

양자정보기술 연구개발의 거대한 물결

Big Wave in R&D in Quantum Information Technology
-Quantum Technology Flagship

황용수 (Y. Hwang, yhwang@etri.re.kr)	양자창의연구실 선임연구원
백충현 (C.H. Baek, CHBaek@etri.re.kr)	양자창의연구실 연구원
김태완 (T. Kim, TaewanKim@etri.re.kr)	양자창의연구실 선임연구원
허재두 (J.D. Huh, jdjuh@etri.re.kr)	초연결원천연구본부 책임연구원/본부장

Quantum technology is undergoing a revolution. Theoretically, strange phenomena of quantum mechanics, such as superposition and entanglement, can enable high-performance computing, unconditionally secure communication, and high-precision sensing. Such theoretical possibilities have been examined in the last few decades. The goal now is to apply these quantum advantages to daily life. Europe, where quantum mechanics was born a 100 years ago, is struggling to be placed at the front of this quantum revolution. Thus, the European Commission has decided to invest 1 billion EUR over 10 years and has initiated the ramp-up phase with 20 projects in the fields of communication, simulation, sensing and metrology, computing, and fundamental science. This program, approved by the European Commission, is called the “Quantum Technology Flagship” program. Its first objective is to consolidate and expand European scientific leadership and excellence in quantum research. Its second objective is to kick-start a competitive European industry in quantum technology and develop future global industrial leaders. Its final objective is to make Europe a dynamic and attractive region for innovative and collaborative research and business in quantum technology. This program also trains next-generation quantum engineers to achieve a world-leading position in quantum technology. However, the most important principle of this program is to realize quantum technology and introduce it to the market. To this end, the program emphasizes that academic institutes and industries in Europe have to collaborate to research and develop quantum technology. They believe that without commercialization, no technology can be developed to its full potential. In this study, we review the strategy of the Quantum Europe Flagship program and the 20 projects of the ramp-up phase.

* DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340107



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

최신 네트워크 기술 동향 특집

- I. 서론
- II. 배경 및 개요
- III. 연구개발 기술분야
- IV. 1단계(Ramp-Up Phase)
선정 연구개발 과제 분석
- V. 결론 및 시사점

I. 서론

1900년대 초반 유럽에서 탄생한 양자역학은 빛과 물질에 대한 기존의 이해를 완전히 바꾸어놓았다. 물질의 상태가 동시에 여러 개를 나타내기도 하고(중첩), 공간적으로 멀리 떨어져 있는 서로 다른 물질들이 상호간의 깊은 관계를 가지고 있어서 직접적인(국소적인) 상호작용 없이도 서로의 상태에 영향을 주기도 한다(얽힘). 이외에도 양자역학은 우리의 일상을 크게 바꾸어 놓았는데, 레이저, 휴대폰, 컴퓨터, GPS 등은 모두 양자역학의 산물이다.

양자역학이 탄생한지 100여 년이 지난 2000년대 초반 또 다른 양자혁명이 시작되었다. 개별 물질들이 갖고 있는 기이한 현상(중첩, 얽힘 등)들을 정보처리, 저장, 통신, 측정에 활용하면 기존의 정보통신기술이 가지지 못했던 무조건적인 보안성(통신), 완전한 병렬성(컴퓨팅), 극도로 정교한 센싱(센서)이 가능함이 이론적으로 입증된 것이다.

양자통신과 양자컴퓨팅의 개념이 처음으로 제안된 지 30여 년이 지난 지금 주요 선진국들을 중심으로 양자인터넷, 양자 컴퓨터, 양자 센서 등을 개발하기 위해 막대한 투자를 진행하고 있다. 특히, 미국의 경우, 양자기술관련 특별법안[1]을 최근 의회에서 통과시키는 등 범정부차원에서 양자기술 개발에 전력을 다하고 있다. 글로벌 IT 기업의 경우도 양자정보통신기술을 차세대 핵심 기술로 선정하고 많은 투자를 아끼지 않고 있고, AT&T, NTT 등 통신기업들도 양자통신에 주목하고 있다. 국내의 경우도 이미 2000년대 초반부터 대학 연구실에서 양자정보기술에 대한 연구개발이 시작되었고, 현재는 대학, 출연연, 통신기업을 중심으로 양자정보기술에 대한 연구개발이 진행되고 있다.

본고에서는 전세계적으로 진행되고 있는 양자정보기술개발 현황에 대해서 보다 구체적으로 살펴보고자 한다. 특히, 현재 유럽에서 진행되고 있는 거대 양자기술

연구개발 프로젝트인 Europe Quantum Technology Flagship에 대해서 살펴보고, 우리에게 시사점이 무엇인지 살펴보고자 한다.

II. 배경 및 개요

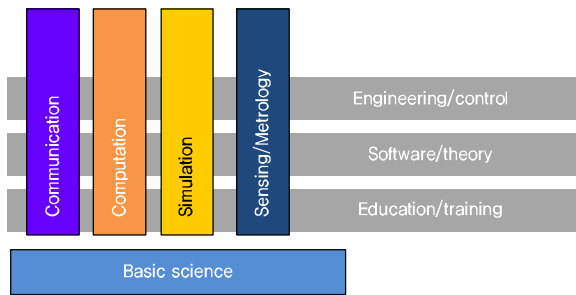
1. 개요

지난 2016년 4월 유럽 연합 집행위원회(European Commission)는 Quantum Technology Flagship 프로젝트를 개시할 것을 공개하였다. 이 프로젝트는 앞서 진행되고 있던 Graphene Flagship과 Human Brain Flagship에 이은 세 번째 FET(Future and Emerging Technology) 프로그램으로 장기간(10년 이상) 막대한 연구개발 자금(1B EUR)을 투자하여 유럽을 양자기술분야의 선두주자로 발돋움시키고 관련분야의 연구개발 주도권을 확보하기 위한 매우 야심찬 프로젝트이다. 기존에 디지털 혁명이 진행되던 시기, 상대적으로 소극적으로 대응했던 유럽은 디지털 정보통신 분야에서 상대적으로 북미와 동아시아 국가들에 주도권을 내주었다. 이런 일을 되풀이하지 않기 위해 유럽은 거대하지만, 치밀하게 구성된 연구개발 프로그램을 시작하고 있다.

Quantum Technology Flagship(이하 QT Flagship)[2]은 유럽이 양자정보기술분야를 주도하기 위한 전략적인 연구개발 프로젝트로 단순히 학계만을 위한 프로젝트가 아니다. 양자정보기술의 산업화를 위해 시장과 산업계까지 포함하여 단순히 이론적인 연구개발에 머무르지 않고, 양자정보기술이 실제 제품화되어 시장에 출시될 수 있도록 유도하고 있다. 이를 위해서 유럽 내 양자역학, 전자공학, 컴퓨터과학분야의 최고 수준 연구개발 기관들과 관련 기업들이 QT Flagship에 참여하고 있다.

2. 목표

QT Flagship의 주요한 목표는 다음과 같다. 첫 번째는 유럽의 양자정보기술 연구개발능력을 공고히 하여



(그림 1) QT Flagship의 전략적 연구개발 의제

[출처] Reprinted from High-Level Steering Committee, "Quantum Technologies Flagship Intermediate Report," Quantum Europe 2017: Towards the Quantum Technology Flagship 17 Feb. 2017, Malta.

양자정보기술 연구개발의 글로벌 리더십을 확고히 하고, 이를 지속하기 위한 신진연구인력을 양성하는 것이다. 두 번째는 양자정보기술분야에서 경쟁력 있는 산업을 육성하여 유럽이 차세대 양자정보기술산업을 주도할 수 있도록 하는 것이다. 세 번째는 유럽을 양자정보기술 연구개발과 관련사업에서 활기 넘치고 매력적인 지역으로 유지하여, 양자정보기술분야의 메카로 군림할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 목표 달성을 위해서 많은 연구개발자와 회사가 목표지향적인 기술 로드맵을 공유하고 표준화된 하드웨어와 소프트웨어를 연구개발하도록 한다.

QT Flagship은 (그림 1)과 같이 주요 다섯 개의 연구개발 영역(domain)으로 구성되어 있다. 그 중 네개 영역은 양자정보기술의 핵심적인 활용분야로 통신, 컴퓨팅, 시뮬레이션 그리고 센싱이다. 다섯번째 영역은 네 가지의 주요한 양자정보기술 활용분야에 직간접적으로 큰 영향을 줄 수 있는 양자정보 기초과학분야로 이론 및 실험 연구를 포함하며, QT Flagship의 목표달성에 요구되는 다양한 개념, 구성요소, 물질 등에 대한 연구개발을 진행한다. 각 영역별로 주요한 연구개발 목표를 다음 장에서 기술한다.

각 응용분야 연구개발은 다음의 범주를 포함하도록 하는데, 첫 번째가 구현부문(Engineering and Control)

으로 새로운 기술에 대한 이해를 고도화하고 양자정보 기술 이론 및 개념이 실제 활용될 수 있도록 하는 장치를 개발하는 것을 말한다. 실제 시장에서 활용될 수 있도록 견고하고, 비용효율적이며, 소형화된 제품을 제작하는 것을 포함한다. 두 번째는 이론부문(Software and Theory)으로 알고리즘, 프로토콜등을 개발하여 하드웨어에 연결하고 실제 양자효과를 확인할 수 있도록 하는 연구개발이다. 마지막 세 번째는 교육부문(Education and Training)으로 지속적으로 유럽이 양자정보기술분야의 주도권을 유지할 수 있도록 관련 신진 연구인력, 응용부문개발자, 관련기술자들을 교육 및 훈련시키는 프로그램이다. 교육부문은 또한, 일반인들에게 양자정보기술의 잠재력과 효과를 홍보하는 대중 프로그램도 포함한다.

3. 구성 및 관리

유럽 FET 내 세 번째 Flagship 프로젝트인 QT Flagship 프로젝트는 앞선 Flagship 운용으로부터 얻은 경험과 노하우를 활용하여, 기존의 Flagship 프로젝트와는 다르게 운용하고자 한다. 특히, 단일 컨소시엄으로 구성되는 것이 아니고, 개별적인 연구개발 과제들을 유기적으로 결합하여 진행되고, 유럽의 각 국가별 양자정보기술 과제들과 상호조정되어 운영된다. 개별적인 연구개발 과제들은 유럽 전역에서 투명하게 동료평가방식(peer-reviewed)을 거쳐서 선정되는데, 연구개발 제언서는 엄격하지만 달성가능한 목표와 측정가능한 KPI(Key Performance Indicators) 그리고 마일스톤 등을 포함해야 한다. 하지만 무엇보다 중요한 것은 본고에서 지속적으로 언급한 것처럼 단순 기술 개발에 그치는 것이 아니라 개발된 기술이 제품화로 이어질 수 있도록 과제를 기획하는 것이 매우 중요하다.

QT Flagship 프로젝트의 관리는 투명한 운영과 의사 결정을 근간으로 하고 최대한 단순하고 효율적인 조직

구조를 가지며 효율적이고 효과적인 상호협력 조정을 지향한다. 또한, QT Flagship의 전략과 유럽 내 국가별 양자정보기술 관련 프로젝트를 조정하도록 한다. 교육, 봉사 지원 활동, 국가 간 양자기술 기획 조정 등 비연구 개발 분야 업무는 QT Flagship 내 조정 및 지원 결의(CSA: Coordination and Support Action) 내용을 따라 조정될 수 있다. 보다 자세한 내용은 참고문헌 [3]에서 확인할 수 있다.

III. 연구개발 기술분야

QT Flagship 은 다음에 기술된 4개의 주요 양자정보 기술 영역(domain)을 지정하고 있다.

1. 양자 통신

양자통신은 통신을 위해 양자상태의 생성과 조작을 포함하는데, 이러한 과정은 비밀키 생성을 위한 양자난수 생성기(QRNG: Quantum Random Number Generator) 기술과 비밀키 분배를 위한 양자 키분배(QKD: Quantum Key Distribution) 기술을 기반으로 한다. 양자통신의 주요 활용처는 보안통신, 장시간 안전한 데이터 저장, 클라우드 컴퓨팅과 그 밖에 암호관련 분야이고, 장기적으로는 얽힌 양자 상태 같은 자원을 원거리 장치 간 안전하게 분배할 수 있는 양자인터넷(Quantum Web)이 될 것으로 보인다.

QT Flagship 에서는 양자통신분야의 향후 주요한 연구개발 마일스톤에 대해서도 언급하고 있는데 참고문헌 [3], [4] 에서 확인할 수 있다.

2. 양자 컴퓨팅

양자 컴퓨팅은 몇몇 계산집중형 문제들을 고전 슈퍼컴퓨팅보다 빠르게 풀어내는 것을 목표로 하고 있다. 현재는 소인수 분해, 기계 학습 등이 주로 언급되고 있지만, 향후엔 더 다양한 응용분야가 개발될 것으로 예상된

다. 양자 컴퓨팅 연구개발은 대규모 범용 양자컴퓨팅 시스템을 결합허용적으로 구동하기 위한 하드웨어와 소프트웨어 연구개발을 포함한다.

양자컴퓨팅 분야의 주요 마일스톤이 참고문헌 [3], [4]에 기술되어 있는데, 참고로 10년 후에는 일부 계산문제에서 고전 컴퓨팅을 능가하는 양자 계산 우월성 확인이 가능할 것으로 예상하고 있다.

3. 양자 시뮬레이션

양자 시뮬레이션은 양자 문제들을 양자시스템상에 아날로그 또는 디지털 방식으로 매핑하여 해결하는 것을 목표로 한다. 결합허용적이고, 범용적으로 동작하는 양자 컴퓨팅에 비해 시뮬레이션은 특수목적 용도로 사용되고, 결합허용적이나 범용적으로 동작하지 않는다. 따라서 양자 시뮬레이터를 위해 특별 제작되고 최적화된 이론과 소프트웨어 연구개발이 필요하다. 양자 시뮬레이션에서 중요하게 고려되고 있는 문제들은 라우팅(routing) 또는 머신러닝 등을 포함하는 최적화 문제들이다.

양자 시뮬레이션 분야의 향후 주요 마일스톤 역시 참고문헌 [3], [4]에서 확인할 수 있다.

4. 양자 센싱 및 도량형

양자 센싱과 도량형은 특수한 양자상태를 이용하여 고전 센싱의 한계를 뛰어넘는 것을 목표로 한다. 연구실 수준에서는 이미 표준 양자 한계(Standard Quantum Limits)를 뛰어넘는 센싱 기술을 개발하였는데, 산업계에서는 현재 기 개발된 양자센싱기술을 적용하기 위해 노력하고 있다. 이러한 측면에서, 양자센서와 도량형 연구개발에서 주요한 목표는 결맞음(coherent) 양자상태 기반의 양자 센싱과 도량형 기술이 적용된 상용제품을 개발하는 것이다. 하지만, 향후에는 보다 고도화된 양자얽힘상태 기반의 센서를 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

양자 센싱 연구개발은 의료 진단, 물질 분석, 네비게이션, 도시공학, 네트워크 동기화 등에 매우 큰 영향을 끼칠 것으로 예상되는데, 양자 센서는 양자기술이 적용된 IoT의 핵심분야가 될 것이다. 양자 센싱 및 도량형 분야의 주요 핵심 마일스톤은 참고문헌 [3], [4]에서 확인할 수 있다.

5. 양자정보 기초과학

상기 기술한 네 가지 양자정보기술 영역의 성공적인 연구개발을 위해서 새로운 과학적 도구와 개념에 대한 연구개발은 지속적으로 진행되어야 한다. 양자정보기술이 어느정도 성숙되고 산업계에서 수용될때까지 지속적으로 새로운 양자정보기술 기초과학 연구개발이 중요하다. 이러한 노력은 QT Flagship에서 다양한 기초과학 연구를 통해서 진행될 것인데, 양자정보기술 분야에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 어떤 연구주제도 상관없다. 예를 들면, 양자정보이론, 양자역학, 개방 양자 시스템(Open Quantum System) 및 결잃음(Decoherence) 같은 연구주제들이 포함될 수 있다.

IV. 1단계(Ramp-Up Phase) 선정 연구개발 과제 분석

이번 장에서는 지난 10월 본격적으로 시작된 QT Flagship의 20개 과제[5]에 대해서 간략하게 살펴본다. 해당 과제들은 2021년 9월까지 3년간 총합 132M 유로(한화 약 1,700억 원)가 투자될 예정이다. <표 1>에서 개별과제들에 대한 연구개발비 내역을 확인할 수 있다.

1. 양자 통신

가. CiViQ

CiViQ(과제 책임자: Prof. Valerio Pruneri, Institute of Photonic Science)는 연속 변수(Continuous Variable) 기반의 양자키분배(QKD) 기술 개발 과제이다. 연속변수 QKD 기술은 오늘날 널리 사용되고 있는 광통신망에 그대로 적용 가능한 QKD 기술로 CiViQ 과제를 통해서 비용 효율적이고 고성능의 연속변수 QKD 시스템을 개발하고자 한다. 이를 통해서 새로운 QKD 기술 및 전세계를 연결할 수 있는 미래 양자 네트워크 기술개발을 진행하고, 다른 한편으로 양자기술이 적용된 보안관련 신산업을 육성하고자 한다.

나. QIA(Quantum Internet Alliance)

QIA(과제 책임자: Prof. Stephanie Wehner, Technische Universiteit Delft)는 전 유럽을 연결하는 양자

<표 1> 단계과제 요약

영역	과제명	연구비(억)	영역	과제명	연구비(억)
통신	CiViQ	128	컴퓨팅	OpenSuperQ	132
	QIA	133		AQTION	123
	QRANGE	41	2D SIPC	38	
	UNIQORN	128	S2QUIP	38	
시뮬레이션	Qombs	120	기초과학	QMICS	38
	PASQuanSicClock	119		SQUARE	38
센싱 & 도량	iqClock	129		PhoG	35
	MetaboliQs	85		PhoQuS	38
	macQsimal	131		MicroQC	30
	ASTERIQS	125	과제 지원	QFLAG	45

인터넷 구현 기술 개발을 목표로 한다. QIA는 양자통신 기술을 두 가지 측면에서 개발하고자 하는데, 첫 번째는 양자 프로세서를 양자 네트워크에 연결하는 기술을 개발하고자 한다. 이를 위해서 기존의 point-to-point 노드 간 연결기술이 아닌 멀티노드 간 양자통신망 기술을 개발하고자 한다. 두 번째는 원거리 양자통신을 가능하게 하는 양자 리피터의 핵심기술을 개발하고자 한다. 양자 리피터는 현재 제한적인 양자통신 거리를 획기적으로 늘려 유럽 전역은 물론 전 세계를 연결할 수 있도록 할 것이다.

QIA는 단순히 양자통신을 위한 하드웨어 기술 개발에 머무르지 않고, 양자 네트워크가 실생활에서 유용하게 활용될 수 있도록 관련 소프트웨어 연구개발도 포함하고 있다. 특히, 하드웨어 플랫폼에 의존적이지 않는 소프트웨어 플랫폼을 개발하여 임의 양자 네트워크에서 활용될 수 있도록 할 것이다. 한 사례로, QIA는 소규모 양자통신망에서 클라우드 컴퓨팅을 시연하고자 한다.

또한, QIA는 양자인터넷이 유럽을 넘어 전 세계적으로 구축될 수 있도록 하기 위해 양자통신 프로토콜과 하드웨어의 정확한 요구사항을 분석하고, 이를 토대로 차세대 양자 인터넷을 구축하기 위한 설계도를 만들고자 한다.

다. QRANGE

양자 난수 발생기는 이미 상용화 수준의 제품출시까지 도달한 양자기술이지만, QRANGE(과제 책임자: Prof. Hugo Zbinden, Université de Genève)는 기존기술보다 저렴하고, 빠르고, 더욱 보안성이 높은 양자난수 발생기를 개발하고자 한다. 특히, 세 가지의 서로 다른 프로토타입을 개발하고자 한다. 이 과정에서 장치를 위한 이론적 모델링은 물론이고, 효율적인 난수 추출기를 설계하고, 새로운 장치 독립적인 난수발생기술을 연구 개발한다. 양자 난수 발생기의 인증을 위해서 가장 높은

수준의 보안성 기준을 목표로 하고 있다.

양자 난수 발생기는 IoT, 디지털 정보보안등에서 사회적으로 큰 영향을 끼칠 수 있는 기기로 디지털 정보보안의 중요성이 높아짐에 따라서 유럽 내의 정보 데이터 및 사회기반설비 등의 보안을 지키는데 큰 역할을 할 것으로 기대하고 있다.

라. UNIQORN

이미 양자통신을 위한 장치들이 여러 기업에서 개발되었지만, 양자통신의 활용성을 높이기 위해서 관련 기들이 기존의 전자기기 시스템이 달성한 수준의 집적화가 이루어져야 한다. UNIQORN(과제 책임자: Dr. Hannes Hübel, Austrian Institute of Technology) 과제는 누구나 사용 가능한 양자 통신시스템을 구현하기 위해 저렴하며, 견고하며, 안정적인 시스템을 위한 소형 양자통신 기기 개발을 목표로 하고 있다. 이를 위해 기존 광학기술을 확장하여 양자 통신분야에서 활용될 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

UNIQORN 과제의 목표는 양자통신 기반의 가정용 전자기기에 사용될 수 있는 양자 기술이 적용된 장치를 개발하는 것을 목표로 설정하고 있다. 최적화된 비용의 양자 기술을 제공함으로써 전 유럽인들에게 양자기술을 경험하게 할 것이다.

2 양자 시뮬레이션

가. Qombs

Qombs(과제 책임자: Augusto Smerzi, Consiglio Nazionale delle Ricerche)는 극저온상태의 원자들로 구성된 양자 시뮬레이터 플랫폼을 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 기반으로 양자통신 및 측정에 활용될 수 있는 양자 연속 레이저 주파수 빔 기술을 개발하고자 한다.

과학적 관점에서 Qombs 과제는 원자기반 양자 시뮬레이터의 효율성을 보이고자 한다. 다른 한편, 응용관점에서는 양자통신이나 고성능의 양자 센싱 등에 유용하

계 활용될 수 있는 양자장치의 개발에 활용될 수 있다.

나. PASQuanS

양자 시뮬레이션은 기초과학, 신물질 개발, 양자화학 그리고 산업계에서 중요성을 갖는 실생활 문제들을 해결하는 것을 목표로 한다. PASQuanS(과제 책임자: Prof. Andrew Daley, University of Strathclyde)는 그런 양자시뮬레이션을 위한 차세대 플랫폼을 개발하고자 한다. PASQuanS는 기존에 가장 앞선 기술인(수백 개 수준)의 원자와 이온 기반의 양자시뮬레이션 기술을 더욱 확장하여 1,000개 수준의 원자 또는 이온 기반의 시뮬레이션 플랫폼을 개발하고자 하는데, 이러한 플랫폼 개발을 통해서 기존의 양자시뮬레이션 플랫폼은 물론, 고전 슈퍼컴퓨팅의 컴퓨팅 파워를 증가하는 것을 목표로 한다.

3. 양자 센싱

가. iqClock

iqClock(과제 책임자: Prof. Florian Schreck, Universiteit van Amsterdam)과제는 매우 정교한 광학시계 및 시계 개발과정의 고도화를 통해 유럽 산업계의 경쟁력 향상을 목표로 하고 있다. 양자 기술 기반의 광학시계는 매우 정교한데, 우주 전체의 나이에서 단지 1초 정도의 오차를 허용할 뿐이다. 이런 정교한 시계는 과학기술계는 물론이고 사회전반적으로도 매우 중요한 역할을 수행하는데, 이 과제를 통해서 활용성과 이동성이 높고, 사용하기 편리한 광학시계를 연구개발한다.

나. MetaboliQs

과분극화된(Hyperpolarized) 자기공명영상장치는 분자수준에서 체내 신진대사를 탐지할 수 있는 기술인데, 초저온상태에서 사용 가능한 기술이어서 그 활용성이 매우 제한적이다. MetaboliQs(과제 책임자: Dr.

Christoph Nebel, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV) 과제는 과분극화를 위해 NV 다이아몬드를 사용하여 분극화과정의 효율성 향상을 목표로 하고 있다.

의료계에서 MRI 장비의 활용성을 감안하면, 본 과제를 통해 개발되는 NV 다이아몬드 기반 MRI 장비는 많은 임상치료 진행, 신약 개발과정 개선, 상대적으로 저렴한 헬스케어 및 관련 신산업 창출 등이 기대된다.

다. macQsimal

macQsimal(과제 책임자: Jacques Haesler, the center Suisse d'Electronique et de Microtechnique) 과제는 기존 양자센서에 비해서 소형화된 고감도의 원자 증기 셀 기반 센서를 개발하는 것을 목표로 한다. 특히, 양자기술이 적용된 원자 시계, 자이로스코프 그리고 자기계(magnetometer)는 물론이고 전자파 방사와 가스 농도 측정 가능한 양자 센서를 개발하고자 한다. 이를 통해서 원자 수준의 양자 센싱과 도량기술의 과학적 기술 향상을 통해서 유럽이 관련 산업계에서 리더십을 유지하고, 양자기술 분야에서 우월성을 유지할 수 있도록 하고자 한다.

macQsimal 과제는 새로운 양자센서를 개발하고 빠르게 시장에 내놓음으로 인해서 유럽인들이 해당 센서 기반으로 새로운 경험을 할 수있도록 하고자 한다. 예를 들어, 위에서 언급한 바 있는 새로운 자기계를 통해 획기적으로 개선된 의료영상 장치를 이용해 향상된 의료 경험을 누릴 수 있을 것이다. 자동화된 운전장치 또한 새로운 양자센서로 한 단계 더 도약하게 될 것이다.

라. ASTERIQS

ASTERIQS(과제 책임자: Thierry Debuisschert, Thales SA)는 NV 다이아몬드기반의 양자센싱 기술 개발을 목표로 한다. NV 다이아몬드 고유의 물리적 특성

은 자기장, 전기장, 온도, 압력 등을 매우 정확하게 측정할 수 있도록 해준다. 이를 토대로 다양한 측정기기를 개발하고자 하는데, 예를 들면, 전기자동차 업계에서 배터리를 제어하기 위해 높은 동적 범위(high dynamic range)의 자기장 센서가 대표적이다. 그 외에도 의료계나 생물학 또는 로봇틱스 분야의 자기장 영상 카메라, 무선 통신 관리를 위한 순간 스펙트럼 분석기 개발에도 NV 다이아몬드 기반 센서가 활용될 수 있다. AESTERIQS는 장기간의 연구개발을 통해서 양자센싱 기술이 다양한 분야에 활용될 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

4. 양자 컴퓨팅

가. OpenSuperQ

OpenSuperQ(과제 책임자: Frank Wilhelm-Much, Universität des Saarlandes)는 최대 100큐비트 수준의 양자컴퓨터를 개발하고자 한다. 큐비트의 수 기준으로 보면, 연구개발 목표 양자컴퓨터는 특정 업무 처리에 있어서 고전 슈퍼컴퓨터를 훨씬 능가할 것으로 보인다. 해당 양자컴퓨터는 초전도체 큐비트를 기반으로 하며, 사용자에게 프로그래밍 환경을 동시에 제공하고자 한다. 개발된 시스템은 Jülich 슈퍼컴퓨팅 센터(독일)에 설치되어 유럽 내 연구자들에게 제공될 것이다. 본 과제는 유럽 내 양자컴퓨팅 연구개발 생태계 구축을 위해 사용자지원 기술 개발도 포함하고 있다.

나. AQTION

AQTION(과제 책임자: Dr. Thomas Monz, Universität Innsbruck)는 50 큐비트 수준의 이온트랩 기반 양자컴퓨터를 개발하는 것을 목표로 한다.

기술적인 수준에서 연구개발 목표로 하는 이온트랩 양자컴퓨터는 고전 컴퓨팅 연산능력을 능가하는 일부 문제들을 해결할 수 있도록 하고 있는데, 양자 화학부

터, 에너지 분포 최적화, 칩 구조 최적화 등에 활용하는 것을 목표로 하고 있다.

양자정보 기초과학연구 관점에서는 본과제의 연구개발을 통해서 완전히 새로운 양자알고리즘 개발, 양자오류정정을 위한 위한 새로운 기술, 그리고 양자역학과 고전역학의 임계점의 연구개발에 활용하는 것을 목표로 하고 있다.

5. 양자정보 기초과학

가. 2D-SIPC

2D-SIPC(과제 책임자: Dr. Dmitri Efetov, Fundació Institut de Ciències Fotòniques)는 2D 물질 기반의 새로운 양자 장치 개발을 목표로 하고 있다. 원자수준의 매우 얇은 2D 물질은 양자역학적 특징을 가지는데, 이러한 물질은 고전 물질은 가질 수 없는 기능을 제공한다. 특히, 본 과제를 통해서 2D 물질로부터 양자 광전자공학 장치를 개발하고자 하고, 단일광자기반의 양자정보처리 기능을 구현하고자 한다. 그러한 장치의 개발은 양자 통신을 실현하기 위한 혁신적인 새로운 접근기술이 될 것이다.

나. S2QUIP

S2QUIP(과제 책임자: Klaus Jöns, Jungliga Tekniska högskolan) 과제는 집적화된 양자광학 회로를 개발하는 것을 목표로 하는데, 해당 양자회로는 사용자가 원할 때마다 양자통신 채널을 통해서 얽힘 큐비트를 제공한다.

오늘날의 사회는 매우 빠른 정보 통신 기술을 요구한다. 대부분의 경우 광섬유를 통한 광통신을 통해서 정보를 통신하는데, 해당 시스템은 많은 에너지를 소비하지만, 정보의 송수신 과정이 안전하지도 않다. 따라서 에너지 효율적이며 보안성이 높은 데이터 통신 기술이 요구된다. 본 과제를 통해서 칩 사이즈의 광원 소스를 개발하는 것을 목표로 한다.

다. QMiCS

QMiCS(과제 책임자: Prof. Frank Deppe, Bayerische Akademie der Wissenschaften)는 수 미터 영역 내에서 동작 가능한 양자 마이크로웨이브 local area network(LAN) 기술 개발을 진행하고자 한다. 이 기술 개발을 통해서 두 초전도체 양자 노드 간 양자정보전송(Quantum Teleportation) 기술을 구현할 수 있다. 본 기술은 광손실의 우려가 적기 때문에, 분산형 양자컴퓨팅 시스템을 구현하는데 매우 효과적이다. 또한, 레이더 형식의 양자센싱 시스템 구현을 위해서 활용될 수 있다.

본 과제의 주요한 연구성과물은 먼저 마이크로웨이브 단광자 검출기가 될 것이고 또한, 과제의 종료후 산업화를 본격진행함에 있어서 요구되는 기술적 로드맵을 작성하는 것도 목표 성과물이다.

라. SQUARE

SQUARE(과제 책임자: Prof. David Hunger, Karlsruhe Institute für Technologie) 과제는 양자컴퓨팅, 양자통신을 위한 새로운 플랫폼을 개발하는 것을 목표로 한다. 이 과정에서 지구상에 매우 드문 ion(Rare-Earth ION)을 양자컴퓨팅을 위한 큐비트로 활용하고자 하고, 빛을 통해 국소적 또는 원거리 상호접촉을 하고자 한다. 그렇게 함으로써 다기능 양자 프로세서 노드의 기본 구성요소들을 개발하고, 이를 확장시키도록 한다. 이 과정에서 고도로 조율 가능한 레이저, 새로운 개념의 냉동기, 양자 물질, 조율 가능한 마이크로 공진기 그리고 극저온 나노포지셔너(nanopositioner) 등이 개발될 것이다. 이러한 장치들은 양자통신부터 양자 센싱 같은 다양한 양자기술 분야에서 직접적으로 활용될 수 있다.

마. PhoG

PhoG(과제 책임자: Dr. Natalia Korolkova, Univer-

sity Court of the University of St Andrews) 과제는 새롭고 저렴하고 안정적인 양자정보 소스를 개발하고자 한다. 이를 통해서 양자 기술 분야의 많은 프로토콜의 성능 개선을 추구한다. 이 과제를 통해서 얽힘 기반의 영상기술, 원자 시계의 주파수 안정성 향상 등을 보이고자 한다.

바. PhoQuS

PhoQuS(과제 책임자: Prof. Albert Bramati, Sorbonne Université) 는 양자 광학 기반의 양자 시뮬레이션을 위한 새로운 플랫폼 개발을 목표로 하고 있다. 본 과제의 목적은 초유체와 양자 난류 체제(quantum turbulent regimes)에 대해 온전히 이해하고 응축된 물질(condensed matter)부터 천체물리학에 이르기까지 매우 다른 자연현상의 시뮬레이션을 수행하는 것이다.

사. MicroQC

MicroQC(과제 책임자: Prof. Nikolay Vitanov, Foundation for Theoretical and Computational Physics and Astrophysics)는 마이크로웨이브 기반의 다중 큐비트 프로세서를 위한 확장 능한(scalable) 기술 개발과 마이크로웨이브 기반 다중 큐비트 연산을 수행하는 것을 목표로 한다. 본 과제의 연구성과물은 칩 제작 기술, 자기장 활용 기술이 될 것이며, 개발된 결맞춤 제어 기술은 본과제의 연구개발 영역을 초월하는 다양한 분야에서 활용될 것이다.

6. 과제 지원 관련

가. QFLAG

QFLAG(과제 책임자: Markus Wilkens, VDI Technologiezentrum GmbH)는 QT Flagship 프로젝트의 주요 협력 및 지원 과제이다. QFLAG는 QT Flagship의 Ramp-Up Phase(2018~2021)를 준비하는 단계에서

매우 결정적인 Quantum Support Action(QSA)을 토대로 만들어졌다. 이 과제의 목표는 유럽 전체의 모든 Flagship 커뮤니티를 포함함으로써 QT Flagship에 전략적 조언을 제공하는 것을 목표로 한다. 이 과정에서 교육, 국제 협력 그리고 빠른 산업화를 위한 활동 등을 촉진시키고자 한다. 마지막으로 QFLAG는 유럽 연합 집행위원회와 연구개발과제들 간의 상호협력을 통해서 QT Flagship 프로그램의 효율적인 상호교류를 가능하게 하는 중심역할을 수행할 것이다.

V. 결론 및 시사점

본고에서는 현재 유럽 전역에서 진행되고 양자정보기술 개발 관련 대규모 프로젝트인 Quantum Technology Flagship에 대해서 살펴보았다. 100여 년 전 양자역학이 탄생했던 유럽에서 양자정보기술 연구개발과 관련 기술의 산업화에서 주도권을 확보하기 위해 유럽연합의 적극적이고 체계적인 지휘 아래 유럽 내 세계 최고 수준의 양자정보기술 연구개발기관과 관련분야의 기업들이 서로 협력하고 있다. 또한, 장기적 관점에서 유럽을 양자정보 기술개발의 메카로 만들기 위해 젊은 신진연구세력을 적극적으로 길러내고 있으며, 관련분야 기업들의 참여를 적극 독려하고 있다. 또한, 일반 대중들에게 양자정보기술의 잠재력과 효과를 널리 알리는 등 연구개발 외적인 활동도 이어가고 있다.

비록 최근 들어 IBM, Google 등 북미 연구개발기관들의 연구개발성공에 다소 가려진 면이 있지만, 유럽은 이미 양자정보기술 분야 학술논문의 50% 이상을 발표하고 있고, 각 분야의 연구개발을 선도하는 다수의 세계 최고 연구개발 기관들이 모여 있는 지역이다. 기본적으로 연구개발 경쟁력을 갖추고 있는 유럽의 연구기관들이 연구개발 능력을 더욱 심화하고, 양자정보기술 산업화로 이어지도록 노력하고 있는 QT Flagship 프로젝트

를 살펴보고 있으면, 향후 국내 양자정보기술 분야의 경쟁력 약화가 우려된다.

Mac Kinsey에 따르면[6], 지난 2015년 국내 양자정보기술 분야의 연구개발 투자규모는 총합 170억원 정도로 추산되는데, 이는 미국(4600억원)의 1/30, 유럽(7,000억)의 1/40 수준에 불과하고, 인접한 일본과 중국은 차치하더라도 싱가포르의 투자규모(560억)에 비해서도 1/3에 불과하다. 양자정보기술이 차세대 ICT 핵심기술로 손꼽히고 있다는 점을 감안하면, 국내의 준비상황은 경쟁국가들에 비해서 매우 열악하다고 할 수 있다. 현재 고전 컴퓨팅분야에서 하드웨어, 소프트웨어 전 부문에서 심각할 정도로 외국 기업에 기술이 종속되어 있는 것을 생각해보면, 점점 다가오고 있는 양자정보시대에서도 국내양자정보기술이 글로벌 리더십을 가지기 어려울 것으로 예상된다. 미래기술에 대한 적극적인 투자가 요구된다.

하지만, 단순히 연구개발비를 투입하는 것만으로 큰 성과를 거두기는 어렵다. 그동안 국내에서도 양자정보기술 분야에 꾸준한 투자가 진행되어 왔다. 하지만, 소규모의 단발성 연구과제가 대다수였다. 해당 과제를 통해서 다양한 연구개발이 진행되었지만, 대부분 기초수준의 연구였고, 해당 연구결과를 확장해서 제품화 수준까지 이어질 수 있는 연구는 거의 없었다. 아직 초기연구개발 단계에 있는 양자정보기술 분야에서 기초연구는 매우 중요하다. 충분한 기초연구개발을 통해서 해당 분야가 무르익게 될 것이다. 하지만, 다른한편으로 양자정보기술 같은 차세대 전략 분야가 꽃피우기 위해서는 기초연구개발 성과가 제품화 단계까지 이어질 수 있도록 구체적이고 체계적인 연구개발 프로그램을 만들고, 프로그램 진행과정을 엄격하게 관리하는 것이 매우 중요하다. QT Flagship 프로젝트가 추구하는 것이 바로 이런 연구결과가 이론으로만 머물지 않고, 제품화로 이어지도록 하고, 그로 인해서 양자정보기술분야의 신산업이 육성될 수 있도록 연계성을 갖도록 하는 것이다. 그

러한 노력이 없다면, 대다수의 연구개발 결과물은 사장되고 말 것이다.

또한, 당장의 기술개발 외에도 신진연구 개발자들을 길러내는 노력도 기울여야 한다. 앞서 언급했듯이, 양자 정보기술이 차세대 ICT 핵심기술이라면, 능력 있는 연구개발자들의 규모는 해당 국가의 ICT 핵심 경쟁력의 바로미터가 될 것이다. 지금처럼 일부 대학 연구실에서 배출되는 소수의 인력으로는 미국, 유럽은커녕 아시아 권에서도 경쟁하기 어렵다. 따라서 앞으로는 보다 체계적인 교육과 연수 프로그램이 갖추어져야 할 것이다. 그러기 위해서 가장 중요한 것은 무어보다도 배출되는 인력을 공급할 수 있는 연구개발 시장이다. 충분한 시장이 존재하지 않는다면, 아무리 좋은 교육 프로그램이 존재한다고 해도 누구도 양자정보기술분야에 뛰어들지 않을 것이다. 즉, 연구개발 인력이 종사할 기업체나 연구소들이 매우 제한적이어서, 학교에서는 관련 인력을 양성하지 않고, 연구개발 인력이 부족하니 국내 기술력은 저하되고, 따라서 국내 양자정보기술 산업계는 경쟁력을 확보하기 어렵고, 따라서 기업들은 투자를 꺼리게 되어, 연구개발 인력을 위한 자리는 더욱 줄어들게 되는 악순환이 반복된다.

2019년 지금, 양자정보기술분야에 투자하는 것은 먼 미래에 대한 투자가 아니다. 불과 5~10년 후를 내다보는 투자이다. 정부는 국가 경쟁력을 위해서 과감하고 체계적인 투자를 해야 하고, 기업들은 기업의 존망을 위해

서 시장에 뛰어들어야 한다. 그리고 우리 연구자들도 이제는 연구개발에 대한 마음가짐을 달리해야 할 때이다.

약어 정리

CSA	Coordination and Support Action
FET	Future and Emerging Technology
KPI	Key Performance Indicators
QKD	Quantum Key Distribution
QRNG	Quantum Random Number Generator
QT Flagship	Quantum Technology Flagship

참고문헌

- [1] National Quantum Initiative Act, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227>
- [2] Quantum Flagship, available at <https://qt.eu>
- [3] High-Level Steering Committee, "Quantum Technologies Flagship Final Report," June 28, 2017, available at <https://ec.europa.eu>
- [4] Quantum Technology Flagship, "Supporting Quantum Technologies beyond H2020," May 2018, available at <https://qt.eu/newsroom/working-paper-v1-1/>
- [5] EU, "EU funded projects on Quantum Technology," available at <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/projects-quantum-technology>
- [6] Gustav Kalbe, "The Quantum Technologies FET Flagship Initiative of the European Union," Fall 2018 INTRIQ meeting.