

# 양자역학적 관점에서 본 P vs NP 문제: 과정 중심 중첩과 결과 중심 중첩의 구분

이건민

국립한밭대학교 (대학생)

## The P vs NP Problem from a Quantum Mechanical Perspective: Distinguishing Between Process-Centric and Outcome-Centric Superpositions

Geonmin Lee

HanbatNationalUniversity(Undergraduate student)

### 요약

본 논문은 P vs NP 문제에 대해 양자역학적 시각에서 접근하며, 특히 "과정 중심 중첩(Process-Centric Superposition)"과 "결과 중심 중첩(Outcome-Centric Superposition)"의 개념을 도입하여 문제의 본질을 재해석한다. 고전적인 NP 문제인 스도쿠와 지뢰찾기를 통해, 각각이 지닌 '중첩'의 성질을 살펴보았다. 이 분석 과정에서 문제 해결의 단계가 서로 얽혀 있는 유형(과정 중심)과, 결과만을 검증하는 방식(결과 중심)을 구분할 수 있었고, 이는 문제 성격의 본질적인 차이를 드러낸다. 특히, 양자역학에서 말하는 관측 의존성과 중첩 개념을 적용해보면, 어떤 문제들은 시작 단계부터 이미 다수의 참과 거짓이 뒤섞여 있어, P가 NP와 같지 않을 가능성을 강하게 떠올리게 한다. 반면 어떤 경우는 결과 자체가 명확하지 않거나, 하나의 결론이 여러 가능성을 포함하고 있어, 아예 증명이라는 것 자체가 성립하기 어려운 특성도 드러난다. 이런 맥락은 결국 P vs NP 문제를 단순히 계산 복잡도의 문제가 아닌, 보다 넓은 철학적·물리학적 맥락에서 조명해야 함을 시사한다.

### I. 서론

P vs NP 문제는 계산 복잡도 이론에서 오래되고 중요한 미해결 문제 중 하나로, "모든 빠르게 검증 가능한 문제는 빠르게 풀 수 있는가?"라는 질문으로 요약된다. 전통적으로 이 문제는 알고리즘의 계산 시간과 효율성의 차원에서 접근되

어 왔으며, 아직까지도 P와 NP의 관계는 수학적으로 명확히 결론 나지 않았다.

하지만 본 논문은 이 고전적인 문제를 양자역학적 관점에서 재해석하고자 한다. 양자역학에서는 하나의 상태가 여러 가능성을 동시에 가질 수 있는 중첩

(Superposition) 개념이 존재하며, 이는 우리가 알고 있는 '문제 해결의 경로' 혹은 '결과의 명확성'에 새로운 시사점을 제공한다.

특히, 우리는 문제를 \*\*과정 중심 문제(Process-Centric Problem)\*\*와 \*\*결과 중심 문제(Outcome-Centric Problem)\*\*로 분류하고, 각각에 내재된 중첩의 방식과 위치를 분석한다. 전자는 문제 해결의 경로에서 중첩이 발생하며, 후자는 결과 그 자체가 중첩되어 있는 경우에 해당한다.

스도쿠(Sudoku)와 지뢰찾기(Minesweeper)는 각각의 특성을 대표하는 예제로 선택되었다. 스도쿠는 다양한 경로를 따라 해답을 유도하는 과정 중심의 NP 문제로, 중첩은 해답으로 향하는 모든 시도에서 발생한다. 반면, 지뢰찾기는 이미 주어진 결과(지뢰의 위치)를 검증하는 과정에서 참/거짓이 중첩되는 결과 중심 문제이다.

이 논문은 양자적 중첩 개념과 컴퓨터 과학의 복잡도 이론을 연결하여, "과정의 중첩은  $P \neq NP$ 의 증거가 되며, 결과의 중첩은 증명 불가능성의 근거가 된다"는 주장을 전개한다. 이를 통해 P vs NP 문제에 대한 새로운 해석을 제안하며, 복잡도 이론을 넘은 물리학적·철학적 확장 가능성을 탐색한다.

## II. 배경지식

### 2-1. P-NP 문제 개요

P-NP 문제는 계산 복잡도 이론에서 가장 핵심적인 미해결 문제로, “모든 검증 가능한 문제는 효율적으로 해결 가능한가?”라는 질문으로 요약된다. 여기서 P는 다항 시간 내에 해를 구할 수 있는

문제 집합이며, NP는 해의 타당성을 다항 시간 내에 검증할 수 있는 문제 집합이다. 만약  $P = NP$ 가 성립한다면, 현재까지는 해를 찾기 어렵지만 검증이 쉬운 문제들조차 효율적으로 풀 수 있게 된다. 하지만 여전히 이 문제가 증명되지 않았다는 사실은, 이 두 집합 간의 관계가 단순한 계산 능력의 문제만은 아님을 시사한다.

본 논문에서는 이 문제를 단순한 수학적 계산 복잡도 관점이 아니라, 문제를 해석하고 검증하는 구조 자체, 즉 과정과 결과의 중첩이라는 개념을 도입해 분석하고자 한다.

### 2-2. 양자역학의 중첩 개념

양자역학에서 중첩(Superposition)은 관측 전까지 여러 상태가 동시에 존재하는 현상으로, 이는 물리학뿐 아니라 정보이론, 인식론, 논리학에서도 흥미로운 해석을 제공한다. 예컨대, 큐비트는 0과 1의 상태가 동시에 존재할 수 있으며, 이 병렬적 상태는 양자 컴퓨터의 근간이 된다.

이 개념을 계산 문제에 적용하면, 문제의 해 또는 해결 경로가 중첩된 상태로 존재하다가 관측(=계산, 선택)이 이루어질 때 하나의 확정된 해로 붕괴한다는 사고가 가능하다. 이는 특히 NP 문제와 같이 여러 가능한 경로 중 하나가 맞는 해인지 탐색하는 문제에서, '과정의 중첩'이라는 새로운 시각을 제공한다.

### 2-3. 과정 중심과 결과 중심의 중첩

본 논문은 NP 문제 내에서도 구조적 차이에 따라 두 가지 범주로 나눌 수 있다고 본다: \*\*과정 중심 문제(Process-centric)\*\*와 \*\*결과 중심 문제

제(Outcome-centric)\*\*이다.

과정 중심 문제는 해답을 찾기 위한 탐색 경로 자체가 중첩되어 있는 문제로, 대표적으로 스도쿠(Sudoku)와 같은 퍼즐이 해당된다. 이 경우, 경로 하나하나가 참/거짓의 판단 대상이 되며, 이러한 경로들의 중첩은 해를 찾는 동안 명확한 경로의 정의를 방해한다. 이 구조는  $P \neq NP$ 의 직관적 근거를 제공한다.

결과 중심 문제는 이미 정해진 정답의 여부만을 판단하는 문제로, 지뢰찾기(Minesweeper)와 같은 게임이 대표적이다. 이 경우, 해가 중첩되어 있는 것이 아니라, 관측 시 참/거짓이 섞인 확률적 상태로 존재하는 것이다. 이는 수학적으로 증명 불가능성 또는 무작위적 분포의 한계를 보여주는 구조이다.

이러한 이분법적 구분은 양자역학의 중첩과 붕괴 개념을 응용함으로써, P-NP 문제를 단순한 연산 효율성의 차원을 넘어서 철학적, 논리적 관점에서 재해석할 수 있게 한다.

2-4. P-NP 문제와 증명 불가능성 괴델의 불완전성 정리는 어떤 수학적 명제가 그 체계 내에서 증명될 수 없을 수 있음을 보여주었다. 이와 유사하게, P-NP 문제도 논리적·구조적으로 증명 자체가 불가능한 성질을 가질 가능성이 존재한다. 특히, 결과 중심 문제에서 해의 분포가 무작위성 또는 중첩 상태로 존재한다면, 이 해의 존재 여부는 체계 내 증명보다는 확률적 수렴이나 귀납적 관측에 의존하게 된다.

따라서, 본 논문은 다음과 같은 전제를 가진다:

과정 중심 NP 문제는 해의 경로가 중첩되며, 이는  $P \neq NP$ 의 논리적 기초가

될 수 있다.

결과 중심 NP 문제는 해 자체가 중첩되며, 이는 증명 불가능성 또는 수렴 불가능성의 문제로 귀결된다.

### III. 본론

#### 3-1. 과정 중심 문제의 중첩 구조와 $P \neq NP$

##### 3-1-1. 개념적 정의

과정 중심 문제란, 해 자체보다는 해를 찾아가는 경로가 핵심인 문제이다.

이 경로들은 탐색 중에 참/거짓의 상태가 중첩되어 있으며, 해가 나오기 전까지는 어떤 경로가 정답인지 확정할 수 없다.

이 중첩은 고전적 컴퓨터가 순차적으로 해소하기에 비효율적이며, \*\*NP 문제 특유의 '탐색 비용'\*\*을 설명해준다.

##### 3-1-2. 사례: 스도쿠 문제

스도쿠 문제의 탐색 공간은 상호의존적인 제약 조건들로 구성되어 있어, 경로를 하나씩 시도하며 실패-백트래킹을 반복하게 됨.

각 시도는 하나의 중첩 상태를 collapse(붕괴)시키는 관측에 해당.

→ 여기에 파이썬 백트래킹 코드 또는 시도 횟수별 성공 확률 시뮬레이션을 넣을 수 있음.

##### 3-1-3. 귀결

해가 중첩이 아니라 해에 도달하는 경로가 중첩인 구조는, 그 자체로  $P \neq NP$ 의 근거로 작용 가능.

증명 자체는 어렵지만, 구조적으로 해를 다항 시간 내에 찾을 수 없다는 '구조적 불균형'을 시사.

### 3-1-4. NP에서 P로의 국소적 환원 현상: 차원 축의 붕괴

일반적으로 스도쿠와 같은 과정 중심 NP 문제는  $9 \times 9$  격자와 1~9 숫자의 조합을 포함하므로, 본질적으로 3차원적 탐색 구조를 가진다.

행, 열, 그리고 셀에 채워질 수 있는 숫자라는 세 가지 축이 존재.

그러나 만일 문제의 모든 경로가 참(유효한 해)인 경우, 이 탐색 구조는 무의미해진다.

즉, 어느 숫자를 어디에 넣든 간섭이 없고 정답이 되는 상태라면, 탐색의 필요가 제거된다.

이는 중첩이 붕괴되기 전에 모든 경로가 참으로 수렴된 경우로, 탐색 경로라는 '차원 축'이 하나 사라진 상태이다.

예시:

$9 \times 9$  스도쿠에서 어떤 칸에 어떤 숫자를 넣어도 규칙을 위반하지 않는 상태라면, 그 칸은 더 이상 탐색 대상이 아니다.

이러한 조건이 모든 칸에 해당된다면, 스도쿠 전체는 탐색이 아니라 순차적인 배치 문제가 되며, 이는 P 문제로 환원 가능하다.

귀결:

이 현상은  $P \neq NP$  주장과 충돌하지 않으며, 오히려 NP 내 문제 일부가 P로 환원될 수 있는 특수한 구조를 시사한다.

이는 NP 전체가 아닌, NP의 어떤 구성들이 특정 조건에서 P로 축소될 수 있다는 가능성을 제시하며,

이러한 경우 \*\*계산 복잡도의 차원이 '압축'\*\*되었다고 해석할 수 있다.

### 3-2. 결과 중심 문제의 중첩

### 구조와 증명 불가능성

#### 3-2-1. 개념적 정의

결과 중심 문제는 해를 구하는 과정보다 주어진 상태에서 해가 존재하는지의 여부만 확인하는 문제.

이 경우 문제의 해는 여러 개의 가능성 중 하나로 중첩된 상태에 놓인다.

관측이 이루어져야만 해의 유무가 드러나므로, 수학적으로 참/거짓의 분포가 수렴하지 않음.

#### 3-2-2. 사례: 지뢰찾기 문제

특정 좌표에서 지뢰의 존재 여부는 확률적으로 결정되며, 게임 중 후반으로 갈수록 논리적으로는 알 수 없는 확률 분포 상태에 도달하게 됨.

이전에 만든 '고차원 배열 분포 수렴 시뮬레이션 코드'를 삽입하여, 관측 횟수에 따라 참/거짓이 수렴하지 않음을 보일 수 있음.

#### 3-2-3. 귀결

이 경우 문제의 해가 관측되기 전까지 정의되지 않기 때문에, 증명 가능성 자체가 성립하지 않을 수 있음.

이는 괴델의 불완전성처럼, 논리적 체계 외부에서의 관측이 없으면 참/거짓 판단이 불가능한 상태로 볼 수 있다.

### 3-3. 통합적 시사점

#### 3-3-1. 중첩 구조와 계산 복잡도의 재해석

과정 중심 중첩  $\rightarrow$  복잡도 차이에 대한 실체적 근거 제공 ( $P \neq NP$  가능성)

결과 중심 중첩  $\rightarrow$  해 자체의 존재에 대한 논리적 불확정성 (증명 불가능성)

#### 3-3-2. 철학적/이론적 귀결

P-NP 문제는 이산 수학적 명제 이상의



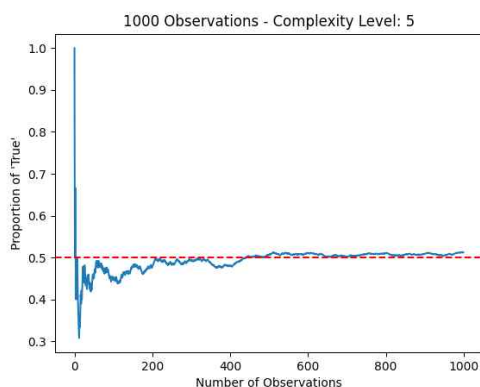
이는 과정 중심 문제의 특성상, 중첩된 상태가 쉽게 해소되지 않으며, 문제 해결이 다항 시간 내에 결정되지 않을 수 있음을 보여주고,  $P \neq NP$ 임을 지지하는 실험적 정량 근거가 된다.

만일 모두 참인 경우 NP문제가 P문제로 환원이 되며 차원의 축이 하나 줄어 든다. 그 이유는 다음과 같다.

9 x 9 규격의 스도쿠의 경우 2차원에서 1~9까지의 숫자를 넣을 수 있는 경우의 하나의 축을 더해 3 차원이다. 그러나 정말 낮은 확률로 모든 경우가 참인 경우를 찾는다면, 그 경우 NP문제가 P로 환원이 되며, 모든칸의 참인 경우를 찾았으니 1~9까지가 아닌 하나의 숫자로 바뀌기에 차원의 축이 하나 줄어들어 2 차원의 문제가 된다.

#### 4-3. 결과 중심 문제 실험

지뢰찾기와 같은 결과 중심형 문제는 최종적인 정답 여부가 단 한 번의 검증(혹은 관측)만으로 결정된다. 이를 실험적으로 해석해보면, 다음과 같은 구조가 나타난다:



전체 경우의 수는 총  $N$ 개이며, 각각은 독립적인  $k$ 차원 분기 구조를 가진다. 이러한 조건 아래에서, 우리가 특정 해를 확인할 수 있는 중첩 상태의 확률은 다

음 식과 같이 정의된다:

$$P_{\text{중첩}} = 1 - 1/N^k$$

이 확률은 결국 해가 존재하더라도, 그 해를 증명하기 위한 탐색은 본질적으로 중첩 상태에서 시작됨을 의미한다. 다시 말해, 결과 중심 문제조차도 해답에 도달하기 전까지는 참과 거짓이 공존하는 불확정성 위에 놓여 있다.

결과적으로,  $N$ 이 무한대에 가까워질수록 중첩 확률은 1에 수렴하며, 이는 '정답이 있음에도 불구하고, 그것을 증명할 수 없는' 상황이 더 자주 나타날 수 있음을 시사한다.

#### 4-4. 무한 확장에서의 중첩 수렴과 계산 불가능성의 비교 고찰

만일 문제의 크기  $N$ 이 무한대로 수렴할 때, 과정 중심적 관점에서의 중첩 상태 역시 증명 불가능성으로 귀결될 수 있다. 이 가능성은 해당 논문에서 계속 얘기한 지뢰찾기와 스도쿠로 얘기해볼 수 있다.

지뢰찾기의 경우  $N$ 이 무한대로 갈수록 중첩확률이 1에 수렴 하게 된다. 즉 참과 거짓이 공존하는 상태가 되어버린다. 즉 증명 불가능한 상태임이 유지된다.

반면 스도쿠의 경우,  $N \times N$  규격이 무한히 커질수록, 문제는 해결 가능한 힌트칸의 수를 초과한 복잡성을 가지게 된다. 이 경우, 해가 존재하는지 여부조차 판단하기 어려운 "풀 수 없는 스도쿠"로 수렴하게 된다. 힌트가 무한히 주어지지 않는 이상, 무한히 확장된 스도쿠의 해는 계산 가능한 형태로 접근할 수 없으며, 이는 결국 문제 구조 자체가 계산 가능성 밖에 존재하게 됨을 뜻한다.

결과적으로,  $N \rightarrow \infty$ 라는 이상적인 확장 아래에서조차, 일부 문제는 참/거짓 여부를 계산하는 과정 자체가 의미를 잃고, 결국 수학적으로 증명 불가능한 구조에 다다를 수 있다. 이는  $P \neq NP$  문제에 대한 귀납적 논증의 철학적 기반으로 기능할 수 있으며, 우리가 다루는 문제의 본질이 무작정 계산 자원을 늘리는 방식만으로는 풀리지 않음을 시사한다.

#### V. 결론

본 논문에서는 P vs NP 문제를 양자역학적 관점에서 재해석하며, 과정 중심 중첩과 결과 중심 중첩이라는 개념을 도입하여 문제의 본질을 새롭게 조명하였다. 스도쿠와 지뢰찾기와 같은 고전적인 NP 문제를 통해, 각각의 문제 유형에 따른 중첩의 특성을 분석하고, 이를 통해 P vs NP 문제의 구조적 차이를 명확히 구분할 수 있었다.

우리는 과정 중심 문제에서 중첩이 경로 단계에서 발생함을 보였고, 이는  $P \neq NP$  문제의 직관적 근거로 작용할 수 있음을 제시하였다. 스도쿠 문제처럼 탐색 과정에서 다양한 참/거짓 경로가 중첩된 상태에서 해결이 이루어지는 구조는, 이 문제들이 다항 시간 내에 해결되기 어려운 이유를 설명한다. 이러한 관점에서, P vs NP 문제는 단순히 계산 시간이나 알고리즘 효율성의 문제를 넘어서, 문제 해결 과정의 복잡성에 기인한 구조적 불균형을 내포하고 있다고 볼 수 있다.

반면, 결과 중심 문제에서는 해의 존재 여부가 중첩 상태로 존재하며, 이는 결과가 확정되지 않은 상태에서 참/거짓이 섞인 확률적 분포로 나타난다. 지뢰찾기와 같은 결과 중심 문제는, 문제의 해가 중첩 상태로 존재하기 때문에 수학적으로 증명이 불가능한 특성을 가질 수 있음을 보여주었다. 이러한 결과 중심 문제는 괴델의 불완전성 정리와 유사하게, 논리적 체계 내에서 증명이 불가능한 성질을 지닐 수 있다는 점을 강조한다.

본 연구는 P vs NP 문제를 단순히 수학적 미해결 문제로 한정짓지 않고, 그 논리적·철학적·물리학적 측면에서 새로운 시각을 제공하였다. 특히, 양자역학의 중첩 개념을 활용하여, NP 문제의 내재된 복잡성과 증명 불가능성의 본질을 탐구함으로써, P vs NP 문제의 깊은 구조적 의미를 재조명하였다.

이 글에서는 P vs NP 문제를 바라보는 색다른 시선을 제안해보았다. 전통적인 복잡도 이론의 틀에서 벗어나, 양자역학적 사고방식과 철학적 관점을 더해봄으로써, 앞으로 이 문제를 다루는 데에 새로운 이론적 기초가 될 수 있기를 바란다.

P vs NP는 단순한 계산 문제에 그치지 않는다. 이 문제는 수학적 한계를 넘어,

존재에 대한 물음과 인식의 구조까지 함께 묻고 있다. 따라서 앞으로의 연구는 계산 이론뿐 아니라 철학, 물리학, 심지어 인문학적 사고까지 포괄하는 방식으로 확장되어야 할지도 모른다. 그 가능성을 조금이라도 열어두고자, 이 시도를 남긴다.