

---

# 퀀텀 이니셔티브(안)

- 양자과학기술 대도약, 디지털을 넘어 퀀텀의 시대로 -

---

2024. 4. 25.



관계부처 합동

# 순서

I. 추진 배경 .....	1
II. 경제·사회적 영향 .....	4
III. 대내외 환경 및 우리 현황 .....	5
IV. 추진방안 .....	8
1. 9대 중점 기술 .....	9
2. 4대 추진 전략 .....	15
3. 퀀텀 거버넌스 .....	22
V. 향후 계획 .....	24
[참고] 국내 양자과학기술 분야 주요 성과 .....	25

## I. 추진 배경

### ◆ 양자과학기술은 미래 국가 기술 패권을 좌우할 핵심 전략기술

- 양자과학기술은 산업·안보적 파급력으로 글로벌 기술 패권의 핵심으로 부상하면서 세계 각국과 글로벌 기업들은 기술 선점을 위한 각축전 진행
  - \* 미국, 중국, 영국 등 주요 국가들이 발표한 양자 분야 투자 총 340억 달러(46.5조원) 규모
- 빠른 기술 진보와 함께 조만간 R&D 단계를 넘어 산업으로서의 위상을 획득하게 되면 본격적으로 기술 통제 가시화 예견
  - \* 영국, 34큐비트 이상 쿼텀 컴퓨터 등 양자과학기술을 포함한 주요 신기술수출 규제 확대('24.4)

### ◆ 경제, 사회, 안보, 기후변화 등 다양한 난제 해결에 중추적 역할

- 의료·바이오, 반도체, 교통·물류, 금융, ICT 등 미래 사회를 견인할 유망 산업의 혁신적 변화를 이끌 게임 체인저로 주목
  - \* 생명과학, 화학, 자동차, 금융 등 4대 분야에서 '35년까지 최대 1.27조 달러(약 1,722조원) 수준의 가치 창출 전망
- 암호해독, 스텔스·잠수함 탐지 등 군사·안보적 중요성과 더불어 촉매, 저탄소 연료 개발 등 환경 현안에 대한 효과적인 솔루션 도출 가능

### ◆ 우리의 발달된 첨단 제조 및 IT 역량을 토대로 기술 경로 선점 가능

- 일부 핵심기술의 검증은 이루어졌으나 지배적 기술이 정립되지 않아 본격적인 상용화 시장이 열리기 이전 단계
  - \* 글로벌 양자 시장 규모는 '22년 68억 달러에 불과하나 '40년 1천억 달러 전망
- 따라서, ▲획기적 투자, ▲글로벌 선도 가능성이 높은 영역의 선택과 집중, ▲전략적인 글로벌 협력을 통해 새로운 혁신 기회를 창출·선점 가능

# [참고] 양자과학기술의 개념

## ◆ 양자과학기술(Quantum Science & Technology)이란?

나노미터 수준(전자, 원자, 광자)의 미시세계에서 나타나는 양자물리적 특성을 정보과학기술에 적용하는 기술로 **퀀텀 컴퓨팅**, **퀀텀 통신**(네트워크), **퀀텀 센싱** 등으로 구분됨

➔ 혁신적인 “초고속 연산”, “초신뢰 통신”, “초정밀 계측” 구현



< 양자물리적 특성 >

특 성	현실 세계	미시 세계
<b>중첩</b>  “0”과 “1”에 해당하는 상태를 동시에 가짐	<p>▶ 0 또는 1을 나타냄</p>	<p>▶ 관측 전 0과 1 두 가지 상태 공존</p>
<b>얽힘</b>  한쪽 상태값이 바뀌면, 아무리 멀리 떨어진 다른 쪽 양자 상태값도 동시에 변함	-	<p>▶ 양자쌍 간 강한 상관 관계로 얽혀 있음</p>
<b>비가역성</b>  양자 상태 측정은 되돌릴 수 없는 과정 (비가역)으로 관측 후에는 이전 상태로 복원 불가능	<p>▶ 변조-복조를 통해 원래 상태로 환원 가능</p>	<p>▶ 관측 후 이전 상태로 환원 불가</p>
<b>불확정성</b>  측정 이전의 양자상태는 확률로 존재하고 정확히 알 수 없음	<p>▶ 모든 상태값이 확정적</p>	<p>▶ 상태값이 확률로 존재</p>

## [참고] 양자과학기술의 중요성

### ◆ 양자과학기술은 미래 산업의 게임체인저가 될 파괴적 혁신기술

- 양자 고유의 특성(얽힘, 중첩 등)을 컴퓨터, 통신, 센싱 등 정보과학기술에 적용하는 혁신기술로 미래 산업 생태계의 판도를 바꿔놓을 것으로 기대



- 특히, 반도체 집적화(“무어의 법칙”)의 한계를 양자과학기술로 극복하여 신약개발, 금융, 생명공학 등 다양한 산업에 활용될 것으로 전망

▶ AI 발달로 폭증하는 데이터 연산량을 디지털 컴퓨터로 처리하는데 한계 도래 전망 (무어 법칙의 한계)

▶ 얽힘과 중첩을 원리에 기반한 양자컴퓨터는 저전력, 대규모 병렬연산으로 디지털 컴퓨터와 비교 불가 수준의 월등한 연산력( $N \rightarrow 2^N$ ) 제공 가능

\* 슈퍼컴으로 1만년 걸릴 문제를 200초에 해결(양자우월성 입증(구글), '19.10)

글로벌 데이터 발생량 (예상, IDC)

연도	2010	2013	2016	2020	2025
발생량	1.2ZB	4.4ZB	16.1ZB	44ZB	163ZB

반도체 회로선폭 vs 반도체 성능

### ◆ 양자과학기술은 국가 안보 측면에서도 중요한 전략기술

- 퀀텀컴퓨팅 기술은 오늘날 일반적으로 사용되는 암호체계를 무력화시켜 정보통신사회 기반을 흔들고 국가 안보에도 큰 위협으로 대두 전망
  - ※ 現 암호체계(RSA)는 컴퓨터가 소인수분해에 오래 걸리는 점(백만년)에 착안한 것이나, 퀀텀 컴퓨터의 발달은 병렬 연산으로 짧은 시간 내(~수분) 소인수분해를 수행하여 암호 해독
- 퀀텀암호통신을 통해 통신 과정에서 정보유출을 원천 차단하고, 퀀텀 센싱 기술은 정밀 탐지(잠수함, 스텔스)로 국방에 활용 가능할 것으로 기대

## Ⅱ. 양자과학기술의 경제·사회적 영향

### ◆ 경제

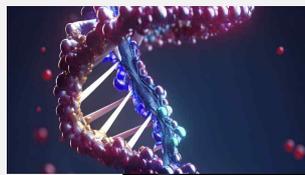
#### 신산업 및 일자리 창출

▶ 양자과학기술은 얽힘·중첩 등 미시세계 현상을 활용, 반도체·첨단 바이오·AI 등 기존 산업과 결합하여 **新 부가가치 창출**

\* 화학·생명과학·자동차·금융 등 4대 산업 분야에서 '35년까지 최대 1.27조 달러(약 1,722조 원) 가치 창출 가능 예측(맥킨지, '23)



▶ [예시] 현대자동차-아이온큐 자동차 배터리 신소재 연구



▶ [예시] 이스트라제네카-샌드박스, 퀀텀 컴퓨팅 기반 신약 개발 추진

→ 국내 양자 생태계 구축 및 초기 기술기반 확보를 위한 전략적 투자와 기술산업 표준화 병행 필요

### ◆ 사회

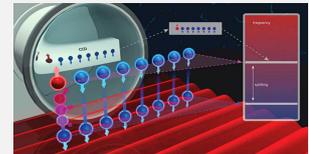
#### 국민 안전과 행복 증진

▶ 자연재해, 산업보안, 첨단의료 분야 등 국민 일상과 인접한 분야에 양자과학기술을 적용하여 안전하고 행복한 사회 구현

▶ 양자과학기술의 높은 진입장벽에 따른 정보 편차, 기술에 대한 지나친 기대와 마케팅으로서의 기술 남용 등 사회적 갈등 해결이 숙제



▶ [예시] 지진·화산기후변화 탐지



▶ [예시] 퀀텀 MRI 정밀 진단, 혈액 및 고속 시뮬레이션

→ 향후 안전·의료 등 양자과학기술의 향상된 사회적 편의 제공 과정에서 올바른 인식 제고를 위한 교육지원과 고비용 기술 혜택의 보편화 필요

### ◆ 외교·안보 국가 안보 강화 및 강군 육성

▶ 스텔스 탐지, 도·감청 불가 통신, **無GPS 항법**, 암호체계 무력화 등 신개념 양자과학기술로 국가 안보 강화 및 과학기술 강군 육성 가능

▶ 양자 패권을 놓고 글로벌 공급망 제한, 수출통제 등 국가 차원의 전략 자원화 심화 예상



▶ 양자과학기술 국방 활용 예시



▶ 美 국가안보국, 양자과학기술 위협 대응 요구사항 발표

→ 국익에 최우선하여 동맹국과 긴밀한 양자과학기술 협력체계를 확보하고 국제공동연구, 표준화 참여 등 기술통제에 대한 우회 전략 추진

### ◆ 환경 시급한 환경 지속 가능한 방법 제시

▶ 퀀텀 시뮬레이션 등 양자 과학기술\*을 기반으로 온난화, 오염 및 자원관리와 같은 시급한 환경 문제에 대한 효과적인 솔루션 제공 가능

\* 재료 과학 및 화학 변수를 시뮬레이션하여 더 깨끗한 연료를 개발하고 배출량을 줄이는 등 에너지 부문의 광범위한 응용 분야에 사용 예상



▶ 양자과학기술 활용 기후 변화 예측



▶ 美 펜실베이니아 주립대, 양자과학기술 기반 전력 최적화

→ 환경·기후에 대한 정밀한 데이터 확보 및 시뮬레이션을 위해 양자과학기술에 대한 지속적인 R&D 투자 및 정책 추진 필요

### Ⅲ. 대내외 환경 및 우리 현황

#### □ 기술·산업 발전 현황 및 전망

- 양자과학기술은 아직 기술 초기 단계이나 빠른 산업 성장세를 보이며, 향후 10년 전후로 본격적인 시장이 형성될 것으로 전망(21~31년 연평균 성장률 22.7%)
  - 상용화 시점은 **퀀텀 통신** 4~6년, **퀀텀 센싱** 7~9년, **퀀텀 컴퓨터** 10~14년으로 상이하며, 본격 상용화에 앞서 연구 장비, 실증 등 연구산업이 양자 산업을 견인 중



#### 〈 분야별 기술 및 산업 발전 동향 〉

##### 퀀텀 컴퓨팅

###### 기술

- 큐비트 구현에 있어 다양한 방식 플랫폼 간 경쟁 중으로 향후 주도적 방식이 가려질 전망
  - \* 초전도, 이온포획, 중성원자, 반도체스핀, 고체점결함 등
- 오류내성 양자컴퓨터(FQEC)에 의한 본격 상용화에 앞서 오류가 있는 중간규모 양자 컴퓨터(NISQ) 수준에서 활용 예상
  - \* Fault-Tolerant Quantum Computing
  - \* Noisy Intermediate Scale Quantum

###### 산업

- 구글, IBM를 필두로 IonQ, Xanadu 등 양자 컴퓨팅 스타트업 약진, Nvidia, Amazon 참여 등 글로벌 양자 기업간 경쟁 가속화
  - \* IBM은 1,121큐비트급 양자프로세서 공개('23.12)
  - \* Nvidia는 Cuda Quantum 컨소시엄을 구성하여 전략적 기술 제휴 및 투자 수행

##### 퀀텀 통신

- 유선 양자 통신은 양자키 분배(QKD) 시스템을 기반으로 초기 상용화 수준
  - \* Quantum Key Distribution
- 무선 양자 통신은 광 기반(장거리, 위성 등) 통신 원천 기술 확보 중
- 향후 양자 정보전송, 네트워크 구현을 통해 양자 인터넷을 목표로 기술 발전 중

- 양자 통신 HW장비·부품설계, 응용SW에 집중 투자·개발 중
  - \* 英 Arqit Quantum은 양자 위성통신망 응용SW 제공
  - \* 스위스 ID Quantique는 금융정보 백업을 위한 QKD 시스템 장비 보급

##### 퀀텀 센싱

- 기존 상용 센서를 뛰어넘는 고민감도·고분해능이 가능한 실험실 수준의 센서 개발 연구 수행 중
- 특정 활용 분야에서 실제 활용을 위한 소형화, 저전력화, 저가격화 개발 진행
  - \* 국방, 의료, 자동차, 에너지 분야 등

- 다양한 양자 센서 소형부품 설계 개발, 군용 및 상용 제품화 개발 진행 중
  - \* 美 Inflection사는 냉각원자를 이용한 QPS (Quantum Positioning System) 개발 추진

## □ 해외 정책 동향

- 산업·안보적 관점에서 양자과학기술과 기술과 산업 선점을 위해 각국은 경쟁적으로 국가양자전략과 투자 계획 발표

 <p><b>기술적 우위를 토대로 범정부적 지원 체계를 구축하고 종합 지원</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ (국가 퀀텀 이니셔티브<sup>NQI</sup>, '18.12) NSF, NIST, DOE, DOD 등 관계부처를 포괄하는 종합지원 체계를 구축하고, '19~'23년 동안 37억달러(5조원) 투자</li> </ul> <p><small>* Reauthorized NQI Act(NQI 재승인, '23 발의) : 산업계 지원, 인력양성, 국제협력, 응용개발지원 확대를 골자로 법 개정과 재승인 추진</small></p>	 <p><b>양자경제 선도를 위하여 강력한 양자 기반 구축 및 전략적 투자 추진</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ (국가양자전략, '23.3) '24년부터 10년 간 25억 파운드(약 4조원)을 투자하여, 양자과학기술 육성 및 양자 비즈니스 중심 국가로 도약 천명</li> </ul> <p><small>* 2033년까지 양자과학기술이 영국의 디지털 인프라와 첨단 제조기반의 필수가 되도록 시스템을 구축하고 세계 최고 양자 경제 국가 도약 추진</small></p>
 <p><b>양자 혁신과 리더십 확보를 위하여 양자 생태계 강화 및 전략적 투자 강화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ (국가양자전략, '23.1) 퀀텀 통신, 퀀텀 컴퓨터를 7대 육성 분야로 제시하고 연구개발비를 매년 7% 이상 증액하는 등 국가역량 집중</li> </ul> <p><small>* 전용 예산으로 7년간 3억 6천만 캐나다 달러를 배정하고 QRD(Quantum Research and Development Initiative) 착수</small></p>	 <p><b>양자과학기술을 3대 국가전략기술로 지정하고, 글로벌 경쟁력 강화 추진</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ (양자 이노베이션 전략, '20.1) '20~'39년까지 20년간 양자과학기술을 중점 육성하기 위한 중장기 관점의 국가 전략을 수립하고 추진 중</li> <li>■ (양자미래사회비전, '22.4) 사회전체를 양자과학 기술로 전환하는 “퀀텀 트랜스포메이션(QX)” 실현</li> </ul>

- 각국 정부 간 글로벌 협력 수요는 증가하고 있으나, 기술 동맹국 내 교류로 제한되는 추세이며, 양자 분야 기술 통제 가속화

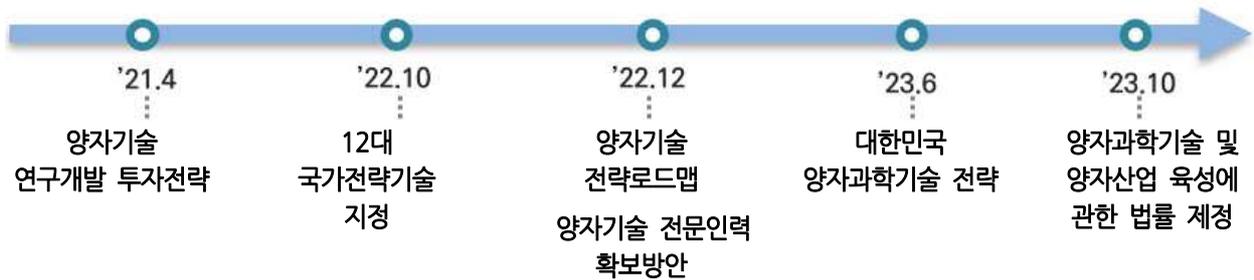
※ 정부간 퀀텀 다자협의체(2<sup>N</sup> vs 2N) : 미국이 주도하고 13개국\*이 참여하는 양자과학기술의 발전과 규제, 글로벌 생태계 조성을 논의하는 정부 간 협의체(우리나라도 '23.4월부터 참여)

(미국, 캐나다, 독일, 프랑스, 영국, 스위스, 네덜란드, 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 일본, 호주, 한국)

### < 양자과학기술 기술 통제 동향 >

 <p>미국</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 美 상무부, 퀀텀 정보 및 퀀텀 센싱 기술 상거래 통제 목록 포함('18.11)</li> <li>■ 美 상무부, 퀀텀 컴퓨팅 기술 관련 8개 중국기업 수출 금지('21.11)</li> <li>■ 美 바이든 대통령, 중국의 퀀텀 컴퓨터 분야 투자 금지·제한 행정명령 발표('23.08)</li> </ul>
 <p>EU</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EU 집행위원회, 양자과학기술 등 군사 목적으로 사용될 4대 기술의 위험성 평가 수행 및 수출통제 방안 검토 추진('23.10)</li> <li>■ 양자과학기술 등 민감 핵심기술에 대한 유럽경제안보전략 후속 이니셔티브 패키지 발표, 외국인 투자 검토 강화, 회원국 간 수출통제 조율, 민군 겸용 기술 R&amp;D 지원 등 추진('24.1)</li> </ul>
 <p>영국</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국가안보투자법을 통하여 양자과학기술 등 국가 안보에 위협이 되는 17개 분야에 대해 외국인이 해당 기업·자산을 인수할 경우 신고·심사 체계 수립('21.4)</li> <li>■ 34큐비트 이상 퀀텀컴퓨터 등 양자과학기술을 포함한 주요 신흥기술에 대한 수출 규제 확대('24.4)</li> </ul>

## □ 우리나라 정책 현황



- **(대한민국 양자과학기술 전략)** 2035년 글로벌 양자경제 중심국가 도약을 목표로 하는 중장기 비전 및 전략 발표('23.6)

\* 양자인력확보, 임무지향적 연구개발 추진, 양자 연구산업인프라 고도화, 양자경제를 위한 산업화 기반 마련, 국방안보 도입, 글로벌 리더십 확보, 지속가능한 지원체계 구축 등  
(기술수준 62.5% → 85%, 양자분야 종사인력 1만명, 양자분야 공급활용기업수 80개→1,200개 등)

- **(양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률)** 양자과학기술과 양자산업 도약을 집중 지원하기 위해 법적 기반 마련('23.10월 제정)

\* 양자전략위원회 구성, 양자종합계획(매5년) 수립, 양자 연구산업 허브(연구센터, 클러스터) 구축, 전주기적 인력양성, 연구개발추진 및 그 성과의 사업화 촉진, 국제협력 등 규정

## □ 시사점 및 추진 방향

- 양자법 제정으로 강화된 법적 기반을 토대로 비전과 구체적 전략을 마련하고, 양자 분야 역량 결집을 적극 추진할 시점

※ '23.10월 제정된 「양자과학기술 및 양자산업 육성에 관한 법률」은 '24.11월 시행

- 후발 주자에서 미래 양자 산업을 선도하기 위해서는 ▲ 획기적 투자, ▲ 글로벌 선도 가능성이 높은 영역의 선택과 집중으로 우리만의 강점 기술 확보 필요

- 연구 역량 결집을 위해 ▲ 우수 양자 인재 적극 양성·확보, ▲ 산·학·연 연구 및 산업화 역량 결집을 위한 지원 체계 확충 필요

- 기술 블록화와 국가 간 경쟁이 치열해지는 가운데 국내외 상황, 기술 안보적 특성 등을 고려한 ▲ 전략적인 글로벌 협력 추진 필요

- 표준화, 인프라, 제도적 지원을 통해 ▲ 양자 산업화 촉진 및 대응 필요

## IV. 추진 방안(안)

### QUANTUM beyond Digital

## 양자과학기술 대도약, 디지털을 넘어 퀀텀의 시대로

### 9대 중점 기술

 <p>축적된 ICT 및 기초과학 역량</p>	 <p>세계 최고 반도체 산업 국가의 1등 DNA</p>	 <p>퀀텀 기술이 적용될 첨단 제조·서비스 산업 발달</p>
<p><b>추격</b></p> <p><b>퀀텀 코어기술</b> Quantum Core Tech</p>	<p><b>선도</b></p> <p><b>퀀텀 엔지니어링</b> Quantum Engineering</p>	<p><b>개척</b></p> <p><b>퀀텀 활용 및 서비스</b> Quantum Utility / Service</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 퀀텀 프로세서(QPU)</li> <li>▶ 퀀텀 알고리즘 및 SW</li> <li>▶ 퀀텀 네트워크</li> <li>▶ 퀀텀 센싱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 퀀텀 소재·부품·장비</li> <li>▶ 퀀텀 소자·공정</li> <li>▶ 디지털-퀀텀 하이브리드</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 퀀텀 킬러 애플리케이션</li> <li>* (분야) 국방·안보, 첨단 제조, 첨단 바이오, 서비스(물류·금융) 등</li> <li>▶ 퀀텀 AI</li> </ul>

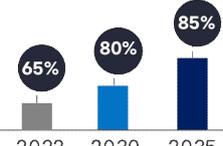
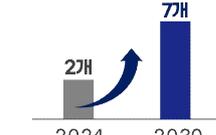
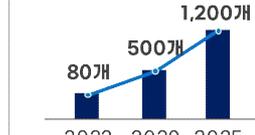
### 4대 추진 전략

<p><b>1. 투자 확대 및 전략적 R&amp;D 추진</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 투자 확대 및 프로그램화</li> <li>▶ 전략적 R&amp;D 추진</li> </ul> 	<p><b>2. 인력양성 및 플랫폼</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 우수 인력 양성 및 확보</li> <li>▶ 퀀텀 플랫폼 구축</li> </ul> 
<p><b>3. 글로벌 협력 강화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 전략적 기술동맹 강화</li> <li>▶ 글로벌 선도 대학과의 협력(QUA*) 강화</li> </ul> <p>* Quantum University Alliance</p> 	<p><b>4. 산업화 촉진</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 퀀텀 파운드리 생태계 기반 마련</li> <li>▶ 산업화 지원 인프라 확충</li> </ul> 

### 거버넌스

<p>민-관</p> <p><b>퀀텀 프론티어 전략협의회</b></p> <p>연구계·산업계·정부 간 상시 소통채널</p>	<p>정부</p> <p><b>양자전략위원회</b></p> <p>퀀텀 기술 개발·수요 부처가 참여하는 정책 협의체</p>	<p>글로벌</p> <p><b>퀀텀 대화 Quantum Dialogue</b></p> <p>미국·EU·영국 등 주요 기술선도국과의 교류협력 채널</p>
--	--	--

### 기대 효과

<p><b>기술수준</b></p> <p>기술 수준 • 최선도국 대비</p>  <p>2022: 65%    2030: 80%    2035: 85%</p>	<p><b>인력-거점</b></p> <p>양자 핵심인력</p>  <p>2024년 500명    2030년 1천명 이상    2035년 2,500명 (누적) 연구 허브 2개 이상</p>	<p><b>글로벌</b></p> <p>정부간 협력 MoU</p>  <p>2024: 2개    2030: 7개</p>	<p><b>산업화</b></p> <p>양자 활용·공급 기업</p>  <p>2022: 80개    2030: 500개    2035: 1,200개</p>
--	---	--	---

# IV-1. 9대 중점 기술

## 1. [추격] 퀀텀 코어기술 Quantum Core Tech.

◇ 우리나라의 축적된 과학기술 역량 및 발달된 ICT 인프라를 기반으로 신속한 기술 추격

### 1 퀀텀 프로세서<sup>QPU</sup>

**As-Is** • 가장 앞선 플랫폼 방식인 초전도 프로세서 개발 집중  **To-be** • 패러다임 변화 및 다양한 혁신 가능한 유망플랫폼 개발 지원 확대

- **(추격기술)** 선도국에서 앞서 발전해 온 레거시 기술의 빠른 추격을 위해 초전도 퀀텀컴퓨터를 개발(50Q, ~26)하여 완성도 높은 프로세서 기술을 조기 확보하고 큐비트 고도화, 적층·모듈화를 통해 단계적 확장 추진
    - 또한, 최근 오류정정에 있어 높은 혁신성을 입증\*한 중성원자 방식으로 슈퍼컴퓨터를 능가하는 범용 프로세서를 개발하여 양자 우월성 구현
- \* MIT-큐에라 등은 48개 논리 큐비트를 이용한 오류정정기술을 개발해 알고리즘 실행 성공 발표('23.12)

초전도	중성원자
▲ '26년 50큐비트급 퀀텀 프로세서 개발을 거쳐 '30년 1,000큐비트 이상의 확장기술 확보	▲ '30년까지 오류정정 기반으로 오류율을 획기적으로 낮춘 1,000큐비트급 퀀텀프로세서 개발

- **(유망기술)** 現 양자 과학기술의 한계를 극복하고 향후 지배적 기술로 발전 가능성이 있는 다양한 유망 플랫폼 기술\* 개발 지원 강화
- \* 이온포획, 광자, 반도체 스핀, 고체점결함 등 플랫폼별 연구단 구성·운영('24.4~)

이온포획	광자	반도체 스핀	고체점결함
▲ '27년까지 수십 큐비트급 퀀텀 프로세서 개발			
▲ '35년 300큐비트급 퀀텀프로세서 확보	▲ '35년 수만 큐비트급 범용 오류내성 퀀텀 컴퓨터 개발	▲ '35년 1만 큐비트급 오류내성 반도체 스핀 퀀텀컴퓨터 개발	▲ '35년 상온·상압에서 작동하는 100큐비트급 퀀텀컴퓨터 구현

## 2 퀀텀 알고리즘·SW

**As-Is** • 기존 퀀텀알고리즘 분석 및 활용탐색  
• 양자오류정정 이론기초 연구

**To-be** • 산업·학문적 활용 연구  
• 플랫폼별 아키텍처 및 코드 개발

- **(응용 알고리즘)** 퀀텀 컴퓨팅을 활용한 신소재·신약 개발, 제조공정·물류 혁신 등 산업과 학문적 난제를 해결하는 퀀텀 알고리즘 개발 지원 확대
  - \* 퀀텀 머신러닝, 최적화계산, 수치해석 등 개별 알고리즘 및 라이브러리 개발
- **(운영 SW)** 오류 없는 퀀텀 컴퓨터 구현을 위한 양자오류정정 아키텍처, 플랫폼별 프레임워크 및 코드 개발 추진
  - 퀀텀 컴퓨터의 혁신적 구현·운영·응용에 필요한 컴파일링, 미들웨어, 자원관리기술, 인터페이스, 서비스 솔루션 개발 등 지원

### 알고리즘

- ▲ '27년까지 NISQ 퀀텀 알고리즘 개발 및 시뮬레이션 기술 확보
- ▲ '35년까지 FTQC 퀀텀 알고리즘 및 SW 개발

### SW

- ▲ '26년까지 퀀텀컴퓨터 자체 운영체제 확보
- ▲ '30년까지 수십 논리 큐비트급 양자오류정정 기술 개발 및 성능 검증

## 3 퀀텀 네트워크

**As-Is** • 퀀텀 기기 간 연결 불가  
• 암호통신 초기 상용화(세계 3번째)

**To-be** • 퀀텀 기기 연결용 메모라중계기 개발  
• 도시 간 퀀텀네트워크 실증  
• 양자암호통신 확산·양자위성 개발

- **(퀀텀 인터넷)** 양자정보저장용 퀀텀 메모리 개발과 이를 바탕으로 현재 네트워크로 불가능한 양자정보 전송용 퀀텀 중계기를 개발하여 도시 간·기기 간 퀀텀 네트워크 실증
- **(차세대 퀀텀 암호통신)** 유선 성능<sup>전송 속도·거리</sup> 고도화로 시장 확대, 퀀텀 위성 개발을 위한 무선 기술 및 퀀텀 암호(HW)-퀀텀 내성암호(SW)\* 하이브리드 기술 개발
  - \* 아울러, 퀀텀컴퓨터 해킹 공격에 대비한 퀀텀 내성암호(PQC) 알고리즘, 퀀텀 내성암호 검증/전환기술 개발 지원, 안전성 검증 시스템 개발·실증으로 퀀텀 내성암호 체계로의 전환 지원

### 퀀텀 인터넷

- ▲ '27년까지 양자 얽힘 전송 원천기술을 개발하고, '32년까지 퀀텀메모리 기반 중계기 개발 및 오류 정제 네트워크 기술 구현

### 퀀텀 암호통신

- ▲ '32년 전국망급(500km) 유선 퀀텀암호통신 및 수십 km급 무선 퀀텀암호를 구현, 이동형 퀀텀 암호통신을 위한 요소기술 확보

## 4 퀀텀 센싱

**As-Is** • 퀀텀센싱 원천기술 기반 마련  
• 초기수준의 퀀텀센서 및 부품 개발

**To-be** • 세계 최고 원천기술 3개 확보  
• 첨단산업 융합 양자센서 상용화

- **(핵심원천기술)** 고전 센서 한계를 돌파하는 5대 원천기술(관성, 시간, 전자기장, 광학)을 확대·강화하고, 하이젠베르크 한계\* 극복 원천기술 개발  
\* 불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량을 정확하게 측정하기 힘들어 발생하는 오차
- **(수요타겟형 센서)** 세계 주요국이 초기 시작품을 개발하여 산업 선점을 추진하고 있는 **無GPS 항법, 정밀·원격탐지, 첨단산업·의료용 이미징 센서** 개발

### 無GPS 항법

- ▲ '32년까지 無GPS 전시상황, 수중에서 사용 가능한 항법시스템용 고성능 관성 센서 개발

### 정밀 원격탐지

- ▲ 재난재해(지진, 유해가스 등), 경찰, 우주탐사 등에 사용가능한 퀀텀 라이다, 퀀텀레이더 개발

### 고해상도 이미징

- ▲ '32년까지 배터리반도 결합 이미징 기술 개발
- ▲ 자율주행·의료용 초고감도 센싱기술 개발
- ※ 교통 관제를 위한 노면상태(얼음, 굴곡) 측정, 뇌·심장 진단 장비 등

## 2. [선도] 퀀텀 엔지니어링 Quantum Engineering

◆ 세계 최고 반도체 역량의 미세소자 가공 기술 및 IT·제조업 강점을 기반으로 퀀텀 코어 기술의 시스템화 선도

### 1 퀀텀 소재·부품·장비

**As-Is** • 높은 해외 의존도  
• 최근 일부 분야 연구개발 착수

### To-be

- 글로벌 시장 겨냥 9대 분야 핵심 소부장 개발
- 반도체·제조 장비업체의 양자기업 전환 지원

- **(소재·부품·장비)** 국가 안보적 중요성이 크고 미래 기술 발전, 산업화에 결정적 영향을 미치는 9대 소재·부품·장비\* 자체 기술 확보 및 산업화 지원  
\* 양자 광원, 레이저, 신호필스 측정·제어(생성·처리·변환) 장비, 검출기, 냉동기 등
- **(미래 소재)** 기술 패러다임을 바꿀 수 있는 상온, 저전력, 무오류 양자 상태 구현을 위한 차세대 퀀텀 소재 개발 추진

### 소재·부품·장비

- ▲ '25년 성능 검증을 위한 테스트 환경 구축운영
- ▲ '30년까지 9대 핵심 품목 자체 기술 확보 및 산업화

### 미래 소재

- ▲ '30년까지 무오류 양자 소재 개발

## 2 퀀텀 소자·공정

**As-Is** • 퀀텀 소자 공정개발 지원 미흡  
• 퀀텀 공정 체계화 및 전문인력 부족



**To-be** • 퀀텀 연구자 대상 공정기술 개발  
• 전문 퀀텀공정 엔지니어링 지원

- **(소자 설계)** 원천기술이 집약된 퀀텀 소자 프로토타입 확보를 위해 플랫폼별 소자 설계 기술 개발 지원
- **(소자 제작)** 소자 방식별 맞춤형 공정 설계, 전문 제작 및 패키징 기술을 확보·고도화하는 한편 새로운 방식의 퀀텀 공정 기술 개발도 지원

### 소자 설계

- ▲ 다양한 소재기반 공정 개발 지원
- ▲ 새로운 퀀텀 공정 개발 스몰 프로젝트
- ▲ 퀀텀 장비 직접 사용을 위한 전문교육지원

### 소자 제작

- ▲ 반도체 공정 전문가 대상 퀀텀 공정 융합실습교육
- ▲ 퀀텀 공정 프로세스의 정립

## 3 디지털-퀀텀 하이브리드

**As-Is** • 슈퍼컴퓨터와 퀀텀 컴퓨터 활용 연구는 각각 진행



**To-be** • 슈퍼컴퓨터와 퀀텀컴퓨터 연계를 통한 상호보완적 활용 연구 촉진

- **(내장형)** 슈퍼컴퓨터를 활용해 오류·확장성 등 퀀텀컴퓨터의 한계를 극복하는 퀀텀 가상머신, 양자오류보정 및 퀀텀프로세서 간 연결 기술 개발
- **(통합형)** 상호보완적 강점이 있는 퀀텀-슈퍼컴퓨터를 통합 활용하기 위한 데이터 전송 프로토콜, 보안체계 등 호환 기술 및 하이브리드 알고리즘·SW 개발

### 내장형 하이브리드

- ▲ '24년 40큐비트급 퀀텀가상머신 클라우드 서비스 제공
- ▲ '30년까지 슈퍼컴퓨터를 활용한 양자오류정정 및 퀀텀프로세서 연결기술 개발

### 통합형 하이브리드

- ▲ '27년까지 퀀텀슈퍼컴 분산형 컴퓨팅 기술 및 하이브리드 알고리즘 실행 환경 개발
- ▲ '30년까지 하이브리드 알고리즘 개발 및 활용

### 3. [개척] **퀀텀 활용 및 서비스** Quantum Utility & Service

◆ 우리의 발달된 첨단 제조·서비스 산업에 양자과학기술을 적용하여 효율성을 획기적으로 제고하고 활용사례를 창출하여 新영역 개척

#### 1 **퀀텀 킬러 애플리케이션**

**As-Is** • 다양한 활용을 위한 탐색 연구

**To-be** • 첨단산업, 바이오의료, 국방안보 분야 적용 기술을 위한 기술개발 지원

○ 실제 산업 및 일상 생활에 인접 분야에 **퀀텀 컴퓨팅, 퀀텀 네트워크, 퀀텀 센싱**을 적용하여 기존 시장을 압도하는 **킬러 애플리케이션** 창출 지원

<b>국방·안보</b>	<b>첨단 제조</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 국가공공기관용 군 보안통신</li> <li>▲ 전시 無GPS 항법, 수중 대체 항법</li> <li>▲ 은닉 표적 원격 탐지(양자광 라이다레이다)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 이차전자반도체 결합 검출 센싱 기술</li> <li>▲ 친환경 신소재촉매 개발, 산업현장 유해가스 검출 센서 ▲ 고기능성 광학필름 설계 공정</li> </ul>
<b>첨단 바이오</b>	<b>서비스</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 노화 기전 연구 ▲ 혁신 항암제 등 신약 개발</li> <li>▲ 퀀텀 MRI를 활용한 3차원 단백질 구조 분석</li> <li>▲ 뇌 심장 진단 장비 ▲ 맞춤형 방사선 치료 최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ 금융투자 포트폴리오 최적화, 고객 데이터 보안</li> <li>▲ 교통·물류 경로의 최적화</li> <li>▲ 정밀한 기상·기후 예측</li> </ul>

#### 2 **퀀텀 AI**

**As-Is** • 기초·이론연구 지원

**To-be** • 퀀텀 AI 원천기술 개발 및 적용 연구 지원

- **(한계 돌파)** 복잡·초거대 AI 속도와 정확도를 극대화하는 **퀀텀 데이터셋 처리 및 기계학습, 최적화 기술** 개발 지원
- **(혁신 창출)** 진보된 학습·알고리즘을 토대로 **고도의 수학 난제, 암호 해독, 날씨 변화 및 경제 흐름 예측, 지능형 로봇 구현** 등에 적용 모색

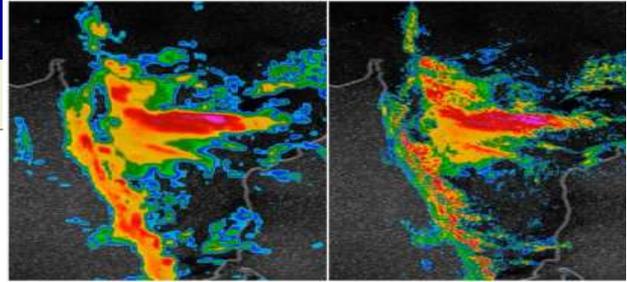
<b>한계 돌파</b>	<b>혁신 창출</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ '30년 프로그래머블 퀀텀 회로 기반 퀀텀 AI 알고리즘 및 소프트웨어 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ '35년 기술적 한계로 실현하지 못한 고도의 난제문제를 퀀텀 AI를 통해 현실화</li> </ul>

## [참고] 퀀텀 애플리케이션 해외 사례

### IBM-빅블루社 ▶

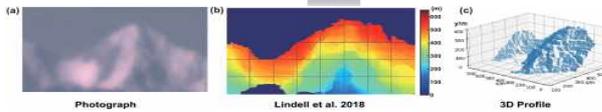
퀀텀컴퓨터를 활용한 기상관측 솔루션(GRAF) 개발

→ 13km단위로 구역을 관측하던 기존시스템에서  
3km단위로 측정하여 더 정확한 기상 정보 예측



〈기존 기상 관측 시스템〉

〈IBM의 GRAF 기상 관측 시스템〉



### ◀ 상하이 양자과학연구센터

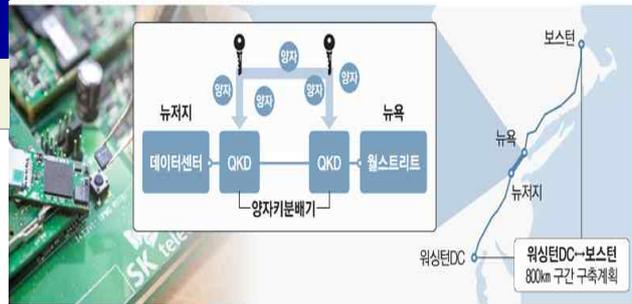
201km거리의 지형 측정 성공

→ 단일광자이미징으로 지형을 픽셀당 0.44개의  
광자로 측정하여 3D로 재구성

### IDQ-미국 월스트리트 금융가 ▶

美 월가 금융망에 800~1,000km 퀀텀암호통신 구축

→ 뉴욕과 뉴저지 구간에 1차 구축 후, 보스턴-  
워싱턴의 800Km 구간에 퀀텀암호통신상용  
서비스 시작



### ◀ SANDBOX AQ

퀀텀 항법, 배터리, 신약 등 양자이득 사업화 추진

→ 구글의 모회사인 Alphabet에서 시작된 퀀텀  
AI 솔루션 스타트업인 Sandbox AQ(이사회 의장  
: 前 구글 CEO 에릭 슈미트)는 퀀텀기술을 기반  
으로 퀀텀 항법 시스템(+美 공군), 배터리  
성능 개선(+노보닉스社), 신약 개발(+아스트  
라제네카) 추진 중

\* '23.10월 기준 5억불(한화 약 6,745억원) 투자받음



### 유럽우주청(ESA)-獨 올리히연구소 등 ▶

위성을 활용한 기후 예측, 3D 모델링 정밀도 향상

→ 올리히연구소는 유럽 우주청의 지원을 받아  
탈레스 알레니아 스페이스, 국립핵물리학 연구소,  
IQM 등과 함께 위성의 지구 관측(예: 기후 예측,  
3D 모델링 등)에 퀀텀컴퓨팅을 활용하기 위한 개발  
(퀀텀컴퓨터 HW/SW 구조, 응용 알고리즘) 중



## IV-2. 4대 추진 전략

### 1. 투자 확대 및 전략적 R&D 추진

◆ 초기 시장 진입 실패시 추격이 어려운 승자독식 구조로 국가 차원의 투자 확대 및 전략적인 R&D 지원으로 빠른 기술 추격 필요

#### 1 투자 확대 및 프로그램화

○ **(투자 확대)** 기술 발전 및 상용화 초기 단계인 양자과학기술 역량 확보와 기업 참여 촉진을 위해 초기 단계 집중 투자

- 임무지향형 R&D 사업 착수 등을 통해 '25년 전년 대비 큰 폭으로 투자 확대

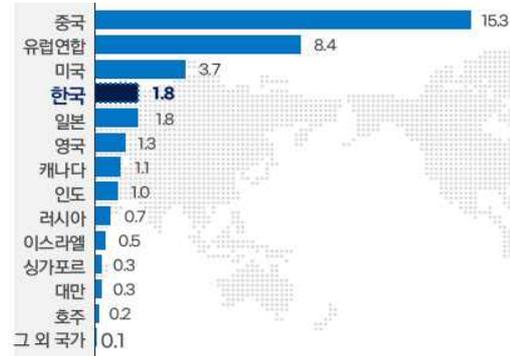
※ 정부는 '35년까지 민·관 합동 3조원 이상 투자 발표(대한민국 양자과학기술 전략, '23.6)

<정부 양자 투자 현황 및 계획(단위 : 억원)>



\* '24년 대비 2배 이상 확대 목표로 추진

<국가별 양자 분야 투자 발표(단위 : 10억 달러)>



○ **(R&D 사업 프로그램화)** 분절된 다수의 양자 R&D 사업을 프로그램화하여 안정적이고 규모 있는 적시 투자체계 확보

- 장기적·지속적 지원이 필요한 세부사업을 하나의 프로그램형 사업으로 통합하여 핵심기술, 국제협력, 인프라 등 내역으로 구성('25년~)



## 2 전략적 R&D 추진

- **(중장기 기술선도 : 촘촘한 지원)** 우리나라가 경쟁력을 가질 수 있는 기술을 폭넓게 지원하여 발굴·육성함으로써 세계를 선도할 기회 모색
  - 주도적 기술 방식이 확정되지 않은 가운데 다양한 방식<sup>플랫폼</sup>별 혁신 가능성을 고려하여 경쟁 기술에 대한 촘촘한 지원 강화
  - 주기적 검토를 거쳐 기술 발전 방향 및 성과에 따라 선택적 집중 지원

- (퀀텀 컴퓨팅) 이온포획, 광자, 반도체스핀, 고체점결함 등 4대 유망 플랫폼을 중심으로 큐비트 구현에서 시스템 수준으로 확장발전시키기 위해 4대 플랫폼 연구단 구성(24.4)
- (퀀텀 네트워크) CMOS, 중성원자, 고체점결함 등 6대 유망 플랫폼 원천기술을 병렬적으로 개발하고 우수한 방식에 대해 검증을 거쳐 시스템으로 구현

- **(중장기 기술추격 : 임무지향형 개발)** 선도국들이 발전시켜 온 레저시 기술 (초전도 방식 등)의 빠른 습득·추격으로 양자과학기술 기본 역량 확보
  - 명확한 목표를 가진 시스템 개발사업 추진으로 핵심기술과 시스템화 역량 확보
    - \* 큐비트 생성·구현, 측정·제어, 상호연결·호환 인터페이스 기술 개발을 통해 시스템화 추진
  - 발전 변동성이 큰 분야인 만큼 중간 점검을 통해 기술 환경 변화에 따라 R&D 사업의 범위·목표를 유연하게 변경·관리

〈참고〉 퀀텀 컴퓨팅 큐비트 구현방식(플랫폼) 유형

구분	초전도	중성원자	이온포획	고체점결함	반도체스핀	광자
특징	고체소자 기반, 트랜스몬 방식 발전	레이저 기술로 중성원자를 포획·제어·측정	진공상태에 속박된 이온화된 원자의 결맞음	고체 내 인공원자 전자스핀 활용	CMOS 호환공정, 스핀 상태의 높은 결맞음	양자광원, 선형 광소자 등 활용
장점	빠른 게이트 속도, 반도체기술 활용	상온 작동 큐비트 균질성	소자 안전성, 높은 신뢰도	상온 작동	소자의 안전성, 반도체기술 활용	상온 작동, 전송 용이
단점	초저온 유지, 짧은 양자상태 유지시간	초정밀 레이저, 신뢰도 구현 난이도	느린 게이트 속도, 복잡한 레이저 장치	얽힘 구현 난이도 높음	얽힘 구현 난이도, 초저온 유지	대규모 얽힘 생성 어려움

※ 현재 초전도·이온포획 방식이 상용화를 주도하고 있으나, 향후 기술 발달 양상에 따라 주도 방식이 바뀔 수 있음

- **(단기 상용화 연구)** 퀀텀 센싱·통신 상용화, 퀀텀컴퓨팅 시스템화, 퀀텀 소자, 소재·부품·장비 국산화 개발에 있어 민간의 주도 및 참여 적극 유도
  - 기업 참여를 요구하는 양자 활용연구사업 및 상용화 지원사업 확대

## 2. 인력 양성 및 퀀텀 플랫폼 구축

◆ 퀀텀 핵심인력 및 퀀텀 융합인력 및 엔지니어의 육성으로 조화로운 퀀텀 생태계를 형성하고 안정적인 연구산업 경로(career-path) 지원

### 1 우수 인력 양성 및 확보

- **(우수인재양성)** 양자대학원, 해외 파견 연수 등 국내외 전문 교육과정 및 연구개발사업을 통해 양자 핵심인력 집중 양성 및 확보(~'30년 1천명)
  - 양자대학원, 우수연구센터, 해외인력교류 등을 통해 석·박사를 집중 육성하며 기초연구지원, 정착연구비 지원(최대 5억) 등 신진연구자 지원 강화
  - 연구개발 지원으로 인접 학문 분야(전기·전자/컴퓨터공학/정보통신/기계공학 등)로부터 인력이 유입되도록 지원하여 양자 융합인재 및 엔지니어 양성

< 양자 인력 양성 프로그램 현황 >

국내 양성		해외 파견 양성 (석박사, 포스닥)
양자대학원	우수연구센터(SRC/ERC/ITRC)	
고려대, 카이스트	포스텍, 서울대, 연세대, KAIST, 고려대, 부산대, UNIST 등	양자정보연구지원센터 해외공동연구센터

- **(해외 우수연구자유치)** 양자 분야 경험을 축적한 해외 우수 연구자를 사업단장 등으로 적극 유치하여 국내 양자과학기술계에 활력 제공

< 국내외 퀀텀 인력 현황('24.1) >

▶ 국내 대학, 출연(연), 산업계 핵심 인력은 499명('24.1월)으로 조사('22년 384명)

 대학	▶ 서울대, KAIST, 포스텍, 고려대, 성균관대, 한양대, 경희대, GIST, DGIST, UNIST 등 30개 대학에 교수급 202명 포함 총 826명
 출연(연)	▶ 표준(연), KIST, ETRI, KISTI, 국보(연), 국과(연) 등 16개 기관에 책임급 116명, 선임급 105명 포함 총 221명
 기업	▶ LG전자, 통신 3사(SK, KT, LGU+), 큐노바, 코위버, SDT, 큐심플러스, IDQ, LG화학, 현대차 등 43개 기업에 고급 76명 포함 총 154명

\* 해외 대학, 연구소, 기업에 소속된 양자 관련 한인 연구자 약 60여명으로 파악('22년 논문 분석 결과)

## 2 퀀텀 플랫폼 구축

- **(퀀텀 연구허브 구축)** 국내외 퀀텀 산학연 역량 결집을 위해 해당 역량을 보유한 연구기관을 중심으로 산·학이 참여하는 개방형 퀀텀 연구 거점 구축
  - ① 퀀텀 코어기술/활용 연구, ② 대학-출연(연) 간 인력 공동 양성\*, ③ 안정적 기술 축적을 위한 연구 인프라 확충 추진('25~)

\* 美 NIST-볼더 대학(JQI, Joint Quantum Institute), 美 NIST-메릴랜드 대학(JILA) 모델

< 퀀텀 연구 허브(예시) >

<b>Hub I. Next QUANTUM</b> <b>- 차세대 퀀텀 연구 허브 -</b>	<b>Hub II. QUANTUM Utility</b> <b>- 퀀텀 활용 연구 허브 -</b>
▲ 퀀텀 중장기 핵심원천(코어) 연구 	▲ 퀀텀 활용 연구 및 소재부품 등 개발 

**공통기능** ▲ 상용화 본격화 이전, 양자대학원 등을 통해 배출되는 퀀텀 인력의 저수지 기능  
 ▲ 연구용 퀀텀인프라 집적(퀀텀팍, 테스트베드, 측정·연구설비)을 통한 효과적 활용  
 ▲ 기술적 난이도가 높은 퀀텀기술에 대한 산업계 접근성 제고 및 협력기회 제공

※ 현재 진행 중인 기존사업(퀀텀팍 공정기술 고도화 기반구축, 퀀텀테스트베드 등)을 포함하여 구성  
 ※ 고려대, KAIST는 과기정통부 양자대학대원 사업 주관 대학

- **(지원체계 고도화)** ① 교육·훈련, ② 생태계, ③ 통합 정보, ④ 글로벌 협력 등 4대 기능을 중심으로 퀀텀 산학연 연구자·기관을 지원하는 전문 지원체제로 재편

< 국내 퀀텀 분야 지원 기능 개편 방향 >

양자국가기술 전략센터	양자정보연구 지원센터	양자산업생태계 지원센터	<b>통합 플랫폼 구축</b>	
한국표준과학연구원 ('22.8.~)	성균관대학교 ('20.8.~)	한국기능정보사회진흥원 ('22.1.~)	<b>교육·훈련</b> 온라인 교육(초중고~산업인력) 제공, 해외 인력 파견	<b>생태계 조성</b> 전국 나노랩/장비 정보 제공, 연구자 간 네트워킹 지원
국가적 차원의 양자과학기술 정책전략 수립 지원	양자과학기술 인적·물적 기반 구축 및 저변 확대	국내 양자산업 생태계 조성 및 산업화 역량 확보	<b>통합 정보</b> 정책정보·통계 통합관리 및 통합 정보시스템 운영	<b>글로벌 협력</b> 해외 인력/공동 연구 현황, 해외 기관·연구자 매칭 지원

\* 현재 3개 정부 산하 지원센터에서 각각 지원 중

### 3. 글로벌 협력 강화

◇ 기술 블록화가 가속화되는 가운데 최고 수준의 연구역량 확보를 위해 미국 EU 등 양자 선도국과 국가 차원의 기술동맹을 강화하고 실질적 협력 확대

#### 1 전략적 기술동맹 강화

- **(협력 기반)** 미국·유럽 등 주요 선도국과 기술동맹 수준의 정부 간 협력 기반을 강화하여 산학연 교류·협력 촉진 및 글로벌 연대체계 공고화
  - 정부간 긴밀한 협력의 뒷받침이 필요한 민감한 기술분야 특성을 고려, 실질적 공동연구기반 조성을 위한 정부 간 협력 및 공동연구 강화
    - \* '30년까지 5개 이상 기술 선도국과의 정부 간 신규 쿼텀 협력 추진
  - 표준화 협력, 공급망 확보, 정책 협력 등을 위한 다자 간 연대·협력 체계\*에 적극 참여하여 정보 공유 및 정책 공조
    - \* 미국을 중심으로 유럽 주요국, 호주, 일본 등 13개국 참여하는 정부간 쿼텀 다자협의체 (2<sup>N</sup> vs 2<sup>N</sup>), 전략물자 및 기술 등의 수출통제를 위한 바세나르 체제('96~, 42개국), OECD, 유네스코, 한-미-일/한-미-인 등 간 차세대 핵심신흥기술(CET) 협력 등
- **(협력 전략)** 대내외 여건, 기술·안보적 특성 등 국가별 상황을 고려한 특화된 양자과학기술협력 방안을 도출하여 전략적·체계적 국제협력 추진
  - \* 양자과학기술 국제협력 전략 마련('24.상)

#### 2 글로벌 선도 대학과의 협력 지원

- **(협력 체계)** 국내 대학이 글로벌 쿼텀 리딩그룹으로 성장할 수 있도록 해외 우수 대학과 쿼텀 얼라이언스(Quantum University Alliance, QUA) 체계 구축
  - ※ 예 : 韓 KAIST- 美 MIT, 韓 서울대 - 美 시카고대 - 日 동경대 / 印 IIT 뭄바이 등 간
- **(협력 내용)** 국내-해외 대학간 선제적 협력 플랫폼을 통해 글로벌 기술을 선도하는 혁신적 공동연구 기획·수행, 공동 R&D를 기반으로 한 석·박사 등 연구인력 교류 추진

## 4. 산업화 촉진

- ◆ 퀀텀 소자공정, 시험·검증 지원으로 양자과학기술의 발전을 뒷받침하고 우리의 강점을 기반으로 관련 산업 시장 선점 추진

### 1 퀀텀 파운드리 생태계 기반 마련

- **(개방형 퀀텀팹)** 다양한 수요에 대응하여 연구자가 직접 사용하는 개방형 퀀텀 전용팹 구축·운영('24년 신규) 및 공동 활용 체계 마련
  - 플랫폼별 단위공정 개발로 퀀텀 소자 직접 설계·공정 노하우 확보
  - 개방형 퀀텀팹 사용자 교육, 전문 공정 엔지니어 양성 및 공정 표준화, 퀀텀팹 간 연계 운영 등을 통해 퀀텀소자 생태계 구축
- **(퀀텀 전문제작 팹)** 양자 시스템 개발을 지원하고 중장기적으로 퀀텀 파운드리 시장 진출을 위한 마중물로 퀀텀소자를 전문 제작·공급하는 공공팹 구축·운영
  - 개방형 퀀텀팹 운영으로 축적한 다양한 공정기술을 토대로 표준화된 공정 프로세스를 확립하고 일괄공정에 기반한 양자 소자 제작 서비스 제공
  - 우선, 초전도 소자 전문팹(QFab, 성균관대)을 구축하여 본격 위탁 제작 서비스를 시작('24.상)하고 향후 유망 플랫폼 발전 방향에 맞춰 추가 구축 검토

[1단계] '24~'27

권역별 공공 개방형 퀀텀팹  
확충 및 공정인력 집중 양성

[2단계] '28~'31

공공 퀀텀팹/파운드리 운영 및  
고도화

[3단계] '32~'35

(민간)전문생산 파운드리 확산

※ 우리나라는 양자 분야 후발주자이지만, 세계 각국은 반도체 소자공정기술과 양자과학 기술의 접목 가능성에서 대한민국의 잠재력 기대 및 협력 의향 표시  
(양자 산업화를 위해서는 구성품의 소자화, 소형집화 및 양산 능력 필요)

### 2 산업화 지원 인프라 확충

- **(퀀텀 부품·장비 테스트베드)** 자체 개발한 퀀텀 소재 및 소자, 부품, 장비 등이 연구개발을 넘어 산업화될 수 있도록 시제품 테스트 환경 구축('24~)
  - ※ 신기술시제품의 성능·효과·안정성 평가 및 시험성적서 발급, 기업 기술 지원 제공 등

<p>▶ (통신·센서) 양자 전문역량 보유한 출연(연)에 망 기반 측정시험 설비를 구축(24~), 개발·생산 기업 대상으로 시제품, 부품장비 시험검증 제공</p> <p>* (시험검증) ETRI, KRISS, KIST (시험 성적서 발급) NIA, TTA</p>	
<p>▶ (컴퓨팅) 실제와 유사한 퀀텀컴퓨팅 테스트 설비를 집적화 구축하여 국내 개발 성과물 및 시제품의 상호 연동 성능테스트 등을 통합 제공</p> <p>* 국내 스타트업, 중소기업 대상으로 연구개발을 위한 공간을 제공하여 클러스터화 추진</p>	

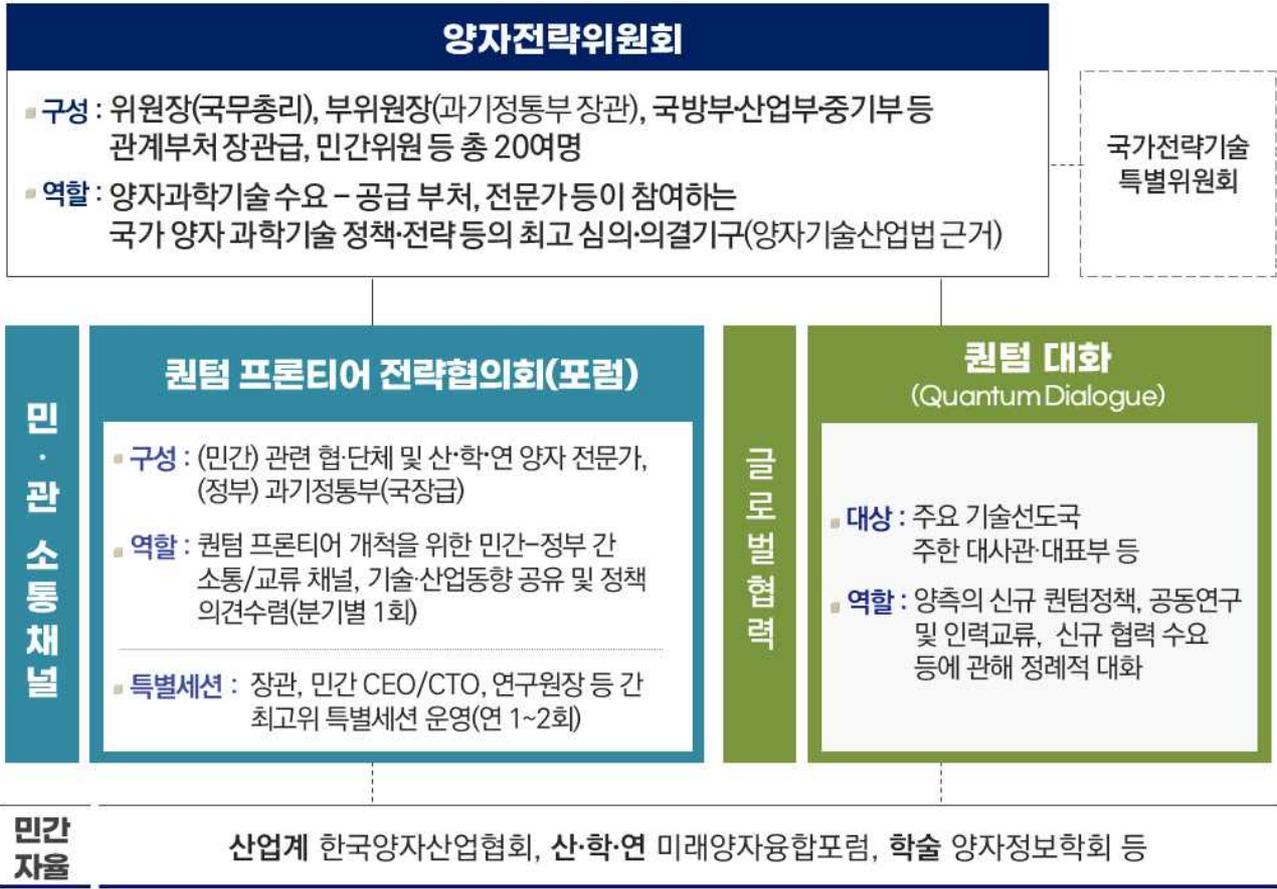
- **(퀀텀컴퓨팅 인프라)** 국내 산학연에게 해외 클라우드 서비스를 확대 제공하고, 해외 퀀텀 컴퓨터 도입을 통한 자체 운영체제 구축 및 공동 활용 추진
  - 클라우드 서비스 체계를 개발하여 퀀텀컴퓨터를 독자 운영하고, 사용자 지원센터 운영을 통한 알고리즘 공동개발 및 인력교육 등 발전적 생태계 조성

### 3 제도적 지원 강화

- **(표준화)** 퀀텀 암호통신 등 양자 분야 표준화 기반 확충, 국제 표준화 주도를 위한 민·관 협력 및 국제 표준화 활동 참여 강화
  - 국내 표준화 연구반, 민관 합동 범국가 표준화 협의체 구성·운영 등
- **(보안 적합성 검증 제도)** 퀀텀암호통신기기 산업화 및 해외시장 진출을 위한 보안 적합성 검증제도 활성화 및 확산 지원
  - \* 퀀텀 암호통신장비를 대상으로 국가공공기관 도입에 필요한 보안 적합성 검증제도를 세계 최초 시행('23.4, 국정원-과기정통부)
  - 퀀텀 테스트베드를 기반으로 퀀텀암호통신 보안 적합성 검증제도 운영을 위한 시험 환경을 제공하고, 관련 기업 기술지원(컨설팅) 제공
- **(기업 R&D 참여 및 전환 촉진)** 정부 R&D 참여 기업에 대한 현금 부담 비율 탄력적 적용, 출연(연) 등 공공기술 이전 시 기업의 독점적 특허 사용 권한(전용실시권) 부여 등
  - 기업 연구자 대상 퀀텀교육/재교육을 통해 양자기업으로의 전환 지원
  - ※ 현재 80여개 수준의 양자 공급활용기업을 500개로 확대 추진

# IV-3. 퀀텀 거버넌스

◆ 법적 기반을 바탕으로 퀀텀 코어기술 확보 및 양자 산업화를 위해서는 **민-관이 한 팀(one team)**으로 기능하는 전략적 국가 퀀텀 거버넌스 필요



## 1 [정부] 양자전략위원회 (신설)

- 국방·안보 등 수요 부처가 참여하는 범부처 협력기구이자 국가 양자과학기술정책·전략의 최고 심의·의결기구로서 양자전략위원회\* 및 실무위원회·전문위원회 구성·운영(양자법 기반)
  - \* 구성 : 위원장(국무총리), 부위원장(과기정통부 장관), 국방부·산업부·중기부 등 관계부처 장관급, 민간위원 등 총 20여명
- 중장기 양자종합계획 수립 및 관련 업무 조정, 클러스터 지정 등 양자과학기술 정책 전반 심의
- ※ 양자 분야는 12대 국가전략기술로 국가전략기술특별위원회 및 특위 산하 양자조정위원회와 연계 운영

## 2 [민-관] 퀀텀 프론티어 전략협의회(포럼) (확대 개편)

- 퀀텀 프론티어 개척을 위한 민간-정부 간 소통/교류 채널로서 '퀀텀 프론티어 전략협의회' 운영
  - (정기세션) 정부(국장급), 민간 협·단체 및 산·학·연 전문가\*가 참여하여 양자과학기술 및 산업동향 공유, 정책 의견수렴·소통(분기별 1회 이상)
    - \* 민간 자율로 운영 중인 한국양자산업협회(산업계), 미래양자융합포럼(산학연), 양자정보학회(학술) 등을 포함, 주요 양자 분야 연구자 및 기업 등 포함(간사기관 : 양자국가기술전략센터)
  - (특별세션) 기존 '양자 최고위 전략대화'를 과기정통부 장관, 민간 CEO/CTO급, 연구원장 등 간의 최고위 세션으로 진행(연 1~2회)

## 3 [글로벌] 주요국과의 퀀텀 대화(Quantum Dialogue) (신설)

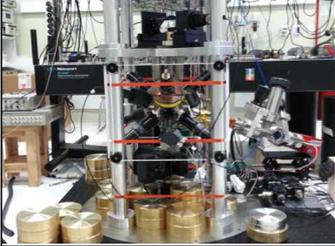
- 국가간 퀀텀 협력 확대, 공조 추세 등을 반영하여 주요 기술선도국 주한대사관·대표부 등과의 실무급 '퀀텀 대화' 신설·정례화 추진
  - (목적) 양측의 신규 양자정책 및 관심분야, 공동연구 및 인력교류 현황, 신규 협력수요 등에 관해 정보교류 및 협의·소통
    - ※ 정기적인 정보교류 및 소통을 통해 협력과제를 발굴하고, 추후 고위급 교류 및 과학기술공동위원회 등 계기에 의제를 확정·추진하는 형태로 반영
  - (대상) 주요국 주한 대사관·대표부 등과 실무급(참사관급/과장급)으로 추진하고, 상대국 정부도 필요 시 참여
    - ※ 퀀텀 다자협의체 참여국가, 우리와의 과학기술공동위 운영국가 등을 중심으로 시작

## V. 향후 계획(안)

추진 내용	향후 계획
<b>1 투자 확대 및 전략적 R&amp;D 추진</b>	
① 투자 확대 및 프로그램화 ② 전략적 R&D 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 양자 연구개발사업 프로그램화('24.하)</li> <li>· '25년 예산(안)에 반영('24.하)</li> </ul>
<b>2 인력 양성 및 퀀텀 플랫폼 구축</b>	
① 우수 인력 양성 및 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신규 양자대학원 선정('24.상), 총 3개 양자대학원 확충·운영</li> </ul>
② 퀀텀 플랫폼 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 퀀텀 플랫폼 추진방안 구체화 및 구축 방안 발표('24.상)</li> </ul>
<b>3 글로벌 협력 강화</b>	
① 전략적 기술동맹 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 양자과학기술 국제협력 전략 발표('24.상)</li> </ul>
② 글로벌 선도 대학과 협력 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 퀀텀 대학 얼라이언스(Quantum University Alliance, QUA) 추진 체계 구축 및 지원 사업 착수('25~)</li> </ul>
<b>4 산업화 촉진</b>	
① 퀀텀 파운드리 생태계 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개방형 퀀텀팍 신규 선정 및 구축 착수('24.상)</li> <li>· 국가 퀀텀팍 확충 및 운영방안 발표('24.상)</li> </ul>
② 산업화 지원 인프라 확충	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 퀀텀 통신/센싱 부품장비 테스트베드 구축 착수('24.상)</li> <li>· 퀀텀컴퓨팅 테스트베드, 퀀텀컴퓨팅 자원 제공 체계 구축 및 지원사업 착수('25~)</li> </ul>
<b>5 퀀텀 거버넌스 구축</b>	
① 체계 구축 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 양자전략위원회 구성('24.하)</li> <li>· 퀀텀 프론티어 전략협의회 발족('24.상)</li> <li>· 주요국과의 퀀텀대화('24.하~)</li> </ul>

# 참고

## 국내 양자과학기술 분야 주요 성과

성과명	주요내용
<p><b>연구</b> 20큐비트급 초전도 양자 컴퓨터 시연</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 20큐비트급 초전도 방식 양자 컴퓨터 시연을 통하여 큐비트 정의, 양자 오류 개선, 양자 중첩, 얽힘 등 실시간 분석 수행(KRISS, '24.1)</li> <li>* 양자컴퓨팅 인프라 구축 사업</li> <li>☞ 향후, 50큐비트 초전도 기반 양자컴퓨터 구축 및 클라우드 서비스 제공을 목적으로 추진 중</li> </ul>
<p><b>연구</b> 전자스핀 양자비트</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 고체 표면 위 단일 원자의 전자스핀을 이용하는 새로운 양자 플랫폼 제시 및 복수 큐비트(양자비트) 시스템 구현 성공(IBM, '23.10)</li> <li>* IBM 양자나노과학연구단</li> <li>☞ 새로운 큐비트 플랫폼 기반 양자 컴퓨팅 가능성 제시</li> </ul>
<p><b>연구</b> 최고 수준의 중력센서 기술 개발</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 고전중력계 대비 10배 이상 높은 정밀도로 연속동작이 가능하여 기존 중력계의 측정 한계를 극복할 수 있는 세계 최고 수준 양자 중력계 개발(KRISS, '23.12)</li> <li>* 양자기술 상용화 기반조성 사업</li> <li>☞ 세계 최고 수준 양자 중력계 기술 확보로 항법, 지진 및 화산감지, 자원 탐사 등에 활용 가능</li> </ul>
<p><b>국제행사/정책</b> 한-스위스 양자석학과의 대화</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대통령 주재로 스위스 취리히 연방공대에서 글로벌 양자 석학들과 양자기술의 발전방향 논의('23.1.19)</li> <li>☞ “대한민국 양자 대도약의 원년” 선포</li> </ul>
<p><b>국제행사</b> 양자 코리아 2023 개최</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 양자 분야의 국제 교류 및 대국민 소통의 장을 마련하고, 글로벌 양자커뮤니티 내 우리의 위상 강화('23.6.26~29)</li> <li>☞ 국내외 양자 전문가, 산업계, 일반 국민 등 4천여명</li> </ul>
<p><b>인력</b> 양자 대학원 출범</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 양자 분야 전문인력 확보를 위하여 양자대학원 등을 통한 전문 인력 양성, 글로벌 교류 확대를 통한 글로벌 교류, 인재 유치 강화(고려대, KAIST, '22/'23)</li> <li>* 양자정보과학 인적기반조성사업</li> <li>☞ 양자과학기술 선도국 진입을 위한 양자 전문인력 확보</li> </ul>
<p><b>제도</b> 양자암호통신장비 적합성 검증제도 마련 인증제품 출시</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 세계 최초 양자암호통신 제품군 대상 보안 검증 체계를 마련('23.4)하고 보안검증 통과 사례* 창출</li> <li>* 양자암호통신장비(QKMS)제품('23.11)</li> <li>☞ 양자과학기술 기반 국가공공분야 통신망 보안성 강화</li> </ul>
<p><b>인프라</b> 양자양자 구축</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 양자정보과학 물적기반 확대를 위하여 단일 공정 서비스, 일괄 공정서비스 등을 제공하는 양자양자 구축 및 운영(성균관대/KANC, '24.4)</li> <li>* 양자정보과학 연구개발 생태계 조성사업</li> <li>☞ 양자과학기술 개발 확산을 위한 물적 기반 구축</li> </ul>