

# 개방형 양자 테스트베드 구축 방안에 대한 연구

안호찬, 최진욱, 강창우, 김영희<sup>†</sup>

한국지능정보사회진흥원(NIA)

ahno91@nia.or.kr, jwchoi1988@nia.or.kr, kcw@nia.or.kr, runa.kim@nia.or.kr<sup>†</sup>

## A Study on the building plan for Open Quantum Testbed

Hochan Ahn, Changwoo Kang, Jinwook Choi, Young-Hee Kim<sup>†</sup>

National Information Society Agency

### 요약

본 논문은 2024년부터 추진 중인 양자 테스트베드 조성 사업의 추진 배경과 필요성 그리고 추진 방향을 소개하며, 개방형 테스트베드를 기반으로 양자기술을 발전시키기 위한 중장기 방향성에 대해서도 요약하고 있다. 이 연구는 사업의 목표와 양자 통신, 센서, 컴퓨팅 등 기술의 산업화를 지원하는 핵심 인프라로써 향후 산업에 끼칠 기대효과를 포함해 포괄적인 방향성 측면을 중심으로 논의하고자 한다.

### I. 서론

양자기술은 얽힘, 중첩 같은 양자 고유의 특성을 활용해 기존의 한계를 뛰어넘는 차세대 혁신 기술로써, 양자통신, 양자센서, 양자컴퓨터 기술로 초신뢰 보안, 초정밀 계측, 초고속 연산을 가능케 하여 미래 산업 변화를 이끌 게임체인저로 주목받고 있다. 양자역학을 밝혀낸 “1차 양자혁명” 이후, 양자기술로 국가 경제와 산업 전반에 패러다임을 변화시키는 “2차 양자혁명” 시대가 도래함에 따라, 세계 각국은 양자기술의 기술발전과 산업화를 위해 노력 중에 있다. 우리나라 또한 양자를 12대 국가전략기술에 포함하고, 퀀텀 이니셔티브를 발표하는 등 핵심기술 확보를 위해 지원을 확대 중이다. 본 논문에서는 세계 주요국에서 구축한 양자 테스트베드 구축·운영 사례를 공유하고, 양자 테스트베드 구축 방향과 시험검증 및 활용방안에 대해 설명하고자 한다.

### II. 본론

#### 1. 사업 개요

우리나라는 세계 3번째 “양자암호통신 서비스 출시(‘22.7)”를 비롯하여 및 세계 최초 “양자암호통신 보안검증 제도(‘23.4)” 시행 등으로 초기 형성을 위해 노력하고 있으며, 양자중계기, 양자메모리, 양자센서(5대 플랫폼) 등을 성장기술로 기술확보를 위한 임무지향형 중장기 지원을 추진 중에 있다. 이 외에도 양자 소부장 등의 연구개발에도 투자를 확대 중이다. 관련, 이러한 연구개발 결과물에 대한 상용 환경 수준의 검증이 요구됨에 따라, 글로벌 주요국은 양자기술 개발 및 산업화를 위해 수백km 이상의 양자 테스트베드를 구축하고 지원 중이나, 국내는 양자기술을 중심하는 테스트베드가 부재하여 양자암호통신, 양자내성암호 장비·기술 고도화와 양자인터넷의 검증, 양자센서, 소부장 상용화 지원 등 연구개발과 연계한 개방형 양자 테스트베드를 구축함으로써, 기술 개발 결과물이 효율적으로 기업까지 직결되는 선순환 생태계를 조성하는 것을 목표로 한다.

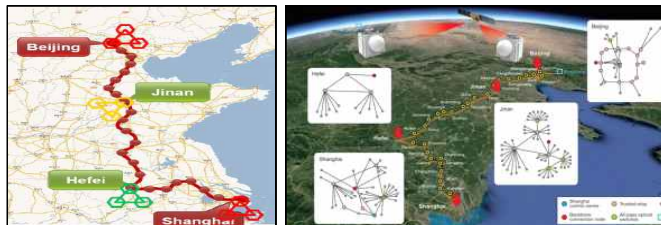
#### 2. 해외 동향

미국에서는 2020년부터 시카고대와 아르곤 국립 연구소의 양자 루프를 기반으로 6개 노드로 구성된 약 199km의 양자 테스트베드를 구축하였다. 이 테스트베드는 학계와 산업계에 개방되어 활용될 예정으로, 양자 보안 기술을 공개적으로 이용할 수 있는 플랫폼으로 활용되고 양자 통신 등에 대한 산학연 협력과 중장기 양자 인터넷을 개발하기 위한 목적으로 새로운 유형의 양자통신, 보안 프로토콜 및 알고리즘 등을 시험하고 실증 등을 추진하고 있다.



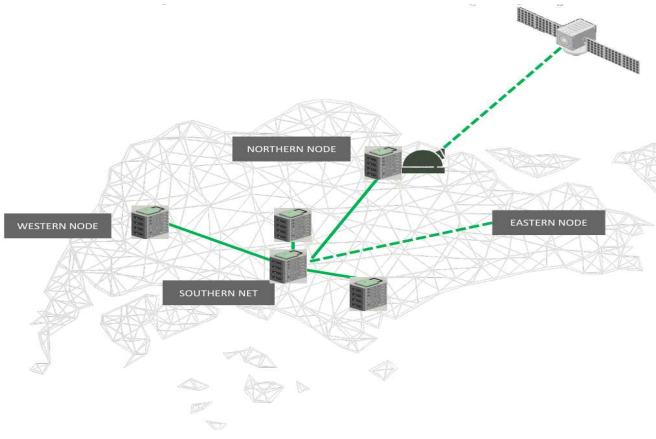
< 그림1. 미국 양자 네트워크 테스트베드 개념도 >

아시아 국가 중에서는 일본·중국 및 싱가포르 등이 두각을 보이고 있다. 먼저 일본의 경우 NICT를 중심으로 진행된 UQCC 프로젝트를 통해 도쿄에 양자암호 네트워크 테스트베드를 설치하고 시연하는 “Tokyo QKD Network”를 구성하여, 도쿄 중심부에 6개 링크로 양자암호통신 네트워크를 구축하였으며, 중국은 세계 최장(2,000km) 양자암호통신 백본 네트워크를 구축하였고, ‘21년에는 700개 이상의 광케이블과 위성 간 링크를 결합하여 중국 내 4,600km 거리의 양자 키를 배포하는 유무선 양자 네트워크를 구축하였다.



< 그림2. 중국 통합 양자통신망(위성·지상) >

싱가포르는 '22년 싱가포르 전역(싱가포르 국립대, 난양국립대 등)을 연결하는 양자 테스트베드(NQSN)를 구축하였으며, '24년부터는 이를 발전시켜 상용망 기반의 양자암호통신 어플리케이션을 제공할 수 있는 테스트베드(NQSN+)로 발전시키기 위한 사업을 추진하고 있다. NQSN+는 우선적으로 금융기관의 데이터센터에 대한 양자암호통신 서비스 제공을 중심으로 개발될 계획이며, 향후 국방·IT기업 등 다양한 분야로 확대해 나갈 예정이다.

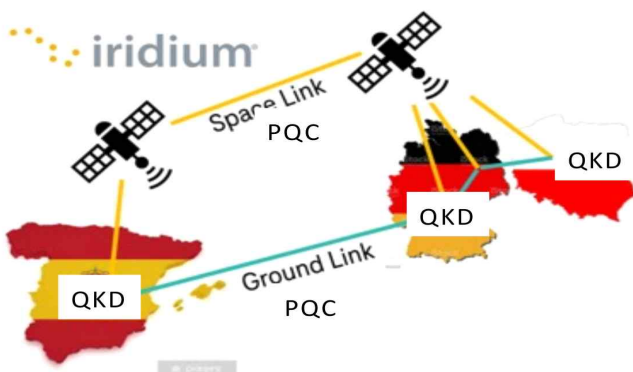


< 그림3. 싱가포르 양자 테스트베드(NQSN) 구성도 >

유럽에서는 EU의 OpenQKD('17~'21), EuroQCI('22~'28) 프로젝트를 통해 유럽 내 양자암호통신 위상 강화를 목표로 개방형 QKD 테스트베드 및 인프라를 구성하고 유럽 국가 간 양자 테스트베드 환경을 구성하고, 학계·산업계 간의 협력을 추진 중이다.

특히 유럽의 EuroQCI의 경우 27개 회원국 각국이 EuroQCI 프로그램에 따라 독자적인 테스트베드를 구축하여 단기적으로는 개별 국가 간에 연결을 추진하고 있으며, 장기적으로는 유럽 전역의 테스트베드들을 모두 연결하여 범유럽 양자인터넷망으로 발전시키는 것을 비전으로 하고 있다.('30년 목표)

그 중, 스페인 마드리드 테스트베드의 경우를 살펴보면, 독일 베를린 테스트베드와 지상 네트워크는 QKD를 통해, 위성 네트워크는 PQC를 통해 연결하는 국가간 양자암호통신망을 구축하고, 더 나아가 폴란드 테스트베드와의 연결 추가하는 3각 형태의 양자암호통신망을 구축하고자 하는 계획을 추진하고 있다.



< 그림4. 스페인-독일 간 양자 테스트베드 연결 구성(안) >

### 3. 테스트베드 추진 방향

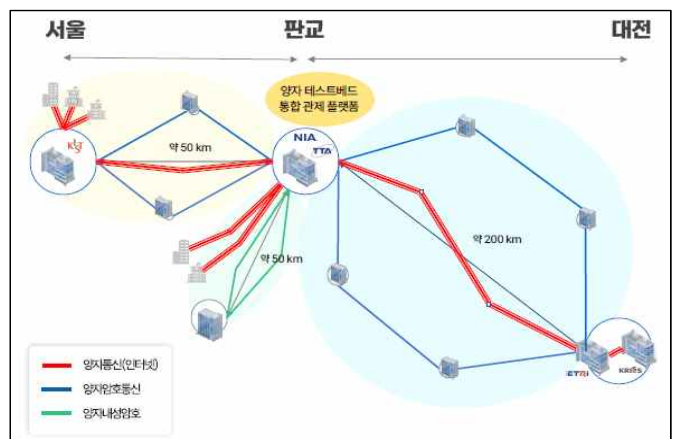
국내 개방형 양자 테스트베드는 양자 소재 및 소자, 부품, 장비 등이

개발에서 산업화까지 이어질 수 있도록 시제품 테스트 환경을 구축하고자 하며, 신기술·시제품의 성능·효과·안정성 평가 및 시험성적서 발급, 기술 지원 등을 제공하고자 한다. 이를 위해 양자 전문 역량을 보유한 한국과학기술연구원, 한국전자통신연구원, 한국표준과학연구원 출연(연)을 중심으로 양자암호통신 보안검증제도 시험기관인 한국정보통신기술협회를 포함하여 서울·광교·대전을 잇는 양자기술 측정·시험 설비를 구축하고, 성능 검증 및 컨설팅 등 기술 지원을 제공할 계획이다.



< 그림5. 양자 테스트베드 기관별 역할 >

양자 테스트베드 망 구축 관점에서는, 산학연이 양자 분야 관련 기술(양자인터넷, 양자암호통신, 양자내성암호, 양자센서, 소부장 등)의 검증·활용이 가능한 상용망 수준의 시험 환경을 구축하고자 한다. 첫째, 전체 약 250km 구간의 양방향 양자암호통신망을 구축하며 양자 키분배장비(QKD) 및 양자키분배(QKMS) 장비가 국제 표준을 기반으로 상호 연동할 수 있는 인터페이스를 구축함으로써, 이기종 간 양자암호호기를 교환할 수 있도록 구성하여 상호 운용(호환)성 확보이 확보된 양자암호통신 실증 환경을 마련할 계획이다. 둘째로, 양자엄밀 시험, 양자 데이터 전송 등을 위한 양자통신 기술검증 및 연구지원용 고품질 저손실 광코어(Dark-Fiber)를 제공하여, 산학연의 양자 인터넷 분야 연구개발 실증을 지원할 계획이다.



< 그림6. 개방형 양자 테스트베드 구성(안) >

셋째, 양자 컴퓨터의 연산 능력에도 해독이 어려운 양자내성암호(PQC)의 알고리즘 연구 및 암호화 기술, 장비·서비스의 실증을 위한 인프라도 연계 구축함으로써 PQC 알고리즘 관련 국내외에서 선정 또는 선정중에 있는 표준 알고리즘 적용 및 지원 체계를 바탕으로 선제적인 지원과 전자서명 등의 서비스 검증도 지원할 수 있는 환경도 마련하고자 한다.

### 3. 기대효과

마지막으로, 양자 테스트베드는 초기 기술개발과 산학연의 양자분야 진입장벽을 낮추기 위한 연구개발 시험검증 기반 구축을 제공하는 인프라로써, 양자기술 산업화 촉진을 위한 선순환 생태계 조성 뿐만 아니라, 거점 중심의 기술 역량 결집으로 양자기술 산업 협력 시너지를 창출하여 국내 대중소기업의 양자분야 기술적 자립을 확보하고, 미래형 양자통신·센서 등 개발 기반 제공으로 기술경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대한다.

### III. 결론

본 논문에서는 2024년부터 추진 중인 양자 테스트베드 조성 사업의 배경과 필요성, 추진 방향을 정리하였다. 미국·중국 등 주요 국가들의 양자 네트워크 구축 사례를 들여다봄으로써, 우리나라 또한 출연(연) 등과 연계한 거점 중심 구축 및 조성 계획을 소개하였다. 앞으로 양자 기술 연구의 가속화와 실용화 및 산업화를 위한 기반 인프라로써, 산학연이 활용할 수 있는 개방형 환경을 조성하여 양자 기술 발전을 촉진할 수 있도록 노력할 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부) 정보통신진흥기금의 지원을 받아 수행된 연구 결과임[양자클러스터(양자테스트베드조성)]

### 참 고 문 헌

- [1] University of Chicago News(<https://news.uchicago.edu/>), Chicago expands and activates quantum network, taking steps toward a secure quantum internet, Jun 16, 2022
- [2] The Project UQCC(<http://www.uqcc.org/QKDnetwork/>), The Tokyo QKD Network
- [3] Y.-A. Chen, et al., 「An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres,」 Nature 589(7841), pp. 214-219, 2021
- [4] National Quantum Office of Singapore, Singapore's Quantum Initiatives, 2023.
- [5] Vincente Martin, The Madrid Quantum Communications Infrastructure: QKD and PQC Deployment, 2024.