

2024 상반기 유럽 양자정보 연구 및 정책 동향

작성자: 박기민(양자 분야 KERCO 서포터즈)

유럽의 양자 정보 분야는 산업 응용을 위한 양자 알고리즘, 양자 통신 기술, 양자 컴퓨팅을 위한 양자 얽힘 및 복잡한 구조 등의 연구가 강세를 보이고 있다. 독일과 오스트리아를 중심으로 막스 플랑크 양자 광학 연구소와 같은 주요 기관들이 중요한 기여를 하고 있다. 유럽 연합의 양자 정보 정책은 사이버 보안과 디지털 주권 강화가 목표이며, 이를 위해 안전한 양자 통신 인프라, 고급 양자 알고리즘, 차세대 양자 컴퓨팅 기술 개발이 필요하다. 주요 프로젝트로는 델프트 공과대학교의 양자 인터넷 연합(QIA), IQOQI의 이온 트랩 양자 컴퓨팅, 연구센터 울리히의 OpenSuperQ, ESA의 SAGA 프로젝트 등이 있으며, 이들 프로젝트는 유럽 여러 국가의 연구 기관과 협력하고 있다. 또한, 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030)와 포스트 양자 암호화 이니셔티브는 유럽을 양자 기술의 글로벌 리더로 자리매김하고 사이버 보안 위협에 대응하기 위한 중요한 방안으로 작용할 것이다. 이러한 노력은 유럽의 기술 역량을 강화하고 산업, 보안, 경제 성장에 긍정적인 영향을 미칠 전망이다.

<Key words>

디지털 주권, 사이버 보안, 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030), 포스트 양자 암호화 이니셔티브

1. 유럽의 양자정보 연구 동향¹⁾

□ 개요

- 양자 정보 분야는 산업 응용을 위한 양자 알고리즘, 양자 통신 기술, 양자 컴퓨팅을 위한 양자 얽힘 및 복잡한 구조 등의 연구가 강세
- 독일과 오스트리아를 중심으로 막스 플랑크 양자 광학 연구소(Max Planck Institute of Quantum Optics) 등이 중요한 기여
- EU의 양자 정보 정책은 사이버 보안 및 디지털 주권 강화를 목표
- 안전한 양자 통신 인프라, 고급 양자 알고리즘, 차세대 양자 컴퓨팅 기술의 개발 필요
- 대표적인 연구로 EQUALITY 프로젝트, EuroQCI 이니셔티브²⁾, 다양한 양자

1) <https://thequantuminsider.com/2022/05/16/quantum-research/>

2) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>

얽힘 연구의 발전 포함

□ 델프트 공과대학교 QuTech-양자 인터넷 연합³⁾

- 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조
 - 2018년에 시작된 양자 인터넷 연합(QIA)은 델프트 공과대학교와 TNO의 협력으로 구성된 QuTech이 조정
 - 독일, 프랑스, 영국, 스위스, 스웨덴 등 유럽 주요 국가의 연구 기관, 대학, 산업 파트너들이 참여
 - 양자 통신, 네트워크 공학, 정보 보안 분야의 전문 지식 결합
- 세부 목표
 - 양자 네트워크 기술 개발: 확장 가능하고 안전한 양자 통신 시스템 구축
 - 양자 리피터 구현: 양자 통신의 거리 제한 극복
 - 네트워크 프로토콜 구축: 양자 데이터 전송을 위한 특별 프로토콜 개발
- 잠재적 응용 분야
 - 안전한 통신: 양자 키 분배(QKD)를 활용한 절대적으로 안전한 암호화
 - 분산 양자 컴퓨팅: 양자 프로세서를 연결하여 계산 능력 향상
 - 양자 센서 네트워크: 측정 정밀도 향상 및 새로운 과학적 발견 촉진
- 핵심 연구
 - 양자 하드웨어 개발: 장거리 얽힘 관리 가능한 양자 리피터 및 네트워크 노드 설계
 - 소프트웨어 및 프로토콜: 양자 정보 처리 및 고전 네트워크 인터페이스 소프트웨어 개발
 - 시스템 통합: 모든 구성 요소의 원활한 작동 보장
- 개발 단계 및 진행 상황
 - 유럽 내 상황: 유럽 양자 통신 연구 선두, QIA는 EU 양자 기술 선도 프로그램 대표 프로젝트
 - 글로벌 맥락: 미국 및 중국의 경쟁 이니셔티브 존재, QIA는 대륙 규모 양자 인터넷에 초점 맞춘 포괄적 노력
 - 도전 과제: 장거리 얽힘 유지, 오류 수정, 기존 인프라와의 양자 시스템 통합
 - 진행 상황: 장거리 얽힘 성공 입증, 실용적 양자 네트워크 프로토타입 개발 중
- 향후 세부 활용 가능성
 - 정부 및 군사 통신: 해킹과 도청에 강한 안전한 채널 제공
 - 금융 부문 보안: 민감한 거래 및 데이터 보호
 - 헬스케어 데이터 보호: 환자 데이터 및 의료 기록 보안 강화
 - 양자 기술의 발전: 향후 양자 컴퓨팅 및 센싱 응용 기반 제공

3) <https://qutech.nl/qia/>

□ 양자 광학 및 양자 정보 연구소(IQOQI)-이온 트랩 양자 컴퓨팅⁴⁾

- 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조
 - 2003년에 설립된 IQOQI는 오스트리아 인스브루크에 위치
 - 라이너 블랫 교수와 팀이 주도, 대학 및 기술 회사 등 국제 파트너와 협력
- 주요 목표
 - 확장 가능한 이온 트랩 양자 컴퓨터 개발: 높은 충실도로 여러 큐비트 처리 가능 시스템 구축
 - 양자 오류 수정: 양자 정보 보호 방법 구현
 - 복잡한 양자 알고리즘 시연: 양자 컴퓨팅 잠재력 보여주는 알고리즘 실행
- 잠재적 응용 분야
 - 암호학: 기존 암호 해독 및 양자 저항성 프로토콜 개발
 - 재료 과학 시뮬레이션: 복잡한 분자 및 원자 상호작용 모델링
 - 최적화 문제: 물류, 금융, 머신 러닝 등 복잡한 계산 문제 해결
- 핵심연구분야
 - 이온 트랩 기술: 전자기장으로 개별 이온 포획 및 조작 기술 개선
 - 양자 논리 게이트: 정밀 큐비트 조작을 위한 고충실도 양자 게이트 개발
 - 확장성 솔루션: 성능 저하 없이 큐비트 추가 가능한 아키텍처 탐구
- 개발단계 및 진행 상황
 - 유럽 내 상황: 유럽 이온 트랩 양자 컴퓨팅 선도 기관
 - 글로벌 맥락: 미국 IonQ, Honeywell과 경쟁, 이들 또한 이온 트랩 기술 발전
 - 도전 과제: 큐비트 코히런스 유지 및 오류율 최소화
 - 진행 상황: 최대 20개 이온과의 얽힘 성공 입증, 기본 양자 알고리즘 구현
- 향후 세부 활용 가능성
 - 상업용 양자 컴퓨터: 실용적이고 시장성 있는 양자 컴퓨팅 장치 기반 마련
 - 과학 및 기술의 발전: 고전 컴퓨터로 불가능한 시뮬레이션 및 계산 가능
 - 경제적 영향: 양자 기술 부문 내 새로운 산업 및 일자리 창출 기여

□ 율리히 연구센터([Forschungszentrum Jülich] - OpenSuperQ 프로젝트⁵⁾

- 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조
 - 2018년에 시작된 OpenSuperQ 프로젝트는 유럽 양자 선도 이니셔티브 일환
 - 독일 연구센터 줄리히가 조정, 스웨덴, 스페인, 프랑스, 스위스 등 유럽 전역 대학, 연구소, 산업 파트너 참여
 - 초전도 회로, 양자 알고리즘, 소프트웨어 개발 분야 전문 지식 통합
- 주요 목표

4) <https://www.iqoqi-vienna.at/>

5) <https://www.fz-juelich.de/en/pgi/research/projects-and-cooperations/finished-research-projects/european-quantum-computer>

- 고성능 양자 컴퓨터 구축: 최대 100 큐비트 초전도 양자 컴퓨터 개발
- 오픈 액세스 플랫폼: 연구자와 산업체에 양자 컴퓨팅 자원 제공
- 양자 알고리즘 개발: 화학, 재료 과학, 최적화 문제를 위한 알고리즘 개발
- 잠재적 응용 분야
 - 신약 개발: 분자 구조 시뮬레이션 통해 제약 개발 속도 향상
 - 산업 공정 최적화: 제조 및 물류 효율성 향상
 - 금융 모델링: 복잡한 시뮬레이션으로 리스크 평가 및 투자 전략 개선
- 핵심연구분야
 - 초전도 큐비트 기술: 긴 코히런스 시간 및 낮은 오류율 큐비트 설계
 - 양자 컴퓨팅 아키텍처: 효율적 큐비트 상호 연결성 가진 확장 가능 시스템 구축
 - 소프트웨어 및 인터페이스: 사용자가 양자 프로세서와 상호작용할 프로그래밍 언어 및 인터페이스 개발
- 개발단계 및 진행 상황
 - 유럽 내 상황: 초전도 양자 컴퓨팅 유럽 주요 프로젝트 중 하나
 - 글로벌 맥락: 미국 IBM, Google, 중국 그룹과 경쟁
 - 도전 과제: 큐비트 코히런스, 오류율, 시스템 확장성 관련 기술적 장애물 극복
 - 진행 상황: 큐비트 성능 이정표 달성, 더 큰 큐비트 시스템 통합 시작성공 입증, 기본 양자 알고리즘 구현
- 향후 세부 활용 가능성
 - 연구 및 개발 가속화: 다양한 과학 분야 혁신 속도 제고
 - 산업 변혁: 복잡한 문제 효율적 해결로 산업 부문 혁신

□ 유럽 우주국(ESA) 및 유럽 위원회- SAGA프로젝트

- 프로젝트 개요 및 컨소시엄 구조
 - 2021년에 시작된 SAGA(유럽 위성을 이용한 양자 키 분배) 프로젝트는 ESA와 유럽 위원회 협력
 - 여러 EU 국가의 국가 우주 기관, 연구 기관, 산업 파트너들로 구성된 컨소시엄
 - 양자 통신 및 위성 기술 분야 전문 지식 통합
- 주요 목표
 - 위성 기반 양자 통신 개발: 위성을 통한 양자 키 분배(QKD)로 장거리 안전 통신 구현
 - 지상 네트워크와의 통합: 지상 및 우주 부문 결합한 하이브리드 양자 통신 인프라 구축
 - 표준화 및 보안 프로토콜: 양자 통신 보안 위한 유럽 표준 확립
- 잠재적 응용 분야
 - 정부 및 군사 통신: 민감 정보 위한 초안전 채널 제공
 - 글로벌 금융 거래: 국제 은행 및 금융 데이터 교환 보안 강화
 - 데이터 보호: 중요한 인프라 사이버 보안 강화

- 핵심연구분야
 - 양자 페이로드 개발: 위성에 양자 통신 장비 설계 및 배치
 - 지상국 인프라: 양자 통신 지원 지상국 네트워크 구축
 - 프로토콜 및 소프트웨어 개발: 양자 키 신뢰할 수 있고 안전한 전송 보장
- 개발단계 및 진행 상황
 - 유럽 내 상황: 우주 기반 양자 통신 능력 강화 전략적 프로젝트
 - 글로벌 맥락: 중국 미쿠스(Micius) 위성, 캐나다 및 일본 이니셔티브와 경쟁
 - 도전 과제: 장거리 광자 손실, 대기 효과, 위성-지상국 동기화 기술적 문제 극복
 - 진행 상황: 지상 기반 QKD 예비 테스트 성공, 위성 임무 계획 및 설계 단계 진행
- 향후 세부 활용 가능성
 - 글로벌 양자 통신 네트워크: 안전한 글로벌 통신 인프라에서 유럽 입지 확립
 - 상업 서비스: 기업 및 기관에 안전한 통신 솔루션 제공
 - 기술 리더십: 유럽을 양자 통신 기술 최전선에 배치

2. 유럽의 양자정보 정책 동향⁶⁾

□ 개요

- 유럽 연합(EU)은 양자 기술 개발 적극 추진, 양자 생태계 강화 다양한 이니셔티브 시행⁸⁾
- 주요 정책: 2018년 시작된 10년간 10억 유로 규모 양자 기술 플래그십(Quantum Technologies Flagship), 과학적 리더십 공고 목표
- 유럽 고성능 컴퓨팅 공동 사업(European High Performance Computing Joint Undertaking)을 통해 양자 컴퓨팅과 슈퍼컴퓨팅 통합 추진
- 유럽 양자 통신 인프라(EuroQCI) 이니셔티브⁹⁾는 모든 EU 회원국에 양자 통신 인프라 구축 박차
- 2024년 2월 유럽을 '양자 벨리'로 자리매김 위한 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030) 발표¹⁰⁾
- 포스트 양자 암호화 이니셔티브(Post-Quantum Cryptography Initiative) 도입, 양자 컴퓨팅의 암호화 위협 대응

□ 전략적 연구 및 산업 의제(SRIA 2030)

- 배경

6) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum>

7) <https://www.lighthouseeurope.com/the-quantum-frontier-eu-s-quantum-technology-endeavour>

8) <https://www.euractiv.com/section/digital/news/quantum-technology-tops-2024-work-programme-for-eu-standards/>

9) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>

10) https://qt.eu/news/2024/2024-02-14_new-roadmap-to-position-europe-as-the-quantum-valley-of-the-world

- SRIA 2030은 EU의 양자 연구 및 산업 전략 통합 노력 일환, 2024년 2월 발표
- 300명 이상의 전문가 의견 반영, 다양한 양자 기술 관련 계획 통합 전략
- 목적 및 계획
 - 2030년까지 EU를 양자 기술 분야 세계적 리더로 자리매김
 - 특정 문제에서 고전 컴퓨터 능가 양자 컴퓨팅 및 시뮬레이터 개발
 - 고급 암호화 프로토콜 갖춘 양자 통신 네트워크 구축
 - 유럽 규모 양자 인터넷 실현
 - 다양성과 포용성 통해 양자 전문 인력 강화
 - 고성능 컴퓨팅, 통신, 반도체 등 다른 분야와 양자 기술 통합
- 구현 방안
 - 학계, 산업계, 정부 기관 간 협력 통해 EU 전반 양자 기술 개발 조율
 - 지난 5년간 각국 양자 이니셔티브 통해 57억 유로 이상 투자 기반

□ 포스트 양자 암호화 이니셔티브

- 배경
 - 유럽 연합 집행위원회는 2024년 권고안(EU 2024/1101)¹¹⁾ 통해 양자 컴퓨팅의 암호화 위협 대응
- 목적 및 계획
 - 향후 2년 내 포스트 양자 암호화 표준 신속 구현, 민감 통신 보호 강력 안전 장치 마련
 - 회원국 공동 유럽 표준 및 프로세스 개발, 국제 협력 강화 지침 포함
- 관련 이슈
 - 회원국 간 협력 조율, 제안된 시간 내 원활한 전환
 - 성공적 이행 위해 정기적 진행 상황 모니터링 및 평가 필요

3. 시사점

- 유럽의 양자 정보 연구는 산업 응용을 위한 양자 알고리즘, 양자 통신 기술, 양자 컴퓨팅을 위한 양자 얽힘 등 주요 분야에서 상당한 진전 이루고 있음
- 독일과 오스트리아 등에서 집중적인 연구 진행, 막스 플랑크 양자 광학 연구소 등 선도적 기관들이 유럽의 강한 입지 강조
- EU의 사이버 보안 및 디지털 주권 강화 정책은 안전한 양자 통신 인프라, 고급 양자 알고리즘, 차세대 양자 컴퓨팅 기술 개발 필요성 보여줌
- EQUALITY 프로젝트, EuroQCI 이니셔티브, 양자 얽힘 분야 선구적 연구는 유럽의 양자 기술 선도 의지 나타냄
- 기술 역량 강화는 산업, 보안, 경제 성장 등 다양한 분야에 광범위한 영향 기대
- 지속적 협업과 전략적 투자를 통해 유럽은 양자 시대 형성 전망

11) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ%3AL_202401101