

“한국-스위스 공동연구, 장거리 대기권 양자통신 실증 나선다”

GIST 고등광기술연구원, 베른대학교 등 스위스 대학들과 함께 우주까지 연결되는 차세대 양자통신 실험

- GIST, 한국-스위스 양자과학기술 공동연구 프로그램에 'QFREE' 과제 선정... 짐머발트-용 프라우요흐 57km 구간에 고정 링크 구축해 양자통신 가능성 검증 및 우주 환경 영향 탐구
- 양자광에 에너지와 시간 정보 담아 장거리로 보내 양자광의 분배·간섭 특성 세계 최초 실증... 국방·우주·보안 산업 응용 및 미래 글로벌 양자인터넷 기술 선점 기대



▲ GIST 고등광기술연구원(APRI)이 스위스 베른대학교, 제네바대학교, 노스웨스턴 응용과학대학교(FHNW)와 함께 '2025 한국-스위스 양자과학기술 공동연구 프로그램' 신규 과제 'QFREE'에 최종 선정되어 스위스 베른에서 현지 킥오프 미팅을 개최하고 기념촬영을 하고 있다. (스위스 베른 2025.10.21.)

광주과학기술원(GIST) 고등광기술연구원(APRI, 원장 이영락)은 '2025 한국-스위스 양자과학기술 공동연구 프로그램' 신규 과제에 최종 선정된 'QFREE(Entanglement Distribution via Free-Space Optical Links: From High-Altitude Balloons to Space-Time Curvature Tests)'의 프로젝트 착수 회의를 스위스 베른에서 열었다고 밝혔다.

GIST APRI 신우진 수석연구원과 스위스 베른대학교(University of Bern)의 안드레 스테파노프(André Stefanov) 교수가 공동 총괄을 맡은 이 과제에는 제네바대학교(University of Geneva, UNIGE)와 스위스 노스웨스턴 응용과학대학교(Fachhochschule Nordwestschweiz, FHNW)가 협력기관으로 참여한다.

* '한-스위스 양자과학기술 공동연구 프로그램(Korea-Switzerland Quantum Science and Technology Programme)': 한국 과학기술정보통신부와 스위스연방교육연구혁신청(SERI)이 공동으로 추진하는 양자 분야 국제협력 사업으로, 양자통신·양자컴퓨팅·양자센싱 등 차세대 핵심 기술의 공동연구와 인력 교류를 지원함으로써 양국 간 연구 협력과 글로벌 양자기술 경쟁력 강화를 목표로 한다.

'QFREE'는 한국과 스위스가 공동으로 수행하는 양자통신 실증 연구로, 고고도 풍선(성층권 플랫폼)과 드론 등을 활용해 대기 중(자유공간)에서 양자 얽힘(Entanglement) 상태의 빛(얽힘 광자)를 주고받음으로써 지상에서 멀리 떨어진 곳까지 양자 정보를 안정적으로 전달할 수 있는지를 실험적으로 검증하는 과제다. 나아가 지구의 중력장이나 시공간의 휘어짐(곡률)이 이러한 양자 얽힘 상태에 어떤 영향을 주는지도 함께 탐구해, 우주 환경에서도 신뢰할 수 있는 양자통신의 원리를 규명하는 것을 목표로 한다.

즉, 지상에서 성층권을 거쳐 우주로 이어지는 자유공간 양자 네트워크를 구축하는 연구로, 향후 양자중계기와 양자위성 기술의 기반을 마련하고 미래 글로벌 양자인터넷 실현을 향한 발판을 다지는 도전적인 프로젝트다.

이번 연구는 양자 성질을 가진 빛에 에너지와 시간 정보를 담아(에너지-시간(energy-time) 부호화 얽힘 광자) 드론과 성층권 풍선(HAPS)*을 이용해 장거리로 보내고, 같은 플랫폼에서 양자광(양자 성질을 가진 빛)과 고전광(일반 빛)의 간섭 특성을 비교하는 세계 최초의 시도라는 점에서 의미가 크다.

연구팀은 스위스 고고도 연구 인프라를 활용해 짐머발트-융프라우요흐(Zimmerwald-Jungfrau) 구간(거리 약 57km, 고도차 약 2.5km)에 고정 링크를 구축하고 장기 계측을 수행한다. 이를 위해 이동형 SNSPD(초전도 나노와이어 단일광자 검출기)*, 이동형 추적 지상국, 비행체 탑재 간섭계 페이로드 등 첨단 실험 장비를 단계적으로 투입할 예정이다.

한국 측 연구비는 총 12억 원(연 3억 원), 스위스 측은 약 79만 9,899 스위스 프랑(한화 약 14억 4,700만 원) 규모이며, 연구 기간은 총 4년이다.

* 성층권 풍선(HAPS: high altitude pseudo-satellite): 약 18~25km 높이의 성층권에 장기간 체공하면서 위성과 유사한 기능을 수행하는 무인 비행체를 말한다. 태양광 등 재생에너지를 이용해 수주에서 수개월 이상 비행할 수 있으며, 통신 중계, 지상 관측, 기상 모니터링, 재난 대응, 양자통신 실증 등 다양한 분야에 활용된다. 위성보다 운용비용이 낮고 지상국과의 통신 지연이 적어 차세대 고고도 플랫폼으로 주목받고 있다.

* SNSPD(초전도 나노와이어 단일광자 검출기): 초전도 나노와이어를 이용해 단일 광자까지 검출할 수 있는 고감도 센서로, 매우 빠른 반응 속도와 낮은 잡음 특성을 갖는다. 이를 활용하면 양자통신, 양자 암호, 천문 관측 등 정밀 광학 실험에서 극도로 약한 빛까지 정확히 측정할 수 있다.

특히 이동형 SNSPD는 소형화 및 휴대 가능한 냉각 시스템을 포함해 장소에 구애받지 않고 현장 실험, 위성 탑재, 항공기 운용 등 다양한 환경에서 단일 광자 검출이 가능하다는 장점이 있다.

지난 10월 21일 스위스 베른에서 열린 프로젝트 착수 회의에서는 세부 목표와 역할 분담, 일정 확정, 위험·품질 관리 계획 수립, 초기 실험 환경 구축 방안 등이 논의됐다.

주요 안건으로는 ▲ 57km 고정 링크 장기 계측 로드맵과 관측창 분석 ▲ 드론과 성층권 플랫폼(HAP)에 탑재할 간섭계 페이로드* 시스템 설계 ▲ 이동형 SNSPD 및 지상국 추적 시스템 구성 ▲ 스위스 노스웨스턴 응용과학대학교(FHNW)에서 개발한 2축 짐벌*·미세조준(FSM) 모듈 통합 시나리오 검토 ▲ 실험 데이터 관리, 연구 결과 출판, 국제 표준화 활동, 지식재산 전략 등이 포함됐다.

* **HAP 간섭계 페이로드(Payload):** 우주나 항공, 실험 장비에서 '페이로드'란 주요 임무를 수행하는 장치나 장비를 의미한다. HAP 간섭계의 경우, 페이로드는 간섭계를 구성하는 핵심 부품과 센서, 빛을 보내고 받는 광학 시스템 전체를 포함한다.

* **FHNW 개발 2축 짐벌:** 스위스 노스웨스턴 응용과학대(FHNW)에서 개발한 장치로, 주로 광학 센서, 카메라, 탐지 장비 등을 안정적으로 제어하고 정밀하게 위치 조정을 할 수 있도록 설계되었다.



▲ (왼쪽부터) GIST 미래우주국방융합연구본부 강철 본부장, 스위스 베른대학 응용물리연구소 Andre stefanov 교수, GIST 물리·광과학과 고도경 교수, 스위스 제네바 대학 물리학과 Boris Korzh 교수, 스위스 노스웨스턴 응용과학기술대학 응용물리학과 Christoph Wildfeuer 교수, GIST APRI 신우진 수석연구원

연구팀은 이번 과제를 통해 지상-고지대-성층권으로 이어지는 하이브리드 양자 네트워크 백본을 검증하며, 양자 네트워크의 확장성을 확인할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

또한 에너지-시간 부호화 기술을 활용해 통신 채널의 용량과 안정성을 높이고, 장거리·고고도 링크에서도 재현 가능한 성능을 확보하는 것이 목표다.

아울러, 이번 연구에서 개발되는 이동형 양자통신·고정밀 추적·고감도 검출 기술은 국방·우주·보안·안전 산업 등 다양한 분야에 응용될 가능성이 크다. 스위스-한국 공동 실증 데이터를 기반으로 국제 표준화 활동 및 후속 대형 프로젝트 연계에도 기여할 전망이다.

GIST APRI 신우진 수석연구원은 "QFREE는 드론과 성층권 플랫폼에서 얽힘 광자를 실제로 분배하고, 동일 조건에서 고전광 대비 양자광 간섭의 차이를 직접 비교·측정한다는 점에서 세계적으로도 독창적인 시도"라며, "스위스 고고도 인프라와 APRI의 광학·추적 기술을 결합해 향후 양자 인터넷 구축의 핵심 토대를 마련하겠다"고 말했다.

베른대학교 안드레 스테파노프 교수는 "이번 실험 플랫폼에는 이동형 지상국과 고감도 단일광자 검출기(SNSPD) 체계가 포함돼 있어, 자유공간 양자통신의 데이터 전송률과 신뢰성을 동시에 높일 수 있을 것"이라며, "이번 협력은 스위스-한국 간 양자·우주 기술의 연계를 한층 강화하는 계기가 될 것"이라고 밝혔다.

한편 GIST APRI는 조정밀 광원, 광계측, 광통신, 양자광학 등 고등광기술 전 분야를 선도하며, 자유공간 레이저 통신, 적응광학, 고감도 검출, 광양자정보 분야의 연구 기반과 인프라를 갖추고 있다.

스위스의 베른대학교, 제네바대학교, 노스웨스턴 응용과학대학교는 자유공간 양자통신, 단일광자 검출, 고고도 실험 인프라 및 페이로드 개발 역량을 갖춘 선도 연구기관으로, 이번 과제를 통해 지상-고지대-성층권 실증 연구를 공동 수행한다.