RESEARCH NOTE 01 · MATHEMATICS & AI

리만 가설: AI 형식 증명과 검증의 의미

167년 난제 리만 가설의 수학적 정의, 2026년 11월 Levent Alpöge·Claude의 증명 발표, Lean·Mathlib 검증 및 Clay 공식 인정 절차를 구분해 설명합니다.

초판 2026.11.22 · 원문 대조·내용 개정 2026.11.23 (KST)

원문 대조 범위 · 2026.11.23

월간 통계 기준월은 비적용입니다. 원문 발표·갱신일과 이번 수집·확인일은 출처 기록에서 구분합니다. 이 페이지의 연구 과제는 앞으로 수행할 계획이며, 수행 증거가 있는 결과와 별도로 읽어 주세요.

1. 무엇을 증명하려는가

1859년 베른하르트 리만이 제기한 명제는 리만 제타함수의 **모든 비자명한 영점(non-trivial zero)**에 관한 것입니다. 제타함수는 처음에는 복소수 s의 실수부가 1보다 큰 범위에서 급수로 정의되고, 이후 해석적 연장으로 더 넓은 영역에서 다뤄집니다.

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^{s} \quad (\mathrm{Re}(s) > 1)$$

$$\zeta(\rho) = 0,\ 0 < \mathrm{Re}(\rho) < 1 \quad \Longrightarrow \quad \mathrm{Re}(\rho) = 1/2$$

이는 음의 짝수에 있는 자명한 영점을 포함한 모든 영점이 1/2선에 있다는 주장이 아닙니다. 위 명제는 **비자명한 영점**에 한정됩니다. [1]

NUMBER THEORY

왜 소수 분포와 연결되는가

오일러 곱과 제타함수 영점의 관계를 통해 소수 개수의 평균적 증가뿐 아니라 평균에서 얼마나 벗어나는지도 설명합니다. [1]

CONSEQUENCE

오차항을 구체화

리만 가설은 소수계수함수 π(x)에 관해 π(x) = Li(x) + O(√x log x)라는 정밀한 오차항과 동치로 알려져 있습니다. 해당 표기는 점근적 상한을 의미하며, 모든 x에서 오차가 정확히 그 값이라는 뜻은 아닙니다. Clay 제공 Bombieri 공식 설명 4쪽의 동치 서술을 대조했습니다. [7]

2. 발표·외부 검증·공식 인정은 각각 어디까지인가

11.20 · 저자 발표

Alpöge + Claude

저자 발표문은 Claude와의 협업으로 증명을 발견하고 형식화했다고 설명합니다. Lean·Mathlib 공동 성명은 코드 규모를 약 1,700만 줄로 보고했습니다. 이 규모는 외부 발표값이며 이번 점검에서 코드를 전수 계수한 값은 아닙니다. [2][5]

11.21 · 공동 성명

Lean·Mathlib 공동체의 인증

공동체는 정의 일치·컴파일·대상 정리 비교·독립 검사기를 근거로 긍정적 인증을 발표했습니다. 이는 외부 공동 성명의 내용이며 STARGATE의 자체 Lean 실행 결과와 구분합니다. [2]

11.23 · 공식 목록 조회

Clay 목록은 Unsolved

이번 조회에서 Clay의 공식 목록은 Unsolved였습니다. 적격 매체 출판·출판 후 최소 2년·수학계의 일반 수용은 상금 심사의 별도 요건입니다. 코드 발표일이 곧 적격 출판일이라는 판단이나 Clay의 거절을 뜻하지 않습니다. [1][3]

공개 검사 기록에서 확인한 범위

MIT의 Andrew Sutherland가 공개한 검증 페이지의 자체 갱신 표기는 **2026-11-22 16:20 UTC**입니다. 다음 표는 이 판본과 연결된 로그의 내용이며, 이후 검사 완료를 추정하지 않습니다. [4]

항목	공개 기록의 결과	해석 범위
도구·정의 판본	Lean v4.33.1 · Mathlib v4.33.1	고정 판본의 RiemannHypothesis 정의를 대조했습니다. 움직이는 최신 문서와 구분합니다. [6]
대상 정리의 공리	5개 정리 모두 propext · Classical.choice · Quot.sound	표준 공리 3개에 의존합니다. "공리가 전혀 없다"는 의미가 아니며, 환경 전체의 공리 목록과 정리 의존성을 구분합니다.
독립 검사·정리 비교	nanoda·con-leche 검사, con-leche·con-ron 정리 비교의 공개 로그 종료코드 0	비교 로그는 대상 정리 5개를 확인합니다. 이번 회차는 로그 원문을 읽었으며 검사기를 재실행하지 않았습니다.
아직 실행 중인 단계	원시 export에 대한 Lean default/paranoid kernel 및 lake comparator의 커널 단계	모듈별 커널 검사 통과와 원시 export 재검사는 별개의 실행입니다. 페이지에 running으로 남은 단계를 완료로 쓰지 않습니다.
구버전 검사기	v4.36.0 번들 con-leche·con-ron 일부는 미지원 형식으로 exit 2	기록은 증명 거절과 미지원 종료를 구분합니다. 새 master 판본의 통과 결과와 혼합하지 않습니다.
일반화 범위	Dirichlet L-함수에 관한 GRH 정리	일반 Dedekind·Hecke·automorphic L-함수 전체의 정리로 확대하지 않습니다.

이번 점검은 약 61.6GB 원시 export의 자체 해시 재계산, 전체 Lean 빌드 또는 독립 커널 재실행을 수행하지 않았습니다. 외부 검증 기록이 긍정적이라는 사실과 자체 재현 미완료를 함께 표시하며, 원장은 needs_review로 유지합니다.

> **"수학의 한계를 넓히는 것은 대담한 추측만이 아니라, 누구나 재검증할 수 있는 증명이다."**
> — STARGATE EDU 연구 격언

3. STARGATE 연구 과제

1. **정리·정의 확인:** Mathlib의 `RiemannHypothesis`와 검증 대상 정리가 일치하는지 버전 및 커밋 단위로 추적합니다.
2. **독립 재현:** Lean 도구 버전, Mathlib 의존성, 표준 공리 3개 이외의 의존성 여부, 검사기 실행 기록을 재현 가능한 문서로 정리합니다.
3. **수학적 해설:** 형식 증명의 논리적 핵심을 논문 수준의 인간 친화적 단계로 압축한 후 기존 해석적 수론 이론과 비교합니다.
4. **교육 모듈:** 제타함수, 복소평면, 비자명한 영점의 정의를 수학올림피아드 심화 학습과 연결하되, 수치적 관측이 일반 증명이 아니라는 점을 명시합니다.

본 페이지는 독자적 증명이나 자체 검증 성공을 주장하지 않습니다. 증명 발표와 외부 검증 상태를 인용하는 연구 안내입니다. 독립 재현과 수학적 해설은 후속 연구 과제입니다.

4. 공식 출처 및 검증 자료

[1] Clay Mathematics Institute — Riemann Hypothesis (공식 상태 및 문제 정의)

[2] Lean·Mathlib 공동체 — Lean verification of the Riemann Hypothesis (2026.11.21)

[3] Clay Mathematics Institute — Millennium Prize Problems Rules

[4] MIT 수학 연구자 정리 — Proof verification overview

[5] Levent Alpöge — 저자 발표문 (1~4쪽)

[6] Mathlib v4.33.1 — 고정 판본 RiemannHypothesis 정의

[7] Clay 제공 E. Bombieri — 공식 문제 설명 1·4쪽