



BT분야 전문가가 바라본 분야별 동향을 소개합니다.

BioINpro

BioIN + Professional

미래유망기술(중)



양자컴퓨팅 기반 AI 신약개발 플랫폼



생명공학정책연구센터
Biotech Policy Research Center

양자컴퓨팅 기반 AI 신약개발 플랫폼



권태호 / 한국생명공학연구원 미래형동물자원센터 책임연구원

1. 질병과의 오랜 싸움, AI가 바꾼 판도

인류는 오랫동안 질병과의 싸움을 이어왔다. 항생제의 발견은 감염병으로부터 수많은 생명을 구했고, 백신은 인류가 팬데믹에 대응할 수 있는 강력한 무기가 되었다. 최근에는 표적항암제와 세포치료제가 등장하면서 과거에는 치료가 어려웠던 질환들에 대한 새로운 가능성이 열리고 있다. 그러나 여전히 치매, 희귀질환, 난치성 암과 같은 복잡한 질환은 효과적인 치료법을 찾기 어려운 상황이다.

문제는 신약개발 자체가 매우 어렵고 복잡한 과정이라는 점이다. 일반적으로 하나의 신약이 시장에 출시되기까지는 10년 이상의 시간과 수조 원 규모의 연구개발 비용이 필요하다 [1]. 수만 개의 후보물질 가운데 실제 신약으로 이어지는 경우는 극히 일부에 불과하며, 많은 후보물질이 전임상 또는 임상시험 단계에서 실패한다.

이러한 한계는 연구자들의 노력 부족 때문이 아니다. 생명현상 자체가 너무 복잡하기 때문이다. 우리 몸에는 약 2만 개 이상의 유전자가 존재하며 [2], 이들이 만들어내는 수십만 종의 단백질과 다양한 생체 분자들이 서로 영향을 주고받는다. 질병은 단순히 특정 유전자 하나의 이상이 아니라 복잡한 생물학적 네트워크의 변화로 나타나는 경우가 많다 [3].

최근 인공지능(AI)은 이러한 신약개발 과정을 크게 변화시키고 있다. AI는 방대한 생물학 데이터와 의학 논문을 학습하여 질병과 관련된 유전자를 예측하고 새로운 치료 표적을 제안할 수 있다 [4]. 또한 수많은 화합물 가운데 약

물이 될 가능성이 높은 후보물질을 빠르게 탐색할 수 있다. 대표적인 사례가 단백질 구조 예측 기술인 알파폴드(AlphaFold)이다. 과거에는 단백질 구조를 규명하기 위해 수개월에서 수년이 필요했지만, AI는 이를 훨씬 빠른 시간 안에 예측할 수 있게 만들었다 [5]. 최근에는 생성형 AI를 활용하여 새로운 약물 후보를 설계하거나, 연구자가 놓칠 수 있는 생물학적 관계를 발견하는 연구도 활발하게 진행되고 있다.

2. 분자의 세계는 양자역학으로 움직인다

AI는 과거 데이터를 학습하여 패턴을 찾고 미래를 예측하는 데 뛰어난 능력을 보여준다. 하지만 실제 분자가 어떻게 반응하는지, 약물이 단백질과 얼마나 강하게 결합하는지, 특정 화학 반응이 어떤 에너지 상태를 거치는지와 같은 문제를 완벽하게 계산하는 것은 또 다른 영역의 문제이다.



그림 1. 양자역학과 첨단바이오의 이해 필요

신약은 결국 분자이다. 그리고 분자의 움직임은 양자역학이라는 자연의 법칙을 따른다. 약물이 표적 단백질과 결합하는 과정, 효소가 특정 물질을 분해

하는 과정, 독성이 발생하는 과정은 모두 전자 수준에서 일어나는 양자역학적 현상과 밀접하게 연결되어 있다 [6]. 현재의 슈퍼컴퓨터는 이러한 현상을 매우 정교하게 근사할 수 있지만, 분자의 규모가 커질수록 필요한 계산량은 기하급수적으로 증가한다. 특히 복잡한 단백질이나 생체 분자의 상호작용을 완전하게 계산하는 것은 여전히 어려운 과제로 남아 있다.

이러한 한계를 극복할 수 있는 차세대 계산 기술로 주목받고 있는 것이 양자컴퓨팅이다. 양자컴퓨터는 자연의 기본 법칙인 양자역학을 계산 원리로 활용한다. 기존 컴퓨터가 0 또는 1의 상태를 이용해 계산하는 반면, 양자컴퓨터는 중첩과 얽힘이라는 양자 현상을 이용하여 특정 문제를 보다 효율적으로 계산할 수 있는 가능성을 가진다. 특히 분자와 전자의 거동을 이해해야 하는 화학, 소재, 바이오 분야는 양자컴퓨팅이 가장 먼저 활용될 것으로 기대되는 분야이다 [7, 8]. 실제로 글로벌 기술 기업과 제약회사들은 양자컴퓨팅을 활용한 신약개발 연구에 적극적으로 투자하고 있으며, 차세대 치료제 개발의 핵심 기술로 주목하고 있다.

물론 현재의 양자컴퓨터가 당장 모든 신약개발 문제를 해결할 수 있는 것은 아니다. 아직은 오류가 존재하고 계산 규모에도 제한이 있다 [9]. 그러나 최근 몇 년 사이 양자 하드웨어와 알고리즘은 빠르게 발전하고 있으며, AI와 양자컴퓨팅을 결합한 새로운 연구개발 방식이 등장하고 있다. 신약개발의 미래는 AI와 양자컴퓨터가 경쟁하는 것이 아니라 서로의 강점을 결합하는 방향으로 발전할 가능성이 높다.

3. AI가 찾고 양자컴퓨터가 검증한다

최근 신약개발 분야에서 가장 주목받는 변화는 인공지능과 양자컴퓨팅이 서로를 대체하는 기술이 아니라, 상호 보완적인 역할을 수행하는 기술로 인식되기 시작했다는 점이다 [10].



그림 2. AI가 스케치하고 양자컴퓨터가 완성

인공지능은 방대한 데이터를 분석하고 패턴을 발견하는 데 탁월한 능력을 가지고 있다. 인간 연구자가 평생 읽어도 다 읽기 어려운 수백만 편의 논문과 수십억 개의 생물학적 데이터를 AI는 짧은 시간 안에 분석할 수 있다. 특히 생성형 AI의 발전은 단순히 기존 정보를 정리하는 수준을 넘어 새로운 분자 구조를 설계하거나, 질병과 관련된 유전자를 예측하고, 새로운 치료 전략을 제안하는 단계로 발전하고 있다 [11]. 실제로 최근의 신약개발 과정에서는 AI가 후보물질을 발굴하고 약물의 특성을 예측하는 역할을 수행하고 있다. 과거에는 수천에서 수만 개의 화합물을 실험실에서 직접 평가해야 했지만, 이제는 AI가 먼저 유망한 후보를 선별함으로써 연구개발 기간과 비용을 크게 줄일 수 있게 되었다.

그러나 AI가 제안한 후보물질이 실제 약물이 될 수 있는지는 또 다른 문제이다. AI는 과거 데이터를 기반으로 가능성을 예측하는 데 강점을 가지지만, 실제 분자 수준에서 일어나는 물리적 현상을 완전히 계산하는 것은 쉽지 않다. 예를 들어 약물이 특정 단백질과 얼마나 강하게 결합하는지, 체내에서 어떤 효소에 의해 분해되는지, 예상하지 못한 독성 반응이 발생하지는 않는지와 같은 문제는 단순한 데이터 분석만으로 해결하기 어렵다. 결국 신약개발의 마지막 단계에서는 분자와 전자의 움직임을 보다 정확하게 이해해야 하며, 이는 양자역학의 영역으로 이어진다.

바로 이 지점에서 양자컴퓨팅이 주목받고 있다. 양자컴퓨터는 자연의 기본

법칙인 양자역학을 계산 원리로 사용하는 새로운 형태의 컴퓨터이다. 신약개발의 핵심 과정은 전자 수준의 양자역학적 현상으로 이루어지며, 분자 규모가 커질수록 기존 컴퓨터의 계산 한계가 뚜렷해진다. 양자컴퓨팅은 바로 이 간극을 메울 차세대 도구로 주목받고 있다. 이는 생체 분자와 화학 반응 자체가 양자역학적 현상에 의해 결정되기 때문이다. 약물이 단백질과 결합하는 과정, 효소가 특정 분자를 인식하는 과정, 세포 내에서 일어나는 전자 이동 반응은 모두 양자역학적 특성을 가지고 있다.

현재의 슈퍼컴퓨터도 이러한 현상을 계산할 수는 있다. 하지만 분자의 규모가 커질수록 계산량은 기하급수적으로 증가한다. 예를 들어 수백 개의 원자로 이루어진 복잡한 생체분자의 전자 상태를 정확하게 계산하려면 현재의 고성능 컴퓨터로도 엄청난 시간과 자원이 필요하다. 양자컴퓨터는 이러한 문제를 보다 효율적으로 해결할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 다시 말해 AI가 수많은 후보물질 가운데 가능성이 높은 후보를 찾아낸다면, 양자컴퓨터는 그 후보가 실제로 효과적인 약물이 될 수 있는지 보다 정밀하게 검증하는 역할을 수행할 수 있다 [12]. 양자컴퓨팅 기반 AI 신약개발 플랫폼은 AI, 양자컴퓨팅, 실험 검증이 하나의 연구개발 체계 안에서 유기적으로 연결되는 구조를 의미한다.

구분		인공지능(AI)	양자컴퓨팅(Quantum Computing)
	핵심 역할 (Action)	유망 후보물질 '탐색(Scout)'	분자 수준 정밀 '검증(Validate)'
	입력 데이터 (Input)	수백만 편의 논문, 오믹스, 화합물 데이터	분자의 입체 구조 및 전자 에너지 상태
	주요 강점 (Strength)	대규모 데이터 분석 및 패턴 인식	복잡한 양자역학적 상호작용 계산
	대표 기술 (Tech)	AlphaFold, 생성형 AI, AI Agent	VQE, QAOA, 양자화학(Quantum Chemistry)
	최종 목표 (Goal)	신약 탐색 시간의 획기적 단축	실제 임상시험 성공 가능성의 극대화

표 1. AI와 양자컴퓨팅의 역할 비교

먼저 AI가 방대한 생물학 데이터와 화학 정보를 분석하여 질병과 관련된 표적과 후보물질을 발굴한다. 이후 양자컴퓨터가 분자 수준의 구조와 에너지 상태를 계산하여 후보의 타당성을 검증한다. 마지막으로 실험실과 동물모델을 통해 실제 생물학적 효과를 확인하는 방식이다. 이는 기존 신약개발 방식과 비교해 중요한 차이를 가진다. 과거에는 후보물질을 발견한 이후 수많은 실험을 반복하면서 시행착오를 통해 최적의 약물을 찾았다. 반면 양자 AI(Quantum-AI) 플랫폼에서는 실험 이전 단계에서 훨씬 많은 정보를 얻을 수 있기 때문에 실패 가능성이 높은 후보를 조기에 제외하고, 성공 가능성이 높은 후보에 연구 역량을 집중할 수 있다.

또한 이러한 접근은 희귀질환이나 난치성 질환과 같이 시장 규모가 작아 충분한 연구가 이루어지지 못했던 분야에도 새로운 가능성을 제공할 수 있다. AI가 제한된 데이터에서도 의미 있는 정보를 찾아내고, 양자컴퓨터가 분자 수준의 분석을 수행함으로써 기존에는 접근하기 어려웠던 질환 연구를 가속화할 수 있기 때문이다. 특히 향후에는 신약개발뿐 아니라 정밀의료 분야에서 활용 가능성이 높다. 환자의 유전 정보와 질병 특성을 AI가 분석하고, 양자 컴퓨팅이 최적의 약물 조합이나 치료 전략을 계산하는 형태의 맞춤형 의료 서비스도 기대되고 있다.

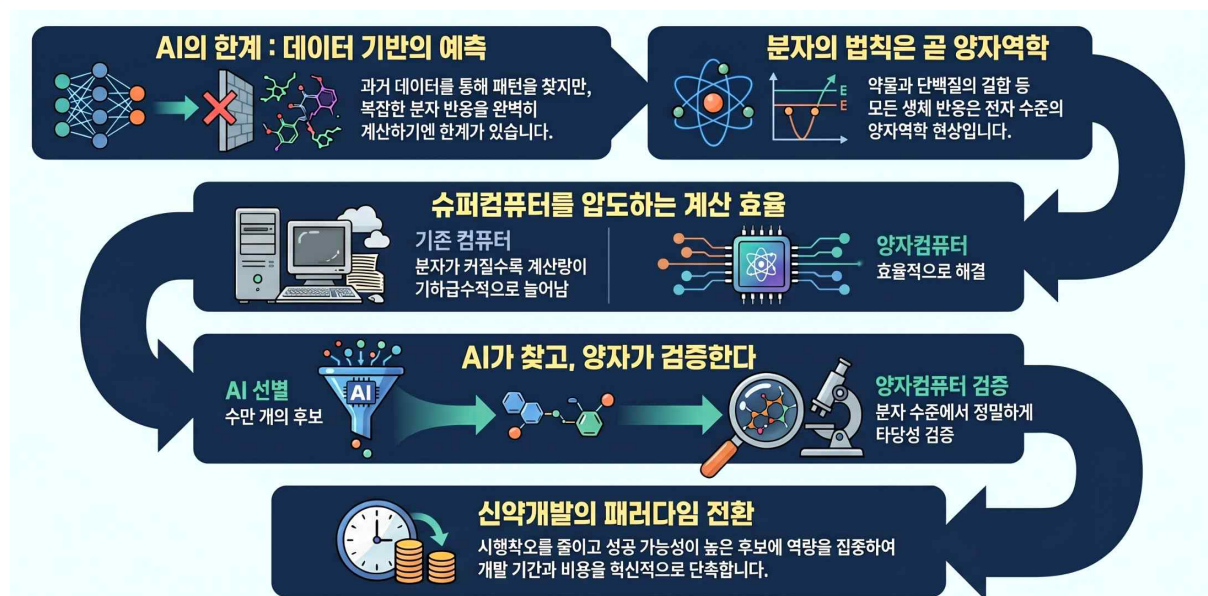


그림 3. AI가 찾고 양자컴퓨터가 검증하는 신약개발의 미래

물론 현재의 양자컴퓨터는 아직 초기 단계에 있다. 큐비트 수와 오류율, 안정성 측면에서 해결해야 할 과제가 많다. 따라서 당장 모든 신약개발 과정이 양자컴퓨터로 대체되는 것은 아니다. 그러나 중요한 것은 기술의 방향성이다. AI가 불과 몇 년 만에 연구개발 환경을 변화시킨 것처럼, 양자컴퓨팅 역시 향후 바이오 연구개발의 핵심 도구로 자리 잡을 가능성이 높다.

결국 미래의 신약개발은 AI가 후보를 찾고, 양자컴퓨터가 검증하며, 연구자가 이를 바탕으로 최종 의사결정을 내리는 형태로 발전할 것으로 예상된다. 이는 단순한 기술 혁신을 넘어 신약개발의 패러다임 자체를 변화시키는 새로운 연구개발 체계의 시작이라고 할 수 있다.

4. 미래 기술을 향한 세계의 질주

양자컴퓨팅은 더 이상 연구실 안에 머무르는 미래 기술이 아니다. 세계 주요 국가와 글로벌 기술 기업들은 양자컴퓨팅을 인공지능 이후의 차세대 전략 기술로 인식하고 대규모 투자에 나서고 있다. 과거 반도체와 인터넷, 인공지능이 국가 경쟁력을 좌우했던 것처럼, 앞으로는 양자기술이 미래 산업의 주도권을 결정할 것이라는 전망이 나오고 있다. 특히 최근 들어 양자컴퓨팅에 대한 관심이 높아진 이유는 단순히 계산 속도가 빨라질 수 있다는 기대 때문만은 아니다. 양자컴퓨팅은 기존 컴퓨터가 사실상 해결하기 어려운 문제를 다룰 수 있는 새로운 계산 패러다임으로 평가받고 있기 때문이다.

현재 양자컴퓨팅 분야를 선도하고 있는 기업으로는 IBM, IQM, Google, Microsoft, Quantinuum, Quandela 등이 있다. 이들 기업은 각기 다른 방식의 양자 하드웨어를 개발하면서 차세대 컴퓨팅 시장을 선점하기 위한 경쟁을 벌이고 있다.

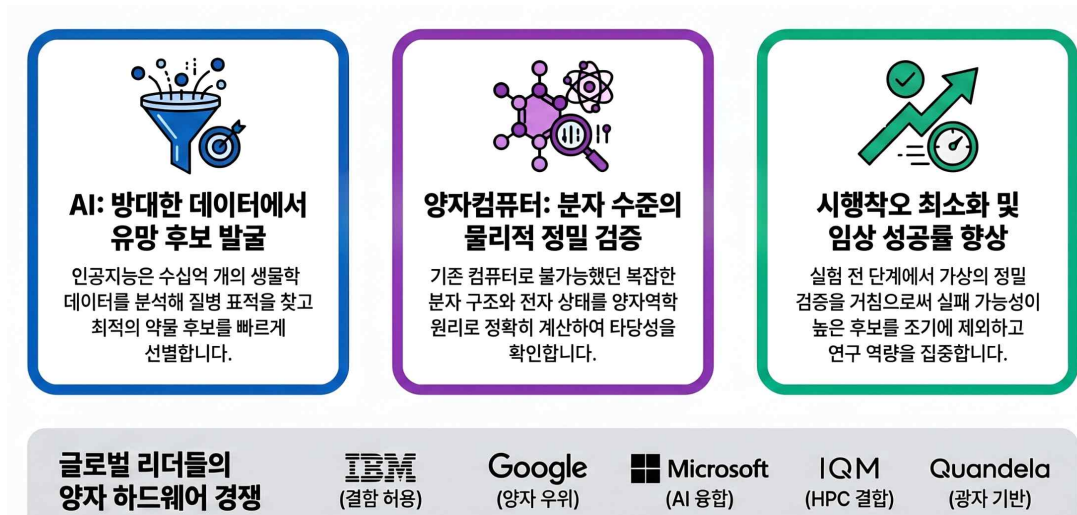


그림 4. 글로벌 기업의 양자 하드웨어 경쟁

IBM은 비교적 명확한 기술 로드맵을 제시하며 양자컴퓨팅 상용화를 추진하고 있다. 특히 수년 내 오류를 효과적으로 제어할 수 있는 결함 허용 (Fault-Tolerant) 양자컴퓨터 구현을 목표로 하고 있으며, 이를 통해 실제 산업 문제를 해결할 수 있는 수준의 계산 능력을 확보하겠다는 전략을 제시하고 있다 [13]. IBM은 바이오와 신약개발을 양자컴퓨팅의 핵심 응용 분야로 선정하고 다양한 연구기관 및 제약회사와 협력 연구를 진행하고 있다.

Google 역시 양자 우위(Quantum Advantage) 실현을 목표로 적극적인 연구개발을 수행하고 있다. 최근에는 차세대 양자 프로세서를 활용하여 기존 컴퓨터가 처리하기 어려운 계산 문제를 해결하는 연구 결과를 발표하며 양자컴퓨팅의 가능성을 입증하고 있다 [14, 15]. 특히 양자화학과 분자 시뮬레이션 분야는 Google이 장기적으로 주목하는 대표적인 응용 분야 가운데 하나이다.

Microsoft는 인공지능과 양자컴퓨팅을 동시에 미래 성장동력으로 육성하고 있다. AI 기반 연구 플랫폼과 양자기술을 결합하여 새로운 형태의 과학 연구 환경을 구축하는 전략을 추진하고 있으며, 최근에는 AI를 활용한 소재 설계와 양자컴퓨팅 기반 분석 기술을 연계하는 연구도 활발하게 진행하고 있다.

유럽에서는 핀란드의 IQM이 주목받고 있다. IQM은 초전도 양자컴퓨터 개발 기업으로 유럽 각국의 연구기관 및 슈퍼컴퓨팅 센터와 협력하며 양자컴퓨팅 생태계 구축을 추진하고 있다. 특히 고성능컴퓨팅(HPC)과 양자컴퓨팅을

결합한 하이브리드 연구 환경을 구축하는 데 집중하고 있으며, 향후 바이오 및 신약개발 분야에서도 활용 가능성이 기대되고 있다.

프랑스의 Quandela는 광자(Photon) 기반 양자컴퓨팅 기술을 선도하는 기업으로 평가받고 있다. 광양자컴퓨팅은 상온 동작과 네트워크 확장성 측면에서 장점을 가지고 있어 차세대 양자 플랫폼 가운데 하나로 주목받고 있다 [16]. 최근 Quandela는 양자머신러닝과 최적화 기술을 활용한 바이오 및 신약개발 응용 연구에도 관심을 확대하고 있으며, AI와 양자컴퓨팅을 결합한 새로운 연구개발 플랫폼 구축 가능성을 모색하고 있다.

기업	주요 기술	특징	바이오 활용 가능성
IBM	초전도 큐비트	산업 적용 중심 로드맵	신약개발, 양자화학
Google	초전도 큐비트	양자우위 실증	분자 시뮬레이션
Microsoft	토폴로지 기반	AI-양자 융합	신소재·바이오 설계
IQM	초전도 큐비트	HPC-양자 융합	바이오 데이터 분석
Quandela	광자컴퓨팅	광자 기반 플랫폼	양자머신러닝, 최적화

표 2. 글로벌 양자컴퓨팅 기업 동향

이처럼 양자컴퓨팅 경쟁은 특정 국가나 기업만의 경쟁이 아니라 초전도, 이온트랩, 광자 등 다양한 기술 방식이 공존하는 글로벌 생태계 경쟁으로 확대되고 있다. 특히 바이오와 신약개발 분야는 이러한 다양한 양자 플랫폼이 실제 산업적 가치를 가장 먼저 입증할 수 있는 대표적인 응용 분야로 평가받고 있다. 이처럼 글로벌 기술 기업들이 양자컴퓨팅에 막대한 자원을 투입하는 이유는 단순하다. 양자컴퓨팅이 향후 산업 전반의 혁신을 이끌 수 있는 핵심 기술로 평가받고 있기 때문이다.



그림 5. 차세대 패권을 향한 글로벌 기술 기업의 전략

신약개발의 핵심 과정은 전자 수준의 양자역학적 현상으로 이루어지며, 분자 규모가 커질수록 기존 컴퓨터의 계산 한계가 뚜렷해진다. 양자컴퓨팅은 바로 이 간극을 메울 차세대 도구로 주목받고 있다. 실제로 글로벌 제약회사들은 이미 양자컴퓨팅 기업들과 협력 연구를 진행하고 있다. 일부 기업들은 항암제 개발, 단백질-리간드 결합 분석, 효소 반응 예측, 신소재 기반 약물 전달체 개발 등에 양자컴퓨팅 기술을 적용하는 방안을 검토하고 있다. 아직은 초기 연구 단계가 많지만, 신약개발 과정에서 가장 많은 시간과 비용이 소요되는 후보물질 탐색과 검증 단계를 혁신할 수 있다는 점에서 큰 기대를 받고 있다. 실제로 글로벌 제약회사와 기술 기업들은 이러한 하이브리드 연구개발 전략을 채택하며, AI와 양자컴퓨팅을 하나의 연구개발 체계로 통합하는 시도를 본격화하고 있다.

흥미로운 점은 양자컴퓨팅 경쟁이 단순한 기술 경쟁을 넘어 국가 전략 경쟁으로 확대되고 있다는 사실이다. 미국, 유럽연합, 중국, 일본 등 주요 국가들은 국가 차원의 양자기술 육성 정책을 추진하고 있으며, 양자컴퓨팅을 반도체와 인공지능에 이은 미래 핵심 기술로 지정하고 있다. 일부 전문가들은 이를 양자 주권(Quantum Sovereignty) 경쟁이라고 표현하기도 한다. 과거 반도체 기술을 확보한 국가가 디지털 경제를 주도했던 것처럼, 미래에는 양자기술을 확보한 국가가 신약개발과 신소재, 에너지, 인공지능 등 다양한 산업 분야에서 경쟁 우위를 확보할 수 있다는 의미이다.

물론 현재의 양자컴퓨팅은 아직 완성된 기술이 아니다. 해결해야 할 기술적 과제도 많고, 실제 산업 현장에서 활용하기 위해서는 상당한 시간이 필요할 수 있다. 그러나 중요한 것은 이미 전 세계가 양자컴퓨팅을 미래 산업의 핵심 기술로 인식하고 움직이고 있다는 점이다. AI가 연구개발 방식을 바꾸고 있는 지금, 양자컴퓨팅은 그 다음 단계의 혁신을 준비하고 있다. 그리고 신약개발은 그 변화가 가장 먼저 나타날 분야 가운데 하나로 주목받고 있다.

5. 우리는 무엇을 준비할 것인가?

양자컴퓨팅에 대한 관심이 높아지면서 종종 우리나라도 양자컴퓨터를 만들어야 한다는 이야기가 나온다. 물론 양자 하드웨어 기술 확보는 중요하다. 그러나 바이오 분야의 관점에서 본다면 더 중요한 질문은 따로 있다.

우리는 어떤 문제를 양자컴퓨팅으로 해결할 것인가? 실제로 신약개발과 바이오 연구의 경쟁력은 단순히 컴퓨팅 성능만으로 결정되지 않는다. 어떤 질병을 연구할 것인지, 어떤 데이터를 확보하고 있는지, 그리고 계산 결과를 실제 생물학적으로 검증할 수 있는지가 더욱 중요하다.

AI 혁신의 핵심이 단순히 알고리즘 발전에만 있었던 것은 아니다. 결국 경쟁력을 결정한 것은 방대한 데이터와 실제 문제에 적용할 수 있는 활용 역량이었다. 양자컴퓨팅 역시 마찬가지다. 중요한 것은 양자컴퓨터 자체가 아니라, 이를 활용해 신약개발과 같은 복잡한 문제를 어떻게 해결할 것인가에 있다.

대한민국은 이러한 측면에서 분명한 강점을 가지고 있다. 우리는 세계적 수준의 의료 시스템과 바이오 연구 역량을 보유하고 있으며, 국가 단위의 건강 데이터와 병원 네트워크, 바이오 연구 인프라를 갖추고 있다. 또한 반도체와 정보통신기술(ICT), 인공지능 분야에서도 높은 경쟁력을 유지하고 있다.

특히 바이오 분야는 양자컴퓨팅 기술을 실제 문제 해결에 연결할 수 있는 풍부한 연구 주제를 보유하고 있다 [17]. 암, 감염병, 희귀질환, 노화, 대사질환 등은 모두 복잡한 생물학적 네트워크와 분자 상호작용을 포함하고 있으며, 기존 계산 방법만으로는 충분히 이해하기 어려운 문제들이다. 따라서 우리나라가 준비해야 할 것은 단순한 양자 하드웨어 경쟁이 아니라, 바이오 문제를 양

자컴퓨팅과 연결할 수 있는 연구 생태계 구축이라고 할 수 있다.

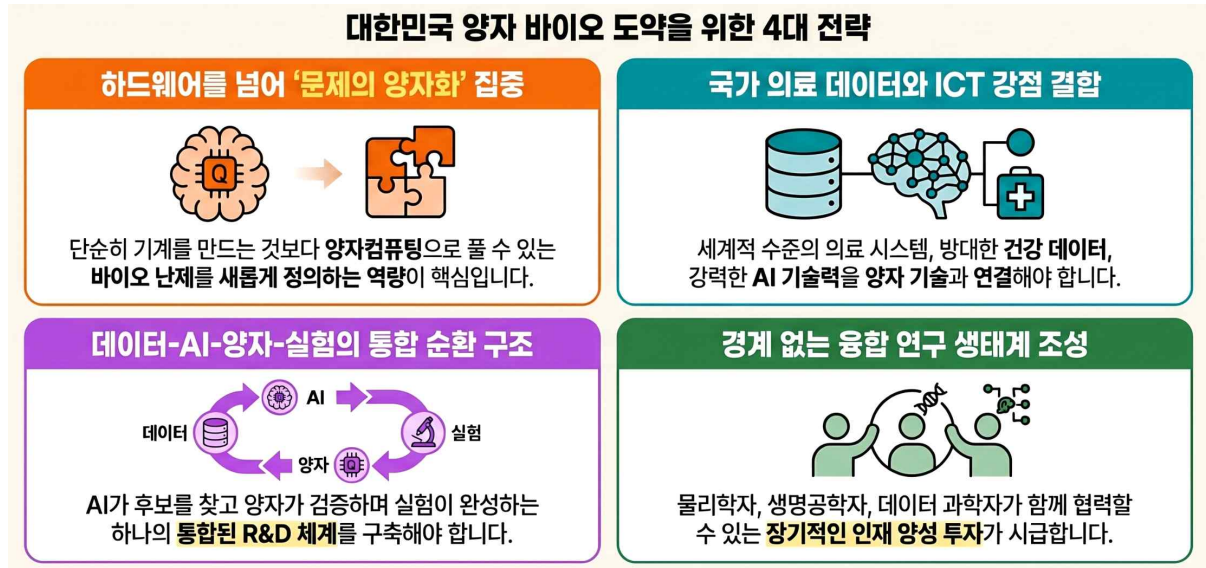


그림 6. 양자AI+첨단바이오 융합 생태계

최근 과학계에서는 '문제의 양자화(Quantumization)'라는 개념이 중요하게 논의되고 있다. 이는 기존 연구 문제를 단순히 양자컴퓨터에서 실행하는 것이 아니라, 양자컴퓨팅의 장점을 활용할 수 있는 형태로 새롭게 정의하는 과정을 의미한다. 예를 들어 질병과 관련된 유전자 네트워크를 분석하거나, 단백질 간 상호작용을 최적화하거나, 수많은 약물 후보 가운데 최적의 조합을 찾는 문제는 향후 양자 알고리즘이 활용될 수 있는 대표적인 영역으로 꼽힌다 [18]. 결국 미래 경쟁력은 양자컴퓨터 자체보다도 어떤 문제를 양자컴퓨터로 풀 것인가를 정의할 수 있는 능력에서 결정될 가능성이 높다.

이러한 측면에서 한국생명공학연구원(KRIBB)을 비롯한 국내 연구기관의 역할은 매우 중요하다. 국내 바이오 연구기관들은 감염병, 암, 희귀질환, 노화 연구, 첨단바이오 분야 등 다양한 연구를 수행하고 있으며, 다중오믹스 데이터와 실험 검증 인프라를 보유하고 있다. 이러한 연구 환경은 양자컴퓨팅 기술의 실제 활용 가능성을 검증할 수 있는 중요한 기반이 된다. 특히 앞으로는 AI와 양자컴퓨팅, 그리고 실험 연구가 서로 분리된 영역으로 존재하는 것이 아니라 하나의 연구개발 체계 안에서 통합될 가능성이 높다.

AI는 방대한 데이터를 분석해 새로운 가설과 후보물질을 제안하고, 양자컴퓨팅은 분자 수준의 정밀 계산을 수행하며, 연구자는 이를 바탕으로 실험을 설계하고 검증하는 방식이다. 다시 말해 데이터, AI, 양자컴퓨팅, 실험 검증이 하나의 순환 구조를 형성하게 되는 것이다. 이는 단순히 신약개발 속도를 높이는 것을 넘어 연구개발 방식 자체를 변화시킬 수 있다. 과거에는 연구자가 제한된 정보 속에서 가설을 세우고 수많은 시행착오를 거쳐야 했다면, 미래에는 AI와 양자컴퓨팅이 연구자의 의사결정을 지원하고 성공 가능성이 높은 방향을 제시하는 연구 환경이 구축될 수 있다.

이러한 변화는 신약개발을 넘어 정밀의료, 노화 연구, 바이오인공장기, 합성생물학 등 첨단바이오 전반으로 확장될 것이다. 대한민국이 이 흐름을 선도하기 위해서는 개별 기술 확보에 앞서, 첨단바이오 난제를 양자컴퓨팅으로 풀어낼 수 있는 문제 정의 역량과 융합 연구 생태계 구축이 핵심 과제가 될 것이다.



그림 7. 정밀의학과 첨단바이오 미래

대한민국이 양자컴퓨팅 시대를 준비하기 위해서는 단기적인 성과에만 집중하기보다 장기적인 관점에서 연구 인프라와 인재 양성에 투자할 필요가 있다. 양자물리학자, 컴퓨터 과학자, 생명공학자, 의사, 수의사, 약사, 데이터 과학자가 함께 연구할 수 있는 융합 연구 생태계가 무엇보다 중요하다.

과거 반도체와 인공지능이 국가 경쟁력을 결정하는 핵심 기술이 되었듯이, 양자컴퓨팅 역시 미래 바이오산업의 중요한 경쟁 요소가 될 가능성이 높다. 지금 필요한 것은 기술의 완성을 기다리는 것이 아니라, 다가올 양자AI 시대에 대비하여 실제 바이오 문제를 해결할 수 있는 연구 역량을 축적하는 것이다. 양자컴퓨팅은 아직 발전 과정에 있는 기술이지만, 미래의 신약개발과 바이오 연구를 변화시킬 잠재력은 충분하다. 그리고 그 변화에 가장 먼저 대응하는 국가와 기관이 미래 바이오산업의 주도권을 확보하게 될 것이다.

6. 상상이 현실이 되는 순간

인류의 역사는 새로운 도구를 통해 한계를 극복해 온 과정이었다. 현미경은 보이지 않던 미생물의 세계를 보여주었고, DNA 분석 기술은 질병의 원인을 유전자 수준에서 이해할 수 있게 만들었다. 컴퓨터와 인터넷은 연구자들이 전 세계의 지식과 데이터를 공유할 수 있도록 했으며, 최근에는 인공지능이 방대한 정보를 분석하여 새로운 과학적 통찰을 제공하고 있다.

이제 우리는 또 하나의 중요한 전환점에 서 있다. 양자컴퓨팅은 아직 초기 단계의 기술이지만, 과학계와 산업계는 이미 그 가능성에 주목하고 있다. 특히 분자와 전자의 움직임을 이해해야 하는 신약개발 분야는 양자컴퓨팅이 가장 먼저 실질적인 가치를 보여줄 수 있는 영역으로 평가받고 있다.

물론 양자컴퓨팅이 당장 모든 문제를 해결하는 만능 기술은 아니다. 현재의 양자컴퓨터는 여전히 해결해야 할 기술적 과제를 안고 있으며, 실제 산업 현장에서 활용하기 위해서는 상당한 연구개발이 필요하다. 과거 인공지능이 수십 년의 연구를 거쳐 오늘날의 생성형 AI로 발전했듯이, 양자컴퓨팅 역시 지속적인 기술 혁신과 검증 과정을 거쳐야 한다.

그러나 중요한 것은 기술의 현재 수준이 아니라 발전의 방향이다. 과거 신약개발은 연구자의 경험과 직관, 그리고 반복적인 시행착오에 크게 의존했다. 수많은 후보물질을 만들고 시험하면서 조금씩 정답에 가까워지는 방식이었다. 하지만 앞으로의 신약개발은 데이터와 계산, 그리고 예측을 기반으로 하는 새로운 연구개발 체계로 전환될 가능성이 높다.

AI는 방대한 생물학 데이터 속에서 인간이 발견하지 못한 패턴을 찾아내고, 새로운 치료 표적과 후보물질을 제안한다. 양자컴퓨팅은 이러한 후보들이 실제로 어떤 분자적 특성을 가지는지, 얼마나 안정적으로 작동할 수 있는지를 보다 정밀하게 분석한다 [19]. 연구자는 이 결과를 바탕으로 보다 효과적인 실험을 설계하고 검증할 수 있다.

다시 말해 미래의 신약개발은 연구자, 인공지능, 양자컴퓨팅이 함께 협력하는 형태로 발전할 가능성이 높다. 이러한 변화는 단순히 신약을 더 빨리 개발하는 것을 의미하지 않는다. 지금까지는 연구가 어려웠던 희귀질환과 난치성 질환, 개인별 맞춤형 치료제 개발, 노화와 같은 복잡한 생명현상 연구에도 새로운 가능성을 열어줄 수 있다 [20]. 또한 신약개발 비용을 줄이고 실패 확률을 낮춤으로써 보다 많은 환자들이 혁신적인 치료 혜택을 받을 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

대한민국 역시 이러한 변화에 적극적으로 대응해야 한다. 우리나라는 우수한 바이오 연구 역량과 의료 데이터, 인공지능 기술을 보유하고 있으며, 이를 양자컴퓨팅과 연계할 경우 새로운 성장동력을 확보할 수 있다. 특히 바이오 분야는 양자컴퓨팅이 가장 먼저 산업적 가치를 창출할 수 있는 영역인 만큼, 연구개발과 실증을 통해 경쟁력을 확보하는 것이 중요하다.

앞으로의 경쟁은 단순히 누가 더 좋은 양자컴퓨터를 보유하느냐의 문제가 아닐 것이다. 어떤 국가와 기관이 실제 사회적 문제를 해결할 수 있는 연구 생태계를 구축하고, AI와 양자컴퓨팅을 활용하여 새로운 가치를 창출하느냐가 더욱 중요해질 것이다.

양자컴퓨팅 기반 AI 신약개발 플랫폼은 아직 완성된 기술이 아니다. 현재의 양자컴퓨터는 여전히 해결해야 할 기술적 과제를 안고 있으며, 실제 산업 현장에서 활용되기 위해서는 더 많은 연구와 검증이 필요하다. 그럼에도 불구하고 기술의 발전 방향은 분명하다. 인공지능은 방대한 데이터 속에서 새로운 가능성을 발견하고, 양자컴퓨팅은 분자 수준의 정밀한 분석과 예측을 지원하며, 연구자는 이를 바탕으로 보다 효과적인 치료 전략을 설계하게 될 것이다. 미래의 신약개발은 연구자와 AI, 그리고 양자컴퓨터가 협력하는 새로운 연구 개발 체계로 진화하고 있다.

과거 현미경이 생명과학의 새로운 지평을 열었고, 유전체 기술이 정밀의학 시대를 이끌었다면, AI와 양자컴퓨팅의 융합은 신약개발의 새로운 패러다임을 만들어낼 가능성이 크다. 우리는 지금 그 변화의 출발선에 서 있다. AI가 가능성을 찾고, 양자컴퓨팅이 정밀하게 검증하며, 연구자가 이를 실제 치료로 연결하는 시대가 열리고 있다. 양자컴퓨팅 기반 AI 신약개발 플랫폼은 미래의 기술이 아니라, 차세대 바이오 혁신을 향한 현재 진행형의 도전이다.

참고문헌

1. DiMasi, Joseph A., Henry G. Grabowski, and Ronald W. Hansen. "Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs." *Journal of Health Economics* 47 (2016): 20-33.
2. Nurk, Sergey, et al. "The complete sequence of a human genome." *Science* 376.6588 (2022): 44-53.
3. Albert-László Barabási, Natali Gulbahce, and Joseph Loscalzo. "Network medicine: a network-based approach to human disease." *Nature Reviews Genetics* 12.1 (2011): 56-68.
4. Vamathevan, Jessica, et al. "Applications of machine learning in drug discovery and development." *Nature Reviews Drug Discovery* 18.6 (2019): 463-477.
5. Jumper, John, et al. "Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold." *Nature* 596.7873 (2021): 583-589.
6. McArdle, Sam, et al. "Quantum computational chemistry." *Reviews of Modern Physics* 92.1 (2020): 015003.
7. Peruzzo, Alberto, et al. "A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor." *Nature Communications* 5.1 (2014): 4213.
8. Cao, Yudong, et al. "Quantum chemistry in the age of quantum computing." *Chemical Reviews* 119.19 (2019): 10856-10915.
9. Preskill, John. "Quantum computing in the NISQ era and beyond." *Quantum* 2 (2018): 79.
10. Biamonte, Jacob, et al. "Quantum machine learning." *Nature* 549.7671 (2017): 195-202.
11. Stokes, Jonathan M., et al. "A deep learning approach to antibiotic discovery." *Cell* 180.4 (2020): 688-702.

12. Cao, Yudong, Jonathan Romero, and Al?n Aspuru-Guzik. "Potential of quantum computing for drug discovery." *IBM Journal of Research and Development* 62.6 (2018): 6:1-6:20.
13. Kim, Youngseok, et al. "Evidence for the utility of quantum computing before fault tolerance." *Nature* 618.7965 (2023): 500-505.
14. Arute, Frank, et al. "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor." *Nature* 574.7779 (2019): 505-510.
15. Acharya, Rajeev, et al. "Suppressing quantum errors by scaling a surface code logical qubit." *Nature* 614.7949 (2023): 676-681.
16. Zhong, Han-Sen, et al. "Quantum computational advantage using photons." *Science* 370.6523 (2020): 1460-1463.
17. Outeiral, Carlos, et al. "The prospects of quantum computing in computational molecular biology." *WIREs Computational Molecular Science* 11.1 (2021): e1481.
18. Cerezo, M., et al. "Variational quantum algorithms." *Nature Reviews Physics* 3.9 (2021): 625-644.
19. Santagati, Raffaele, et al. "Drug design on quantum computers." *Nature Physics* 20.4 (2024): 549-557.
20. Ashley, Euan A. "Towards precision medicine." *Nature Reviews Genetics* 17.9 (2016): 507-522.

2026년 BioINpro	• 발 행 호 : Vol.195 • 발 행 처 : 한국생명공학연구원 국가생명공학정책연구센터 • 온라인 서비스 : http://www.bioin.or.kr
---------------------------	---

- ◇ BioINpro는 생명공학 주요 기술별 관련 전문가의 시각에서 작성된 보고서이며,
생명공학정책연구센터의 공식 견해는 아닙니다.
- ◇ 본 자료는 생명공학정책연구센터 홈페이지(<http://www.bioin.or.kr>)에서 다운로드가
가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

34141 대전광역시 유성구 과학로 125(어은동) | Tel. 042-879-8386