

클라우드 기반 국내 양자컴퓨터 활용 체계 구축 방안에 관한 연구

최재원, 박지연, 윤수연, 신용태*

숭실대학교, 숭실대학교, 국민대학교, *숭실대학교

jaewon@nhn.com, shinhwai@soongsil.ac.kr, 1104py@kookmin.ac.kr, *shin@ssu.ac.kr

A Study on Building a Cloud-Based Domestic Quantum Computer Utilization System

Jaw-Won Choi, Ji-yeon Park, Soo-Yeon Yoon, Yong-Tae Shin*

Soongsil Univ., Soongsil Univ, Kookmin Univ. *Soongsil Univ.

요약

양자컴퓨터는 고전 컴퓨팅 환경에서 해결이 어려운 복잡 최적화, 조합 탐색, 암호 분석 문제를 효율적으로 처리할 수 있는 차세대 연산 기술로 주목받고 있다. 최근 해외 주요 IT 기업들은 클라우드 기반 양자컴퓨팅 서비스(QCaaS)를 통해 연구자와 기업이 원격으로 양자 연산 자원을 활용할 수 있는 환경을 제공하고 있다.

본 논문은 국내외 양자컴퓨터 활용 현황을 분석하고, 해외 QCaaS 의존 구조가 가지는 기술 주권 및 보안 한계를 도출한다. 이를 바탕으로 국내 클라우드 환경을 중심으로 한 클라우드 기반 양자컴퓨터 활용 체계를 제안하고, 단계적 도입 전략과 정책적 시사점을 논의한다.

Key Words : Quantum Computing, QCaaS, Cloud Computing, Hybrid Quantum-Classical, Quantum for AI

I. 서론

인공지능(AI)과 빅데이터 기술의 확산으로 인해 대규모 연산 자원에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 기존 초고성능컴퓨팅(HPC)은 연산 복잡도와 에너지 효율 측면에서 점차 한계를 드러내고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 양자컴퓨터가 부상하고 있으며, 특정 문제 영역에서는 고전 컴퓨터 대비 지수적 성능 향상이 기대되고 있다. 그러나 양자컴퓨터는 높은 구축 비용과 복잡한 운영 환경으로 인해 단독 도입이 어렵다. 이에 따라 클라우드 기반 양자컴퓨팅 서비스(QCaaS)가 양자 기술 활용의 현실적인 대안으로 주목받고 있다. 현재 IBM, Amazon, Microsoft 등은 양자컴퓨팅 자원을 클라우드 서비스 형태로 제공하고 있다.

국내에서는 대학과 연구기관을 중심으로 양자컴퓨터 도입이 시작되었으나, 실질적인 활용은 여전히 초기 단계에 머물러 있으며 해외 인프라 의존도가 높은 상황이다. 이는 장기적으로 기술 주권과 정보보안 측면에서 구조적인 문제를 야기할 수 있다. 본 논문은 이러한 문제의식을 바탕으로 국내 환경에 적합한 클라우드 기반 양자컴퓨터 활용 체계를 제안하는 것을 목적으로 한다.

II. 관련 연구

2.1 양자컴퓨터 개요

양자컴퓨터는 큐비트(qubit)를 연산 단위로 사용하며, 중첩(superposition)과 얹힘(entanglement)이라는 양자역학적 특성을 활용한다. 이러한 특성은 별별적인 상태 표현과 연산을 가능하게 하여 특정 계산 문제에서 고전 컴퓨터의 성능 한계를 극복할 수 있는 잠재력을 제공한다 [4].

현재 초전도, 이온 트랩, 광자 기반 등 다양한 큐비트 구현 방식이 연구되고 있으며, 각 방식은 확장성, 안정성, 구현 난이도 측면에서 상이한 특성을 가진다.

2.2 클라우드 기반 양자컴퓨팅 (QCaaS)

QCaaS는 사용자가 양자 하드웨어를 직접 보유하지 않고, 클라우드 환

경을 통해 양자 연산 자원을 호출하여 활용하는 서비스 모델이다. 이 방식은 고전 컴퓨팅과 양자컴퓨팅을 연동하는 하이브리드 구조를 전제로 하며, 데이터 전처리 및 제어 로직은 고전 컴퓨팅 환경에서 수행된다.

대표적인 QCaaS 플랫폼으로는 IBM Quantum, Amazon Braket, Azure Quantum 등이 있으며, 이들은 다양한 양자 하드웨어 및 개발 도구를 통합 제공하고 있다 [1]-[3].

III. 국내외 양자컴퓨터 활용 현황 및 한계 분석

3.1 해외 양자컴퓨터 활용 동향

해외에서는 QCaaS 모델을 중심으로 양자컴퓨팅 활용이 빠르게 확산되고 있다. 연구자와 기업은 클라우드 기반 인터페이스를 통해 양자 알고리즘을 설계·실행할 수 있으며, 이는 양자컴퓨팅의 접근성을 크게 향상시킨다. 그러나 이러한 구조는 데이터와 알고리즘이 국외 클라우드 인프라에 종속되는 특성을 가지며, 장기적인 기술 의존 문제를 내포한다.

3.2 국내 양자컴퓨터 도입 현황

국내에서는 대학과 연구기관을 중심으로 양자컴퓨터 도입과 연구가 진행되고 있으나, 현재 활용은 기초 연구 및 교육 중심에 머물러 있다. 산업 현장에서는 전문 인력 부족, 활용 시나리오의 불명확성, 안정적인 인프라 부재로 인해 실질적인 적용이 제한적이다.

표 1. 정부의 전략·투자

구분	2024년 현황	중장기 목표
보유시스템	IBM Quantum System One 127큐비트 도입(연세대)	1,000큐비트 국산 시스템
국산기술	KRISS 20큐비트 시연, 50큐비트(2026년 목표)	상용화, 세계 경쟁력 확보
정부투자	1,980억(2025년), 6,454억원(8년)	시장점유율 10%, 기업 1,200개
연구인력	2,500명 양성(진행 중)	양자 전문인력 지속 확대

표 1의 설명으로 국내에서도 2024년도에 연세대학교의 IBM Quantym System One 도입을 시작으로 국산 양자컴퓨터 개발을 위한 정부 지원 및 육성책을 지원하고 있다.

3.3 해외 QCaaS 의존 구조의 한계

해외 QCaaS 의존 구조는 다음과 같은 한계를 가진다.

첫째, 연구 데이터와 알고리즘이 국외 서버에 저장됨으로써 기술 주권 및 지식재산 보호 측면의 문제가 발생할 수 있다.

둘째, 다중 사용자 환경에서 동일한 양자 하드웨어를 공유함에 따라 보안 취약성이 존재한다.

셋째, 고전-양자 연동 과정에서의 API 호출 및 통신 구간은 추가적인 보안 위험 요소로 작용할 수 있다.

IV. 클라우드 기반 국내 양자컴퓨터 활용 체계 제안

4.1 클라우드 기반 국내 양자컴퓨터 활용 체계의 설계 원칙

본 연구에서 제안하는 클라우드 기반 국내 양자컴퓨터 활용 체계는 기술 주권 확보와 실질적 활용 가능성을 동시에 달성하는 것을 목표로 한다. 제안된 체계는 단순한 양자 연산 자원 도입을 넘어, 기존 고전 컴퓨팅 환경과의 유기적인 결합을 통해 안정적이고 확장 가능한 활용 구조를 지향한다. 우선, 데이터 주권과 보안성 확보를 핵심 원칙으로 설정한다. 양자 컴퓨팅 활용 과정에서 생성·처리되는 데이터와 알고리즘은 연구 및 산업 경쟁력과 직결되는 핵심 자산이므로, 데이터 저장과 전처리, 접근 제어는 국내 클라우드 인프라 내에서 수행되도록 설계된다. 이를 통해 국외 클라우드 인프라 의존을 최소화하고, 연구 데이터 유출 및 지식재산권 침해 가능성을 구조적으로 완화한다. 또한, 본 체계는 고전 컴퓨팅과 양자 컴퓨팅을 역할 중심으로 분리·연계하는 하이브리드 컴퓨팅 구조를 채택한다. 데이터 전처리와 계어, 결과 후처리는 고전 컴퓨팅 환경에서 수행하고, 계산 집약적인 핵심 연산만을 양자 자원에 위임함으로써 시스템의 안정성과 효율성을 동시에 확보한다. 아울러, 단계적 확장성과 현실적 도입 가능성 을 고려하여 초기에는 GPU 기반 양자 시뮬레이터를 중심으로 활용하고, 이후 검증된 알고리즘에 한해 실제 양자 하드웨어 연계를 확대하며, 장기적으로는 국내 양자컴퓨터를 클라우드 인프라에 통합하는 구조를 지향한다. 이러한 설계는 정책·산업·연구 환경과의 정합성을 고려한 현실적인 접근으로, 중·장기적인 양자컴퓨팅 생태계 조성에 기여할 수 있다.

4.2 클라우드 기반 QCaaS 아키텍처

그림 1은 본 논문에서 제안하는 클라우드 기반 QCaaS 아키텍처를 나타낸다. 사용자는 웹 또는 API 기반 응용을 통해 국내 클라우드 환경에 접근하며, 데이터 저장, 접근 제어, 보안 정책, 고전 연산 처리는 국내 인프라 내에서 수행된다.

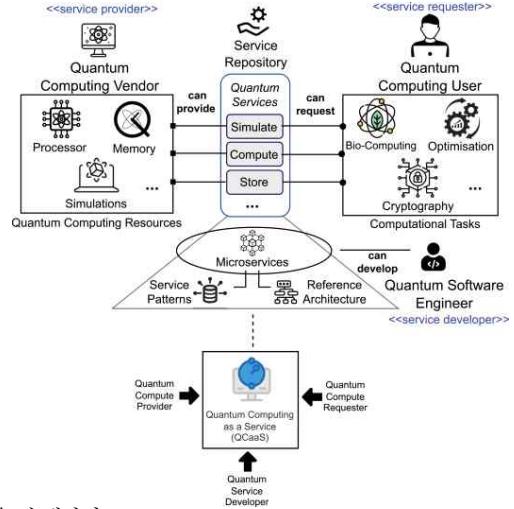
양자 연산은 API 게이트웨이를 통해 국내 또는 해외 양자 자원과 제한적으로 연동되며, 연산 결과만을 반환받는 구조를 따른다. 이를 통해 보안성과 활용성을 동시에 확보할 수 있다. 그림 1은 사용자가 국내 클라우드 환경을 통해 양자 연산을 요청하고, 고전 컴퓨팅 자원과 양자컴퓨터(또는 시뮬레이터)가 API 기반으로 연동되는 Hybrid QCaaS 구조를 나타낸다. 데이터 저장·전처리·보안 통제는 국내 클라우드에서 수행되며, 실제 양자 연산만 제한적으로 외부 또는 국내 양자 자원을 호출하는 구조이다. 이후 검증된 알고리즘에 한해 해외 QCaaS와의 제한적 연계를 통해 실제 양자 하드웨어 실험을 수행한다.

장기적으로는 국내 양자컴퓨터를 클라우드 인프라에 통합하여 자립적인 양자컴퓨팅 활용 환경을 구축한다.

그림 1. 클라우드 기반 QCaaS 아키텍처 (개념도)

4.3 단계별 활용 전략

초기 단계에서는 GPU 기반 양자 시뮬레이터를 활용하여 알고리즘 개



발과 교육을 수행한다.

이후 검증된 알고리즘에 한해 해외 QCaaS와의 제한적 연계를 통해 실제 양자 하드웨어 실험을 수행한다.

장기적으로는 국내 양자컴퓨터를 클라우드 인프라에 통합하여 자립적인 양자컴퓨팅 활용 환경을 구축한다.

V. 결론

본 논문은 국내외 양자컴퓨터 활용 현황을 분석하고, 국내 양자컴퓨팅 활용이 해외 클라우드 기반 양자컴퓨팅 서비스(QCaaS)에 구조적으로 의존하고 있음을 확인하였다. 이러한 의존 구조는 초기 활용과 접근성 측면에서는 장점을 제공하지만, 장기적으로는 데이터 주권 약화, 정보보안 취약성, 기술 종속과 같은 문제를 야기할 수 있다. 이에 본 연구는 국내 클라우드 환경을 중심으로 고전 컴퓨팅과 양자컴퓨팅을 연계하는 클라우드 기반 양자컴퓨터 활용 체계를 제안하였다. 제안된 체계는 데이터 저장과 보안 통제를 국내 인프라에서 수행하고, 양자 연산을 선택적으로 연동하는 하이브리드 구조를 통해 기술 주권과 보안성을 확보하면서도 양자컴퓨팅 활용의 실효성을 높일 수 있는 현실적인 대안이라 할 수 있다.

본 연구의 시사점은 기술적·정책적·산업적 측면에서 도출된다. 기술적으로는 고전-양자 하이브리드 컴퓨팅 구조와 API 기반 연동 설계가 양자컴퓨팅의 안정적 활용을 위한 핵심 요소임을 확인하였다. 정책적으로는 국내 클라우드 인프라와 연계된 양자컴퓨팅 테스트베드 구축과 시뮬레이터에서 실제 양자 하드웨어로 확장되는 단계적 투자 전략의 필요성을 시사한다. 산업적 측면에서는 전문 인력 양성과 산업 적용을 연계한 생태계 조성이 필수적이며, 이를 통해 연구 성과의 실질적 활용과 국내 양자컴퓨팅 기술의 자립적 확산을 기대할 수 있다.

참고 문헌

- [1] IBM Quantum, <https://quantum.ibm.com>
- [2] Amazon Braket, <https://aws.amazon.com/braket/>
- [3] Microsoft Azure Quantum, <https://azure.microsoft.com/quantum/>
- [4] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge Univ. Press, 2010. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667>
- [5] Preskill, J., “Quantum Computing in the NISQ era,” *Quantum*, 2018. <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>
- [6] Arute et al., “Quantum supremacy using a programmable superconducting processor,” *Nature*, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>