10th Anniversary

GISC 2026

Global ICT Standards Conference 2026

CBQRC

전파연구원 ICT 표준 전문가 세미나

양자정보기술 동향과 국제표준화 대응 전략 (양자컴퓨팅·센싱 중심)

양자기술 플랫폼 연구센터
Quantum Technology Platform Research Center

충북대학교 물리학과 교수 / 충북양자연구센터장
김기웅

ICT Standards and Intellectual Property:
Shaping the Physical AI

주최 과학기술정보통신부 지식재산처 주관 국립전파연구원 TTA IITP KEA kista ETRI

발표 구성

01 **기술동향과 성능 검증**
양자컴퓨팅·센싱의 성과와 남은 과제

02 **국제표준화 현황**
발행 표준·개발 과제·담당 기구

03 **국내 대응 전략**
공동시험과 기고문 중심의 실행 제안



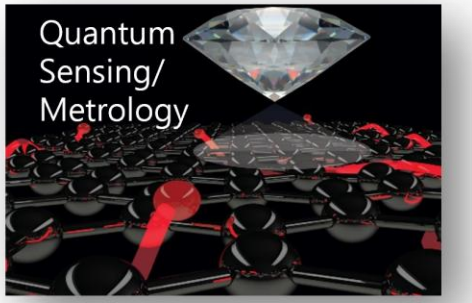
양자컴퓨터

- 범용 양자컴퓨터
- 양자 어닐러(최적화 문제)
- 양자연산 클라우드 서비스



제2차 양자혁명

얽힘&중첩

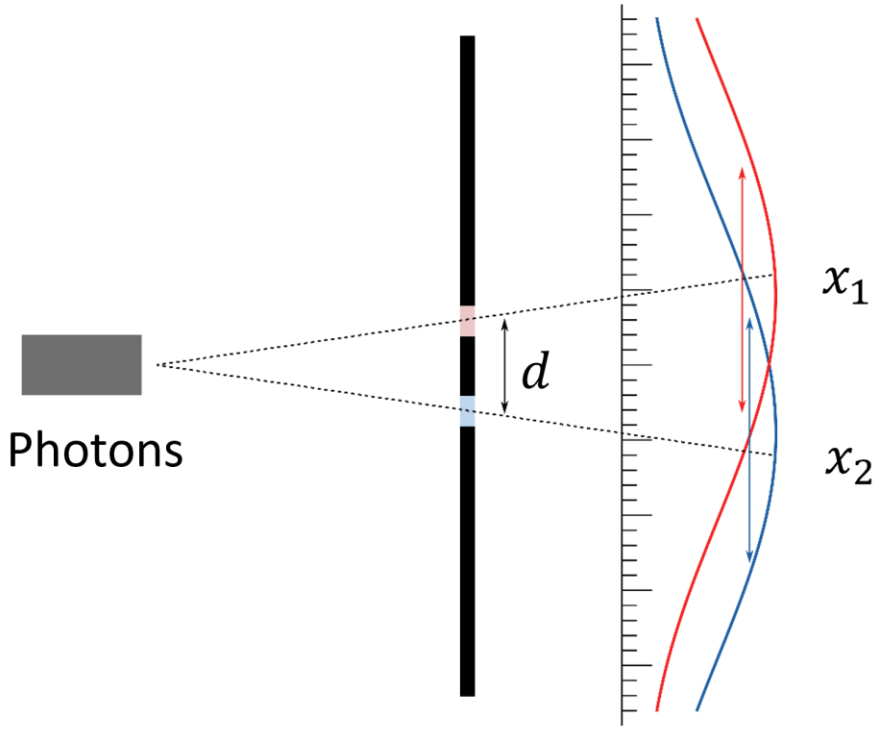


양자통신

- 양자암호키분배
- 얽힘기반 양자중계기
- 양자 메모리&인터넷

- 기존 검출 한계 극복 센서
- 무위성 항법 시스템
- 의료, 산업, 안전 정밀 진단

Classical

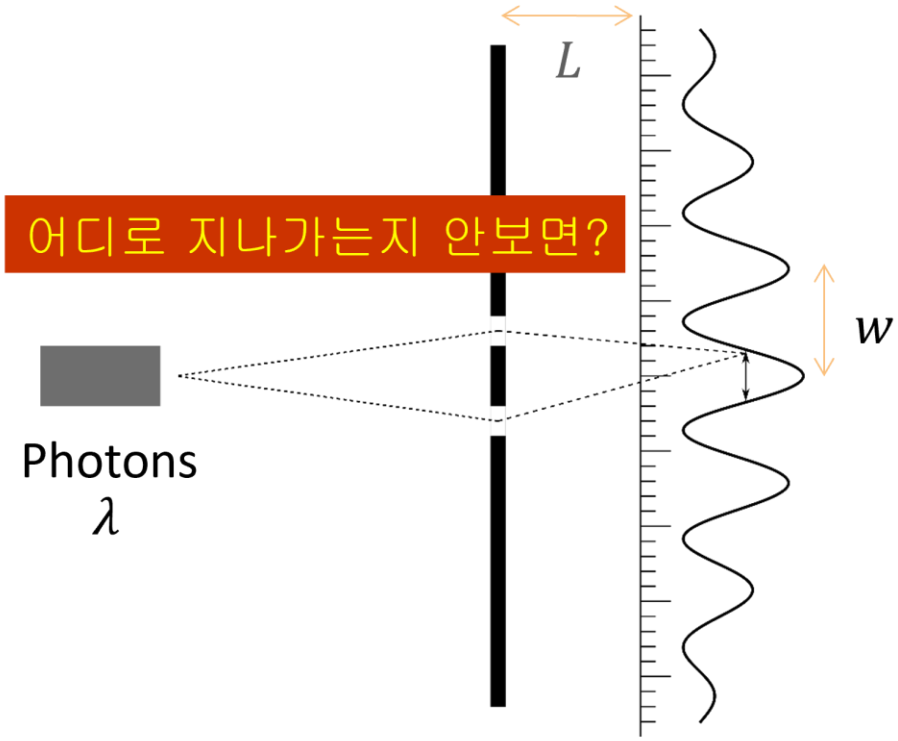


$$d = |x_1 - x_2|$$

Feynman, Lectures on Physics III

Quantum

어디로 지나가는지 안보면?



$$d = \frac{L\lambda}{w}$$

양자적 특성

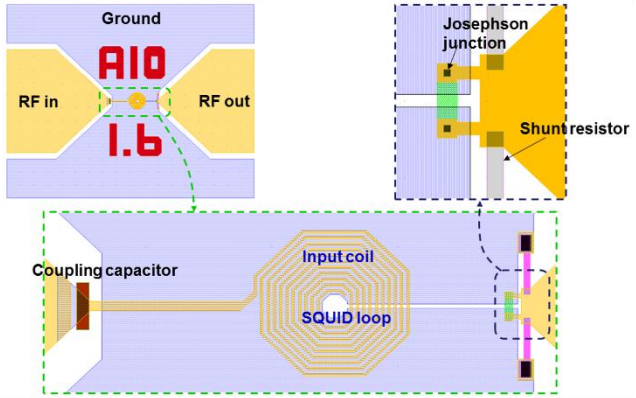
결맞음	Coherence
간섭	Interference


NOBELPRISET I FYSIK 2025
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025
KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES
John Clarke
University of California, USA
Michel H. Devoret
Yale University & University of California, USA
John M. Martinis
University of California, USA
"för upptäckten av makroskopisk kvantmekanisk tunnling och energikvantisering i en elektrisk krets"
"for the discovery of macroscopic quantum mechanical tunnelling and energy quantisation in an electric circuit"



암흑물질 검출

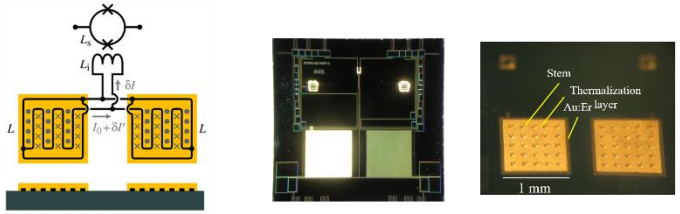
KRISS SQUID amplifier for IBS Axion detection



Wide bandwidth micro-strip line SQUID amplifier design

Metallic Magnetic Calorimeters at KRISS and IBS

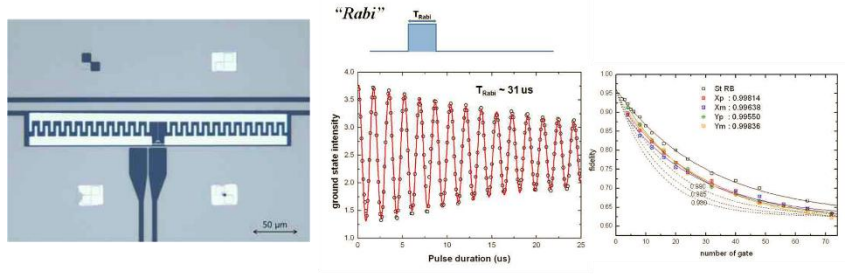
- Using meander-shaped superconducting coil to apply B field and sense magnetic signals.
- MMCs are associated with SQUID readout



•Device fabrication: KRISS

양자컴퓨터, 양자정보

KRISS Superconducting Qubit

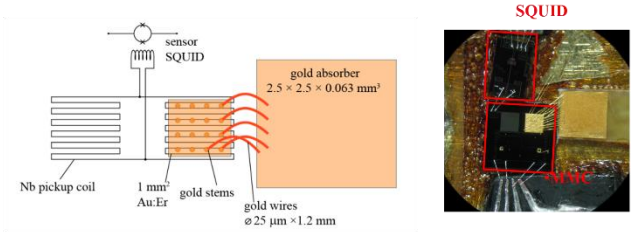


- Single Qubit coherence time: 30 us
- Single Qubit gate fidelity: 99.5%

방사선 정밀 분석

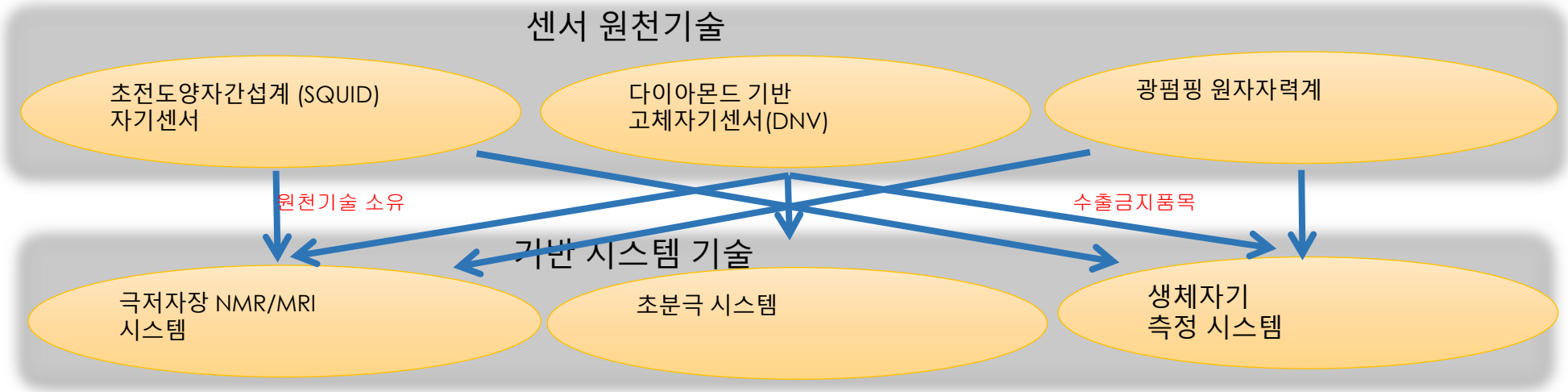
Application: Radionuclide analysis

- High resolution alpha spectrometers
- Q spectrometers for alpha emitter analysis



- All of the technologies have been developed.
- A domestic project has been proposed for radionuclide analysis using MMCs.

양자 자기장 센서의 산업 응용 분야



원천특허: 국제 신의료기기 시장 진출가능

세계최고 수준: 독일, 호주 기업에 기술이전

의료 응용

Brain Magnetic Resonance
Heart Magnetic Resonance
무독성 나노입자 조영제
무조영 암진단
OPEN MRI
Portable MRI
뇌자도 (간질, 뇌수술)
심자도 (관상동맥, 부정맥)

바이오 화학 응용

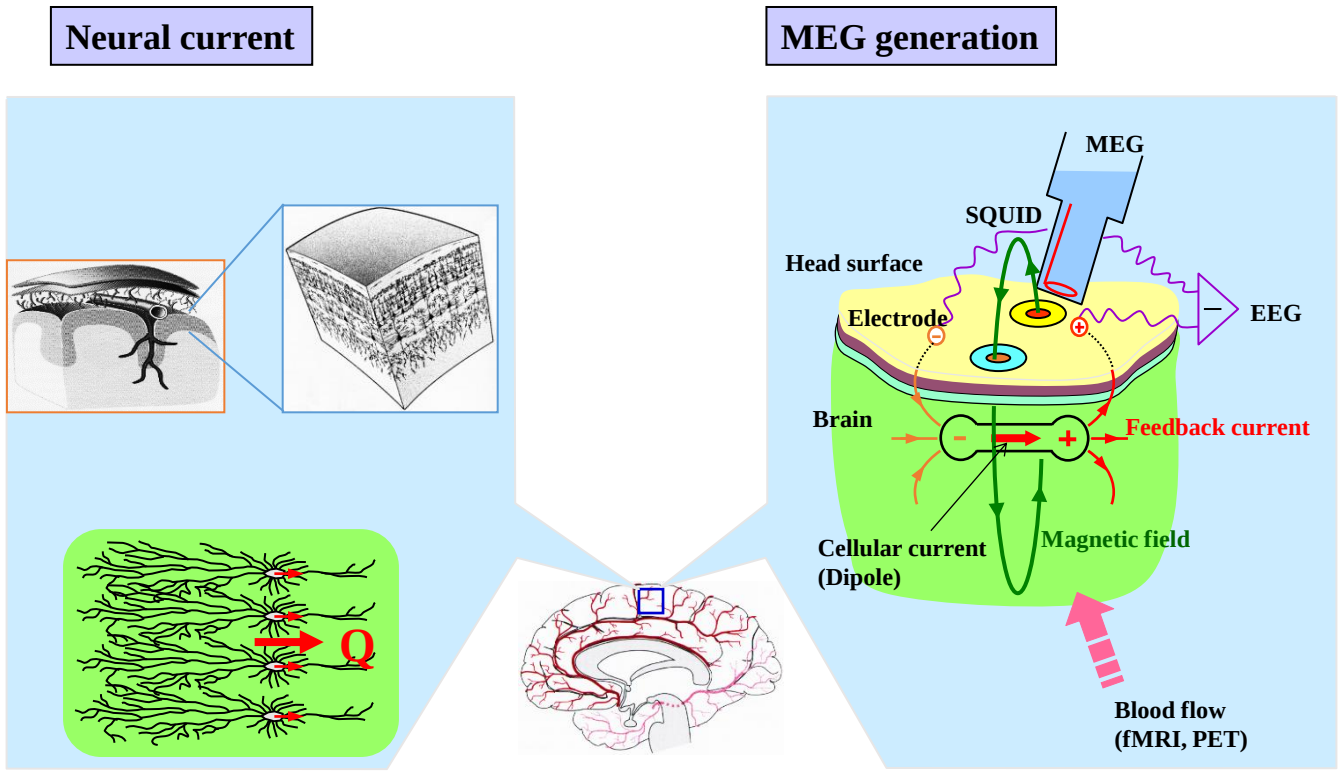
고감도 생체분자 검출
Immunoassay
암진단
줄기세포 평가기술
연료전지 평가기술
미소변위 측정기술
신개념 다차원 화학분석
초정밀 센서기술 공급
나노 NMR 현미경

국방 안전 응용

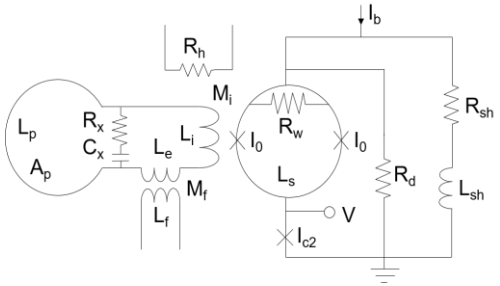
잠수함 탐지, 방사능 감지
양자전산, 양자암호보안
중력계 기반 관성항법기술
우주개발 위성자기센서
신종바이러스 검출
금속내 폭발물 검출 (공항)
음식물 원산지 및 신선도
Geophysics 자원탐사
환경/기후변화 탐지

※활용단계, 연구단계, 계획단계

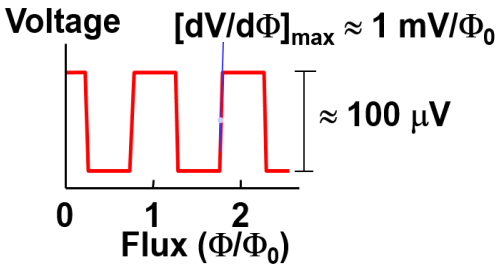
뇌자도 (Magnetoencephalography): 양자 센서를 이용한 새로운 첨단의료장비



2세대 SQUID 원천기술
: Double Relaxation Oscillation SQUID



Flux-voltage curve





뇌자도 : 뇌기능 측정 및 뇌질환 진단



심자도 : 심장기능 측정 및 심장질환 측정

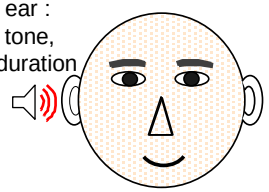


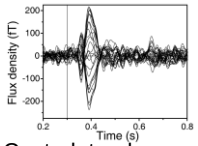
국제기술이전-호주



국제기술이전-독일

Auditory stimulus
on **Right** ear :
500 kHz tone,
100 ms duration

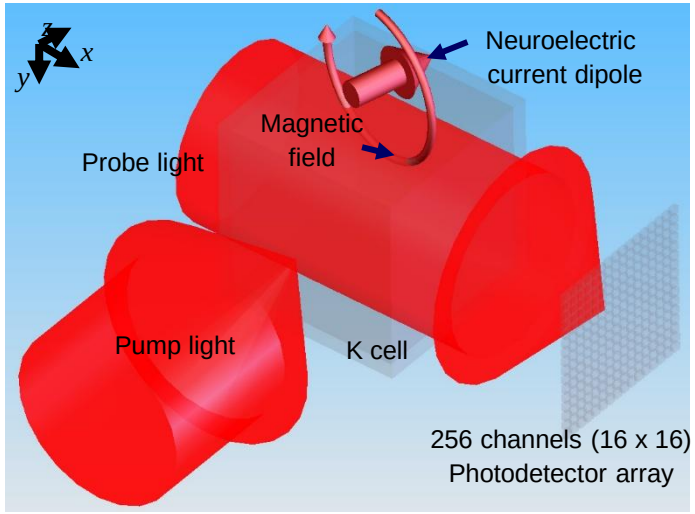


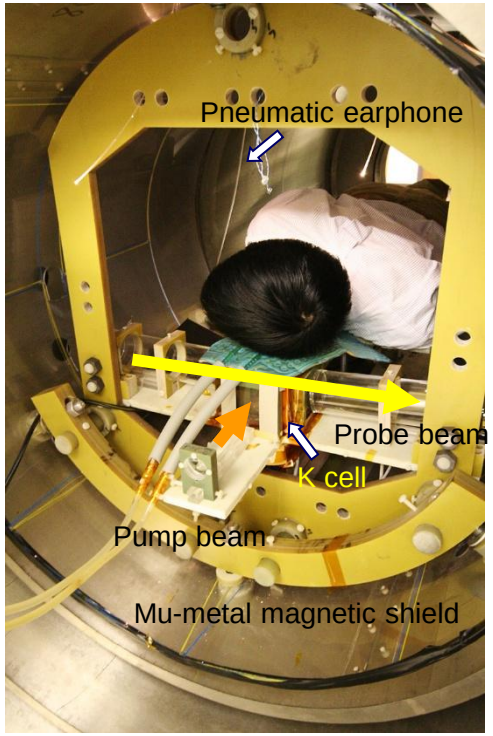


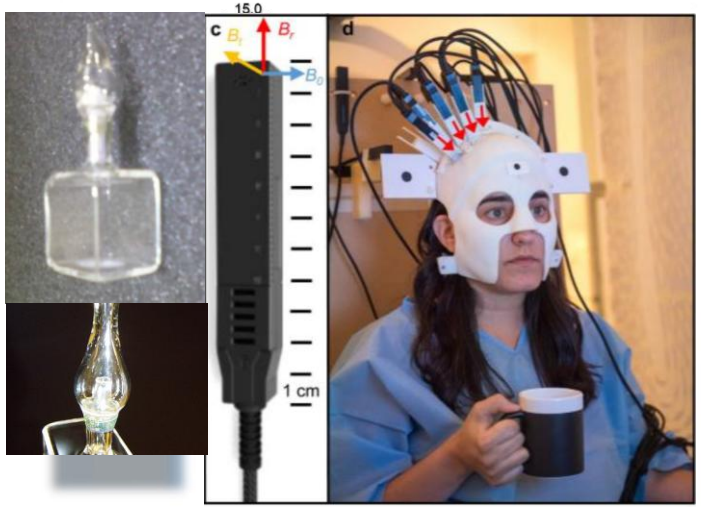
Contralateral
Measurement
: **Left** lobe

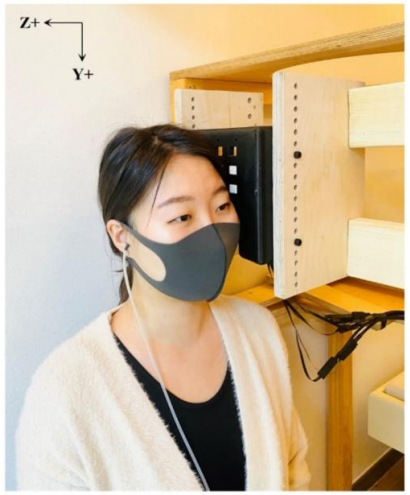


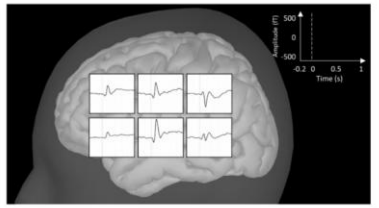
Primary auditory
cortex excitation
after 100 ms

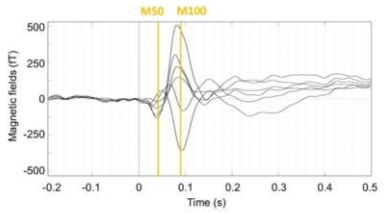


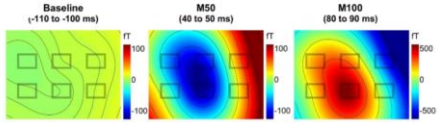


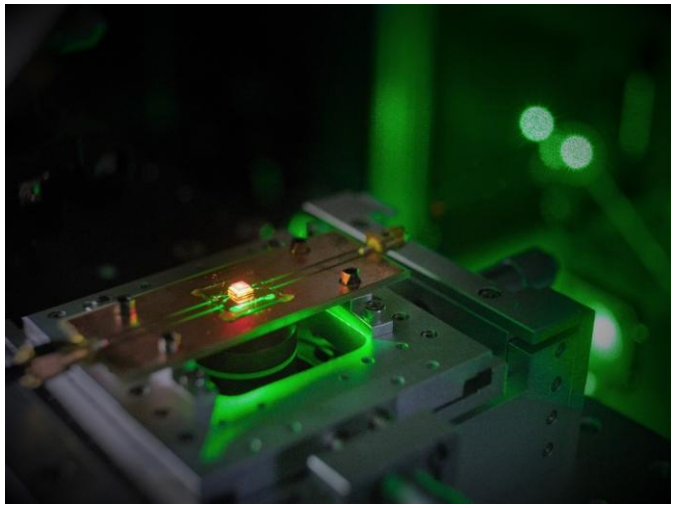




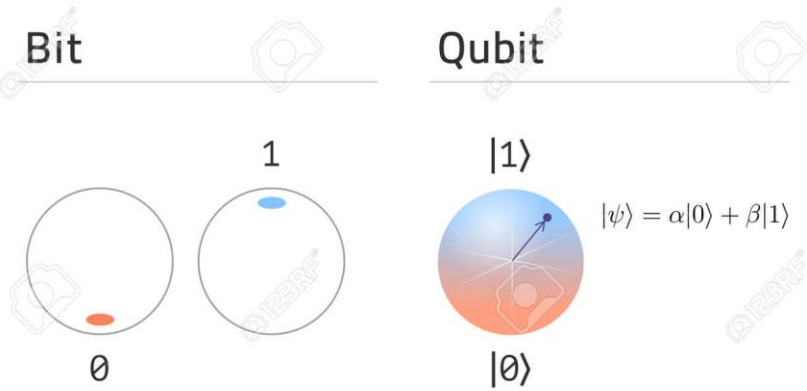


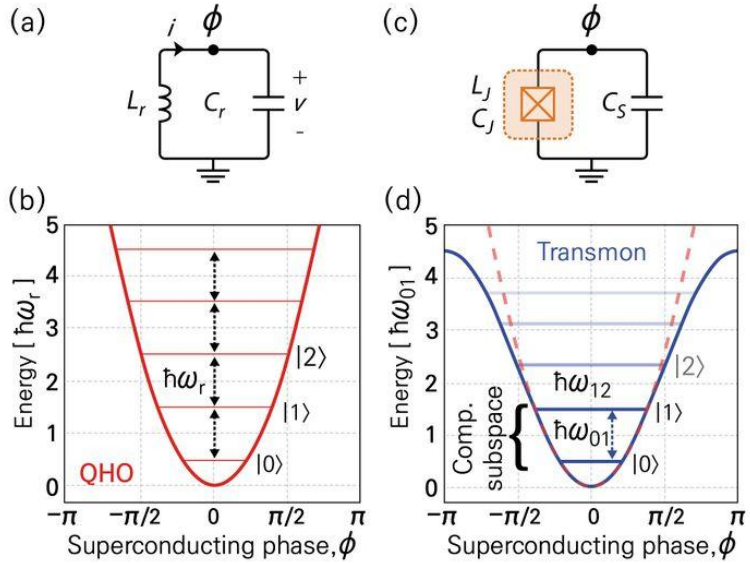




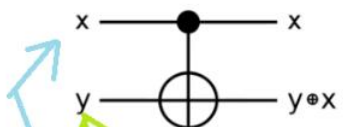


An et al. Scientific report (2022)





Controlled NOT gate



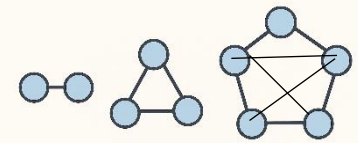
Before		After	
Control	Target	Control	Target
$\|0\rangle$	$\|0\rangle$	$\|0\rangle$	$\|0\rangle$
$\|0\rangle$	$\|1\rangle$	$\|0\rangle$	$\|1\rangle$
$\|1\rangle$	$\|0\rangle$	$\|1\rangle$	$\|1\rangle$
$\|1\rangle$	$\|1\rangle$	$\|1\rangle$	$\|0\rangle$

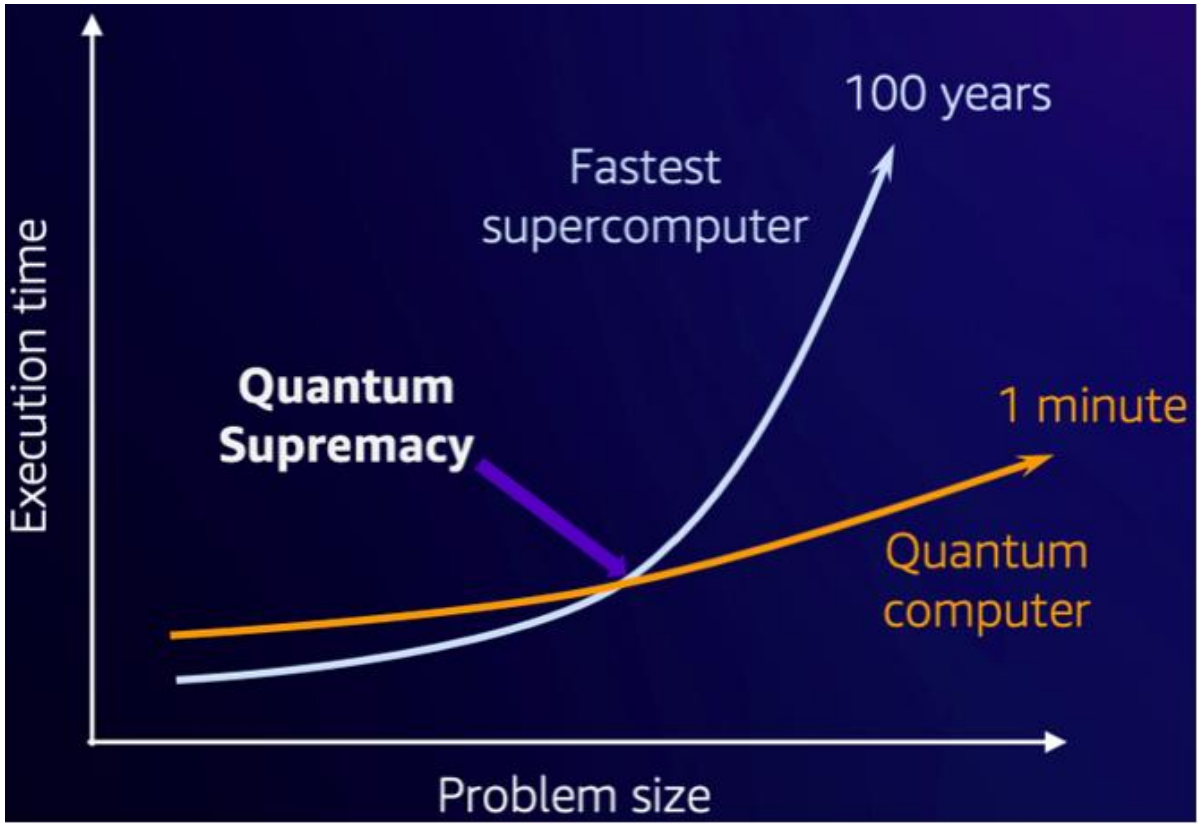
$$\text{CNOT} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$ → (CNOT게이트 통과 후) $a|00\rangle + b|01\rangle + c|11\rangle + d|10\rangle$

2 비트 일반연산 정보량: 2^2 =4X4 행렬 필요
N 비트 연산: 2^N = 2^N X 2^N 행렬 필요
1000 비트: 2^{1000} ??? 슈퍼컴퓨터 연산불가

원자 수에 대한 연결성 증가: $N(N-1)/2 < 2^N$

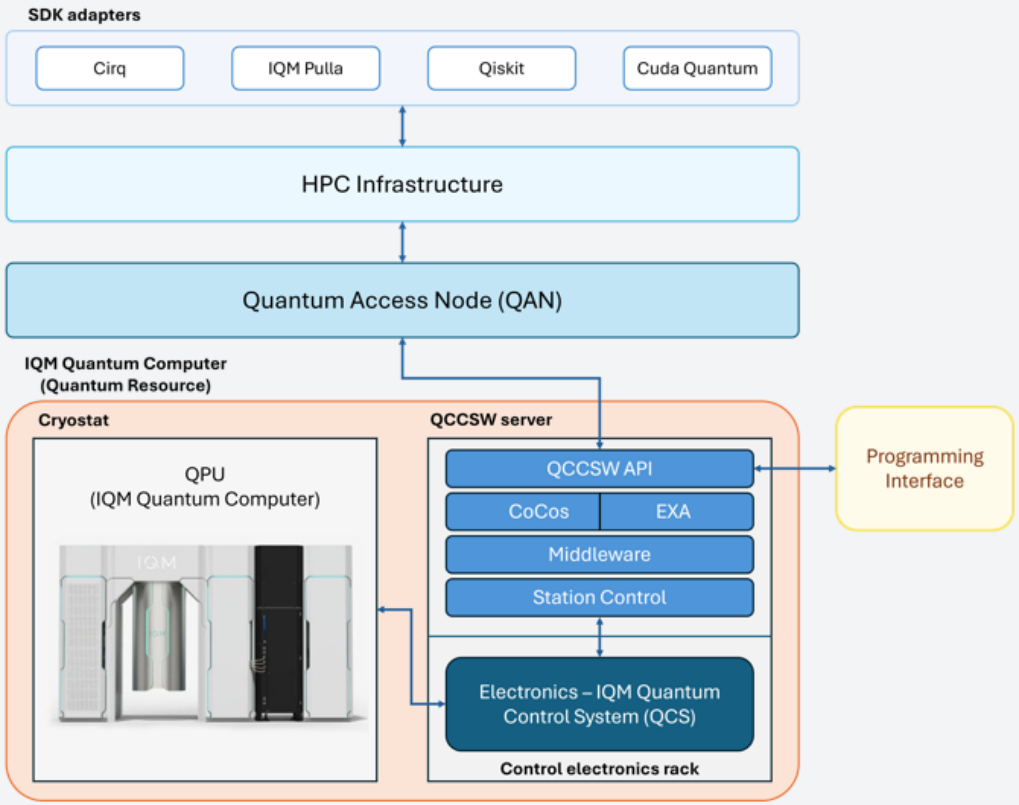




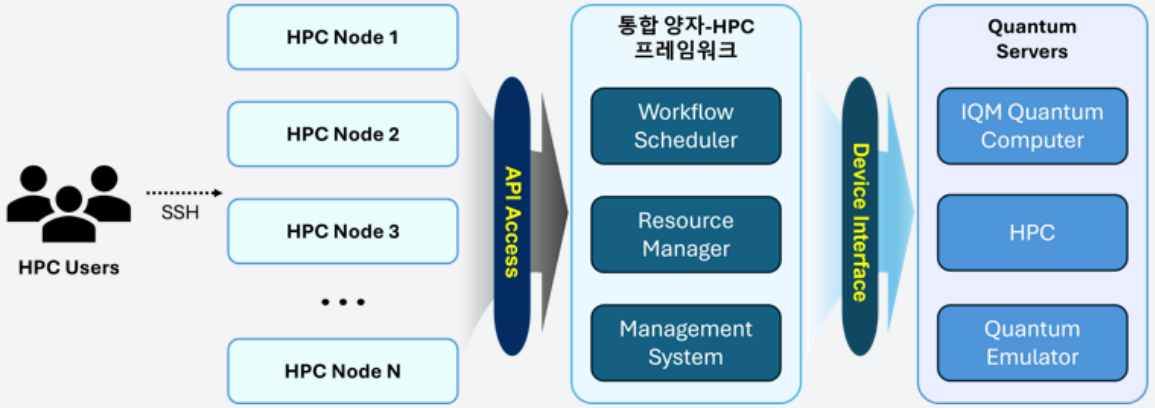
- 입력 데이터 크기 N, 알고리즘 수행단계(시간) T(N) → 가장 높은 차수(Big O) O(1), O(N), $O(2^N)$...
- 양자컴퓨터 질문 복잡도(query complexity): 오라클에 질문을 몇 번(O), 실제 함수가 몇번 계산(x)

양자컴퓨팅-HPC 통합 시스템 완성

< 완성된 양자-HPC 통합 시스템 전체 아키텍처 예시 >



< 양자-HPC 통합 시스템에서의 사용자 경험 예시 >





방사광가속기

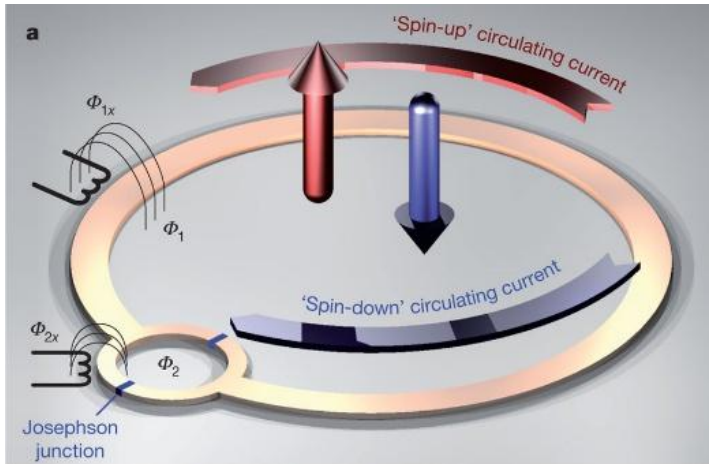


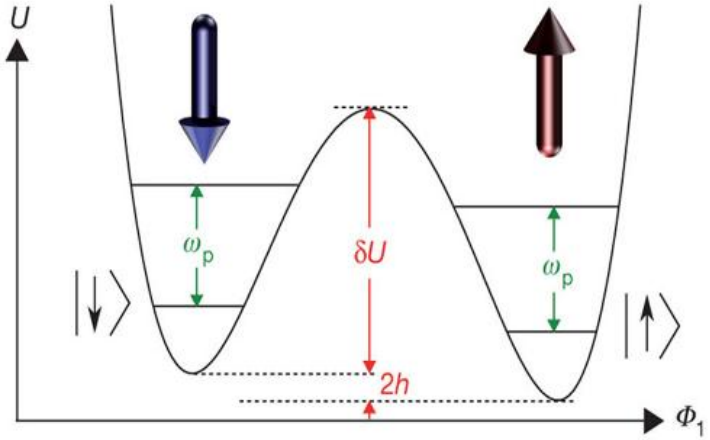
양자컴퓨터



공통의 산업분야+AI 가속가능

- 소재(배터리, 반도체, 양자물질)
- 바이오(신약, 백신, 생체분자)
- 메디컬(단층촬영, 실시간 진단)





$$N = \left(\sum_{i=0}^{n} 2^i p_i\right) \cdot \left(\sum_{k=0}^{n} 2^k q_k\right)$$

	고전 컴퓨팅	양자 컴퓨팅
연산 개념도	고전 최적화 알고리즘 Gradient descent Newton method	양자 최적화 알고리즘 QAOA,VQA: basis 얽힘 탐색 양자어닐러: 터널링
기본 단위	bit	Qbit
계산 방법	1) 임의의 파란색 지점 시작 → 지역 최소 오류로 수렴 2) 최적화 알고리즘 반복하여 에너지 최소화 지역 탐색 → 반복 탐색에 많은 시간 소요	1) 원하는 여러 위치 상태를 중첩 → 전역 최소 오류로 수렴 2) 각 위치에서 최소 에너지 탐색 → 전 구역에서 최소 에너지를 한번에 탐색하므로 시간 단축 가능
계산 속도 (암호해독기준)	백만 년	1초 ~ 하루

※ AI, 기계학습 ⇒ 신경망 연결성, weight 최적화:
고전 비가역 연산, 양자 가역 연산 ⇒ 에너지 소모 없음

영상과 역문제	X선 CT 재구성 / MEG 전류원 국지화
조합 최적화	소인수분해 / 북극항로 연구
물리 시뮬레이션	랜덤필드 Ising 모델 / 자구 변화
학습과 실험 기반	QUBO-SVM / QNN / 실물 QPU / 양자자력계

하드웨어 기반

실물 QPU를 활용하는 연구 환경



게이트형 초전도 QPU

양자회로 실행과 잡음·성능 평가

양자 어닐러와 하이브리드 솔버

Ising / QUBO 에너지의 낮은 해 탐색

하드웨어 접근은 AI 기반 교정 연구의 실험 토대를 제공

TTA 전략맵 기반 양자정보기술 특허 전략

기술·시장·표준 분석을 구체적인 국제 기고 과제로 연결

전략맵의 역할	국내외 동향 분석을 바탕으로 국제표준화 대응전략 수립
컴퓨팅의 검토축	용어, 성능평가, 계층 간 인터페이스, 공급망
센싱의 확장축	측정량, 교정, 불확도, 환경조건, 기관 간 비교시험
발표의 제안	실험 데이터와 시험절차를 확보한 항목부터 공동 기고

양자컴퓨팅 플랫폼과 평가의 관점

서로 다른 물리계는 공통 지표와 고유 지표를 함께 필요로 함

플랫폼	구현 특성	표준화 검토 지표
초전도 회로	극저온 회로와 마이크로파 제어	게이트·누설 오류, 동시 구동, 배선·열부하
이온트랩	전기장 포획, 광·마이크로파 제어	게이트 품질, 이동·연결 시간, 가동률
중성원자	광집게 배열과 원자 재배치	원자 손실, 재장전, 병렬 연산 조건
광자·반도체 스핀	광학 모드 또는 반도체 내 전자 상태	광손실·검출 또는 소자 편차·결합 제어

비교 단위: 물리 큐비트 수 + 실행 가능한 회로 + 결과 품질 + 총 소요시간

오류정정의 진전과 비교 기준

논리 메모리, 논리 연산, 범용 계산 실증의 범위를 구분

연구 사례	확인된 성과	함께 보고할 조건
초전도 Willow Nature 2025	표면코드 거리 증가에 따른 논리 오류 억제 실증	코드 거리, 사이클, 디코더 물리·논리 수명 정의
중성원자 Nature 2025	반복 오류정정과 논리 연산 등 내결함성 구성요소 실증	손실 검출, 후선택 여부 원자 재사용·논리 게이트
초전도 qLDPC Nature Physics 2026	장거리 결합 구조에서 저오버헤드 코드 실증	부호화 효율, 논리 오류율 필요 연결성과 시간 비용

대규모 유용 계산의 달성 여부는 별도의 알고리즘·자원·비용 검증이 필요

벤치마크는 측정 계층을 구분해야 함

부품 품질부터 응용 비용까지 서로 다른 질문에 답함

계층	대표 관찰량	비교 시 필요한 조건
소자·게이트	T_1·T_2, RB, 읽기오류, 누설	교정 시점, 동시 구동, 표본 수
회로·시스템	회로 성공률, QV, 처리량	회로군, 연결성, 컴파일러, 샷 수
논리 연산	논리 오류율, 사이클 시간	코드·거리, 디코더, 후선택 수율
응용	정확도, 목표해 도달시간, 비용	최선의 고전 기준, 전후처리 포함

같은 입력·정확도·자원 범위에서 반복 측정하고 분포를 공개

하이브리드 컴퓨팅의 인터페이스

HPC·AI·QPU 결합에서는 실행정보의 전달과 재현성이 중요

계층	교환할 정보	국내 기여 후보
응용·워크플로	문제 정의, 목표 정확도, 고전 계산 경계	공통 문제집과 실행 기록
컴파일·실행	회로·작업 형식, 샷 수, 버전, 오류처리	작업 메타데이터와 결과 스키마
하드웨어 추상화	지원 게이트, 연결성, 타이밍, 교정값	장치 능력 기술 및 버전 규칙
장치·제어	펄스, 읽기, 피드백, 상태 보고	공급자 간 시험 시나리오

CEN/CLC/TR 18202:2025는 범용 게이트 방식의 계층모델을 다룬 기술보고서

국내 테스트베드의 표준화 활용안

소규모 QPU에서도 재현 가능한 시험절차를 만들 수 있음

측정 프로토콜	교정 시점과 장치 상태를 고정하고 동일 회로를 반복 실행
공통 기록	연결성·게이트셋·샷 수·컴파일러·완화 기법을 함께 저장
응용 비교	최적화·물성 문제를 고전 해법과 같은 정확도 조건에서 비교
국제 기고 산출물	시험절차 초안, 익명화 데이터, 재현 코드, 기관 간 편차 분석

양자센싱의 기술동향

원자·스핀·간섭 상태를 읽어 외부 물리량을 추정

센서 계열	대표 측정량·응용	제품화의 검토점
OPM·SQUID	자기장, 생체자기·비파괴 검사	차폐·냉각 조건, 대역폭, 다채널 간섭
다이아몬드 NV	국소 자기장, 온도·재료 분석	센서 거리, 공간분해능, 교차감응
리드버그 원자	RF·마이크로파 전계	주파수 응답, 편광, 셀에 의한 장 교란
원자간섭계·시계	중력·관성, 시간·주파수	진동·장기 안정도, 추적성, 현장 운용

센싱 표준은 원리의 명칭보다 측정량·환경조건·불확도를 명확히 정의

OPM의 성능은 운용 환경에 의존

뇌자도·비파괴 검사 등 용도별 시험 프로파일이 필요

운용 모드	근영자장 SERF와 유한자장 방식의 적용 조건 구분
주파수 응답	감도 스펙트럼, 대역폭, 위상 지연을 동일 조건에서 측정
다채널 환경	센서 간 간섭, 위치·방향 오차, 동기화·보상장을 기록
응용 검증	교정 코일·팬텀으로 반복성 검증 후 실제 환경에서 평가

제안: 감도 한 값에 차폐·배경장·주파수·대역폭 정보를 함께 기재

NV 센싱의 분해능과 교차감응

센서 자체 성능과 영상 복원 성능을 분리해 평가

측정 원리	스핀 공명의 주파수·대비·선폭 변화로 신호 추정
공간분해능	NV 깊이, 팁–시료 거리, 광학 해상도와 스캔 조건에 의존
교차감응	온도·변형·전기장에 의한 변화를 자기장 신호와 분리
표준화 후보	참조 시료, 거리 추정, 교정 절차, 영상·원시데이터 형식

제안: 원시 스펙트럼과 추정모델·처리 버전을 함께 보존

리드버그 원자 RF 전계측정

원자 기준 추적성과 실제 프로브의 불확도 평가를 연결

측정 경로	RF 전계가 원자 준위를 변화시키고 광학 스펙트럼으로 판독
전파 분야 접점	전계 교정, 주파수·위상 측정, 변조 신호 수신
시험의 쟁점	증기셀 내부장과 입사장의 차이, 편광·정렬, 비균일성
표준화 후보	시험 주파수·장 세기 범위, 기준장 비교, 불확도 예산

원자에 근거한 SI 추적성도 셀·광학계·추정모델의 검증을 필요로 함

센서 성적서의 공통 보고 항목

민감도·불확도·분해능은 서로 다른 성능 특성

항목	함께 기록할 조건	비교 시 주의
잡음·감도	스펙트럼, 측정 주파수, 유효 대역폭	최저 잡음 한 점을 전체 성능으로 일반화 금지
정확도·불확도	기준값, 교정 경로, 불확도 성분	반복 측정 편차와 계통 오차 구분
동특성	대역폭, 지연, 동적 범위, 회복시간	필터·평균화로 낮춘 잡음과 응답속도 동시 보고
환경·운영	온도, 배경장, 차폐, 진동, 가동률	실험실 조건과 현장 조건을 별도 명시

제안: 공통 성적서와 센서별 부속 시험절차를 함께 개발

국제표준화 기구별 역할

2026년 10월 12일 확인한 공식 조직·작업범위

기구·그룹	현재 확인된 역할	대응의 초점
IEC/ISO JTC 3 / JSC 3A	양자컴퓨팅 WG 1 공급망 / WG 2 벤치마킹 / WG 3 용어	컴퓨팅 시험법·공급망 자료
JTC 3 / WG 10	양자센서	센서 개요·성능평가 자료
JTC 3 / WG 14·TC 90	기반기술 / 초전도 분야	장치 특성·저온 측정의 연계
CEN-CENELEC JTC 22	유럽 양자기술 표준화	계층모델·공동 로드맵 협력
ITU-T SG13·TTA PG225	양자 클라우드 연구 / 국내 정보통신 논의	서비스·네트워크 요구와 국내 의견 수렴

발행 표준과 개발 과제의 구분

신규과제 승인과 국제표준 발행은 서로 다른 단계

문서·과제	대상	확인된 상태
ISO/IEC 4879:2024	양자컴퓨팅 용어	국제표준 발행
CEN/CLC/TR 18202:2025	양자컴퓨팅 계층모델	유럽 기술보고서 발행
IEC/ISO AWI 63712	컴퓨팅 하드웨어 벤치마킹	개발 중, 10.99
IEC/ISO AWI 63692	냉각원자 절대중력계 평가·시험	개발 중, 10.99
IEC/ISO AWI 63770-1	양자센서 개요·사례·응용	개발 중, 10.99

AWI: 승인된 신규 작업 항목 / 10.99: 신규과제 승인 단계

컴퓨팅 분야의 우선 기고안

공식 벤치마킹 과제와 연결할 국내 공동시험 제안

제안 범위	실행 결과의 재현성을 위한 시험조건·메타데이터 부속안
시험 설계	동일 회로군과 목표 정확도, 일자·장치별 반복 실행
제출 근거	오류·성공률 분포, 컴파일·대기·전후처리를 분리한 시간
대응 창구	JSC 3A WG 2를 중심으로 계층모델·클라우드 논의와 연계

기고문의 핵심: 다른 기관도 같은 절차로 확인할 수 있는 측정 결과

센싱 분야의 우선 기고안

공통 성적서와 센서별 비교시험을 결합하는 제안

주제	공동시험 근거	국제 연결 후보
OPM 성능 보고	주파수 응답·배경장·차폐 조건 다채널 간섭과 반복성	JTC 3 WG 10 NPL 등 계측기관 협력
NV 영상·국소측정	참조 시료·거리·교차감응 원시 스펙트럼과 복원 조건	JTC 3 WG 10 응용 분야 위원회 연계
리드버그 RF 전계	기준장 비교·편광·셀 영향 주파수별 불확도 예산	JTC 3 WG 10 국가측정표준기관 공동시험

우선순위는 산업 수요, 재현 데이터, 시험 참여기관 확보 수준으로 결정

RF 양자센서 공동시험 설계안

전파 분야에서 바로 논의할 수 있는 시험 프로파일 예시

단계	시험 내용	산출물
측정량 정의	전계 진폭·위상, 입사장·셀 내부장 구분	범위·단위·좌표·편광 정의
조건 고정	주파수, 장 세기, 변조, 광학·셀 조건	공통 설정표와 장치 구성
교차검증	기존 기준장과 원자 센서 동시 비교	주파수별 편차·불확도
기관 간 비교	시료·설정·분석 코드를 공유해 반복	비교시험 보고서와 기고문

시험안의 범위를 먼저 좁힌 뒤 측정 주파수·환경을 단계적으로 확대

소부장 표준화와 공급망의 연결

부품의 데이터시트가 시스템 수준의 검증으로 이어져야 함

대상	비교 가능한 측정 정보	연계 근거
초전도 공진기·패키징	온도·광자수 조건, 손실 추정, 피팅 방법	NIST BCQT의 재현 측정 연구
극저온 RF·제어 부품	삽입손실, 잡음, 열부하, 시간 동기	JSC 3A 공급망·벤치마킹 연계 제안
센서·검출기	측정량, 동작범위, 잡음·응답 조건	IEC 61788-22-1의 일반 명세 범위
공통 구성품	광원·검출기·배선의 교정·추적성	JTC 3 기반기술과 소관 TC 협력

61788-22-1은 초전도 센서·검출기 일반 명세이며 QPU 전체 성능표준은 아님

국내 대응 체계 제안

산업 수요와 측정 근거를 하나의 기고팀으로 연결

수요기관·기업	도입·조달에서 실제 비교가 어려운 성능 항목 제시
대학·출연연·시험기관	공통 실험, 불확도 분석, 공개 가능한 데이터 확보
국내 표준화 창구	기존 과제 중복 검토, 국내 합의, 기고·투표 대응 조율
국제 공동기고팀	에디터·전문가 참여, 공동시험 파트너 확보, 의견 반영

성과지표 제안: 기고문 채택 + 비교시험 재현성 + 기업의 시험절차 활용

발표의 핵심 제안

기술 성과를 재현 가능한 측정과 국제 합의로 연결

컴퓨팅	논리 성능과 응용 비용까지 포함한 벤치마크 근거 확보
센싱	측정량·환경조건·교정·불확도를 함께 보고하는 시험체계
국제 대응	JSC 3A·WG 10의 개발 과제에 국내 공동시험 결과 기고
국내 실행	기업 수요와 테스트베드를 연결하고 실제 활용으로 성과 평가

10th Anniversary

GISC 2026

Global ICT Standards Conference 2026

CBQRC

감사합니다



양자기술 플랫폼 연구센터
Quantum Technology Platform Research Center

ICT Standards and Intellectual Property:
Shaping the Physical AI

주최 과학기술정보통신부 지식재산처 주관 국립전파연구원 TTA IITP KEA kista ETRI