

글로벌 ICT 표준 컨퍼런스 2023

Global ICT Standards Conference 2023

(세션1) 양자기술: 디지털 세상의 새로운 패러다임

양자 국가 R&D 추진방향

정보통신기획평가원(IITP), 오윤제 반도체·양자 PM

주최



과학기술정보통신부
Ministry of Science and ICT



특허청
Korean Intellectual
Property Office

주관



국립전파연구원
National Radio Research Agency



IITP

KEA

kista

ETRI



contents

- I 기술 개념·범위 및 기술전망
- II 국내·외 동향
- III 우리의 현황과 과제
- IV 우리의 대응방향
- V 중점 추진내용

디지탈을 넘어 **퀀텀의 시대**로 도약 (제2 양자혁명 도래)

정보단위

1 And 0 확률적(중첩 상태) Qubit

Application

초고속
양자컴퓨터초신뢰
양자 인터넷초정밀 양자기기
(센서, 계측)

(단일의 양자 특성을 활용한 기술 기반)

퀀텀 시대
(제2 양자혁명)

정보단위

0 or 1 확정적 디지털 BIT

Application



PC



인터넷

디지털
음악

스마트폰

(반도체, 레이저 등 군집된 양자를 활용한 기술 기반)

디지털 시대
(제1 양자혁명)

정보단위

전류, 전압 등
연속적인 물리량

Application



TV



라디오



축음기



전화기

아날로그
시대

초고속

초신뢰

초정밀

양자정보기술은 미래 산업·안보의 ‘게임체인저’가 될 파괴적 혁신 기술

양자 고유의 특성을 활용한 차세대 혁신기술로 미래 산업생태계의 판도를 바꿔 놓을 것으로 기대



양자 컴퓨팅 기술의 발달은 현재의 디지털 암호체계를 무력화할 수 있어 안보 측면에서도 중요

오늘날 쓰이는 정보보안 암호체계

공개키(RSA) 암호체계

컴퓨터가 소인수분해에 오래 걸리는 점에 착안된 암호체계이나, 양자컴퓨터가 짧은 시간내에 소인수분해를 하게 되면 암호체계를 무력화

2,048비트 암호 해독에 걸리는 시간

슈퍼 컴퓨터

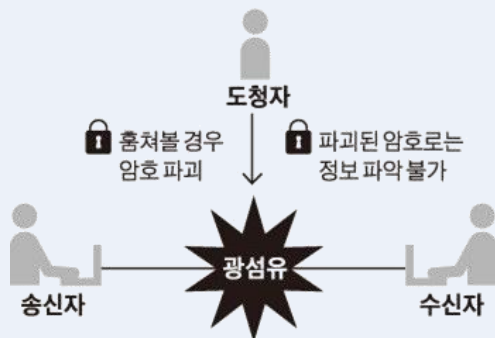
100만년

VS

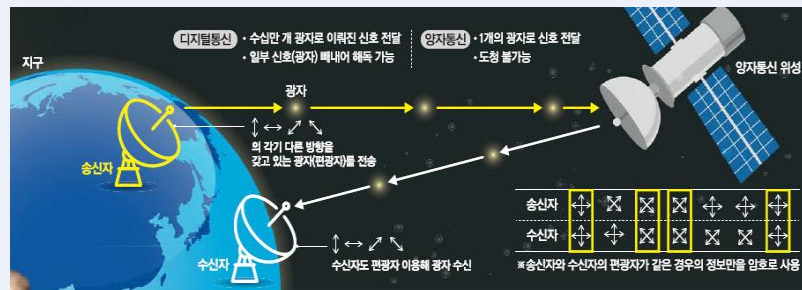
양자 컴퓨터

1초

양자 통신은 궁극적으로 정보 해킹을 방지할 수 있어 안보 측면에서도 중요



통신과정에서
중간정보탈취
원천 차단



* 이미지 출처: 레이더A('16.8)

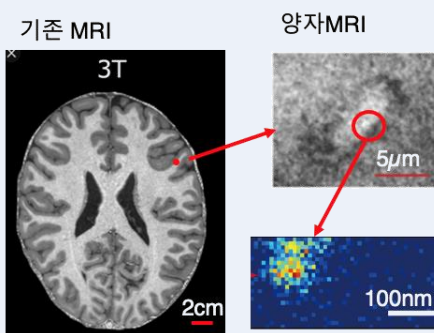
안전한 장거리 통신 가능



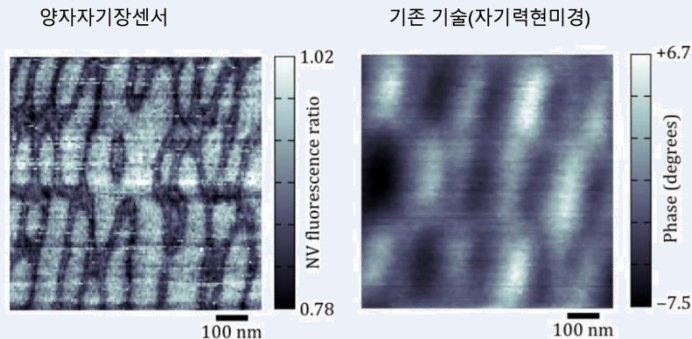
* 이미지 출처: QIA('22.10)

양자 인터넷

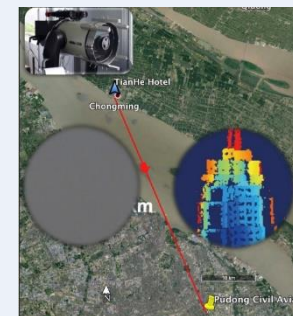
양자 센서는 현 센서의 한계를 극복한 초정밀 센싱을 할 수 있어 안보/산업 측면에서도 중요



미세암(1mm)이하 조기발견



배터리/반도체 정밀 관찰

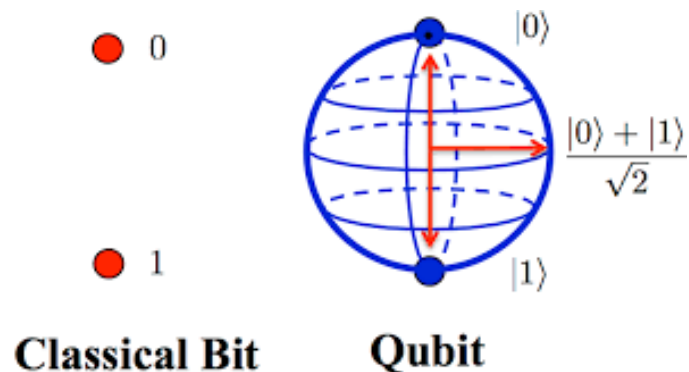


장거리(스텔스) 탐지



無 GPS 항법

» 양자 비트



* 이미지 출처: <https://medium.com/>(21.11)

• 양자비트(Quantum bit) = 큐비트(Qubit)

• 0 과 1 이 동시에 될 수 있는 양자 중첩

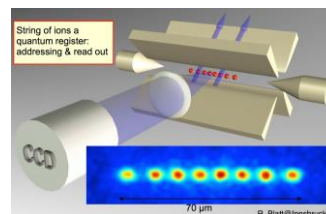
(예) 큐비트 4 개로,

$$\begin{aligned}
 &(|0\rangle + |1\rangle) \otimes (|0\rangle + |1\rangle) \otimes (|0\rangle + |1\rangle) \otimes (|0\rangle + |1\rangle) \\
 &= |0000\rangle + |0001\rangle + |0010\rangle + |0011\rangle \\
 &\quad + |0100\rangle + |0101\rangle + |0110\rangle + |0111\rangle \\
 &\quad + |1000\rangle + |1001\rangle + |1010\rangle + |1011\rangle \\
 &\quad + |1100\rangle + |1101\rangle + |1110\rangle + |1111\rangle
 \end{aligned}$$

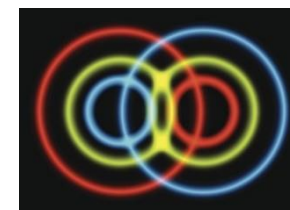
16=2⁴ 가지 모두를 한꺼번에 중첩하여 동시에

Qubit 플랫폼

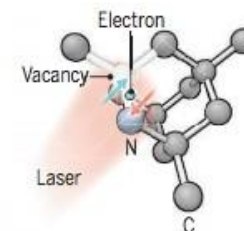
이온트랩



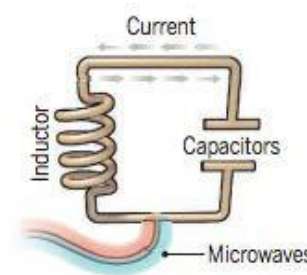
광자



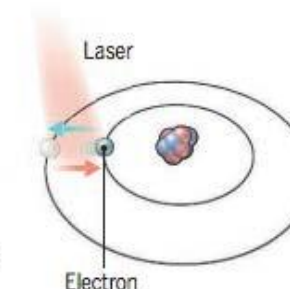
NV 센터



초전도 소자



원자



반도체 양자점



* 이미지 출처: LINCOLN LABORATORY(21.11)

✓ (예) 단원자 : $|g\rangle = |0\rangle$, $|e\rangle = |1\rangle$
스핀 : $|\downarrow\rangle = |0\rangle$, $|\uparrow\rangle = |1\rangle$

» 양자 통신

■ 거리 제한을 뛰어넘고 단대단에서 네트워크로 확장되는 유/무선 글로벌 양자 인터넷 발전



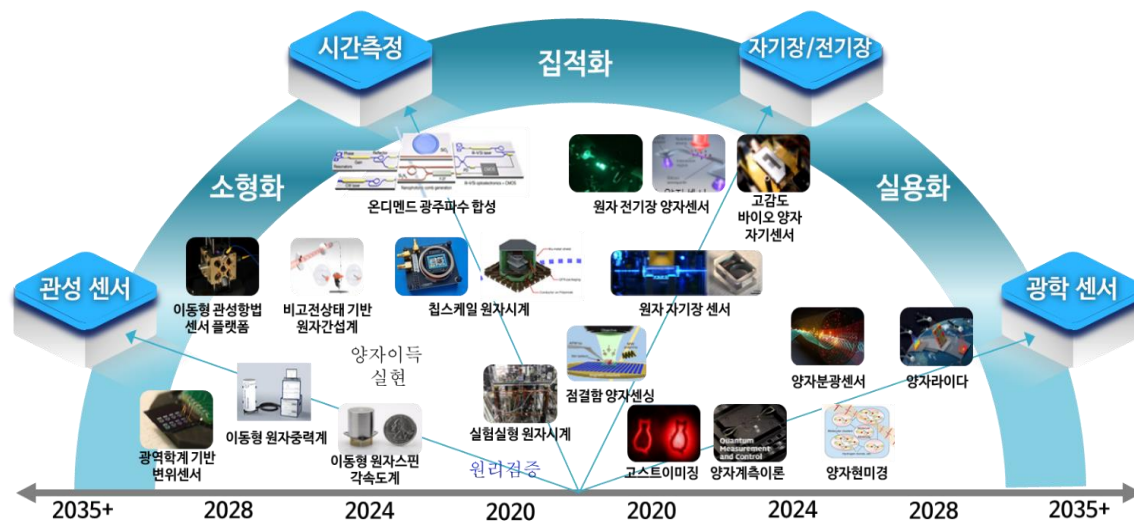
» 양자 컴퓨팅

■ 양자 컴퓨터 방향 큐비트↑, 에러율↓

- ☑ (중·단기) NISQ 하드웨어 및 NISQ 알고리즘 기반 특정 문제 해결의 실용적 양자 시뮬레이터 개발 및 활용 확대

» 양자 센서

■ 집적화/안정성 향상, 크기/무게/전력/비용 감소 등을 통해 소형화된 센서로 발전



- ☑ (장기) 대규모 물리적 Qubit 구현과 에러 정정 기술 성숙에 따라 논리 Qubit 기반 결함허용 양자컴퓨팅 실용화
 - 물리적 10,000 Qubit 이상: Shor 인수분해 알고리즘 적용 가능 (RSA 기반 암호 해독)
 - 물리적 100,000 Qubit 이상: Grover 검색 알고리즘 활용 가능

양자기술 선도국 간 글로벌 주도권 확보 경쟁 본격화



미국

양자법 제정('18) 및 양자 R&D 투자를 매년 확대하면서 '19~'22년 간 2.78B\$(약 4조원) 투자, **중국 견제 및 글로벌 주도권 확보에 총력**

- ✓ 양자법을 제정('18.12)*하고, '19~'22년간 2.78B\$ 투자
 - 백악관 직속 국가양자조정실(NQCO) 및 대통령 자문기구로 “국가양자자문위원회” 설치
 - 바이든 정부는 AI, 양자 등 첨단기술 개발에 4년간 3,000억 달러 투입 발표('20.11)
- ✓ 국가안보 핵심기술로 지정하고, 중국으로 기술 유출 통제 강화
 - '18.11월 「수출통제개혁법 (ECRA)」 제개정으로 양자 관련 소재·부품 수출입 통제 도 강화
 - '21.11월 중국 양자컴퓨터 및 반도체 기업에 대한 거래 제재 발표

Sputnik moment
with China!!National Quantum Initiative Signed into Law
Publication date: 4 January 2019 Number: 2

중국

세계 최대 국립양자정보과학연구소 설립('17~) 포함, '18~'22년 간 1천억 위안(약19.7조원) 지원 등 **양자 굴기를 위해 적극적 투자 확대**

- ✓ 중국은 양자암호통신 기술 분야에 중점 투자
 - 세계 최초 양자암호통신위성 (묵자호)을 발사하고 북경-비엔나 간 7,600km 양자 전송에 성공('17년), 북경-상해 간 2,000 km 양자암호통신 백본망 구축('16년)
- ✓ 양자밸리·국립양자정보과학연구소 (허페이) 설립 추진('17~)
- ✓ '18년 중국의 양자정보기술 분야 **특허 출원이 미국의 2배**이며, 중국과기대(USTC)를 중심으로 **매년 수백명의 석·박사** 배출 중



각 영역별로 기술 개발 및 초기 상용화가 진행중

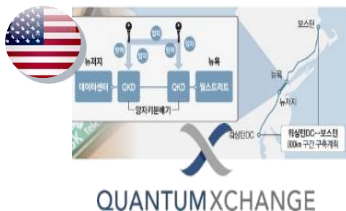


양자 통신

주요 통신사업자 간 선점 경쟁



주요국 테스트베드, 암호통신서비스 시작

북경-진안-
허페이-상해
OKD 백본 통신

QUANTUMXCHANGE



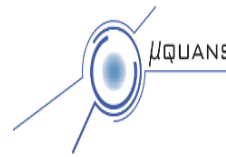
Network Layout of the Tokyo QKD Network



양자 센서

시제품 개발을 통한 산업화 준비

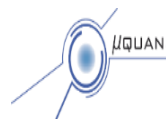
관성센서



자기센서



원자시계



광학센서



양자 컴퓨팅

양자 컴퓨팅 구현

53 Qubit 양자컴퓨터 양자우월성 달성('19, 구글)
구글(72 Qubit, '18), IBM(433 Qubit, '22.11),
IonQ(32 Qubit, '22.3), D-Wave(2,048 Qubit) 등

양자 컴퓨팅 클라우드 서비스



양자 컴퓨팅 활용

전기차 배터리 설계(벤츠), 교통 수요 예측(폭스바겐),
항공기 유체 역학 분석(에어버스) 등

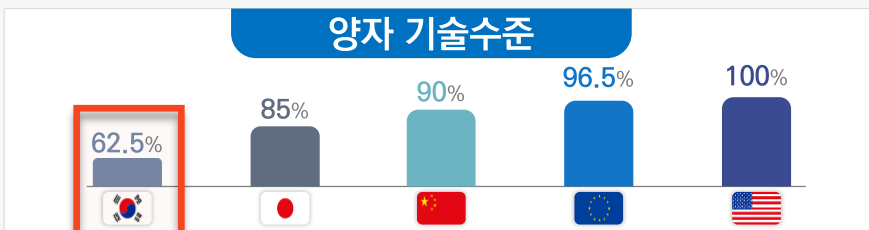
ICT기술 중 양자 기술수준은 최하위,
다만, 양자 통신·센서는 응용·산업화 기술역량은 최근 상대적으로 증가

기술 수준

☑ 최고 선도국 기술수준(100%) 대비 62.5% 수준에 불과

* 2020년 기술수준 평가 (KISTEP, '20)

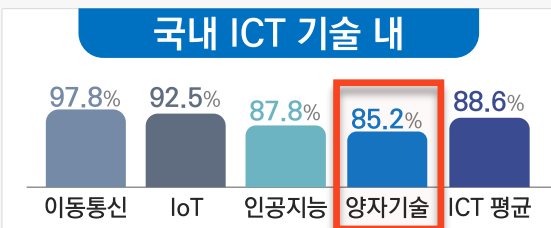
양자 기술수준



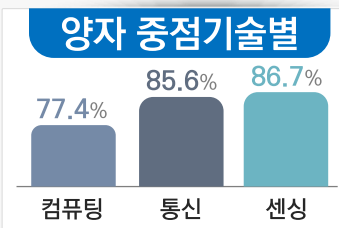
☑ 국내 ICT기술 중 최하위이며, 세부 기술별 편차 존재

* 2020년 ICT 기술수준 조사 (IITP, '22)

국내 ICT 기술 내

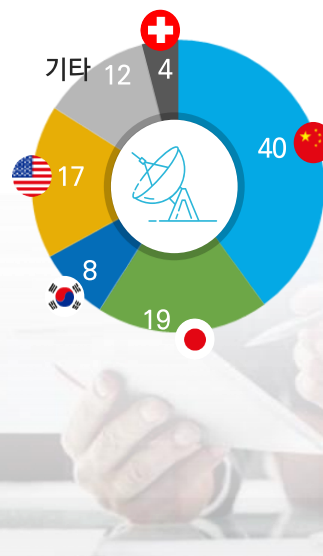


양자 중점기술별

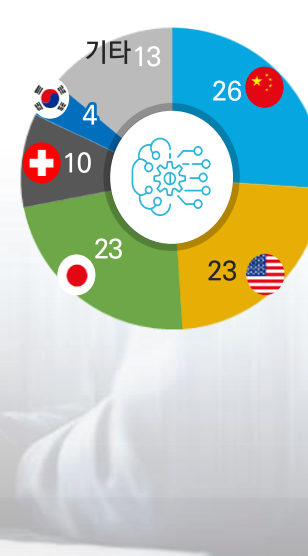


특허 출원 현황 ('10~'19년 누적, %)

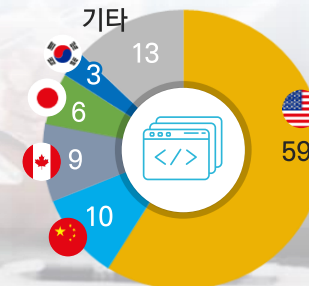
양자 통신



양자 센싱



양자 컴퓨팅



일정수준 경쟁력을 갖춘 양자 통신·센서는
세계적 선도 기술개발을 추진, 중점기술별 차별화 전략을 모색

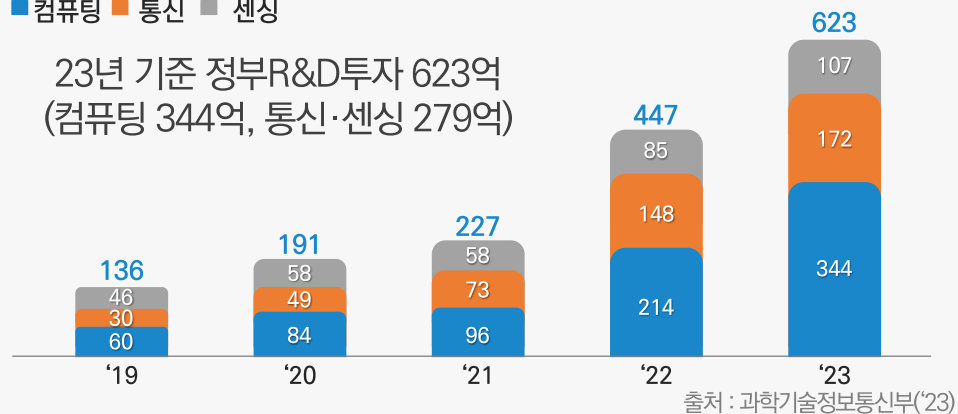
선도국에 대비 R&D 투자 규모 부족, But 지속적 투자로 핵심 요소기술 확보

정부 R&D 투자

양자기술 사업추진 규모 (R&D사업 대상)

■ 컴퓨팅 ■ 통신 ■ 센싱

23년 기준 정부R&D투자 623억
(컴퓨팅 344억, 통신·센싱 279억)



주요 R&D 성과

초전도
양자컴퓨터
원천기술 자체 확보
(20 큐비트, '23년 말)



양자센서
4대 플랫폼
원천기술 확보
(세계최고수준
양자 중력센서)



세계3번째
양자암호통신
상용화('22)



양자기술은 연구단계를 지나 초기 시장 단계에 진입,
‘既 확보 요소기술 + 국내 제조 역량 ⇒ 양자 시스템 역량 확보’로 세계 시장 선점 필요

고도의 보안환경에서 양자세계를 연결하는 최신했 양자통신기술 개발 (I . 양자통신)

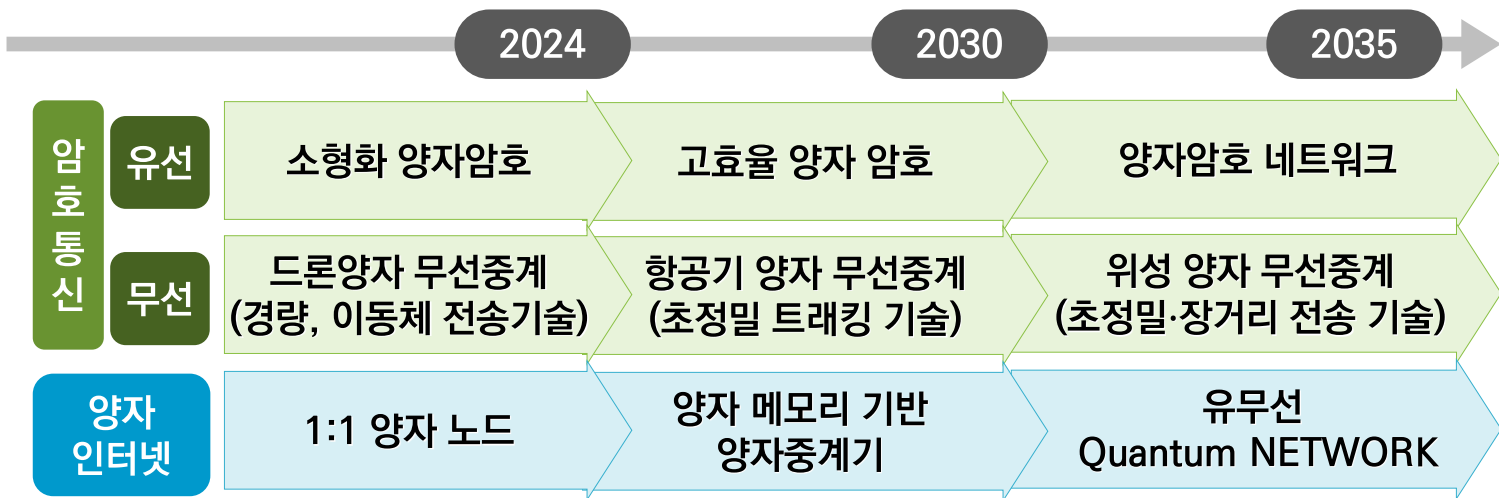
☑ (양자암호통신) 시장성 강화 및 전송기술 고도화, 유·무선 커버리지 확대

* 양자암호통신 집적화 및 전송기술고도화 사업('19~'25) : 부품 소형화, 이기종 벤더 간 호환성 제고 인터페이스 개발

☑ (양자인터넷) 양자기기 간 연결하는 미래인터넷 구현의 원천기술 개발

* 양자인터넷 핵심원천기술개발 사업('22~'26): 양자 중계기, 양자 메모리 등 기초 기술 개발

양자통신 로드맵



■ 산업경쟁력을 획기적으로 높이는 초정밀 양자센서 기술 개발 (II. 양자센서)

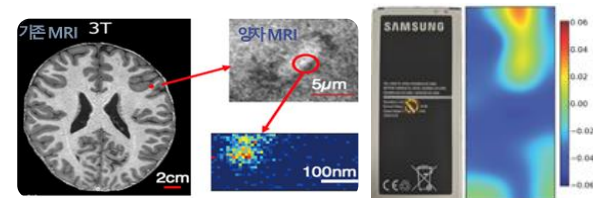
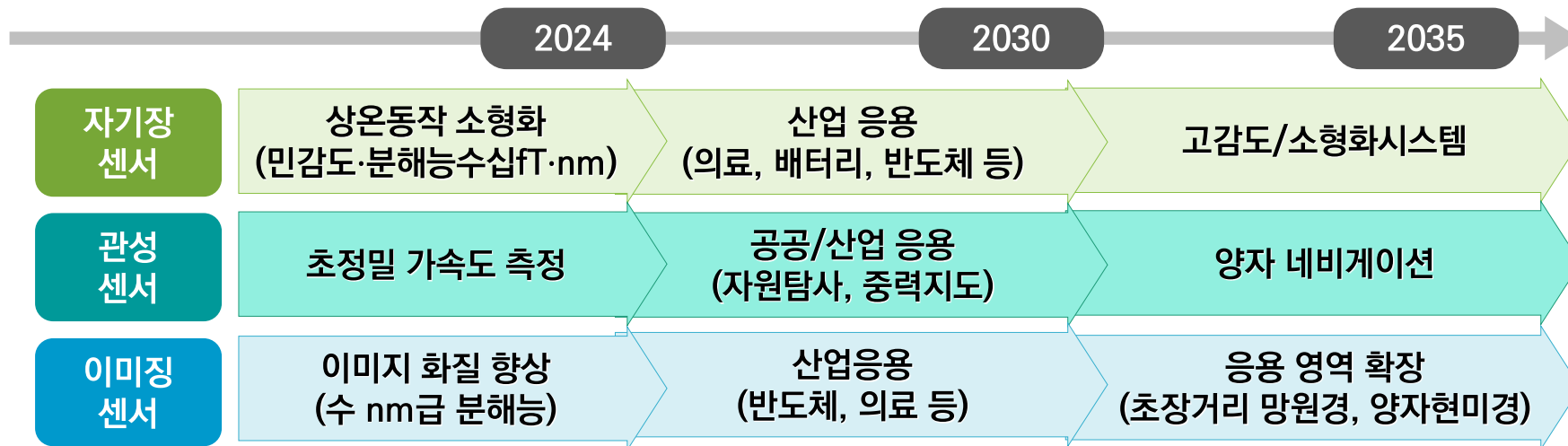
☑ (핵심원천) 양자센서 4대 플랫폼(관성, 시간, 자기장, 광학) 핵심원천 기술 개발

* 양자센서 핵심원천 기술개발 사업('19~'25): '양자 중력계' 세계최고 동등 성능 달성('22) 등 일부 기술 글로벌 경쟁력 확보

☑ (산업응용) 수요산업 연계형 기술개발 ⇒ 상용화 촉진 ⇒ 연구·산업 선순환 고리 확보

* 양자센서 핵심원천 기술개발('19~'25), 양자기술개발선도(양자센서)('23~'25): 양자센서 활용 탐색 (바이러스 및 생체분자 검출, 원거리 가스탐지 등)

양자센서 로드맵



■ 기존 컴퓨팅의 한계를 뛰어넘는 초고속 양자컴퓨팅 기술개발 (Ⅲ. 양자컴퓨팅)

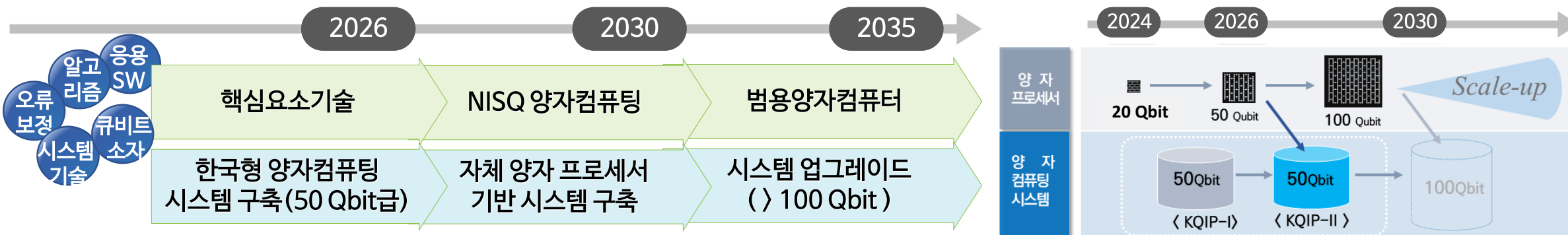
- ☑ (범용 양자컴퓨터) 양자프로세서, 오류보정기술, 알고리즘, 응용SW 등 범용 양자컴퓨터 핵심 요소기술 개발

* 양자컴퓨팅 기술개발 사업('19~'23), 양자기술연구개발선도(양자컴퓨팅)('23~'25), 양자컴퓨팅 연구인프라구축 사업('22~'26), 양자컴퓨팅기반 양자이득 도전연구('23~'26)

- ☑ (양자시뮬레이터) 초고속 연산이 필요한 분야에서 특수 목적 양자 컴퓨터(시뮬레이터) 개발

* (혁신도전형)소재 혁신 양자시뮬레이터 개발 사업('23~'27) : 수소의 생산·저장·활용 분야 신소재 연구에 특화된 양자시뮬레이터 플랫폼 개발

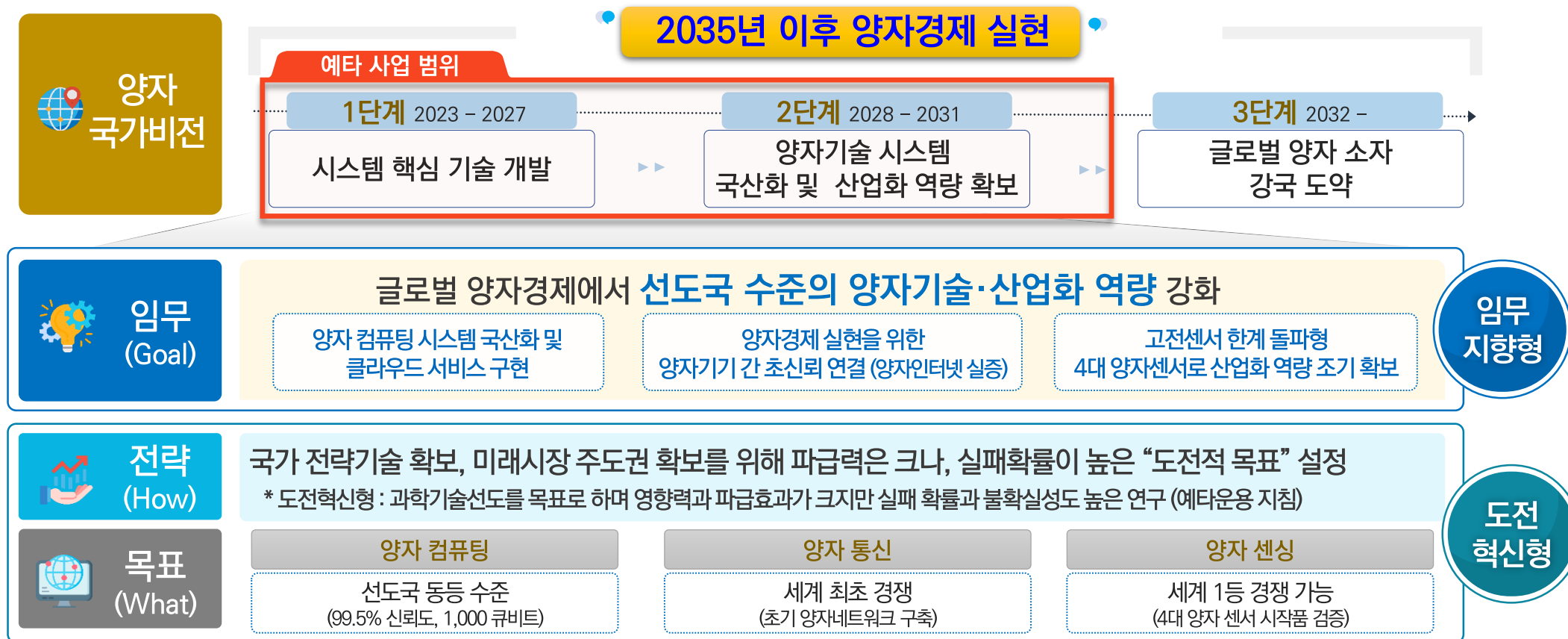
양자컴퓨팅 로드맵



- ☑ (예타사업) 중·장기적 기간으로 시스템(시작품) 수준의 기술 고도화 및 민간참여를 유도하여 임무 달성
- ☑ (비예타사업) 기초원천기술개발, 인력양성 및 인프라 구축 등 공통기반·지원기술 및 3년~5년 이내 상용화(시장접근·산업연계)가 가능한 분야 지원을 통한 양자과학기술 기반 구축 추진



양자통신, 센싱, 컴퓨팅 시스템 개발을 통해 독자적 기술과 산업 역량 확보
예타 규모 9,960억원(안)을 8년간 투자('24.1월 결론, '25년 추진예정)



비전 vision

2030년 양자기술 4대 강국 진입 (쏘 산업 혁신 촉진 및 국가 안보 강화)

중장기
목표

양자 센서

고전센서 한계를 넘는 양자센서 산업응용 기술 개발
국가전략 및 첨단산업 양자 센서 플랫폼 개발 및 조기 산업화

양자 통신

양자암호통신 산업확산 및 차세대 양자암호통신 기술개발
양자 중계기 기반 얽힘 네트워크 기술 확보 및 실증

추진
방향

- ① 국방, 의료·바이오, 반도체·배터리, 공공 등 쏘 영역에서 양자기술 융합 新시장 창출
- ② 미래 양자 네트워크의 플래그쉽 기술 확보와 양자암호통신 시스템 소형·저가격화·성능 고도화
- ③ 양자 통신·센서 기술개발 자립 공급망 구축

2030년대 양자 기술 4대 강국 진입

중장기
추진 계획

2024

- 양자암호통신 산업확산 (저가격, 소형화) 도모
- 개방형 양자팍 구축

2025

- 양자센서 응용기술 (가스센서, 현미경) 프로토타입 개발
- 양자중계기 핵심기술 확보

2027

- 4대 양자 센싱 핵심기술 확보
- 양자메모리 기반 중계기 핵심기술 확보

~2030

- 無 GPS 항법시스템 / 양자센서 의료·바이오 시스템 상용화
- 양자 메모리 기반 양자중계기 실증

2023년 주요 추진현황

- ① 양자센서 핵심원천 기술개발('19~'25)
 - » 양자 중력 및 이미지 센서 핵심기술 개발
 - » 주력산업 및 의료산업에서 활용 가능한 초정밀 양자센싱 시스템 개발
- ② 양자암호통신 집적화 및 전송기술('20~'25)
 - » 송수신 핵심부품 및 핵심소자 기술개발
- ③ 양자인터넷 핵심원천 기술개발('22~'26)
 - » (유선) 기초형태의 양자중계기 구현 핵심기술개발
 - » (무선) 경량형 드론 등 이동체와 지상국 간 양자 정보 전송 플랫폼 기술개발
- ④ 양자센서 상용화 기술개발('23~'25)
 - » 양자센서 주요 플랫폼(관성, 자기장, 시간, 광학 등)의 핵심원천기술 개발
 - » 양자 융합 新시장 창출에 활용 가능한 양자센서 시작품 개발 등

2024년 주요(기획) 과제

- 양자암호통신 산업확산 ●
 - » 소형/저가 모듈형 양자암호키분배(QKD) 시스템 개발
 - » 양자채널과 기존 채널 다중화 기반 양자암호키분배(QKD) 시스템 개발
- 차세대 양자암호통신 ●
 - » 양자암호통신 다양화를 위한 차세대 양자암호키분배(QKD) 시스템 개발
 - » 위성통신에 적용 가능한 장거리 무선 양자암호키분배(QKD) 기술 개발
- 양자팍 인프라 구축 ●
 - » 개방형 양자공정 인프라 구축
 - » 쿼텀 연구자들의 역량 강화를 위한 쿼텀플랫폼 구축

총 369.3억원, 신규 108.5억원

중장기 추진 과제

- ① 차세대 양자센서 플랫폼 시스템 개발
 - » 융·복합 양자 센싱 시스템 시작품 (無-위성항법시스템 등) 개발
 - » 초고분해능 진단 이미징 기술 개발
 - » 양자 얽힘 기반 센서 플랫폼 개발
- ② 한국 최초 얽힘 양자 네트워크 (초기 양자 인터넷) 개발
 - » 얽힘 정제가 가능한 양자메모리 기반 중계기 개발
 - » 분산형 양자 네트워크 원천기술 개발
- ③ 양자통신·센서 기술개발 자립 공급망 구축
 - » 양자 통신·센서 분야 활용성이 높고 글로벌 공급에 취약한 소재·부품 개발
 - » 양자 통신·센서용 전용 팍 구축 완료 및 개방형 운영



감사합니다.

정보통신기획평가원(IITP), 오윤제 반도체·양자 PM,
E-mail : yunjeoh@iitp.kr