

# 인공지능과 양자기술 융합 사례 및 활용 시사점

김 영 희, 배 승 훈, 장 유 환, 곽 현 호

한국지능정보사회진흥원

## Case study and Implications of AI and Quantum Technology Integration.

Kim Young Hee, Bae Seung Hoon, Jang Yu Hwan, Kwak Hyun Ho

National Information Society Agency

### 요 약

인공지능(AI)과 양자기술(Quantum Technology)은 미래 산업 전반의 혁신을 이끄는 양대 게임체인저 기술로 기업의 기술경쟁력을 넘어 미래 국가 안보 차원의 패권을 좌우할 핵심 전략 기술이자 주요 자원으로 주목받고 있다. 본 논문에서는 인공지능과 양자기술을 접목하여 양자 AI 기술을 산업에 적용하고 있는 글로벌 기업동향 및 활용 사례를 살펴보고, 향후 양자 AI 기술의 활용 가능성에 대해 논의해 보고자 한다.

### I. 서 론

양자기술은 초미세 영역의 자연현상인 중첩과 얽힘이라는 양자역학적 고유 특성을 통신, 센서, 컴퓨터 등 정보통신(ICT) 기술에 적용하여 기존 기술 한계를 뛰어넘어 초고속 연산, 초신뢰(보안) 통신, 초정밀 계측이 가능한 미래 혁신 기술이다. 1920년대 양자역학 원리를 밝혀낸 1차 양자혁명으로 빛, 원자, 분자와 같은 초미세 영역의 이해로 화학 및 유전자학, 반도체, 광통신 등의 연구와 산업화가 진행되었다. 양자기술은 측정하기 전까지는 “0”과 “1”의 상태가 동시에 공존하는 중첩의 특성, 얽힘 상태로 존재하는 양자 쌍은 거리에 무관하게 하나의 상태를 결정하면, 나머지 양자 정보 상태값도 동시에 결정된다는 얽힘 특성, 측정되기 이전의 상태는 확률로 존재한다는 불확정성, 관측 이후에는 이전 상태로 복원할 수 없는 비가역성이라는 4가지 특성을 갖는다. 이러한 특성을 정보통신 기술에 접목하는 “2차 양자혁명”으로 디지털을 넘어 퀀텀 시대의 도래를 준비하고 있다. 본 논문에서는 인공지능과 양자기술을 접목하여 산업에 적용하고 있는 글로벌 기업 동향 및 활용 사례 등을 살펴보고 향후 활용 가능성에 대해 논의한다.

### II. 본론

양자컴퓨터는 중첩, 얽힘 등의 양자역학적 특성을 활용하여 고전컴퓨터 대비 특정 유형의 문제를 빠르게 해결할 수 있어 혁신적인 연산이 가능할 것으로 알려져 있다. 글로벌 빅테크 기업들은 양자컴퓨터 하드웨어 개발 뿐만 아니라 양자 클라우드를 통해 인공지능 기술과 연계하여 기계 학습 모델의 빠른 계산으로 금융, 보험, 물류, 제조연구 등에 활용하고 있다.

<표-1 글로벌 양자기술 분야별 시장 전망>

| 구 분    | 시장 전망 (단위: 백만달러) |         |         |         |         |         |         |           |       |
|--------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-------|
|        | 2023             | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    | 2028    | 2029    | 2030      | CAGR  |
| 양자컴퓨팅  | 50,209           | 63,521  | 82,519  | 102,196 | 127,843 | 174,782 | 207,092 | 247,368   | 30.9% |
| 양자클라우드 | 16,914           | 22,191  | 29,114  | 38,198  | 50,116  | 65,753  | 86,268  | 113,301   | 31.2% |
| 인공지능   | 150,200          | 205,272 | 280,321 | 382,838 | 522,875 | 714,735 | 976,504 | 1,345,200 | 36.8% |

참고: 양자정보기술백서(2023), MarketsandMarkets(2023)

양자컴퓨팅, 양자클라우드 기술의 글로벌 시장 전망은 연평균 30% 이상 성장률이 예상되어, 현재 기술 성숙도는 낮으나 글로벌 빅테크 기업들은

중심으로 투자와 연구개발이 활발히 추진되고 있다. 인공지능 기술은 2022년 11월 OpenAI의 ChatGPT 출현 이후, 엔비디아, 마이크로소프트, 구글 등 글로벌 빅테크 기업들을 중심으로 빠른 기술 발전과 상용화 추진으로 클라우드 기반 생성형 AI 서비스 제공을 넘어 AI PC, 온디바이스 AI 등 시장의 폭발적 성장은 물론 산업과 경제사회 전반의 변혁과 돌풍을 일으키고 있다. 또한 글로벌 빅테크 기업들은 엔비디아의 NVIDIA Quantum Cloud, 마이크로소프트의 Azure Quantum 등 인공지능 기술과 양자기술 연계로 양자회로 개발을 위한 생성형 AI 활용, 양자 머신러닝, 최적화, 양자 시뮬레이션 등 양자 AI 기술 활용연구를 추진하고 있다.

### 가. 기업 동향

초전도 기반의 양자컴퓨터 하드웨어를 개발하는 대표적 기업인 IBM은 양자코드 개발과 양자회로 최적화를 지원하는 생성형 AI (Watsonx)을 의료보험 분야 대화형 고객센터, 비행기 부품 설계 검증 시뮬레이션 등에 활용하고 있다. IBM은 100 큐비트급 프로세서(QPU)를 활용한 클라우드 기반 AI 솔루션 서비스를 제공하고 있으며, 수요처에 PoC(Proof of Concept, 개념 증명) 기술 지원, 연구자와 개발자들이 클라우드를 통해 양자 컴퓨팅을 실험하고 응용 프로그램을 개발할 수 있도록 돕는 도구인 오픈소스 기반 SDK(퀴스킷)을 제공하고 있다. 2023년 12월 IBM 퀀텀 서밋에서 IBM은 1,121 초전도 큐비트로 이루어진 콘도 (Condor)와 오류율 개선에 초점을 맞춘 133개 초전도 큐비트의 헤론 (Heron) 두 개의 양자 칩을 공개하여 QPU(Quantum Processing Unit) 기술에서 큰 발전을 이루었다. 또의 IBM 퀀텀 시스템 투(IBM Quantum System Two)도 공개하였고, 2028년에 양자 오류 정정 기술을 사용한 첫 양자 칩인 Starling 출시 등 2033년까지의 로드맵을 발표하였다.

<표-2 IBM 양자 A 활용 사례>

| 협력기업              | 활용 사례  |
|-------------------|--|
| Humana            | · (의료보험회사) 환자 보험 적용 범위 확인을 위한 대화형 AI 고객센터  |
| VIA Metro Transit | · (대중교통 운수) AI 적용 버스 도착 시간 실시간 예측 서비스  |
| Boeing            | · (항공) ① 비행기 부품의 설계 및 검증 과정 시뮬레이션 경량 고내구성의 부품 생산<br>② 네비게이션 고도화: 위치추적 양자센서, 양자관성계측, 양자자력계 활용 |
| -                 | · Mercedes-Benz, ExxonMobil, CERN 등 양자컴퓨터 활용 복잡 문제 해결시 사용                                    |

IBM 퀀텀 시스템 투는 최초의 모듈형 양자컴퓨터로 극저온 인프라와 3개 헤론 프로세서 및 전자 제어 장치로 구성된다. 기존 컴퓨팅 자원의 지원을 받아 양자통신과 컴퓨팅을 결합하고 미들웨어 계층을 활용하여, 사용자는 클라우드 또는 온프레미스 환경에서 양자 및 전통적 컴퓨팅 워크플로우를 적절히 통합하여 구축, 배포, 실행하거나 양자 알고리즘을 쉽게 구축하기 위해 Watsonx(왓슨x)의 파운데이션 모델 프레임워크를 사용할 수 있다.

마이크로소프트는 클라우드 양자컴퓨팅 서비스인 Azure Quantum(에저 퀀텀)과 양자 프로그램을 개발하고 실행하기 위한 오픈소스 양자 프로그래밍 언어인 Q#을 제공한다. 복잡한 화학 계산, 시뮬레이션 연산에 특화된 생성형 AI를 제공하여 리튬 배터리를 대체할 신소재 발견, 수백만 개의 화학 및 재료 데이터 학습으로 계산 및 시뮬레이션 생성, 데이터 쿼리의 시각화, 금융 자산 관리를 위한 양자 개념 증명 및 위험 평가를 위한 양자 신경망 테스트 등을 연구개발하고 있다.

<표-3 MS 양자 AI 활용 사례>

| 협력기업            | 활용 사례   |
|-----------------|---|
| Johnson Matthey | · (화학) 고비용 촉매의 대체 합금 촉매 연구를 위한 나노입자 시뮬레이션 도입      |
| ERGO            | · (보험) AI 가상 에이전트 활용 연중무휴 보험 갱신을 간소화하는 맞춤형 서비스 제공 |
| Ford            | · (자동차) 기존 대비 교통 혼잡 개선 효과 방식 연구 중                 |

AWS(아마존웹서비스)는 기존 AWS 서비스와 양자 프로세스를 조합하여 양자-고전 컴퓨터 하이브리드(Amazon Braket) 서비스를 제공한다. 양자컴퓨팅 연구 지원 서비스로 양자 알고리즘 구축, 양자컴퓨터 액세스, 개발환경 제공 등 양자 알고리즘과 기존 컴퓨터 클래식 전환 및 공유를 지원한다.

<표-4 AWS 양자 AI 활용 사례>

| 협력기업            | 활용 사례  |
|-----------------|--|
| Fidelity        | · (자산운용) 금융 자산 관리를 위한 양자 개념 증명 구축 새로운 금융 모델과 알고리즘 개발 중 |
| Aioci Insurance | · (보험) 위험 평가를 위해 양자 신경망 테스트 및 보험 산업 연계 개발 중            |

엔비디아는 24년 3월 GTC 2024에서 양자 클라우드 서비스를 출시하고 기구축된 강력한 인공지능 생태계인 GPU와 CUDA(쿠다) 플랫폼을 통해 기존 양자 하드웨어 기업들과 협업하겠다고 밝혔다. 엔비디아 양자 클라우드는 양자 컴퓨터를 시뮬레이션하는 AI 칩과 데이터 센터로 구성되고 타사의 양자 컴퓨터를 연결할 것이라고 한다. 오픈소스 CUDA-Q(쿠다-Q)를 기반으로 하이브리드 양자 클래식 프로그래밍을 위한 시뮬레이터 도구가 제공되고 GQE(Generative Quantum Eigensolver)는 대규모언어 모델(LLM)을 활용해 양자 컴퓨터가 분자의 기저 상태 에너지를 빠르게 찾을 수 있도록 지원하며 QC 웨어 프로메튬(QC Ware Promethium)은 분자 시뮬레이션과 같은 복잡한 양자 화학 문제를 해결할 수 있다.

<표-5 글로벌 기업 양자 AI 활용 사례>

| 기업(서비스명)                        | 활용 사례   |
|---------------------------------|---|
| NVIDIA (CUDA-Q)                 | · (서비스 내용) CUDA 플랫폼을 통해 하이브리드 양자-클래식 컴퓨팅 환경 제공<br>· (활용 사례) 오를을 양자 시뮬레이션 가상 머신 구축 등 활용 예정                                 |
| Google (Google Quantum AI)      | · (서비스 내용) 초전도 방식으로 양자 컴퓨팅 장치의 작동 결과 측정을 위한 신호 생성 및 전달<br>· (활용 사례) 제조업 및 금융 분야에서 포트폴리오 최적화, 위험관리, 암호 해독 등 문제 해결          |
| Alibaba (Alibaba Cloud Quantum) | · (서비스 내용) 클라우드 기반의 양자 컴퓨팅 플랫폼으로 사용자가 양자 알고리즘을 테스트 및 개발하는 환경 제공<br>· (활용 사례) Genting SkyWorld 인공지능과 5개 알고리즘 모듈 통합 군중 관리 등 |

구글은 초전도체 방식으로 양자 컴퓨팅 장치의 작동, 결과 측정을 위한 신호 생성 및 전달, 신호 판독 등에 필요한 극저온 장치와 배선 하드웨어

등을 개발하고 있으며 제조업 및 금융 분야에서 포트폴리오 최적화, 위험 관리, 암호 해독 등 문제 해결 연구를 추진하고 있다. 구글은 2019년 자체 개발한 Sycamore(시카모어) 프로세서를 기반으로 54개 물리적 큐비트로 슈퍼컴퓨터로 1만 년 이상 걸리는 작업을 200초 만에 완료했다는 논문을 발표하고 양자 우위 개념을 대중에게 알리는 역할을 하였다.

### 나. 활용 시사점

글로벌 빅테크 기업들은 양자 컴퓨터 또는 양자 시뮬레이터 개발을 통해 인공지능과 양자 컴퓨팅 기술을 융합하여 양자와 고전 컴퓨터가 연계된 개발 환경을 제공하는 풀스택 인프라를 구축하고 하이브리드 기반 양자 클라우드 서비스를 제공하고 있다. 화학, 생물학, 재료 과학 등 주요 과학 분야에서 양자 컴퓨팅으로 연구를 확대하고 다양한 도메인의 수요처들과 협업하여 양자 우위 및 효용성 등을 연구하고 있다. IBM은 2033년 개발 로드맵에서 2026년 이후 1만 큐비트 칩 개발, 2027년부터는 양자 우위를 활용한 다양한 사례가 나올 것으로 예측하였다.

특정 계산량이 많은 응용은 양자 컴퓨팅으로 전환하거나 연계하여 촉매 개발, 화학 반응 시뮬레이션, 신소재 개발, 단백질 구조 분석, 신약 발견, 고성능 컴퓨팅, 금융거래 최적화 등에서 양자기술의 우위증명 및 활용 가능성이 연구(PoC)되고 있다. 향후에는 인공지능기술과 양자기술의 융합으로 현재의 난제들을 해결하고 실질적인 상용화가 가능할 것으로 기대한다.

<표-6 양자 컴퓨팅 활용 사례>

| 분야  | 세부분야            | 활용 사례   |
|-----|-----------------|---|
| 자동차 | 자율주행 최적화        | · (WW) 자율주행차 설계에 양자 컴퓨팅을 활용하기 위해 Google과 파트너십 체결                              |
|     | 활동 예측           | · (두바이 전력 수자원청) 에너지 최적화를 위해 양자 컴퓨팅을 활용  |
| 에너지 | 그리드 최적화         | · (미국 에너지부) 양자 컴퓨팅을 그리드 최적화 통합을 위한 연구소 설립                                     |
|     | 일기예보            | · (IBM) 정확한 일기 예보를 위해 양자 컴퓨팅을 사용하며 Apple, Amazon, Google 및 Facebook 등 서비스를 제공 |
| 금융  | 자동화 거래          | · 금융 시장 예측  |
|     | 위험 분석           | · (카이사 은행) 위험 분류 모델에 양자 컴퓨팅을 사용하는 파일럿 프로그램 시작                                 |
|     | 포트폴리오 최적화       | · (KPMG) 포트폴리오 관리 벤치마크 파일럿 단기 투자시, 기존 보다 더 나은 성능을 발휘한다는 사실 발견                 |
| 보험  | 보험료             | · (메이플) 사기 탐지에 양자 컴퓨팅을 사용하기 위해 IBM과 제휴  |
|     |                 | · (건강 보험 회사) 건강 이상 징후 식별 등 데이터 집약적인 작업에 IBM의 양자 컴퓨팅 솔루션을 사용할 계획               |
| 물류  | 경로 최적화          | · (DWaveQC) 추적 예측 및 최적화를 위해 Toyota와 파트너십                                      |
|     | 공급망 재구조화        | · 공급망 최적화 분야 QC 적용(코카콜라 재팬 대규모 시범사업을 시작)                                      |
| 제조  | 설계 최적화          | · 지속 가능 칩을 위해 IBM의 양자 컴퓨팅 기술을 사용(배터리 칩, 차량 등)                                 |
|     | 약물 상호작용 예측      | · 약물 개발 시 분자 비교를 위해 양자 컴퓨팅을 사용  |
| 제약  | 유효성을 고한 맞춤형 의약품 | · 케임브리지 양자리슈와 크라운비오는 암 치료를 위한 유전자 데이터 분석에 대한 양자컴퓨팅 기술을 개발                     |
|     | 기계 학습           | · 머신러닝 프로세스 가속화   |

참고: AIMultiple Top 20 Quantum Computing Use Cases & Applications in 2024(2023)

### III. 결론

양자 컴퓨팅 하드웨어 산업은 매우 초기 시장이고 글로벌 빅테크 기업들마다 다른 기술 방식과 방향으로 발전하고 있어 미래 어떠한 기술이 표준으로 자리매김하고 성숙 단계로 나아갈지 예측하기 어렵다. 반면의 양자 컴퓨팅 소프트웨어 및 서비스 분야는 글로벌 빅테크 기업들을 중심으로 빠르게 활용되고 발전되고 있다. 엔비디아는 24년 3월에 양자 클라우드 서비스 출시를 발표하고, 지난 5월에는 전 세계 9개의 슈퍼컴퓨터 센터 중 독일, 일본, 폴란드 국가 슈퍼컴퓨터에 오픈소스 쿠다-Q(Cuda Quantum) 플랫폼을 탑재한 양자 컴퓨터 센터를 출시하고 양자 컴퓨팅 발전을 위한 노력을 가속화한다고 하였다. 또한 OpenAI는 AI 반도체 등 인공지능(AI) 운영에 필요한 전력을 줄이기 위한 다양한 방안을 검토하고 있다고 한다.

양자는 물리적인 최소한의 에너지 상태를 가지고 계산을 수행하므로 AI 서비스 운영 비용을 크게 줄일 수 있고, 양자 컴퓨터로 AI를 학습하거나 연산 처리가 효율적인 양자 알고리즘을 개발·활용할 수 있어, 기존 컴퓨터 대비 100만분의 1 수준의 에너지 사용이 가능하다고 한다.

생성형 AI 기술의 급격한 발전으로 인공지능기술의 일상화 시대를 맞아, 대규모 데이터 분석이나 복잡한 최적화 문제, AI 데이터센터 전력 문제 등 현재의 난제들을 해결하기 위한 연구에서 인공지능과 양자기술을 융합하여 양자 AI 적용과 활용이 확대되어야 한다고 본다. 자율주행, 에너지, 금융, 물류, 제약 등 다양한 산업 분야에 양자 AI 적용을 검토하여 현재 기술적 한계를 뛰어넘는 혁신적인 해결책을 연구하여 생산성과 효율성의 극대화 및 비용을 절감하는 새로운 접근법을 찾아낼 수 있어야 한다. 이는 기업과 국가의 미래 경쟁력을 높이고 산업 전반의 혁신과 새로운 신시장 기회를 창출하여 그 잠재력이 매우 크다고 판단된다. 양자 AI 적용을 위한 이론적 연구개발과 더불어 양자 AI 소프트웨어 및 서비스 기술 상용화가 선순환적으로 연계되어, 다양한 산업 분야에 도입되고 선도적으로 체험해 봄으로써 양자기술의 활용성이 제고될 수 있어야 한다. 이를 위해 양자 ICT 분야 산학연 간의 긴밀한 소통과 기술협력이 수반되어야 하고, 양자 기술 산업생태계가 지속적으로 발전하고 성장할 수 있어야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 과학기술정보통신부, 대한민국 양자과학기술 비전, 2023.6.27.
- [2] 과학기술정보통신부, 퀀텀 이니셔티브(안), 2024.4.25.
- [3] 한국지능정보사회진흥원(NIA) 양자산업생태계지원센터(K-QIC), 양자산업생태계 활성화 방향 발표자료
- [4] 인공지능신문(<https://www.aitimes.kr>), IBM, 양자시대 가속 위한 로드맵 확장.. '퀀텀 프로세서 및 IBM 퀀텀 시스템 투 출시, 양자 코드는 생성 AI'로, 2023.12.05.
- [5] AI타임스(<https://www.aitimes.com>), 엔비디아, 양자 컴퓨팅 클라우드 서비스 합류...GPU·쿠다로 생태계 확장, 2024.03.20.
- [6] IBM(<https://ibm.com/quantum>), IBM Quantum Development & Innovation Roadmap, 2023.12.05.
- [7] 마이크로소프트(<https://news.microsoft.com>) 마이크로소프트, 양자 슈퍼컴퓨터 혁신 가속화 위한 로드맵 발표
- [8] 엔비디아(<https://nvidia.com>), 양자 컴퓨팅 탐구의 지평을 넓히는 NVIDIA Quantum Cloud, 2024.03.19.
- [9] AWS(<https://aws.amazon.com>), 양자 컴퓨팅을 심층적으로 알아보는 프로그램인 Braket Direct 출시, 2023.11.27.
- [10] AI라이프경제(<https://www.aifnlife.co.kr>), “기술 융합의 차세대 시대를 개척하다”...양자 컴퓨팅과 인공지능, 2023.10.18.
- [11] AI타임스(<https://www.aitimes.com>), 엔비디아, '쿠다-Q' 플랫폼 탑재 양자 컴퓨터 센터 출시, 2024.05.14.
- [12] 동아일보(<https://donga.com>), 전기 먹는 하마, 양자기술로 해결, 2024.04.19.