

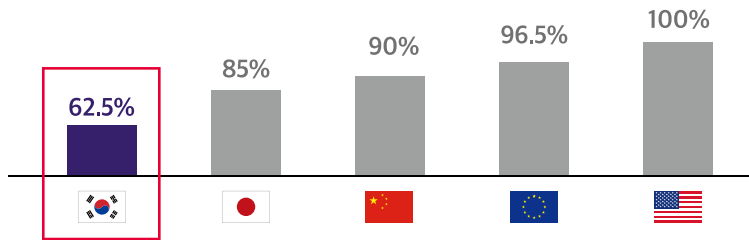
대한민국이 주도하는 양자시대 전략

그간 우리가 축적해온 과학기술 및 산업 역량과 ICT 인프라는 양자과학기술이라는 새로운 기회와 상승작용을 일으키며 대한민국을 양자시대의 선두주자로 끌어올리는 퀀텀점프의 새로운 도약대가 될 것이다. 이에 건국으로부터 90주년이 되는 2035년, 대한민국을 한층 더 공정하고 안전하며 풍요로운 행복국가로 변화시킬 대한민국 양자과학기술 비전과 전략을 제시하고자 한다.

우리나라 양자과학기술 현황

기술수준

최고선도국 대비 62.5% 수준



* 출처 : 2020년 기술수준 평가/KISTEP, '21

인력

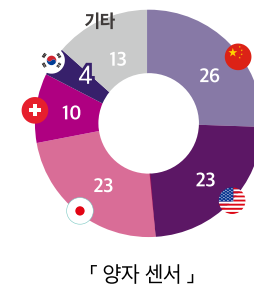
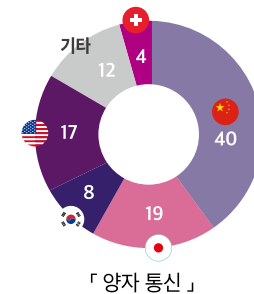
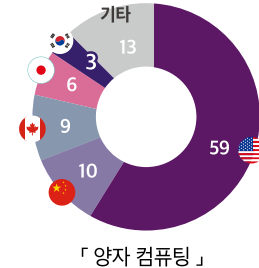
국내 양자인력은 '22년 핵심인력 기준 384명 수준

대학	총 511명	핵심 123명	교수 : 80명 포스닥 : 43명 석·박사과정 : 388명
출연연	총 284명	핵심 189명	박사 : 189명 석사 : 61명 학사 : 34명
기업	총 256명	핵심 72명	박사 : 72명 석사 : 89명 학사 : 95명

* 출처 : 2022년 양자정보기술 백서/과기정통부

특허 출원 현황

(2010~2019 누적, %)



* 출처 : 특허청 (2021)

우리의 강점·약점

- 최고 수준의 ICT 인프라, 반도체 역량 보유
- 국가전략기술 지정 등 높은 정책 우선순위
* 양자법 제정, 범정부 양자특별위원회 구성 등
- 전략로드맵 및 대형 R&D 사업 추진으로 신속한 요소기술 개발 및 시스템 구축 추진
- 양자과학기술이 적용될 자동차, 반도체, 조선 등 발달된 제조 산업 및 서비스 산업 발달
- 국내 높은 고등교육 이수 및 기술인력 보유

- 양자과학기술 관련 핵심인력 부족
- 양자과학기술 개발을 위한 산업 생태계 미흡
- 해외주요국 대비 낮은 R&D 투자, 부족한 소자 공정 인프라

SWOT

- 전세계적으로 양자과학기술은 시작 단계
- 해외 각국도 양자 분야에 대한 투자 확대와 함께 기술 우호국과의 협력 강화

- 군수물품 및 전략물자의 유출을 방지하기 위한 수출통제 강화 및 기술 협력에 제한
- 양자인력에 대한 해외 수요 증가로 양성인력의 해외 유출 우려

03 우리나라 양자과학기술이 걸어온 발자취

- 2014. 12.
양자정보통신
중장기 전략 수립
- 2016. 6.
세종-대전간 LTE망
(30km) 양자암호통신
적용(SKT)
- 2018. 12.
양자정보통신
기술로드맵 마련
- 2019. 3.
서울-대전-대구 5G망
(360km)에 양자암호통신
적용 (SKT)
- 2019. 4.
양자 전용 정부
R&D 프로그램 신설
(컴퓨터, 센서)
- 2020. 4.
양자암호통신 시범
인프라 구축 착수
- 2020. 6.
양자난수칩을 적용한
휴대폰 "갤럭시퀀텀"
출시 (SKT)
- 2020. 6.
양자정보주간
(Quantum Week) 2020
첫 개최
- 2020. 8.
양자정보연구지원센터
개소
- 2021. 3.
세계최고 수준 양자중력
센서 원천기술 확보
(한국표준과학연구원)
- 2021. 4.
양자기술 연구개발
투자 전략 수립
- 2021. 6.
"정보통신진흥및융합활성화
등에 관한 특별법"에
양자정보통신 추가
- 2021. 10.
국가과학기술자문회의 산하
양자기술특별위원회 신설

~2018

2019

2020

2021

2022

- 2022. 1.
양자산업생태계지원센터 개소
- 2022. 3.
이기종 양자암호 서울-부산
적용 (KT)
- 2022. 6.
국가융합망 (범정부국가통신망)
33개 기관에 양자암호통신 도입
- 2022. 6.
50큐비트급 양자컴퓨팅 개발 착수
- 2022. 6.
양자인터넷 연구거점
(ETRI, KIST) 지정
- 2022. 6.
양자컴퓨팅 연구거점
(한국표준과학연구원) 지정
- 2022. 7.
양자암호통신 세계 3번째 서비스
출시 (SKT/KT)

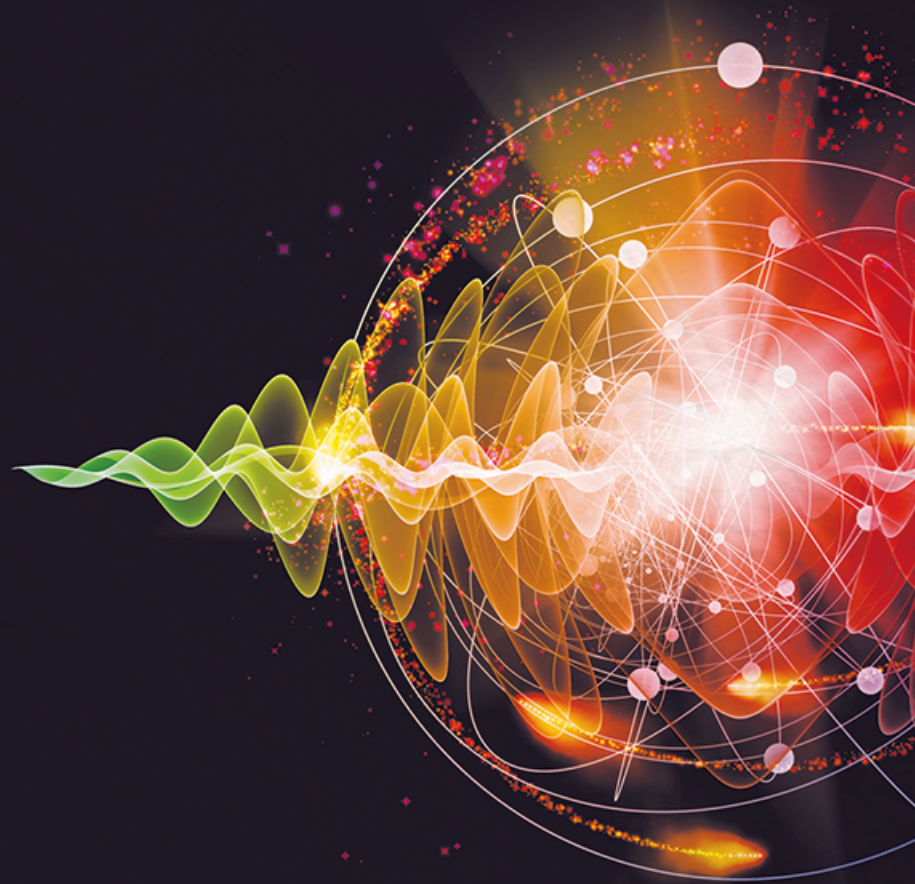
- 2022. 7.
양자내성암호 세계최초 서비스
출시 (LGU+)
- 2022. 9.
한국양자정보학회 창립
- 2022. 9.
한-미 양자기술협력센터 개소
- 2022. 10.
12대 국가전략기술 지정
- 2022. 11.
양자컴퓨팅선도기업연합 창립
- 2022. 12.
양자과학기술 전략로드맵 수립
- 2022. 12.
양자전문인력 확보방안 수립
- 2022. 12.
신성장 4.0 15대 프로젝트로 지정

2023

- 2023. 3.
무선 양자암호 시스템 상용망
(제주 국제 대학) 적용 (KT)
- 2023. 3.
양자 국가기술전략센터 지정
(한국표준과학연구원)
- 2023. 4.
세계최초 양자암호통신 보안검증
제도 시행
- 2023. 4.
양자과학기술 플래그십 프로젝트
예비타당성 조사 착수
- 2023. 6.
퀀텀코리아 2023 개최

양자시대를 여는
우리의 도전과 전략

PART. II
**양자과학기술로
이루는 미래상**



양자 중첩

양자 상태가 확률분포와 위상을 가지고 동시에 중첩되어 존재하고
측정 결과에 대해서는 확률적인 예측만이 가능하다는 특성

$$x = x_1 + mt, y = y_1 + nt, z_1 = z + pt$$

$$x = mz + a, y = nz + b \quad \frac{x-a}{m} = \frac{y-b}{n} =$$

$$y^2 (x+c)^2 + y^2 = 4a - 4a \sqrt{(x-c)^2 + y^2} + (x-c)^2$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{e^x - 1} \right) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 - x}{x(e^x - 1)} =$$

$$y' = (\ln u)' (\sin x)' = \frac{1}{u} \cos x = \frac{\cos x}{\sin x} = \cot x$$

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \frac{b-a}{n}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{4x}{\tan(\pi(2+x))} = \left\{ \frac{0}{0} \right\} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{4x}{\tan 2\pi x} = \frac{4}{2\pi}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \quad a \sum_{i=1}^n x_i^2 + bn = \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$\lim_{x \rightarrow \pi} y = 0$$

$$\sin(3(p-y)) = \sin(3p-3y) = \sin(3p)\cos(3y) - \cos(3p)\sin(3y)$$

01 활력 넘치는 양자 경제 Quantum Economy

한국 경제의 성장을 이끌어온 반도체, 자동차, 조선, 철강, 석유화학 등 국가 주력산업의 글로벌 경쟁이 격화되고 있다. 경쟁자의 추월을 허용하지 않는 초격차 기술의 확보가 절실한 상황에서 양자과학기술이 경쟁력 강화와 생산성 향상의 지렛대가 될 것이다.

대한민국 5대 주력산업의 “초격차” 견인

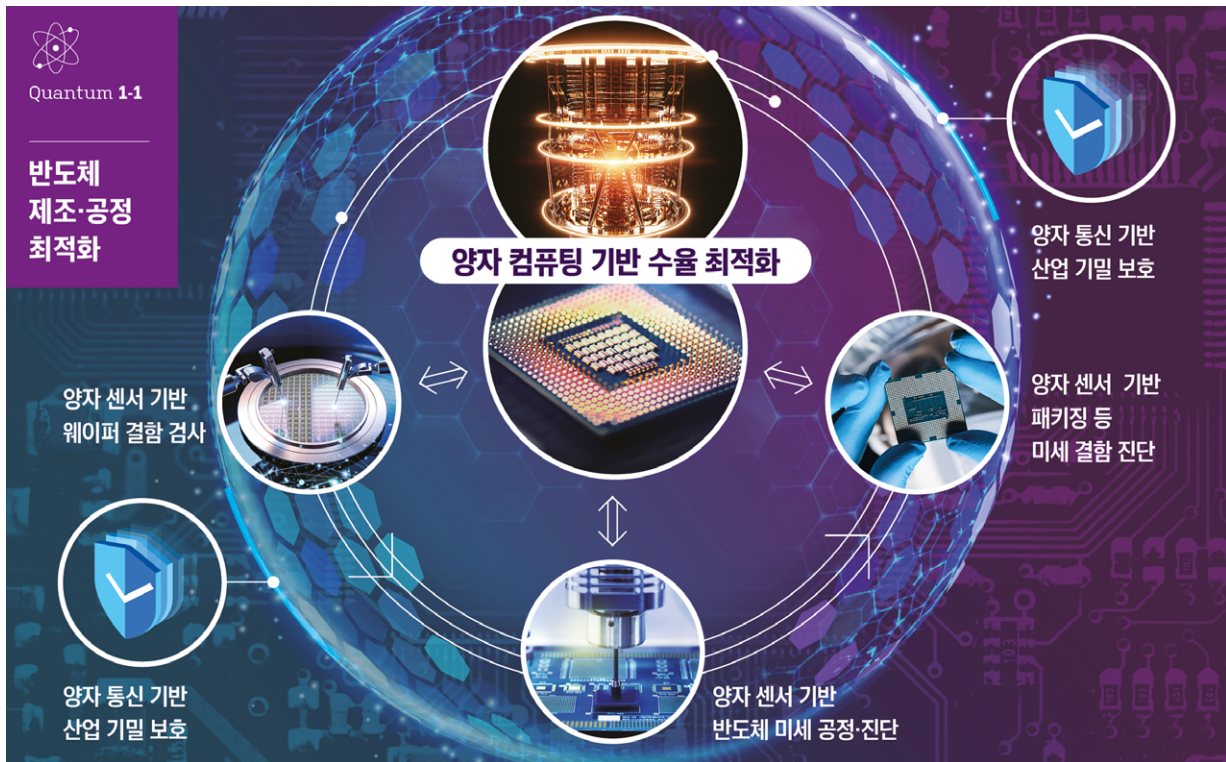
양자 컴퓨팅 기반의 반도체 제조·생산 최적화, 양자 센서 기반의 자율주행 기술과 배터리 등 초미세 공정 설계 혁신, 미세 결함 측정 등 양자과학기술과 첨단 제조기술의 접목은 국내 산업 전반에 비약적인 생산 수율 향상을 가능하게 할 것이다.

인공지능·바이오 등 “첨단산업” 가속화

21세기의 원유 ‘데이터’는 초고속 대용량 데이터 처리와 고도의 데이터 보안이 필요한 바이오·로봇·인공지능 등 미래 첨단산업의 필수재이다. 양자과학기술 기반의 계산, 검출, 보안 능력은 기존 디지털 시스템의 한계를 완전히 극복하며 이들 첨단산업의 발전을 가속화할 것이다. 양자컴퓨터가 수십억 개 이상의 염기쌍으로 구성된 DNA를 분석하고 방대한 양의 염기서열 변이 데이터를 처리하여 혁신적인 질병치료 기술과 신약개발의 물꼬를 트게 할 것이다. 수천억에서 조 단위의 파라미터를 처리하는 초거대 인공지능 발달을 가속화하며, 인간을 닮은 휴먼로봇의 등장을 앞당기게 할 것이다.

우주·자원·에너지 등 “新 기간산업”의 대도약

지구자원 고갈과 소행성 충돌 등 전 지구적 대응이 필요한 문제가 잦아지며 우주·자원·에너지 등 여러 분야에서 더욱 긴밀한 국제 공조와 협력이 요구되고 있다. 양자컴퓨터가 국제사회의 거대 이슈 해결의 단초를 제공하고, 양자항법 기술이 인류의 지평을 지구 밖으로 확장해 우주 자원 개발을 가능케 할 것이다. 양자컴퓨터는 우주의 생성·진화의 비밀을 밝히는 거대 실험 및 계산에 활용될 것이다. 또한 양자 시뮬레이션으로 질소고정의 원리가 규명되면 전세계적으로 비료 생산에 드는 막대한 에너지 비용을 절감하고 글로벌 에너지 이슈 해결에 단초를 제공할 것으로 기대된다.



02 안전한 양자 사회 Quantum Safety

“당신의 창으로 당신의 방패를 뚫으면 어떻게 되는가?” 고사성어 모순(矛盾)은 모든 것을 뚫는 양자컴퓨터와 모든 것을 막는 양자암호 기술이 치열한 각축전을 벌이게 될 가까운 미래상에 관한 이야기이기도 하다.

해킹·유출로부터 자유로운 초고속 정보 사회

전자상거래 및 IT 정보 서비스의 보편화에 따라 개인정보 유출, 해킹, 도청 등에 대한 보안능력은 우리사회 질서를 유지하는 핵심 기능이 되고 있다. 도청과 해킹이 불가능한 양자암호통신 기반의 정보처리 기술들이 통신보안, 금융거래, 의료데이터 등의 개인정보 유출위험을 원천적으로 차단하게 될 것이다. 현재 일부 스마트폰과 자동차 보안시스템에 적용되고 있는 양자 난수발생기와 같은 암호보안모듈이 시스템 단위로 확장·진화되면서 미래에는 양자과학기술을 활용한 새로운 보안 산업 및 서비스가 활발히 창출될 것이다.

과학기술 강군과 국가안보

복잡다기한 국제정세 속에서 현재 세계 각국은 최첨단 기술 기반의 새로운 군비 경쟁에 뛰어들고 있다. 상대방의 암호체계를 무력화할 수 있는 양자컴퓨터를 비롯해 도·감청이 시도되면 실시간 탐지되는 정보가 바뀌는 양자암호 기술, 무인 비행체 등의 저반사체를 원격 탐지하는 양자 레이더, GPS 위치정보가 없는 심해 또는 전시 상황에서 사용할 수 있는 잠수함/항공기 항법시스템 등 새로운 무기체계에 대한 관심과 연구가 집중되고 있다. 우리나라 역시 국방 안보 분야에 첨단 양자과학기술을 적용하여 과학기술 강군의 면모를 더해 나갈 것이다.

재난 및 사고 예방

양자 센서는 획기적으로 향상된 감도, 정밀도, 분해능으로 국민의 삶을 지속적으로 위협하는 자연재해와 유해가스 누출 및 대형 화재 등 사회 위험 요소들을 실시간으로 조기에 탐지하여 사전에 방지할 것이다. 또한 양자 센서로 지표 하부의 미세 신호를 민감하게 포착하여 도심 싱크홀 등 각종 도시 재난의 사전감지와 화산 및 지진의 활동으로 인한 인명과 재산 피해를 줄이는데 기여할 것으로 기대된다.



03 행복한 양자 일상 Quantum Life

양자과학기술은 국민의 일상과 밀접한 의료·기상·교통기술 등의 한계를 극복하여 모든 국민이 보다 안전하고 건강한 삶을 누리게 한다. 다양한 변수 해석과 최적의 솔루션 도출 능력이 뛰어난 양자컴퓨터와 양자 센서 기술의 도입이 신속·정확한 최적의 사회문제 솔루션 확보뿐만 아니라 막대한 비용 절감까지 가능하게 할 것이다.

혁신 신약 개발 및 고품질 의료서비스 제공

양자과학기술과 인공지능의 접목은 더욱 정확한 질병 진단과 치료를 가능하게 한다. 양자컴퓨팅 기반의 고성능 인공지능 기술은 환자의 질병에 최적화된 임상 데이터와 치료법을 제공할 것이다. 또한 양자센서 기술의 발달은 CT와 MRI보다 더욱 정밀한 영상 스캔과 분석 결과를 제공하여 초기 암 진단 등을 가능하게 하고, 살아 있는 바이러스의 관측으로 새로운 기전의 치료제 개발에 도움을 주어 첨단 의료기술 발전에 새로운 가능성을 열어줄 것이다.

정교한 기상·기후 예측

전 지구적 기후변화가 식량 생산, 주거 환경, 신변중 감염병 발생 등 국민의 일상에 더욱 직접적으로 영향을 미치고 있다. 미래에는 양자 센서를 통해 더욱 정밀한 데이터를 확보하고, 양자컴퓨터의 초고속 대용량 연산력을 변동성이 높은 기상 데이터의 실시간 가공·분석에 활용하게 될 것이다. 이를 통해 기상기후 정보 제공의 신뢰도를 높이고 기상재해의 해법을 찾아 한층 건강하고 쾌적한 국민의 일상을 가능하게 할 것이다.

최적화된 교통 서비스 제공

양자라이더와 양자시간센서는 정확한 위치 정보와 주변 센싱 능력으로 보다 완벽한 완전자율 자동차·선박·항공기 시대를 여는 데 기여할 것이다. 지상은 물론 도심항공교통(UAM), 목적기반형 모빌리티 등으로 더욱 확대되고 있는 대도시 교통 시스템의 다양한 변수 분석과 실시간 예측으로 국민들에게 더욱 안전하고 편리한 교통 일상을 제공하게 될 것이다.



양자시대를 여는
우리의 도전과 전략

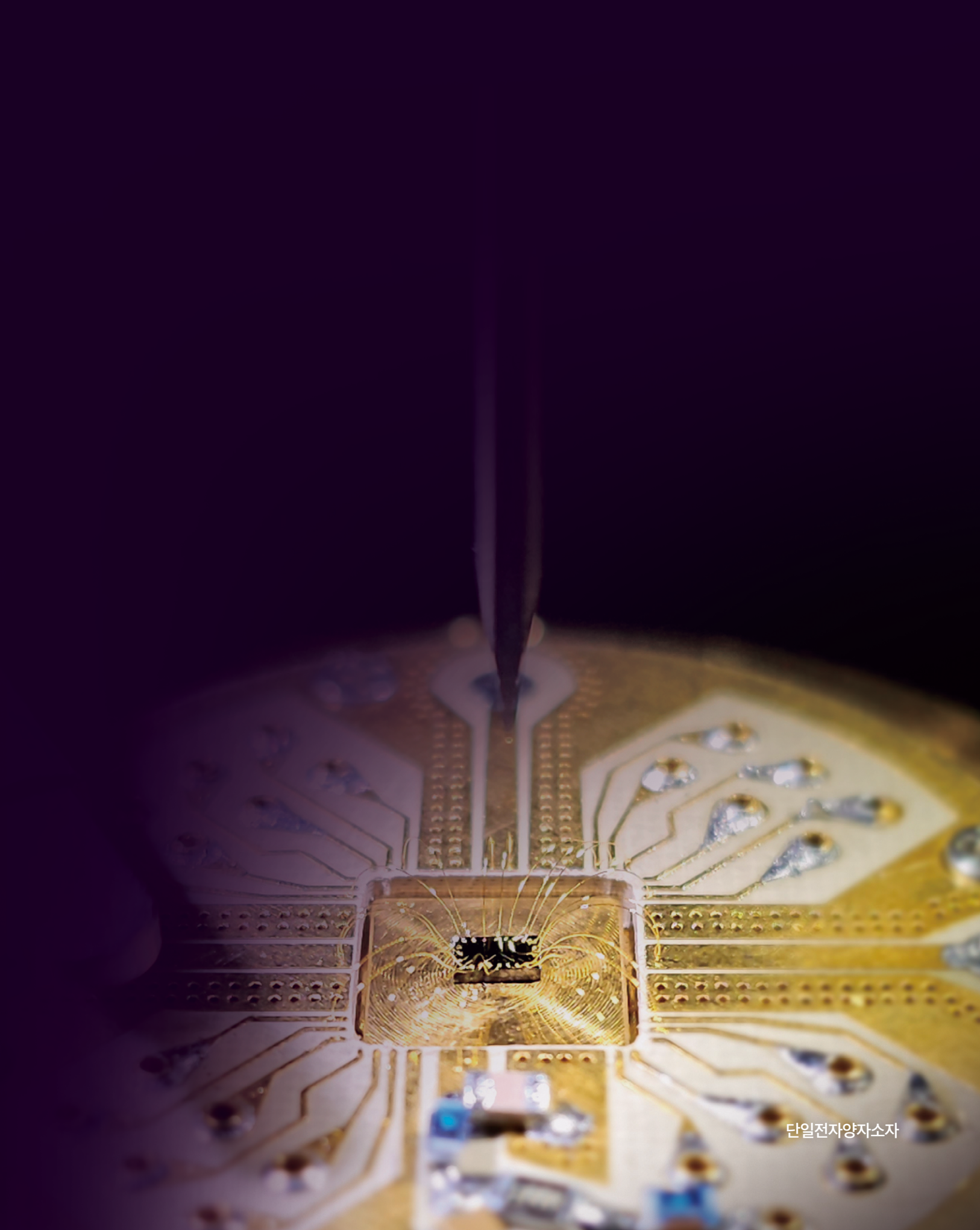
PART. III

대한민국 양자과학기술의 비전과 정책목표



양자 불확정성

양자의 물리량에 대한 측정결과는 확률로 주어지며,
둘 이상의 물리량을 동시에는 정확하게 측정할 수 없는 경우가 존재함



단일전자양자소자

대한민국 양자과학기술의 비전과 정책목표

VISION

2035년 대한민국,
글로벌 양자경제 중심국가로 우뚝 서겠습니다.

정책 목표

우리 기술로
양자 컴퓨터
개발 활용

인터넷 강국에서
양자 인터넷
강국 도약

최고 수준
양자센서로
세계시장 선점

전략 과제

Entanglement
얽힘 생태계 조성

양자 핵심인재 2,500명
글로벌 인력 순환 500명

- 양자융합 인재 육성
- 양자 소재·공정 인프라 확충
- 양자 소재 부품 장비 고도화
- 기술동맹 공급망 확보

Quantum Jump
도약 양자과학기술 발전

기술 수준 85%
양자 컴퓨팅 80%, 양자 통신/센서 90%

- 한국형 양자컴퓨터 서비스
- 초기 양자네트워크 실증
- 세계 최고 양자센서 시작품
- 양자기초연구 지원

Superposition
중첩 기술-산업 융합

세계 시장 점유율 10%
양자 활용 공급기업 1,200개

- 양자 활용 수요 창출
- 양자 스타트업, 산업화 지원
- 국방·안보 적용
- 양자 집중권역 육성

투자

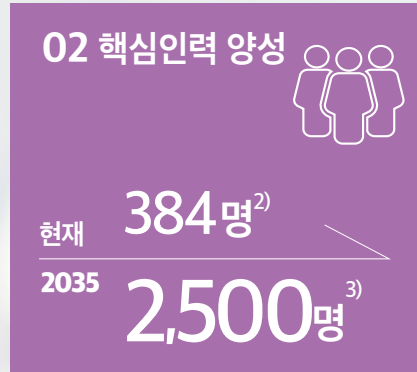
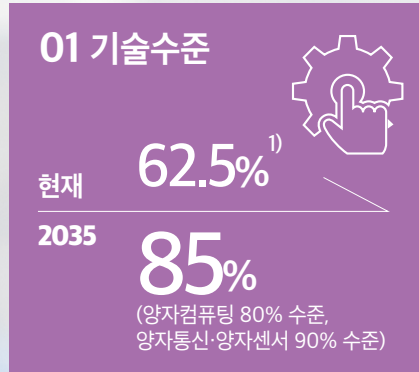


민-관 협력 투자 3조 원 이상

(기초연구+산업·응용) [정부] 2.4조원(2023~2035), [민간] 6천억원(2023~2027)

주요 핵심 지표

● 과학기술 ● 산업 시장 ● 국제 공조 ● 투자



1) 2020년 기술수준조사(KISTEP, 2021)

2) 양자정보기술백서(미래양자융합포럼, 2022)

3) 양자대학원, 해외파견·연수 등 정부 인력양성 지원사업을 통해 양성되는 양자핵심인력 수(누적치)

4) Mind Commerce, 2022 기준(미국(21.4%), 중국(11.2%), 캐나다(7.8%) 일본(7.3%) 순)

5) 미래양자포럼, 양자컴퓨팅선도기업연합에 등록된 국내 양자과학기술 공급 기업, 양자 소부장 기업, 양자 제품·서비스 기업 수

6) 양자과학기술이 활용될 수 있는 의료·의약, 반도체, 컴퓨터, 통신기기, 가전, 정밀기기, 정밀화학, 항공, 자동차, 정보·통신, 금융·보험 산업 사업체 수 합계 ('20년 약 25만개)의 0.5% 수준

7) 정부 양자분야 전용사업 중 국제협력(국제공동연구, 인력교류) 예산(누적치)

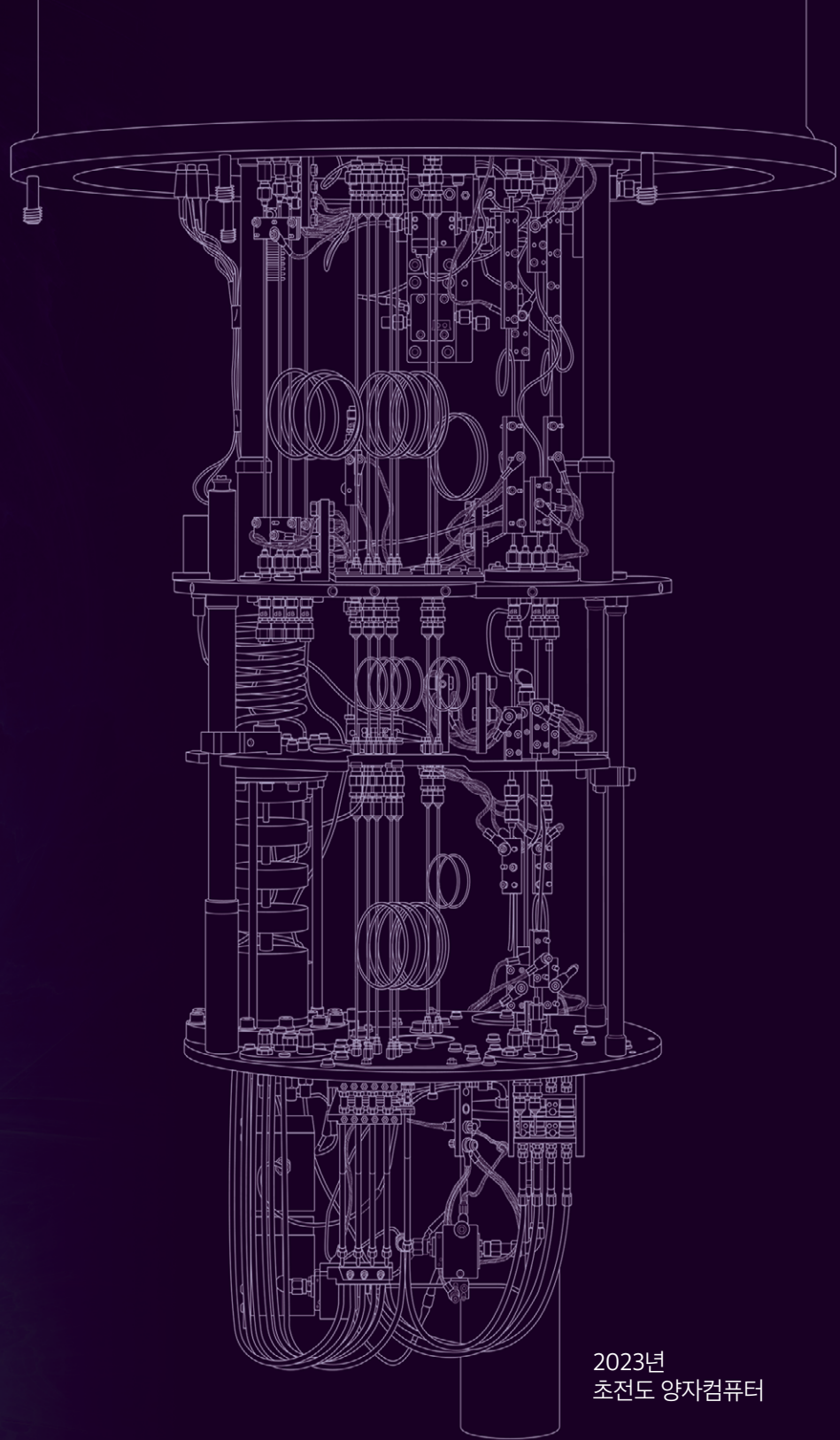
양자시대를 여는
우리의 도전과 전략

PART. IV

양자경제 실현을 위한 3단계 발전 전략













입자파동 이중성

모든 물질이 입자와 파동의 성질을 동시에 지니는 성질



2023년
초전도 양자컴퓨터

양자경제 실현을 위한 3단계 발전 전략

구분	현재	1단계 '23~'27 양자센서·양자암호 통신 산업화 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 시작품)	전국망 기반 양자인터넷 시범 구축
양자센서	양자센서 원천기술	이차전지 등 첨단산업 활용 양자센서 상용화	국방/의료/반도체 활용 세계 최고 수준 양자센서 융복합시스템(시작품) 개발	양자센서로 양자산업 기반 마련
인프라	 양자팍(단일) 운영	 공공 개방형* 양자팍 확충 공정인력 집중 양성 (*연구자 직접 사용)	 공공 전문생산 양자팍 (파운드리) 구축·운영	 민간 전문생산 양자팍(파운드리) 확산

양자기기
(양자컴퓨팅-
통신-센서 간)
연계 실증

1단계

2023~2027년

기초 양자 생태계 집중 조성 및
양자센서·양자암호통신
산업화 촉진



국내 산학연의 역량을 총결집하여 우선적으로 구현할 국가적 임무를 도출한다. 이를 달성하기 위한 임무지향적 연구개발을 추진하여 우리나라 양자 분야 기술 수준을 최선도국 대비 현 62.5% 수준에서 70%로 향상시킨다.

2027년 50큐비트 급 초전도 양자컴퓨팅 시스템을 개발하고 양자컴퓨터의 경제·사회적 활용 가능성을 탐색하는 다양한 시도를 지원한다. 상용화 초기 단계에 진입한 양자 암호통신을 확산하고, 양자정보 저장용 메모리, 양자전송 등 양자 네트워크 핵심 기술을 확보한다. 4대 양자센서(관성, 시간, 전자기장, 이미징) 원천기술을 지속적으로 개발하는 한편, 이차전지 등 첨단산업에 활용할 수 있는 양자센서를 개발하여 상용화한다.

양자대학원, 교육·연구 거점센터(ITRC, SRC/ERC 등)를 확충하여 현 380명 수준의 고급 핵심인력을 700명 수준으로 확대 하고 양자 기초 연구도 지속적으로 지원한다. 연구자가 직접 사용할 수 있는 개방형 공공 양자팍 등 다양한 연구활동을 지원하는 인프라를 구축하고, 소자 공정 전문인력을 집중 육성한다.

2단계

2028~2031년

양자 컴퓨팅 시스템 국산화 추진 및
양자과학기술·산업
강국 도약



요소기술의 집적화로 시스템 수준의 연구개발(R&D)을 추진하여 기술수준을 최선도국 대비 80%까지 높인다. 2031년까지 세계적 수준의 신뢰도를 보유한 1,000큐비트 급 양자컴퓨터와 양자정보를 변환·저장하는 양자메모리 기반 양자중계기를 개발하여 도시 간 양자 네트워크 초기 실증을 추진한다.

국방·의료·반도체 등의 분야에서 활용할 수 있는 세계 최고 수준의 양자센서 융복합 시스템을 개발한다. 더불어 새로운 혁신의 원천인 양자 이론 및 기초연구에 대한 지원도 지속하고, 양자교육과정 고도화 등 인력 저변 확대를 통해 핵심인력을 1,400명 규모로 육성한다. 또한 양자과학기술 연구개발 성과의 산업화를 위해 상용화 및 창업 지원, 규제 개선 등 다양한 제도적 지원을 강화하는 한편, 고품질의 양자 소자를 연구·산업용으로 제공하기 위해 고도화된 전문생산 양자팍(파운드리)도 운영한다. 국내 양자과학기술의 발전과 공급망 보호를 위해 양자 시스템을 구성하는 소재·부품·장비의 연구개발과 산업화를 추진하고 이를 통해 양자 경제로의 전환을 뒷받침한다.

3단계

2032~2035년

글로벌 양자시스템 선도 기반
세계 양자경제 주도 및
국방 강국 구현



기초원천 및 산업응용 R&D의 균형 발전으로 최선도국 대비 85%의 양자과학기술 수준에 도달해 국제적인 리더십을 확보하고, 사회경제적으로 유의미한 양자 이득을 구현한다.

양자컴퓨터와 양자 센서 또는 다수의 양자컴퓨터를 양자 네트워크로 연결하는 양자 기기 간 연계를 실증해 양자과학기술의 파괴적 혁신을 견인한다. 지속적인 글로벌 경쟁력 유지를 위해 양자 핵심인력 규모를 2,500명까지 확대한다. 양자과학기술의 본격적인 상용화로 견고한 양자 산업 생태계를 구축하고 민간 주도의 양자 소자 파운드리가 확산되어 대한민국이 글로벌 양자 일류 국가로 자리매김한다.

양자시대를 여는
우리의 도전과 전략

PART. V

7대 추진 방향

양자 불확정성

양자의 물리량에 대한 측정결과는 확률로 주어지며,
둘 이상의 물리량을 동시에는 정확하게 측정할 수 없는 경우가 존재함



01 양자 인력 확보 최우선

대한민국 양자과학기술의 성패는 우수한 양자과학기술 인재의 확보에 달려 있다. 양자과학기술의 균형잡힌 발전을 위해서는 양자물리적 원리와 현상을 심도 있게 이해하는 인력(양자핵심인력)과 이를 시스템적으로 구현하고 운영할 수 있는 전기·전자, ICT, 시스템·제어 공학 기반의 다양한 엔지니어링 인력(양자엔지니어)을 모두 확보해야 한다.

현재 국내 양자 핵심인력은 대학, 연구계, 산업계에 약 380여 명이 있으며 전문적인 양자 엔지니어링 인력은 크게 부족한 상황이다. 높은 학문적 난이도, 빈약한 산업 생태계, 고급인력 유인 요소의 부족 등이 인재 확보에 걸림돌이 되고 있다.

양자과학기술 인재 양성 추진

2035년까지 양자과학기술 핵심인력 2,500명을 집중 양성한다.

정부는 양자대학원을 확충하여 석·박사 과정을 대상으로 양자 과학기술 이론-실습-프로젝트를 통합적으로 제공하고, ITRC 등 대학·연구소의 양자 교육·연구 센터 지정, 해외 파견·연수 등을 통해 양자 핵심인력을 양성한다. 또한 대학 및 대학원의 양자 관련 학과 신·증설이 용이하도록 제도적으로 지원한다. 또한 전기전자, 컴퓨터, 정보통신 등 유관 학과를 대상으로 양자 교육 프로그램 운영과 양자 융합 프로젝트를 지원해 양자 엔지니어의 다양한 성장 경로를 제시한다. 이러한 노력들을 통해 2035년 연구자, HW/SW/시스템 엔지니어, 기타 제조·활용 산업 종사자 등 약 1만 명의 양자인력을 확보한다.

양자과학기술 인력의 안정적 국내 정착을 지원한다.

국내 양자 산업 생태계가 성숙되지 못한 점을 고려하여 초기에는 양자 전공 인력의 관련 진로 정착과 연구몰입 환경을 지원한다. 관련 대학 및 정부출연연구소를 양자연구거점으로 지정하고 대형 양자 분야 정부연구개발사업을 추진하여, 공공 부문이 양자 연구 일자리 창출을 견인한다. 이어 산업계가 참여하는 양자 과제 추진, 산업계 채용 양자 인력에 대한 지원 등으로 민간 부문 정착도 지원한다.

글로벌 양자과학기술 인재 선순환 체계 구축

국내 연구자의 해외 파견을 통한 양자과학기술 역량 확보의 기회를 제공한다.

국내 석·박사 및 박사후 연구원들의 해외 공동 연구와 교류·협력에 대한 지원을 확대한다. 국내 양자과학기술 활용 희망 산업계 종사자, 석박사 과정생 등을 글로벌 양자 선도기업에 파견하는 교육·훈련 프로그램을 운영해 양자 분야의 선진 지식 흡수와 활용 역량의 자생력 강화에 힘쓴다. 구체적으로 2035년까지 500여 명의 양자 관련 인력에 대해 파견·교류 기회를 제공함으로써 글로벌 기술 교류 채널을 확보해 나간다.

해외 우수 양자 과학기술자 유치 및 국제 공동연구와 교류를 활성화한다.

해외 우수 연구자 유치를 위해 현행 해외 우수과학자 유치사업을 확대·개편한다. 외국인 우수 연구자에 대해 사업 단장 또는 과제 수행 기회를 부여하여 글로벌 인재 유치에 노력한다. 양자과학기술 주요 선진국과의 공동연구를 지원하고, 신진 연구자의 해외연수·공동연구 기회를 확대 제공한다. 해외 현지에서 운영되는 권역별 국제공동연구센터, 공동랩, 석학급 해외 연구자 교류 프로그램 등을 추진한다.

초·중·고 양자인력 육성 저변 확대

영재 대상 맞춤형 교육·체험 프로그램을 통하여 양자시대의 미래를 준비한다.

영재학교, 과학고 학생이 양자과학기술 관련 심화과목을 선택·학습하여, 조기에 양자과학기술 전문인력으로 성장할 수 있도록 교육과정 운영을 지원한다.

일반 국민 및 초·중·고생 대상 교육·체험 프로그램으로 양자과학기술의 저변을 확대한다.

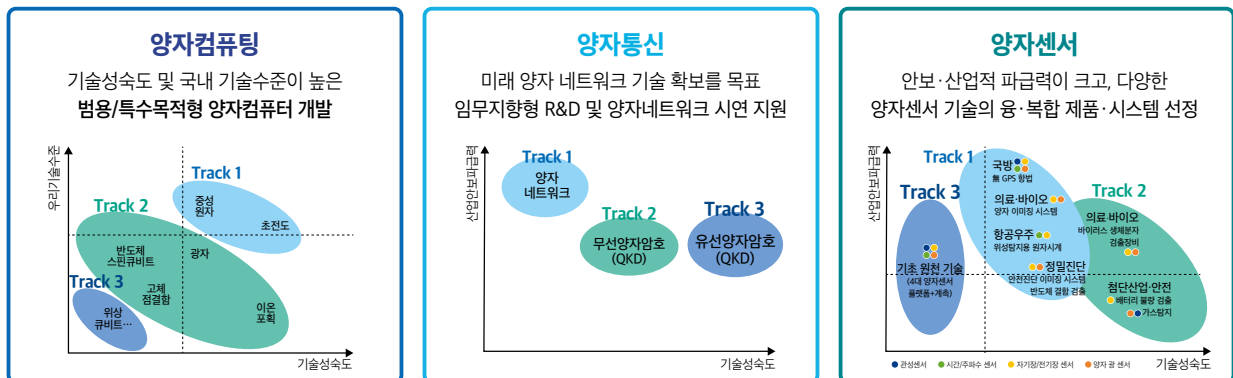
양자물리학, 수학, 컴퓨터 과학 등을 소개하는 대중적 콘텐츠와 양자과학기술의 기본개념을 쉽게 이해할 수 있는 초·중등용 교육용 콘텐츠 교안·교재를 개발하여 보급한다. 국립과학관 등을 중심으로 상설 교육·체험 프로그램을 운영하고, 대학생·일반인들이 참여하는 양자 해커톤 대회 개최로 양자과학기술에 대한 대중적 관심을 높여나간다.

02 임무지향적 연구개발 추진

양자과학기술은 전 세계적으로 경제·사회 전반에서 혁신을 불러일으킬 게임체인저 기술이다. 더욱이 국방·안보 측면에서 활용가치가 큰 전략기술로 세계 각 국도 양자과학기술 및 관련 핵심 부품·장비에 대한 수출 통제를 강화해 나가고 있다. 현재 국내기술 수준은 최선도국인 미국 대비 62.5%* 수준으로 자체적인 역량 확보가 시급하다.

* 「2020년 기술수준 평가(한국과학기술기획평가원)」 기준

이에 우리 정부는 2021년 ‘양자’를 국가전략기술로 지정하고, 2022년 12월 양자과학기술 전략로드맵을 통해 양자컴퓨팅, 양자통신, 양자 센서에 대한 개발 목표와 마일스톤, 지원 전략을 제시하였다. 여기에서는 각 분야마다 세부방식별 기술 성숙도와 국내 기술수준 등을 고려하여 지원방식을 유형화하여 제시하였는데, 이중 2031년까지 명확한 목표를 설정하여 개발을 추진할 기술(임무지향)을 중심으로 “양자과학기술 플래그십 프로젝트”를 추진하고, 나머지 유형에 대해서도 기술발전 추이 및 기술 환경 변화 등을 반영하여 기술개발을 지원해 나갈 계획이다.



양자컴퓨팅 시스템 기술 확보 및 활용기술 개발

2030년대 초 1,000큐비트급 양자컴퓨터 개발을 목표로 자체 핵심기술을 확보한다.

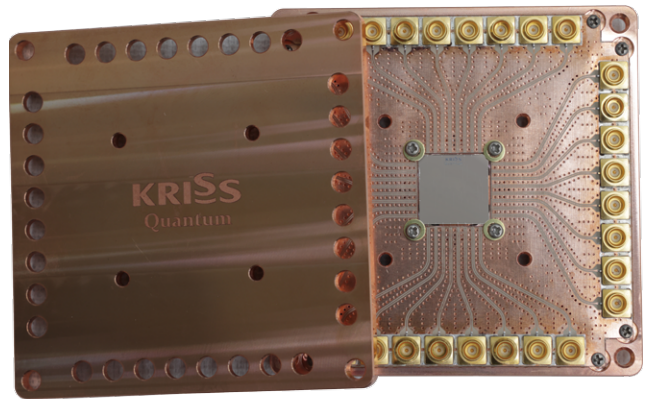
양자컴퓨팅 기술의 경우, 현재 시장지배적 기술이 정해지지 않은 가운데 다양한 후보 방식(플랫폼¹⁾) 간 경쟁이 진행 중이다. 정부는 각 플랫폼의 혁신 가능성을 열어두고 기술로드맵을 마련하였으며, 기술성숙도와 국내 기술수준에 따라 유형별 맞춤형 지원을 추진해 나간다.

1) 소프트웨어로 구동 가능한 컴퓨터 하드웨어 구조

우선 1000큐비트 급 초전도 기반 범용 양자컴퓨터²⁾ 기술 개발 및 시스템 구축에 주력한다. 또한 특수목적용의 중성원자 양자컴퓨터³⁾ 개발을 통해 보다 신속한 기술경쟁력 확보를 추진한다. 이를 통해 초대규모 시스템 구현을 위한 기반 기술을 확보하고 하드웨어 계산의 오류를 최소화하는 초기 오류 내성 기술 확보를 중점 지원하여 세계적 수준의 신뢰도를 달성한다. 다양한 양자컴퓨터 방식(이온포획⁴⁾, 광자⁵⁾, 반도체 스핀⁶⁾, 고체점결함⁷⁾ 등)에 대한 도전적인 연구개발을 지원하고 기술 발달 추이를 반영하여 시스템화 연구를 추진한다. 효율적 컴퓨팅 자원 구축으로 가까운 미래에 양자컴퓨터 활용을 촉진하기 위해 고전-양자 컴퓨터 연계(하이브리드) 방식에 대해서도 기술 개발을 촉진해 나간다.

양자컴퓨팅 활용 시장 선점을 위해 양자 소프트웨어 기술을 확보한다.

양자컴퓨팅 HW 플랫폼과 연계하여 효율적으로 양자컴퓨터 시스템이 동작할 수 있도록 양자컴퓨터 하드웨어를 운영·제어·처리하는 데 필수적인 양자컴퓨터 운용 SW(인터페이스, 컨트롤러 등 포함) 개발을 추진한다. 양자컴퓨터의 활용에 필수적인 기술로서 금융, 의료 등 산업 전반에 적용하여 검증할 수 있는 양자 최적화계산, 양자시 등 양자 알고리즘 연구 및 양자 소프트웨어 개발을 추진한다.



< (좌) 초전도 기반 양자컴퓨터, (우) 초전도 큐비트 소자 패키지 (한국표준과학연구원) >

2) 매우 낮은 온도에서 전기저항이 0이 되는 초전도 현상을 활용하여 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

3) 레이저 기술로 중성원자를 포획·제어·측정하여 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

4) 진공상태에서 전자기력을 이용해 이온 입자를 가두어 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

5) 광자에 정보를 부여하여 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

6) 반도체 구조에 갇힌 입자의 스핀 상태를 활용하여 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

7) 고체 내에 존재하는 점결함으로 만들어진 인공원자를 활용하여 양자 연산을 수행하는 양자컴퓨터

세계 최초 초안전성·신뢰도의 양자통신 기술 구현

2030년대 100km급 양자 네트워크 기술을 개발하고 도시 간 실증을 추진한다.

안전하고 신뢰성 높은 양자 통신의 상용화에는 장거리로 양자 신호를 보낼 수 있는 기술이 필수적이다. 산업·안보 파급력이 큰 양자 메모리⁸⁾, 양자 중계기⁹⁾, 양자 위성통신 기술 등 양자 네트워크 핵심 기술을 개발 확보하고, 100km 이상 떨어진 도시 간 양자얽힘 양자네트워크를 구축·실증한다. 나아가 통신 기술로서 양자 네트워크 기술뿐만 아니라, 양자컴퓨터와 양자센서, 복수의 양자컴퓨터 등 다양한 양자 기기 간 연계 실증을 통해 중장기적으로 양자 인터넷 시대를 구현한다.

민·관 공동으로 전국망급 유선 양자암호통신 실증 및 확산을 추진한다.

시스템 상용화 초기 단계에 진입한 유선 양자암호통신의 활용성 증대를 위해 성능·전송속도·거리 고도화 노력을 기울여 중계기 없이 500km 이상 전국망급 유선 양자암호통신을 구현한다. 높은 보안이 요구되는 국방·의료 분야 등에 적용 가능한 임무지향형 연구개발을 추진하고 민관 공동 투자 및 실증과 연계한다. 양자암호통신망의 망 확장성 및 활용범위 확대를 위해 학·연·산 협력연구 중심의 R&D 사업을 지원하여 이동형·위성용 장거리 무선 양자암호통신 핵심기술을 확보한다.



< (좌) QKD 장비(코워버, KT), (우) QKD 및 양자통신 활용 가능한 초전도 나노와이어 단일광자 검출기(IDQ) >

세계 최고 수준 국방·첨단 산업 견인 초고정밀 양자 센서 개발

無 GPS 항법, 위성 탑재용 원자시계로 독자적인 첨단국방·우주개척 역량을 확보한다.

국방·공공 분야에서 적용이 가능한 無 GPS 항법 기술과 한국형 위성항법시스템(KPS) 등을 중심으로 세계 최고 수준의 양자 센서 기술을 확보한다. GPS 신호가 도달하지 않는 수중, 터널 또는 GPS의 재밍(전파방해·교란) 상황 등 각종 무기체계 운용이 제한되는 상황에서 활용가능한 양자과학기술 기반의 無 GPS 항법 기술을 개발한다. 또한 대한민국의 독자 위성항법체계인 한국형 위성항법시스템(KPS, Korean Positioning System)에 탑재할 초정밀 원자시계를 개발하여 한반도 인근에 초정밀 지역 항법을 제공하는데 기여한다

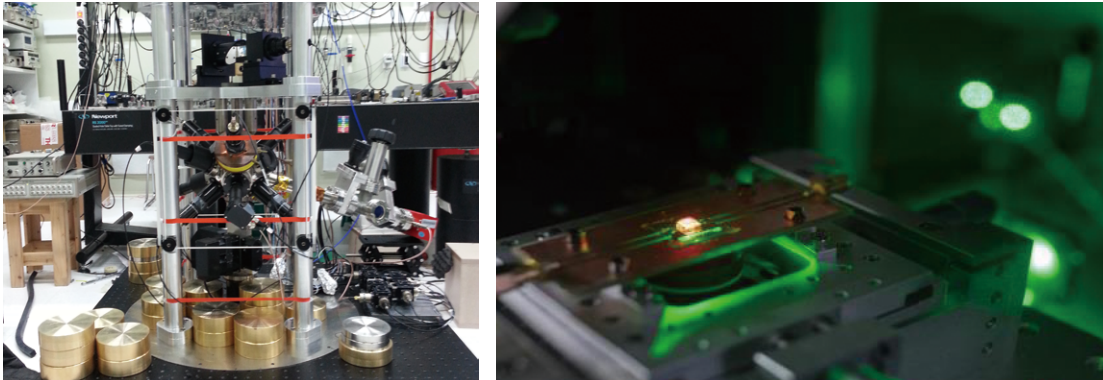
8) 양자 기기 간 정보를 전환하고, 고전 컴퓨터의 메모리와 같이 양자 상태로 데이터를 저장할 수 있는 장치

9) 양자 메모리 등으로 구성되어 양자 전송 거리 한계(수십 km 이하)를 확장하는 장치

10) 구축 예정인 대한민국의 독자적 위성항법체계(KPS, Korean Positioning System)로 한반도 인근에 초정밀 지역항법을 제공

배터리, 반도체, 의료용 양자 센서 개발로 첨단 미래산업의 경쟁력을 확보한다.

양자 센서의 초고정밀 탐지 능력을 배터리·반도체 등의 생산공정에서 결함 검출에 적용하여 수율 상승을 기대할 수 있다. 바이러스 검출, 생체 분자 분석 등 바이오 분야의 양자센서 기술은 새로운 치료법 개발 및 도입의 마중물이다. 산업계 실수요를 바탕으로 시장 활용에 중점을 둔 양자센서 연구개발을 지원한다. 비교적 기술성숙도나 산업적 활용도가 낮은 기술 분야는 기초 원천 연구를 지원하여 양자센서 원천기술을 확보할 수 있도록 추진한다.

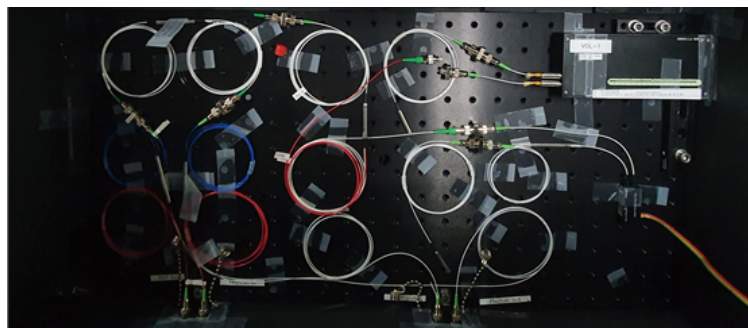


< (좌) 양자 중력계, (우) 양자 이미징 센서 >

다양한 양자 기초연구의 지속 지원

양자과학기술의 다양한 기초연구를 지원하여 혁신 기술을 양성한다.

산업적 활용 가능성이 입증된 양자 컴퓨팅, 양자 통신, 양자 센서 이외에 새롭게 등장하는 양자과학기술 방식에 대한 탐색 연구도 지원하여 국내 양자과학기술이 폭넓은 스펙트럼을 가지고 발달할 수 있도록 장려한다. 양자정보이론, 양자 물성연구, 양자 제어 등 분야에서 기초과학연구원, 대학 등을 중심으로 다양한 양자 기초연구를 지속적으로 지원하여 새로운 가능성 발견 및 기술 발전이 이루어지도록 한다.



< 양자 주파수변환 원천기술(포항공대, Nanophotonics, 2022) >

03 양자 연구·산업 인프라 고도화

양자컴퓨터, 양자통신, 양자센서와 같은 양자응용 시스템에 들어가는 양자소자는 반도체 소자 공정과 유사한 과정을 거쳐 만들어 지는데, 극한의 미시세계에서 일어나는 양자 현상을 다루는 만큼 현존하는 최고 수준(소위 “Quantum Grade”)의 정교한 소자 공정과 소재·부품·장비를 필요로 한다. 현재는 많은 부분을 해외에 의존하고 있으며, 반도체 산업에서 발생하고 있는 공급망 이슈가 장차 양자 산업에서 재현될 수 있다.

우리나라는 뛰어난 반도체 소자 공정 역량을 보유하고 있으며, 반도체 후방산업으로 발전한 장비 산업은 저온, 고진공 챔버 같은 양자 부품·장비 산업으로 성장 가능성을 가지고 있다. 여기에 우주, 핵융합, 중이온 가속기 등 대규모 과학 프로젝트 수행 과정에서 축적된 노하우와 산업 기반 역시 양자 소부장 산업 성장의 촉진제 역할을 할 수 있다.

다만, 아직 양자 산업 시장 규모가 크지 않고 활성화 시점을 예측하기 어렵기 때문에 양자과학기술에 직접 활용할 수 있는 기술과 인프라는 열악하고, 기업들 역시 투자를 주저하고 있다. 우리 연구자들이 창의적이고 도전적인 양자과학기술 연구를 할 수 있도록 연구 인프라 환경을 제공하고, 우리가 가진 장점을 기반으로 중장기적으로 글로벌 양자 파운드리와 소재·부품·장비 시장의 강자가 될 수 있도록 기술 기반을 구축하는데 정부와 민간의 역할이 함께 요구된다.

양자 소자·공정 인프라 강화 및 산업화

연구자 주도의 개방형 양자팍 인프라를 확충하고 양자 파운드리 산업화를 지원한다.

반도체 소자공정 역량을 보유한 기업들이 본격적으로 양자 분야에 진입하기 전까지 마중물로서 정부는 공공팍 구축 및 운영을 확대한다. 공공나노팍, 대학에서 운영 중인 팍을 기반으로 플랫폼별로 특화된 개방형 양자팍을 확충하여 연구자 주도로 도전적인 양자소자 제작·실험을 할 수 있는 환경을 제공한다. 중장기적으로 고품질의 연구·산업용 양자 소자를 제공하기 위해 유망 플랫폼에 대한 공공 양자 파운드리도 추가적으로 확충해 나간다.

양자팍은 패키징 및 측정 장비 기술 확보뿐만 아니라 다양한 개발·실증, 산업체 지원이 가능하도록 지원 허브로서 기능하도록 운영한다. 반도체 소자공정 인력의 양자 소자공정 전문인력으로 전환·유입을 지원하고, 양자산업 전문 인력 양성의 핵심 교두보가 될 수 있도록 한다. 우리 반도체 기업의 역량을 활용하기 위해 양자팍의 운영에 있어 민-관 협력 모델을 마련하고, 중장기적으로 민간 주도의 양자 파운드리를 확산하여 미래 글로벌 양자 파운드리 중심국가로 발전해 나간다.



< 양자칩 (한국표준과학연구원, 한국전자통신연구원) >

양자 소재·부품 제작 기술 확보

양자과학기술 발전을 뒷받침하는 양자 소재·부품 제작기술을 확보하고 산업으로 육성한다.

양자과학기술 혁신 기반인 소재·부품·장비의 주요국 통제가 차츰 강화되는 가운데, 국내 양자과학기술 혁신의 기반이 될 소재·부품·장비 기술 기반을 구축하고, 국내 반도체·장비 산업의 강점을 활용한 부가가치 산업 창출에 도전한다. 극저온 전자부품, 저온 고진공 장비, 큐비트 제어 지원 부품, 양자신호 측정장치, 광학 크리스탈 유전체 소재 등 각 부문별 주요 양자 관련 품목 정보와 인센티브를 제공하여 국내 반도체, 전자 장비·부품 기업들의 양자 공급기업으로 진입을 유도한다. 중요도와 시급성이 높은 품목에 대해서는 정부가 기술개발을 지원하는 한편 양자과학기술 관련 각종 인프라 조달에 국내 강소기업들이 참여할 수 있는 기회를 제공하여 경쟁력 강화를 도모한다.

04 양자 경제를 향한 산업 기반 마련

양자과학기술은 파괴적 혁신기술이나 본격 상용화까지는 상당 시간이 걸릴 것으로 예상되는 기술이다. 따라서 본격 상용화까지 발전의 원동력을 이어가기 위해서는 기술과 산업이 병행 발전하는 나선형 혁신이 반드시 필요한 분야이다. 세계 각국은 경제·안보·산업 측면에서 다양한 효용성을 가지는 양자 산업을 육성하기 위하여 전략적인 투자와 지원을 추진하고 있다. 미국의 경우 구글, IBM 등 IT 대기업뿐만 아니라 100개 가까운 양자 스타트업이 생기면서 산업 생태계 전반에 걸쳐 참여가 활발하다. 이에 비해 국내 양자산업 생태계 조성 및 창업투자는 초기 수준이다. 따라서 양자 산업 생태계의 조기 구축 및 국제적 경쟁력 향상을 위해 정부의 지원과 마중물 역할이 중요하다.

* 미국 양자 스타트업 양자컴퓨팅 60개, 양자통신 19개, 양자센서 13개 (McKinsey&Company, 2022년 6월 기준)

* 2022년부터 양자산업생태계 지원센터를 통해서 양자상용화 지원, 기업 육성을 추진

양자과학기술의 활용 탐색 지원

양자이득탐색, 양자 실증 연구를 통하여 양자 산업 진입을 지원한다.

양자과학기술 활용으로 획득할 수 있는 사회경제적 가치 규모의 불확실성을 고려하여 정부는 산업·국방·공공 등 다양한 영역에서 잠재적 유용성을 확인할 수 있는 양자이득탐색 연구를 지원한다. 민·관 공동개발 및 실증 연구 등을 통하여 기업의 비즈니스 모델을 창출할 수 있도록 지원하고, 각각의 활용 목적에 따라 양자컴퓨터를 작동시키는 알고리즘·소프트웨어를 개발하도록 양자컴퓨터 클라우드 서비스를 지원한다.

* 양자 이득(Quantum Advantage) : 단순히 기능적으로 앞서는 것이 아닌 양자과학기술이 학문적·산업적으로 적용되어 실제 효용성을 가지게 되는 시점

** 2020년부터 양자정보연구지원센터에서 해외 양자컴퓨터 클라우드 공동활용 체계를 구축하여 서비스 제공 중



< (좌) QRNG칩 탑재된 삼성 갤럭시A 퀀텀 스마트폰(삼성전자/SKT), (우) KOREN망에 적용된 QKD 장비(우리넷) >



< (좌) 동시계수 발생기(SDT), (우) 단일광자 검출소자(우리로) >

첨단기술이 주도하는 양자 스타트업 육성 및 유니콘 기업 창출

스타트업 육성 프로젝트, 정책금융 지원 등을 통하여 양자 기업을 육성한다.

초격차 스타트업 1000+ 프로젝트 등 기술 기반 유망 벤처 육성 지원 프로그램 등을 활용하여 양자과학기술 신산업 분야에서 유망 스타트업 발굴에 나선다. 이를 통해 R&D 및 기술사업화 자금 지원, 정책자금, 보증, 수출 연계 지원 등을 통해 스케일업을 지원하는 한편, R&D 자금에 대한 보증, 정책펀드를 통한 투자금 지원으로 기업이 주도하는 양자 연구개발 및 사업화를 촉진한다. 향후 5년간 1.5조원 규모의 혁신성장펀드를 출자하여 양자를 포함한 15대 혁신성장 분야에서 중소·벤처기업의 창출과 성장을 지원한다.

* 초격차 스타트업 1000+ 프로젝트

- 신산업 스타트업 육성사업 : 핵심기술 보유 초격차 스타트업 선발하여 기술사업화, R&D 등 지원
- 딥테크 TIPS : 민간 벤처캐피탈(VC)이 선발한 우수 스타트업에 정부가 R&D 및 사업화 자금 등 매칭 지원

양자집중육성권역 조성 및 제도적 기반 강화

역량 집중화를 위한 양자집중육성권역을 조성하고 시너지를 창출한다.

양자과학기술의 발전과 상용화를 위해서는 기초연구부터 상용화까지 폭넓은 산·학·연 전문가 집단의 역량 결집이 필요하다. 정부는 출연연구소, 거점대학, 기업 등의 집적 및 글로벌 양자 인력 네트워크 구축을 통해 연구개발, 인력양성, 스타트업 성장 등이 복합적으로 이루어질 수 있는 양자집중육성권역 조성을 추진한다.

양자과학기술 산업화의 제도적 기반을 조기에 마련한다.

신기술 영역인 양자과학기술 분야에 대한 산업계의 참여를 촉진하고 민-관 공동프로젝트 활성화를 위한 제도적 기반을 마련한다. 기업이 양자 분야 정부 연구개발사업 참여시 부여되는 의무 매칭 비율을 완화하고, 양자 R&D 투자로 발생하는 특허에 대해 독점적 사용권한을 부여한다. 또한 정부 차원에서 인증·평가 기술, 측정기술 및 표준화에 대한 전략적인 지원을 통하여 양자 산업이 활성화될 수 있도록 선제적으로 적시에 지원한다. 이러한 내용을 법제화하여 안정적인 투자 환경을 제공한다.

05 국방·안보 도입 추진

양자과학기술은 기존 기술의 고전적 한계를 뛰어넘는 파괴적 혁신 기술로 세계 각국은 양자과학기술을 국가 안보의 최우선 기술 중 하나로 집중 육성하고 있다. 특히 기존 고전 국방 기술의 한계를 뛰어넘는 차세대 양자 무기체계가 전장의 우위를 결정할 것으로 예측되며 기존 암호체계 무력화, 도감청·해킹 차단 등 국가 안보 차원의 활용성에 주목하고 있다. 더욱이 고도의 보완성을 요구하는 국방 기술의 경우, 우리 자력기술 확보의 필요성과 시급성이 더욱 크다. 한편, 고도의 양자컴퓨팅 기술 발달은 중요정보 유출, 신원확인 불가, 데이터 신뢰 붕괴 등의 심각한 보안위협을 야기할 수 있다. 미국, EU 등 선도국들은 이미 양자내성암호(Post Quantum Cryptography, PQC) 표준화를 위한 기술공모전을 실시하고 전환 시나리오를 발표하고 있는 만큼 우리나라도 양자내성암호체계로 전환을 체계적으로 대응해 나갈 필요가 있다.

양자과학기술 기반 과학기술 강군 육성

국방 분야 양자과학기술 전략적 투자와 기술개발로 미래전장을 주도한다.

정부는 국방과학기술혁신 기본계획을 통하여 양자과학기술을 국방전략기술로 선정하고, 현존 위협 및 미래전장 대비를 위하여 양자과학기술 분야에 대한 투자를 확대한다. 특히, 양자과학기술 민·군 협력을 통해 앞서 발전해 나가고 있는 민간 기술을 도입하고, 도전적 연구개발 환경의 조성 and 인력 양성으로 우리나라가 양자과학기술로 미래 전장을 주도할 수 있도록 추진한다.

국가 안보 기술 선도를 위한 양자보안 생태계 구축

양자암호통신장비 보안적합성 검증 제도 확대로 양자 보안시장 창출을 지원한다.

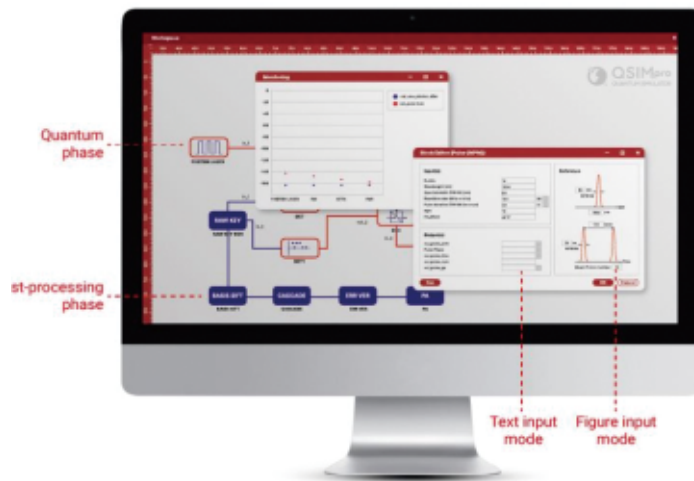
우리 정부는 기존 정보보호 및 네트워크 장비 등에 적용되던 보안적합성 검증 제도를 세계 최초로 양자암호통신장비까지 확대 적용하여, 정부 부처 및 공공기관에 신속하게 도입할 수 있도록 하였다. 이러한 제도가 양자통신 암호화장비, 양자키 관리장비, 양자키 분배장비 등 양자 암호시스템의 실질적인 도입·확산으로 이어지도록 하기 위해 정부는 세부 가이드 라인을 마련하고 시험·검증을 지원해 나간다. 정부·공공기관 도입을 시작으로 축적된 레퍼런스는 우리나라 양자 보안 시장의 조기 정착과 우리 양자 통신기업의 글로벌 시장으로 진출의 밑거름이 될 것이다.

양자과학기술 발달에 따라 국가 차원의 양자내성암호 전환 마스터 플랜을 수립하고, 단계적 전환을 추진한다.

고성능 양자컴퓨터 발달에 따른 현 암호체계 붕괴 위협에 대비하여 정부는 관계부처 합동으로 양자암호내성 암호체계의 전환 절차와 시기, 우선순위, 단계별 목표 등을 담은 국가단위 암호 전환체계 마스터플랜을 연내 수립한다. 또한 이를

뒷받침하기 위해 공모전 등을 통해 한국형 양자내성암호(KpqC) 알고리즘을 확보함과 동시에 그 과정에서 인재양성·연구진흥 등을 통해 국내 양자내성암호분야 기술 경쟁력을 제고한다. 또한 민간 기업들이 자체 개발한 제품에 탑재된 양자내성암호의 성능 및 안전성 등을 시험할 수 있는 테스트베드 환경을 구축·제공하여 실용화를 지원한다.

나아가 금융, 제조, 통신 등 ICT 산업 분야별 암호체계 전환 대상 식별방안 및 양자내성암호 적용 절차 등을 담은 전환 가이드라인을 마련하고 이를 토대로 우선순위에 따라 국가·공공기관 및 민간 주요 인프라를 대상으로 단계별 범국가 암호체계 전환 프로세스를 시행해 나간다.



< 양자암호통신 설계 검증용 SW(큐심플러스) >



< 양자내성암호(PQC) 기술이 적용된 전송장비(LG유플러스) >

06 글로벌 양자 리더십 확보

최근 들어 양자과학기술의 산업적 활용 가능성이 가시화되기 시작하면서 각국은 경쟁적으로 양자과학기술 연구개발에 대한 투자를 늘리고 있으며 한편으로는 “같은 생각을 가진” 정부 및 산업 파트너와의 국제협력을 강화하고 있다. 미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본 등 양자과학기술 선도국들은 자국의 투자 및 연구 현황을 공유하고 인력교류 기회를 소개하는 “Entanglement Exchange”라는 웹페이지를 오픈하였고 여기에 우리나라도 동참하고 있다. 또한, 양자 산업 공급망이 형성되는 초기단계부터 국가별 그룹을 이루고 협력을 통해 생태계를 넓히려는 노력을 지속하고 있다. 이렇듯 전 세계 주요국들이 양자과학기술에 대한 안보차원의 글로벌 공급망 이슈와 관련 인력 부족에 대한 심각성 인식을 같이하고 있어 전략적인 국제협력과 공조의 중요성이 갈수록 중요해지고 있다.

전략적 기술연대 강화로 국제협력 환경 조성

국가 차원의 전략적 연대를 강화한다.

정부는 양자과학기술의 국가 경쟁력 제고 및 국가 간 시너지 창출을 위하여 미국, EU 등 세계 양자 주요국 정부 및 산업 파트너와의 국제협력 강화를 추진한다. 세계적으로 비교적 초기 단계에 있는 양자과학기술에 대한 면밀한 투자 및 연구 개발 전략을 마련하여 기술·인력 교류 등 국가적 차원에서 전방위 협력과 공조를 강화한다. 또한, 주요 양자과학기술 선도국들과의 전략적·외교적 협력을 강화하기 위한 국가 간 양자(bilateral)·다자 협의체 및 국제적 논의에 적극적으로 참여한다.

양자과학기술 경쟁력 제고 및 시너지 창출을 위하여 인력 교류 및 연구협력에 적극 동참한다.

국내 양자과학기술 역량을 선도국 수준으로 조기에 향상시키기 위해 국제협력을 강화하고 이를 지원하기 위해 정부는 양자분야 국제협력에 2035년까지 2,100억원을 투자한다. 국제협력 연구가 양자과학기술 전 분야의 연구사업에서 이루어질 수 있도록 제도와 환경을 조성하고, 인력 파견을 통한 실질적인 공동연구·교류 등을 통해 양자과학기술 인력 양성의 기반을 전세계로 확대한다. 세계적 연구그룹과 활발한 교류를 추진하여 국제협력의 장벽을 낮추고 연구성과의 질적 향상을 이룰 수 있도록 한다.

국가 안보를 위한 튼튼한 기술 공급망 구축 및 기술·산업 보호

주요 핵심기술 확보를 통해 글로벌 공급망 이슈에 대응한다.

양자응용 제품은 시스템 기술의 집약체이며 수많은 소재·부품·장비·응용소프트웨어 등의 핵심기술로 구성된다. 양자과학기술의 핵심기술 중 독보적인 글로벌 기술로 확보될 수 있는 국내 기술들을 선별하여 우선 지원한다. 확보된 주요 핵심기술을

기반으로 양자산업 분야의 글로벌 공급망 이슈에 상시 대응이 가능한 핵심 역량과 체계를 갖출 수 있도록 지원한다. 국제 수출통제체제가 국내 연구·산업에 미치는 영향에 적시 대응할 수 있도록 관련 국제 논의 동향 모니터링 및 전략적 국제 공조체제를 구축해나간다.

글로벌 공급망의 일원이 되는 산업계 협력을 촉진한다.

활발한 산업계의 참여가 시작되는 양자산업 형성 초기에 세계 각국과의 상호협력을 강화하며 우리나라 산업계의 참여를 적극적으로 장려한다. 국내 산업계가 양자과학기술과 산업 전반에서 국제협력 참여와 리더십을 발휘할 수 있도록 다양한 전략사업들을 추진하는 한편, 사업모델을 발굴하여 글로벌 공급망 형성 시점에 전략적 위치를 선점할 수 있도록 지원한다.



< (좌) 스위스 취리히 연방 공대 방문 계기 양자 석학과의 대화(2023.1.19), (우) 한-미 양자과학기술협력 공동성명 체결(2023.4.25) >



< (좌) 한-미 퀀텀라운드테이블(2023.5.17), (우) 퀀텀코리아 2023 개최(2023.6.26~29) >

07 지속가능한 지원 체계 확립

양자과학기술은 게임체인저 기술로 산업, 국가안보, 국제외교 등 사회 각 분야에 큰 영향을 미치는 기술이다. 그 간 우리나라의 양자과학기술 연구는 기술 초기 단계의 기초연구 중심으로 이루어져왔으나, 최근 들어 국가 전략기술로서 확보의 필요성과 시급성이 커지고 있다. 아직 지배적 기술이 정립되지 않아 기술 추격의 기회는 열려 있는 만큼, 본격적인 상용화 시점에 우리나라가 글로벌 양자 기술·산업 중심국가로 우뚝 설 수 있도록 지금부터 종합적인 지원체계를 구축하고 민-관이 함께 장기적으로 지원해 나갈 필요가 있다.

제2차 양자혁명을 선도하기 위한 양자법 제정

“양자과학기술 개발 및 산업 육성법” 제정을 통하여 양자과학기술을 종합적으로 육성한다.

우리나라는 미국에 이어 세계 두 번째 양자법인 “양자과학기술 개발 및 산업 육성법”을 제정한다. 이 법은 양자 과학기술과 산업을 집중 육성하기 위한 전략 수립, 기술 개발, 상용화 촉진, 인력양성, 연구거점·클러스터 구축, 국제협력 등 연구산업 생태계를 종합적으로 육성하기 위한 지원체계를 담는다. 동 법률이 제정되면 이를 근거하여 우리나라 양자 과학기술 중점 지원 방향, 부처 간 역할 분담 및 지원 계획을 제시하고 이에 대한 이행 결과를 점검하여 환류하는 체계를 갖춰나간다.

* 미국은 2018년 12월 국가양자이니셔티브법(National Quantum Initiative Act) 제정

국가 양자 거버넌스 강화

범부처 양자과학기술·산업 관련 정책 조정 기능을 강화한다.

양자과학기술 종합 플래닝 타워로서 “양자기술특별위원회”를 운영하고, 향후 범부처 정책 조정 기능을 강화를 위해 민-관 합동 위원회를 확대·강화해 나간다. 위원회에서는 투자, 인력, 특화 인프라, 산업화 지원 등 양자분야 주요 정책 및 발전 전략을 심의·조정하고, 다양한 주체 간 협력 및 역할 분담 사항을 논의한다. 또한, 산업·공공·국방 소 분야에 있어 양자과학기술의 활용·확산을 위한 시책을 강화하고 양자 산업 시대로의 전환을 준비하기 위한 제도적 기반을 튼튼히 해 나간다. 또한 국가 양자 PM제도의 도입, 양자분야 국가기술전략센터 지정 등 양자과학기술 행정체계의 전문성을 더함으로써 전략적인 지원을 뒷받침한다.

* 현재 산·학·연 민간 전문가와 6개 정부부처 위원을 포함 총 21명의 위원으로 구성된 국가과학기술자문회의 산하 “양자기술특별위원회 (위원장 : 과학기술정보통신부 과학기술혁신본부장)” 운영 중

장기·안정적 기술축적과 우수인력 확보를 위하여 양자과학기술 분야 연구기관을 육성한다.

독자적인 양자 과학기술 역량을 확보하고 국가적 차원에서 확보가 필요한 기술을 조기에 확보하기 위해 양자과학기술 연구기관 육성을 추진해 나간다. 양자 관련 연구를 수행 중인 대학, 출연(연), 기업 등 다양한 연구주체를 연결하는 개방형 연구 허브를 육성한다. 이를 기반으로 도전적이고 파급효과가 큰 양자과학기술 분야의 연구개발을 속도감 있게 체계적으로 수행할 수 있도록 인력, 연구 시설 및 제도적 지원을 뒷받침한다.

양자 분야 학회, 협의회 등 민간 단체를 활성화하여 민관 협력 강화를 추진한다.

양자과학기술 관련 학회, 협회, 협의회 등 단체가 중심이 되어 민간 주도의 연구·산업 생태계를 활성화해 나간다. 기업, 대학, 연구소 등의 다양한 주체 간 활발한 네트워킹을 통해 정보교류, 인력교류와 협동연구 등을 촉진해 나간다.

양자과학기술 분야 전략적 투자 확대

전략적 양자과학기술 투자 기반을 구축하고 2035년까지 민관 공동으로 3조원을 투자한다.

국내에서는 기초연구 분야로 다루어지던 양자과학기술 분야가 전용사업이 신설된 2019년 106억원을 시작으로 2023년 968억원으로 9배 이상 확대되었다. 정부는 투자 전략성 강화를 위해 2021년 ‘양자기술 연구개발 투자 전략’을 발표하고 이듬해에 ‘양자과학기술 전략로드맵’을 마련하였다. 이를 통해 기술 성숙도, 국내 기술수준, 산업·안보적 파급효과 등에 대한 분석을 토대로 양자컴퓨터, 양자통신, 양자센서 내 15개 세부 분야에 대한 기술로드맵과 이를 지원하기 위한 41개 소재·부품·장비 기술을 제시하였다.

양자 분야는 아직까지 미래 상용화 시점에 시장을 좌우할 지배적 기술이 확정적이지 않고, 다양한 후보기술이 경쟁중인 가운데 빠르게 기술 진화가 이루어지고 있는 분야이다. 이 점을 반영하여 정부는 전략로드맵의 주기적 재설계를 통해 투자 전략성이 유지되도록 한다. 최근 전세계적으로 민간 부문의 양자과학기술 개발과 활용에 대한 관심이 크게 높아지면서 국내에서도 기업들이 양자 인력 확보에 나서고 투자를 늘리고 있으며, 창업도 증가하는 추세이다. 이러한 분위기 속에서 정부와 민간은 공동으로 '35년까지 양자과학기술 분야에 3조원 이상을 투자하여 양자과학기술의 발전과 양자 경제로의 전환을 준비한다.

전략성 기반 임무지향형 대규모 연구개발을 추진한다.

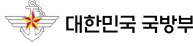
요소기술 중심의 소규모 연구에서 벗어나 전략로드맵에 따른 대규모 통합 연구개발사업에 민·관이 함께 나선다. ▲양자 컴퓨터 시스템 국산화 및 클라우드 서비스, ▲양자 인터넷 실증 및 상용화, ▲고전센서 한계돌파형 4대 양자센서로 신시장 창출과 같은 명확한 국가적 임무를 부여하고 이를 중심으로 산·학·연을 결집하는 임무지향적 연구개발을 추진하여 대한민국 양자과학기술의 퀀텀 점프를 이끈다.

관계부처

주관부처



참여부처




집필진(국가양자비전 TF)

구분	소속기관	성명
산업계	포스코홀딩스 AI연구소	김동호
	SK텔레콤 Quantum사업추진팀	이동준
	퍼스트퀀텀	안도열
학계	고등과학원 계산과학부	김재완
	고려대학교 물리학과	최만수
	국민대학교 정보보안암호수학과	한동국
연구계	한국표준과학연구원 초전도양자컴퓨팅시스템연구단	이용호
	한국표준과학연구원 원자기반양자측정팀	권택용
	한국과학기술연구원 양자정보연구단	한상욱
	한국전자통신연구원 양자기술연구본부	주정진
	한-미 양자기술협력센터	정윤채
	양자 국가기술전략센터 (한국표준과학연구원)	백승욱, 성은정, 정일룡, 장대석

검토 및 자문

구분	소속기관	성명
산업계	IonQ	김정상
	GQT코리아	곽승환
학계	한양대학교 물리학과	이진형
	성균관대학교 나노공학과	정연욱
	한림대학교 나노융합스쿨	박성수
	부산대학교 물리학과	문한섭
	경희대학교 수학과	이수준
연구계	한국표준과학연구원 양자기술연구소	박희수
	한국과학기술연구원 광전소재연구단	송진동
	한국전자통신연구원 양자통신연구실	윤천주
	국방과학연구소 국방첨단과학기술연구원	김재일
	국가보안기술연구소 암호연구센터	장진각
	한국전자통신연구원 양자컴퓨팅연구실	방정호



대한민국 양자과학기술 비전

**양자시대를 여는
우리의 도전과 전략**