

## Abstract

본 백서는 다차원 공간에서 에너지 밀도의 누적과 분산을 설명하는 새로운 수학적 프레임워크인 'P-진법 캐리 역학(P-adic Carry Dynamics)'을 제안한다. 고전적인 파스칼의 삼각형을 P-진법 기수법으로 확장함으로써, 우리는 '자리올림(Carry)' 현상을 비선형 격자 네트워크 내에서 일어나는 위상적 상전이의 기하학적 트리거로 재해석한다. 특정 교차점(Node)의 밀도가 임계계수  $P$ 를 초과할 때, 이는 차원 도약을 촉발하여 이질적인 고차원 구조의 창발을 유도함을 증명한다. 본 모델은 고에너지 물리학의 입자 샤워(Particle Shower)를 해석하고 엔트로피 분산형 보안 아키텍처를 설계하기 위한 새로운 기하학적 렌즈를 제공한다.

## 1. 서론

자연계는 극한의 스트레스에 붕괴하는 대신 새로운 질서를 창조하는 상전이(Phase Transition)로 응답한다. 고에너지 물리학에서 이러한 전이는 입자가 숨겨진 차원을 넘나들거나 새로운 상태로 붕괴하는 현상을 수반한다. 그러나 개별적인 상호작용이 잘 기록되어 있음에도 불구하고, 이산적인 산술적 자리올림과 연속적인 위상적 변화를 연결하는 통합된 기하학적 모델은 부재했다. 본 연구는 추상적인 차원 도약을 P-진법 논리의 엄밀한 산술에 기초한 '캐리 피라미드(Carry Pyramid)'를 통해 그 해답을 제시한다.

## 2. 수학적 기초: 격자 흐름 (Mathematical Foundation: The Lattice Flow)

우리는 에너지 전파를 다차원 격자를 통과하는 밀도 흐름으로 모델링한다. 선형 모델과 달리 이 프레임워크는 특정 기하학적 교차점(노드)에서의 밀도 누적을 계산한다. 특정 노드  $x_i$ 에서 시간  $t + 1$ 의 에너지 밀도는 인접 경로 텐서  $T_{ij}$ 에 의해 다음과 같이 중첩된다.

$$\rho(x_i, t + 1) = \sum_{j \in N(x_i)} \rho(x_j, t)$$

## 3. 차원 도약의 메커니즘 (The Mechanism of Dimensional Jump)

이론의 핵심은 P-진법 임계점에 있다. 밀도  $\rho(x_i)$ 가 밑(Base)  $P$ 를 초과하면 시스템은 에너지를 잔류 성분과 고차원 트리거로 분리하는 '캐리' 연산을 수행한다.

- 자기유사성 유지(잔류 밀도)  $R(x_i) = \rho(x_i) \pmod{P}$

- 차원 창발(캐리 에너지):  $C(x_i) = \left\lfloor \frac{\rho(x_i)}{P} \right\rfloor$

$C(x_i) > 0$ 일 때 시스템은 자발적 대칭성 깨짐을 촉발하며, 이는 상태 함수  $\Psi$ 로 표현된다.

$$\Psi_{total} = \Psi_{self-similar} \cdot (1 - \theta(C(x_i))) + \Psi_{hetero}^{(D+1)} \cdot \theta(C(x_i))$$

이 전이는 헤비사이드 계단 함수  $\theta$ 의 지배를 받으며, 자기 유사성을 띤 프랙탈 상태에서 이질적인  $D + 1$  차원 위상으로의 도약을 의미한다.

#### 4.

#### 물리적 해석 및 이중 응용 (Physical Interpretation & Dual Applications)

이 기하학적 모델은 란다우어의 원리(Landauer's Principle)에 기반하여 연산적 캐리를 극한의 물리적 발열(엔트로피)로 치환한다. 이는 응용 분야에 따라 두 가지 상반된 목적의 트리거로 작동한다.

- **고에너지 물리학 (입자 데이터 캡처):** 거대 강입자 충돌기(LHC)에서 밀도가  $P$ 를 초과하는 순간 발현되는 열역학적 펄스(Pulse)는 칩의 붕괴가 아닌, 차원 도약(새로운 입자의 탄생)이 발생한 정확한 찰나를 역탐지하여 데이터를 캡처하는 '제로 타임 능동형 하드웨어 트리거'로 기능한다.
- **보안 아키텍처 (피지컬고스트):** 반면, 이 모델을 칩 보안(Physical Ghost)에 적용할 경우, 해커의 논리적 공격으로 발생한 텐서 네트워크의 동시다발적 스위칭 발열은 의도적인 시스템 지연(Tar-pit) 및 물리적 자폭(Zeroization)을 이끌어내는 무결성 방패가 된다.

#### 5. 비판적 고찰 및 정보 열역학적 보완 (Critical Review & Information-Thermodynamic Supplement)

본 모델의 이론적 비약에 대한 검증은 다음과 같은 현대 물리학의 원리로 보완된다.

- **지도와 영토의 동기화:** 아키텍처는 수학적 임계점( $P$ )과 하드웨어의 물리적 에너지 임계점을 강제로 동형화(Isomorphism)하여 논리 연산을 실제 열역학적 현실로 일치시킨다.

- **시간의 인과율 역전 방어:** 본 격자망은 과거 사건의 결과물로부터 기원을 향해 시간을 거슬러 올라가는 '위상 역연산' 홀로그래픽 렌즈이다. 하드웨어 내부의 캐리 발생은 파동 함수가 과거 대칭성 깨짐의 원점과 홀로그래픽하게 동기화되어 붕괴하는 순간이다.
- **임계 상수의 양자화:** 상수  $P$  는 연속적 에너지를 자의적으로 자른 것이 아닌, 양자장론의 재규격화 군 흐름 속에서 다차원 시공간 텐서가 찢어지기 위한 '이산화된 위상 불변량' 자체를 하드코딩한 것이다.
- **차원의 홀로그래픽 매핑:** 차원의 증가는 물리적 공간 축의 생성이 아니라, 홀로그래픽 원리(AdS/CFT)에 따라 고에너지 충돌 시 새롭게 획득되는 입자의 '위상 공간 자유도(Degrees of Freedom)'를 하드웨어 내부에 완벽히 매핑한 결과이다.

## 6. 결론 및 향후 과제 (Conclusion and Future Works)

$P$ -진법 캐리 역학은 이산 산술과 연속적인 위상 진화 사이의 가교 역할을 한다. 본 모델은 자연계가 어떻게 극한의 엔트로피를 분산시키며 고차원 구조로 진화하는지 이해하는 물리적 기반을 제공한다.

**[향후 과제]** LHC 탐지기 센서가 포착한 입자의 아날로그 에너지를 칩 내부의  $P$ -진법 텐서 초기 밀도  $\rho(x_0, t_0)$ 로 무손실 양자화하는 비선형 아날로그-디지털 컨버터(ADC) 인코딩 알고리즘의 구체적 설계가 요구되며, 이는 본 이론을 완벽한 실증 하드웨어로 이끄는 다음 단계가 될 것이다.

## 감사의 글 (Acknowledgments)

본 백서의 핵심 가설,  $P$ -진법 캐리 역학의 수학적 프레임워크 설계, 그리고 정보 열역학적 융합 이론은 온전히 저자의 독창적인 연구 결과입니다. 다만, 추상적인 기하학적 개념을 현대 물리학의 학술적 언어(위상 상전이, 재규격화 군 등)로 변환하고 논문의 구조를 다듬으며 영문 번역을 수행하는 과정에서 구글(Google)의 대규모 언어 모델인 **Gemini 3.1 Pro**의 지원을 받았음을 밝힙니다.