

수도권 양자기술 및 소재·부품·장비 시험환경 구축

박창릉, 허형준, 최상수*

한국과학기술연구원(KIST)

cspark@kist.re.kr, hyungjun.heo@kist.re.kr, *schoi@kist.re.kr

Quantum Technology and Testing Infrastructure for Materials, Components, and Equipment in the Metropolitan Area

Chang-Reung Park, Hyung-Jun Heo, SangSoo Choi*

Korea Institute Science and Technology(KIST)

요약

본 논문은 2024년부터 추진 중인 '수도권 양자 기술 시험검증 및 컨설팅 지원 조성' 과제의 개요와 추진 현황을 소개한다. 본 과제는 양자 기술의 연구, 개발 및 시험을 위한 플랫폼인 양자 테스트베드 구축 및 활용을 중심으로 진행되고 있다. 주요 내용으로는 양자통신 연구개발 및 검증을 위한 시험망 공동 활용 지원, 양자 기술 관련 소재·부품·장비 기술 지원, 그리고 실증 및 시험검증을 위한 장비 인프라 구축/컨설팅 제공 등이 포함된다. 본 논문에서는 이러한 추진 내용을 중심으로 살펴보고, 향후 양자 테스트베드 구축을 통해 기대되는 양자 기술 전반에 대한 파급효과를 제시하고자 한다.

I. 서론

양자 기술은 컴퓨터, 통신, 센서 등 다양한 분야에서 차세대 핵심 기술로 주목받고 있으나, 높은 기술 진입 장벽과 고가의 정밀 제어·계측 인프라로 인해 특히 중소기업을 중심으로 산업계의 연구 접근이 어려운 실정이다. 미국, 중국, 유럽, 일본 등 주요국은 양자 기술의 주도권 확보를 위해 테스트베드 구축, 컨소시엄 구성, 국제 협력 등 다각적인 지원을 강화하고 있다. 반면 국내의 경우, 양자 기술의 성능 검증과 신뢰성 확보를 위한 시험 환경 인프라가 매우 부족한 상황이다. 특히, 양자 관련 연구인력과 기업이 밀집해 있는 수도권에서는 양자통신 네트워크를 활용한 실 환경 기반 기술 검증 수요가 증가하고 있으나, 이를 뒷받침할 시험망 및 테스트베드 인프라가 미비하다. 아울러, 양자 응용 시스템을 구성하는 소재·부품·장비(이하 소·부·장)에 대한 시험 및 검증 기술 지원도 충분하지 않아 양자 기술의 산업화 연계에 제약이 되고 있다.

본 논문은 국내 기업의 글로벌 경쟁력 강화를 위한 기술적 레퍼런스를 제공하고, 관련 문제를 해결하기 위해 수도권 중심의 양자 테스트베드 실험 환경 구축을 목표로 KIST에서 추진 중인 개방형 양자 테스트베드 구축 내용을 소개하고자 한다. 주요 내용으로는 양자통신 연구개발 및 시험망의 공동 활용 지원, 양자 분야 소·부·장 기술 지원, 장비 인프라 구축 및 컨설팅 지원 등을 포함하며, 이를 설명한 후 결론을 통해 논의를 마무리하고자 한다.

II. 본론

1. KIST 양자 테스트베드

24년 1차 연도 과제를 통해서 KIST 연구동 내 구축된 양자테스트베드는 다음과 같다. 양자테스트베드 스페이스는 총면적 97m²로 총 5개의 Zone (① 양자 기술 컨설팅 Zone ② 양자암호통신 소·부·장 Zone ③ 양자 시험망 공동 활용 Zone ④ 차세대 양자통신 연구 기술 개발 Zone ⑤ 컴퓨터/센서

소·부·장 지원 Zone)으로 구성되어 있다. 테스트베드내 1차 연도에는 양자통신 분야에서 단일광자 신호의 검출 및 다양한 광자 기반 양자 응용 시스템에 활용하기 위해, 초전도 나노선 단광자검출기(SNSPD, Superconducting Nanowire Single-Photon Detector), 신호 발생기, 시간태거(Time Tagger) 장비 및 기타 광부품 등을 구축하였다. 25년 2차 연도에는 각 Zone의 기능적 역할에 부합하는 테스트 환경을 단계적으로 구축하고, 이를 산업계, 학계, 연구계(이하 산·학·연)에 있는 다양한 수요자들이 효과적으로 활용할 수 있도록 지원할 계획이다.

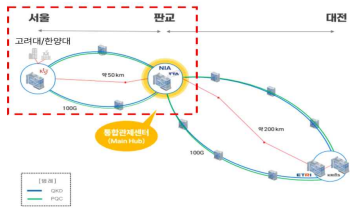


< KIST 양자테스트베드 구성 >

2. 양자통신 연구개발 및 전용 시험망 공동 활용 지원

24년 1차 연도에 수도권 양자 연구시험망 활용을 위해서 고려대와 한양대가 이용기관으로 선정되어 KIST와 이용기관 간에 시험망이 설치되었다. 25년 2차 연도에는 구축된 시험망을 활용하여 양자암호통신의 핵심기술인 양자 키분배(QKD)의 두 가지 주요 방식, 즉 이산 변수(DV, Discrete-variable) 방식과 연속 변수(CV, Continuous-variable) 방식에 대한 실 환경 성능테스트를 수행할 예정이다. 아울러, 한국지능정보사회진흥원(NIA) 주관으로, 서울-판교-대전 4개 거점을 연결하는 약 250km 규모의 양자 통신망을 구축 중이다. 통신망 이중화 구성 등 고도화 및 운영에 있어 서울 거점에서 필요한 업무를 수행할 계획이다.

KIST 양자 전용 시험망 구축 지원



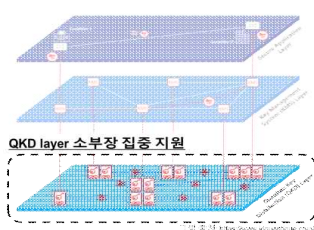
서버거실 기반 (한교-KIST, 77km)
IDQ 사 QKD 장비
(120km 35Kbps, QKD/M5 동형)
PQC 마이그레이션 플랫폼
(PQC 연립망의 위 요소 지원)
PQC 1000km 이상
LG U+

<양자통신 시험망 및 양자암호통신 장비(QKD, PQC) 활용>

3. 양자 소재·부품·장비 기술 지원

1차 연도에는 한국과학기술연구원(KIST) 양자기술연구단에서 보유한 양자암호 실증사업 관련 장비를 이관받아, QKD 계층의 소·부·장에 대한 시험지원을 수행하였다. 이를 통해 시험 동작 테스트를 진행하고, 1x3 QKD 기반의 양자 시험 레퍼런스를 확보하였으며, 개별 부품의 성능 평가 체계를 마련하였다. 2차 연도에는 산업화 연계성이 높고 기술 성숙도가 높은 양자암호통신(QKD) 및 양자 센싱 분야를 중심으로 소·부·장에 대한 시험·검증 지원을 우선하여 추진할 예정이다.

양자통신 분야의 소재·부품 관점에서는 QKD 시스템 소형화를 위한 광 집적화 소자개발 및 패키징 전 단계 소자의 QKD 테스트 적용을 지원하고, 장비 관점에서는 QKD 개발 장비의 성능 검증을 지원할 예정이다. 양자센서 분야의 소재·부품 관점에서는 다이아몬드 NV(Nitrogen-Vacancy) 센터 기반 응용을 위해 고순도 다이아몬드가 요구되며, 이에 따라 나노 구조물 제작 및 적합한 광부품 선정 등 소자 제작에 필요한 기술 지원 및 컨설팅을 제공하고, 장비 관점에서는 NV 센터 기반의 confocal 센서 모듈의 제작과 실험적 성능 검증을 수행할 계획이다.



1x3 QKD 시스템 장비
Alice3 채널 테스트 결과

<QKD 네트워크 시스템 계층 구조 및 1x3 QKD 시스템>

KIST 다이아몬드 측정 셋업



- 자체 제작 Confocal 셋업을 이용한 측정 지원

<다이아몬드 NV 센터 Confocal 센서 모듈>

4. 공동 활용 장비 인프라 구축 및 컨설팅 지원

수도권 소재 산·학·연 기관을 대상으로 양자 기술의 시험 및 검증을 위한 장비 인프라를 단계별로 구축하고, 기술 컨설팅을 병행함으로써 기술의 신뢰성 검증 및 상용화 촉진을 목표로 지원하고자 한다.

2차 연도에는 KIST 양자 테스트베드내 고효율 단광자 검출기(SNSPD, 1차 연도 구축 완료)를 제외한 다음의 장비들이 추가로 구축될 예정이다. 광원으로는 펄스조 타타늄/사파이어 레이저가 도입되며, 미세 신호의 정밀 측정을 위한 고감도 CCD, 신호 분석용 고속 오실로스코프(10 GHz 이상),

광스펙트럼분석기(OSA, Optical Spectrum Analyzer), 20 GHz 이상의 대역폭을 지원하는 신호 스펙트럼분석기(Signal Analyzer) 및 신호 발생기(Signal Generator) 등이 포함된다. 이러한 장비를 활용하여 양자 기술 관련 부품의 성능 검증 및 기술 고도화를 지원하고자 한다.

장비분류	펄스조 레이저	고속 오실로스코프	광 측정 모듈	광스펙트럼 분석기	스펙트럼 분석기	신호 발생기
장비사진						
주요사항	>3.5W / 680~1080nm >300kW Peak	13/8GHz 2/4ch, 1Gpts, 40Gs/s	1024~200 p410um(p4) OE90%	600 ~ 1750nm	10Hz~26.5GHz Bandwidth	10MHz~27GHz Bandwidth
활용형태 및용도	(공동활용) 양자통신광자 생성및측정	(공동활용) 고속신호및노이즈 특성측정	(공동활용) 단일광자검출 측정용도	(공동활용) 광신호특성 분석및측정	(공동활용) 광결정신호 스펙트럼특성분석	(공동활용) RF신호생성

< 테스트베드내 공동 활용 구축 장비 >

산업계, 특히 중소기업이 직면한 기술적 문제 해결을 위해 KIST 내 양자 기술 전문가들의 지원을 바탕으로 기술 컨설팅을 제공하고자 한다. 예를 들어, 최근 공고된 25년도 서울형 R&D 지원사업에 참여를 희망하는 서울 소재 중소기업을 대상으로 필요한 기술 자문 및 컨설팅을 수행하는 것이 그 일환이 될 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 양자 기술의 상용화 및 국가 경쟁력 강화를 위해 수도권 중심의 양자 테스트베드 구축을 통한 양자 컴퓨터·통신·센서 분야의 소재·부품·장비 시험환경 조성에 대해 고찰하였다. 양자 통신망의 실증적 활용, 양자 소·부·장에 대한 시험·검증 체계 마련, 고도화된 시험 인프라 제공 등 기술적 기반을 확보함으로써, 향후 양자 기술 기반 산업 생태계 조성 및 글로벌 기술 경쟁력 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

양자 테스트베드가 아직 초기 단계에 있으나, 향후 체계적으로 구축되고 안정적으로 운영될 경우, 양자 산업 활성화, 신시장 창출, 고급 인력 양성, 중소기업 기술 지원 등 사회·경제 전반에 걸친 파급효과가 기대된다. 나아가, 신뢰 기반의 안전한 정보통신 사회구현과 더불어 국제 협력에서의 주도적 역할 수행 또한 가능할 것으로 전망된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부) 정보통신진흥기금의 지원을 받아 수행된 연구 결과임[양자클러스터(양자테스트베드조성)_협약번호: 2025-지능기술인프라-수01]

참 고 문 헌

- [1] <https://www.etnews.com/20231115000232>
- [2] 안호찬, 최진욱, 강창우, 김영희. “개방형 양자 테스트베드 구축 방안에 대한 연구”, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 2024.
- [3] 김인규, 주정진, “양자통신 테스트베드 동향”, ETRI 전자통신동향분석, v.39, no.5, pp. 86~97, Oct. 2024.
- [4] Market And Market, “Quantum Communication Market Global Forecast to 2030”, 2024
- [5] 한국지능정보사회진흥원, 과학기술정보통신부, 미래양자융합포럼, “2024 양자정보기술 백서”, 한국지능정보사회진흥원, 2024.