

Decision-Making, 양자와 고전 세계 모두 필요

(2025.11.10., 양자정보연구지원센터)

- 양자와 고전 세계의 결합이 의사결정과 지능의 본질에 필수적이라는 새로운 연구 결과
 - 채프먼대학교 연구팀은 순수한 양자역학만으로는 ‘행위(agency)’를 유지할 수 없으며, 세계를 인식하고 선택을 내리는 과정에는 양자적 과정과 고전적 구조가 모두 필요함을 제시함
 - 연구는 ‘행위’를 세계 모델링, 선택 평가, 목적적 행동 능력으로 정의함(arXiv에 게재)
 - 결과적으로 “양자역학적 일관성(coherence)” 만으로는 정보 복제와 선택이 불가능해, 순수 양자 시스템은 자율적 행위 주체가 될 수 없음을 입증함
 - 연구팀은 순수 양자 시스템이 행위자가 되기 위한 세 가지 조건 제시함
 - (1) 환경의 내부 모델 구축, (2) 가능한 행동 결과 예측, (3) 최대 이익을 주는 선택의 실행
 - 그러나 양자역학에서는 ‘복제 불가 정리(no-cloning theorem)’로 인해 환경 정보를 복사하거나 병렬 검증할 수 없으며,
 - 선형적 성질 때문에 중첩된 대안을 비교·선택할 수 없어 ‘의사결정’ 자체가 불가능함을 수학적으로 확인함
 - 시뮬레이션된 ‘양자 행위 회로(quantum agency circuit)’에서도 이 한계가 검증됨
 - 순수 양자 규칙으로만 작동할 경우 얽힘(entanglement)이 누적되어 명확한 결과를 내지 못함.
 - 반면, “고전적 기준 틀(classical reference frame)”이 주어질 때만 일관된 결정이 재현, 행위는 양자-고전 경계에서만 가능함을 보여줌

- 연구는 의식과 인공지능의 물리적 기반에 대한 함의를 가짐
 - 의식은 순수한 양자 영역이 아닌, “양자 정보가 고전적 형태로 결정화되는 경계(transition zone)” 에서 발생할 가능성을 제시함
 - 뇌의 신경계는 열적 잡음과 탈상관(decoherence)을 통해 안정된 정보 구조를 형성하는데, 이는 의사결정의 물리적 조건과 일치함
- 본 연구는 양자적 · 고전적 극단 이론 모두를 비판함
 - 순수 고전 이론은 정보의 양자적 기초를 무시하며,
 - 순수 양자 이론은 복사 · 비교 · 피드백을 수행할 수 없어 인지 기능을 설명할 수 없음
 - 행위성은 양자적 탐색성과 고전적 안정성이 결합된 부분적 일관성(partial coherence) 영역에서만 나타남
- 이는 “양자 인공지능(Quantum AI)” 에도 직접적 영향을 미침.
 - 완전히 자율적인 순수 양자 AI는 물리적으로 불가능, 양자 AI 는 본질적으로 고전 제어 구조(classical controller)에 의존해야 함
 - 양자 칩이 계산을 수행하더라도 입력 설정과 결과 해석은 고전 프로세서가 담당함.
 - 즉, 양자와 고전의 혼합 구조는 임시적 기술 한계가 아니라 지능 시스템의 근본적 필요 조건임을 시사함
- 이러한 결론을 수학적 회로 분석과 정보이론적 한계에서 도출함
 - 실험이 아닌 이론적 모델이지만, 결과는 의식 · 자율성 · 자유의지 이론에 물리적 제약을 제시함
 - 순수 양자 시스템은 ‘진화(evolve)’ 는 가능하지만, ‘결정(decide)’ 은 불가능함을 증명함
 - 본 연구는 양자 하드웨어와 알고리즘의 융합을 통해, 계산 과학 과 실험 과학의 경계를 잇는 새로운 전환점을 마련함

- 향후 연구는 양자-고전 하이브리드 체계의 조절 가능한 탈상관 영역에 집중될 전망
 - 탈상관을 오류로 보지 않고, 의사결정의 ‘앵커(anchor)’로 활용하는 접근이 제안됨
 - 미래의 양자 AI는 생물학적 뇌처럼 양자적 탐색과 고전적 통합을 반복하는 구조로 발전할 가능성이 있음

- 이 연구는 또한 자유의지와 의식의 물리적 기초에 대한 철학적 논의를 새롭게 제기함
 - 선택이 탈상관을 필요로 한다면, 결정 행위는 고전 현실의 형성과 분리될 수 없음
 - 즉, ‘세계가 형성되는 과정’과 ‘의식이 선택하는 과정’이 물리적으로 동일한 현상일 수 있음을 시사함

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/10/25/new-research-shows-decision-making-needs-both-quantum-and-classical-worlds/>