리서치 노트 · 공개판

2026 · 11



유용한 작업 증명 · 크립토 × 실리콘

합의가 된 연산

2026년의 AI × 크립토 × 칩: Pearl의 유용한 작업 증명에서 출발하다

Pearl · 유용한 작업 · DePIN과 에이전트 · ASIC 경제학 · 공정 노드 · 단계별 예산

결론

Pearl은 행렬 곱셈으로 블록체인을 보호할 수 있음을 증명했지만, 그 작업이 유용하다는 것은 아직 증명하지 못했다. AI × 크립토 전반에서 유료 수요는 추론, 데이터, 프라이버시에 있으며, ASIC은 보상 풀이 크고 규칙이 안정적이며 칩에 두 번째 시장이 있을 때만 수익을 낸다.

탄 슈아이

기술자이자 창업자 · AI 연구·개발자

tanshuai.com · i@tanshuai.com

2026년 11월 13일 기준 데이터

금액은 미국 달러 기준

목차

목차



◆ **요약** 04
정리는 성립하지만, 인센티브는 성립하지 않는다

01 **범위와 방법** 07
범위, 방법, 네 가지 시험

02 **Pearl · 메커니즘** 08
Pearl: 합의로서의 행렬 곱셈

03 **Pearl · 경제학** 10
Pearl: 규모, 발행, 그리고 유용성 격차

04 **Pearl · 규칙** 12
Pearl: 규칙 위험, 수치 형식, 거버넌스

05 **유용한 작업 체인** 13
유용한 작업 체인: 행렬도, 영지식도 ASIC을 막지 못한다

06 **더 넓은 지형** 15
AI × 크립토의 나머지: 실재하지만 작은 수요, 그리고 지분으로 옮겨가는 가치

07 **ASIC 경제학** 17
ASIC 문제: 공식 하나, 잣대 셋

08 **칩별 분석** 20
다섯 가지 칩, 다섯 가지 답

09 **공정 노드** 23
공정 노드: 가장 큰 수명 주기 비용이 고르게 하라

10 **단계별 예산** 26
모델에서 실리콘까지: 첫 칩의 단계별 예산

11 **기회** 27
기회는 어디에 있고, 나는 무엇을 하겠는가

12 **이정표** 29
지켜볼 것: 2026년 11월부터 2027년까지

13 **던져야 할 질문** 30
묻지 않았지만 물었어야 할 질문

◆ **저자 소개** 31
탄 슈아이

◆ **출처** 32

그림 목록

그림



그림 01	여섯 부문의 AI × 크립토: 유료 수요는 어디에 있나	06
그림 02	Pearl의 정수 연산에서 GPU는 같은 에너지 상한에 걸린다	09
그림 03	Pearl의 첫 6개월: 해시레이트는 가격을 따르고, 규칙은 계속 바뀐다	11
그림 04	보조금 배수: 네트워크가 외부 수익의 몇 배를 지급하나	14
그림 05	효율이 더는 돈이 되지 않는 이유: ASIC은 수익의 최대 1 − 1/k만 남긴다	18
그림 06	대부분의 보상 풀은 칩 하나의 설계 예산보다 작다	19
그림 07	다섯 가지 칩, 다섯 가지 답	22
그림 08	최첨단 웨이퍼는 성숙 공정의 열 배다	24
그림 09	마스크보다 증거를 먼저 사라: 첫 칩의 단계별 예산	26

본문의 태그

추정	인용한 데이터에서 저자가 계산하거나 추론한 값
업체 주장	제품을 판매하는 회사가 발표한 값으로, 독립적으로 검증되지 않음
분석	증거에 대한 저자의 해석

이 문서는 영어판의 번역본이며, 두 판의 내용이 다를 경우 영어판이 우선한다.

2026년 11월 13일 기준 데이터 · 금액은 미국 달러 기준

요약



정리는 성립하지만, 인센티브는 성립하지 않는다

결론

Pearl은 '합의가 된 연산'이 공학적으로 작동한다는 것을 보여 주었지만, 그것이 유용하다는 것은 아직 보여 주지 못했다.

≈90 EH/s
2026년 11월 13일 Pearl 네트워크 규모. 1 H는 INT7 곱셈-누산 1회

≈1%
실제 AI 작업을 담은 Pearl 블록의 비율 (Blockworks, 2026년 10월 28일)

≈$70M
Bittensor의 검증 가능한 연간 외부 수익. 발행량은 3억 달러 이상

175–180×
2025년 3분기 Aleo의 수수료 대비 증명자 보상

R × (1 – 1/k)
한계 채굴자보다 k배 저렴한 ASIC의 이익 상한 추정

≈$1.5M
모델, FPGA, MPW를 거쳐 N7 실측 실리콘에 이르는 비용. 마스크 세트 ≈$3.5M 이전 추정

Pearl

2026년 11월 13일 Pearl 네트워크는 약 90 EH/s로 돌아갔다. 합의 코드에서 '해시' 하나는 정수 곱셈-누산 1회이므로, 이 네트워크는 H100 약 122,000장의 정수 처리량과 같다. 그러나 실제 AI 작업을 담은 블록은 약 1%뿐이며, 유일하게 공개된 추론 파트너십은 이제 해당 제공업체의 서버리스 API에서 제공되지 않는다. 원인은 암호학이 아니라 경제학에 있다. 추론을 서비스하면서 채굴하는 GPU는 전용 채굴기 해시레이트의 약 1%에서 27%만 벌기 때문에, 합리적인 채굴자는 무작위 행렬을 곱한다.

유료 수요

AI × 크립토 전반에서 검증 가능한 유료 수요는 세 곳에서 나타난다. 추론 판매, 데이터 판매, 프라이버시 판매다. Bittensor의 검증 가능한 외부 수익은 연 약 7,000만 달러이며, 그중 약 5분의 4가 컴퓨팅·인프라 서브넷에서 나온다. Grass는 2026년 상반기 데이터 수익을 1,700만 달러로 보고했다. 신뢰 실행 환경(TEE)에서의 기밀 추론은 실서비스 중이다. 반면 AI 에이전트가 실제로 개시한 결제는 월 약 5,000–11,000달러에 그치고, zkML과 탈중앙화 학습에는 아직 공개된 유료 수요가 없다.

보조금과 가치

보조금 배수는 가장 정직한 건강 검진이다. Aleo의 증명자 보상은 수수료의 약 175–180배였고, Bittensor의 발행량은 검증 가능한 수익의 약 4–11배이며, Render의 시가총액은 온체인 수수료의 약 360배다. Pearl의 연 약 4억 6,000만 달러 채굴 수입은 대부분 블록 보조금으로, 유료 AI 수요와는 거의 연결되어 있지 않다. 보조금은 콜드 스타트의 연료이지 사업 모델이 아니다. 한편 가치는 토큰에서 지분으로 옮겨가고 있다. 중앙화 인프라와 크립토 네이티브 유통을 쓰는 지분 기업 네 곳의 가치는 약 85억 달러로, 프로토콜·애플리케이션 계층 AI 토큰을 모두 합친 것과 비슷하다.

ASIC

칩의 경우 ASIC의 이익 상한은 대략 연산 단위당 수익에 (1 – 1/k)를 곱한 값이다. 여기서 k는 한계 하드웨어보다 몇 배 저렴한가를 뜻한다. 이 항이 오목하기 때문에 k = 5–10을 넘는 효율은 이익을 거의 늘리지 않는다. 결과를 정하는 것은 보상 풀의 크기, 규칙이 얼마나 오래 유지되는가, 그리고 칩에 두 번째 시장이 있는가다. 칩 유형별 내 답은 이렇다. 지금 Pearl 전용 INT7 칩을 테이프아웃하지 말고, 대신 채굴도 되는 추론 우선 가속기에

걸어라. 신규 진입자로서 범용 판매용 비트코인 채굴기 시장에는 들어가지 마라. 소규모 팀이라면 독자 학습 칩을 만들지 마라. 추론 칩은 고객과 계약했을 때 만들어라. ZK 가속기로는 헤지하고, FHE에는 일찍 자리를 잡아라.

노드와 예산

공정 노드는 칩의 수명 주기 비용 중 가장 큰 항목으로 골라야 한다. 24시간 도는 칩이라면 에너지, 학습 칩이라면 패키징과 메모리, 추론 칩이라면 SRAM이냐 HBM이냐의 결정이다. 그리고 첫 칩은 모델, FPGA, 멀티 프로젝트 웨이퍼, 그다음에야 마스크 세트라는 단계를 밟아 사야 한다. 그래야 프로토콜이 바뀌어도 그 비용이 테이프아웃이 아니라 시제품 값에 그친다. 기회는 분야가 교차하는 곳에 있다. 크립토는 첫 고객, AI는 두 번째 시장이다.

질문	판단	핵심 수치(출처는 각 장에)
① **Pearl은 작동하는가, 그 작업은 유용한가?**	작동한다. 대규모 행렬 곱셈으로 보호되는 블록체인이다. 아직 유용하지는 않다. 채굴은 거의 모두 무작위 행렬에서 이뤄진다	2026년 11월 13일 약 90 EH/s; 1 H = INT7 곱셈-누산 1회; AI 작업을 담은 블록 약 1%
② **AI × 크립토의 실제 유료 수요는 어디에 있나?**	추론, 데이터, 프라이버시. 에이전트 결제, zkML, 탈중앙화 학습은 아직 수요 이전 단계다	Bittensor 검증 가능한 수익 연 약 7,000만 달러; Grass 2026년 상반기 1,700만 달러; 에이전트 결제 월 약 5,000–11,000달러
③ **ASIC은 만들 가치가 있나?**	보상 풀이 크고, 규칙이 안정적이며, 칩에 두 번째 시장이 있을 때만. 지금 세 가지를 모두 갖춘 네트워크는 없다	이익 상한 ≈ R × (1 − 1/k); 비트코인 채굴자 수익 연 약 115억 달러, Pearl 약 4.6억–4.9억 달러, Kaspa 약 1,800만 달러
④ **소규모 팀은 어떤 칩을 만들어야 하나?**	채굴도 되는 추론 우선 가속기, 계약된 고객을 위한 추론 칩, 초기 FHE 작업. 범용 판매용 비트코인 채굴기나 학습 칩은 아니다	Kaspa 최고 ASIC의 하루 수입 0.86달러; 3/2 nm 설계 예산 6,000만–4억 달러 이상
⑤ **어떤 공정 노드인가?**	가장 큰 수명 주기 비용이 정한다. 에너지, 패키징과 메모리, 또는 메모리 아키텍처	TSMC N2 웨이퍼당 약 30,000달러 대 N28 약 3,000달러; HBM과 CoWoS가 H100 비용의 약 63%
⑥ **첫 칩에는 얼마가 들고, 어떻게 사야 하나?**	네 단계로: 모델, FPGA, 멀티 프로젝트 웨이퍼, 그다음 마스크. 규칙이나 구매자가 정해지지 않았다면 마스크 전에 멈춘다	상업용 MPW 슬롯 50,000–500,000달러; N7 마스크 약 350만 달러; 7/6 nm 설계 예산 1,500만–1억 달러

그림 01 **여섯 부문의 AI × 크립토: 유료 수요는 어디에 있나**

검증 가능한 유료 수요와 보조금·가치평가 신호, 2026년 11월

유용한 작업 체인 01

실재하나 작음

연 ≈$70M

Bittensor의 검증 가능한 외부 수익

신호: 발행량은 수익의 4–11×; Pearl AI 블록 ≈1%

메커니즘은 작동; 유용성에는 지불자가 필요

탈중앙화 컴퓨팅 02

실재하나 작음

연 $2.35M

Render의 온체인 수수료, 검증 가능한 최대치

신호: 시가총액 ≈ 수수료의 360×

대부분 범용 추론의 재판매

학습과 추론 03

이익은 지분으로

연 $100M+

중앙화 GPU를 쓰는 지분 회사 Prime Intellect

신호: Gensyn 학습 메인넷 미가동

진전은 실재; 이익은 지분으로

검증 가능한 AI 04

초기

398

Phala TEE 클라우드 유료 사용자, 2025년 말

신호: 공개된 유료 zkML 없음

TEE는 실서비스 중; zkML은 초기

에이전트 결제 05

수요 이전

월 $5–11K

에이전트가 실제로 개시한 x402 결제

신호: ≈2억 건 거래, 대부분 신호용

레일이 먼저, 수요는 아직

데이터 네트워크 06

실제 구매자

$17M

Grass 데이터 수익, 2026년 상반기(자체 보고)

신호: 시가총액 ≈ 연환산 수익의 10×

실제 구매자가 있는 드문 부문

출처: DefiLlama, SubConnect(hoge.gg 경유), TRM Labs, Phala, Dealroom, SiliconANGLE, CoinGecko, Blockworks; 저자 종합.

01 범위, 방법, 네 가지 시험

범위와 방법

왜 이 보고서를, 왜 지금

2026년 4월, 새 블록체인 Pearl이 오래된 아이디어를 실서비스에 올렸다. 채굴자가 해싱 대신 AI가 돌아가는 바탕인 행렬 곱셈을 하면서 블록을 놓고 경쟁하게 하자는 것이다. 6개월 만에 네트워크는 약 90 EH/s에, 토큰은 시가총액 약 5억 달러에 이르렀다. 같은 시기에 AI 컴퓨팅 마켓플레이스, 탈중앙화 학습 네트워크, 에이전트 결제 레일, 데이터 네트워크가 수십억 달러를 조달했고, 비트코인 채굴 기업들은 전력 부지를 AI 데이터센터로 전환하기 시작했다. 나는 이 가운데 어느 것에 실제 고객이 있는지, 그 안 어디에서든 맞춤형 실리콘이 말이 되는지, 그리고 칩 팀이 실제로 쓸 수 있는 공정 노드와 파운드리는 무엇인지 알고 싶었다.

모든 AI × 크립토 프로젝트를 위한 네 가지 시험

2017년 Gridcoin에 관한 한 보안 연구는, 유용한 연산이 블록체인을 보호하려면 풀기 어렵고, 검증하기 쉽고, 보상하기 쉬워야 한다고 주장했다. 나는 여기에 네 번째 시험을 더한다. 이 넷이 함께 이후 내용의 대부분을 결정한다.

01 **풀기 어려울 것.** 정직한 연산이 유효한 증명을 만드는 가장 싼 방법이어야 한다. 지름길이 없어야 한다.

02 **검증하기 쉬울 것.** 작업을 확인하는 비용이 작업을 하는 비용보다 훨씬 적어야 한다. 그렇지 않으면 네트워크가 두 번 비용을 치른다.

03 **보상하기 쉬울 것.** 프로토콜은 제3자를 신뢰하지 않고 증명만으로 보상을 계산할 수 있어야 한다.

04 **누군가 결과물에 돈을 낼 것.** 네트워크 밖의 고객이 결과에 돈을 내지 않는 한, '유용한' 작업은 서사를 덧입힌 보조금일 뿐이다.

해시 퍼즐은 앞의 세 시험을 통과하고 네 번째에서 떨어진다. 실제 AI 작업은 네 번째를 통과하지만 두 번째에서 떨어진다. AI 연산을 영지식으로 증명하는 비용은 연산 자체의 100배에서 10,000배에 이르고, 학습 증명(proof-of-learning) 방식은 싸게 위조될 수 있음이 밝혀졌다. Pearl의 노이즈 행렬 곱셈은 AI 연산과 같은 형태를 유지하면서 검증 시험을 통과하는 최초의 믿을 만한 다리다.

작업 방식

이것은 내가 칩이나 사업 계획을 검토할 때와 같은 방식으로 수행한 문헌 조사다. 나는 Pearl의 코드, 프로토콜 제안, 백서, 독립 풀 노드의 체인 데이터, 기업 공시와 실적 발표, 암호학·컴퓨터 구조·머신러닝 논문, 파운드리와 업체의 가격 데이터, 업계·기술 매체를 읽었다. 모든 수치에는 날짜를 달았다. 내가 직접 도출한 수치는 그렇다고 밝히고 추정으로 표시했다. 판매자만 보고한 수치는 업체 주장으로, 증거에 대한 나의 해석은 분석으로 표시했다. 금액은 미국 달러다. 상황은 2026년 11월 13일 기준이다.

제02장

02 Pearl · 메커니즘 Pearl: 합의로서의 행렬 곱셈

아이디어: 정리에서 메인넷까지

2025년 4월, Ilan Komargodski와 Omri Weinstein은 「Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication」을 발표했다. 이들은 모든 행렬 곱에 대해 단순 곱셈의 1 + o(1)배라는 오버헤드만으로 유용한 작업 증명을 구성한다. 그 보안성은 무작위 저랭크 선형 방정식 묶음을 푸는 일의 어려움에 기대고 있는데, 이는 증명이 아니라 추측이다. 논문은 이 분야의 진짜 어려움을 짚는다. 상수배 오버헤드의 유용한 작업 증명은 자명하지만 쓸모가 없다. 어려운 부분은 채굴자가 입력을 스스로 고를 때에도 정직한 연산이 이기는 가장 싼 방법으로 남게 하는 것이다.

Pearl 메인넷은 2026년 4월 27일 09:00 UTC에 시작됐다. 채굴자는 노이즈가 섞인 곱 (A + E)(B + F)를 계산하는데, 저랭크 노이즈는 BLAKE3 커밋먼트에서 도출되며, 이후 노이즈를 걷어내 A·B를 복원한다. 각 출력 타일의 누산기 상태는 해시되어 복권이 된다. 당첨 타일은 공개되어 60 KB 미만의 재귀 Plonky2 영지식 증명으로 입증되며, 이는 65 KB로 제한된 블록 인증서 안에 들어간다. 검증은 행렬 크기와 무관한 고정 크기의 작은 증명이다. 해시 퍼즐만큼 확인이 싸면서, 연산 자체는 유용할 수 있다.

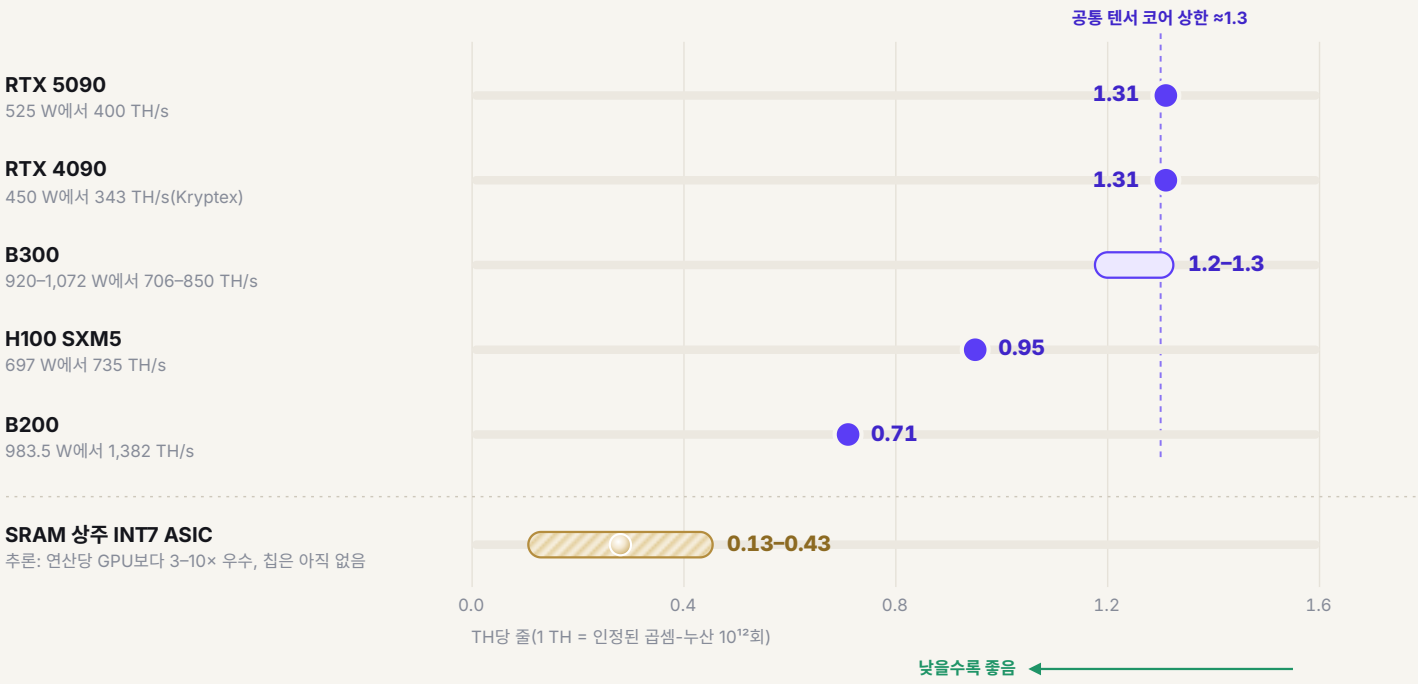
곱셈-누산 한 번이 '해시' 하나다

칩 설계자에게 가장 중요한 사실은 단위다. Pearl의 합의 코드는 각 시도의 목표값을 타일 크기 곱하기 내적 길이로 조정하므로, **1 H는 정확히 인정된 INT7 × INT7 → INT32 곱셈-누산(MAC) 1회다**. 블록 96,251부터는 랭크 페널티로 노이즈 랭크가 128 이상이어야 하는데, 최소 랭크에서도 1 H는 여전히 1 MAC과 같다. 따라서 Pearl의 'EH/s'는 말 그대로 초당 10^18회의 정수 곱셈-누산을 뜻한다. **블록체인의 보안 예산이 처음으로 AI 가속기의 텐서 처리량으로 매겨지는 것이다.** 실측 GPU 해시레이트는 각 카드의 밀집 INT8 곱셈-누산 최대치의 60%에서 95% 사이에 놓이며, 이는 이 해석과 맞아떨어진다.

하드웨어	Pearl 해시레이트	전력	MAC 1조 회당 줄(J/TH)	출처(날짜)
RTX 5090	400 TH/s	525 W	1.31 추정	Kryptex(11월 12일)
RTX 4090	약 305 TH/s(커뮤니티 범위 280–330); Kryptex 표기 343 TH/s	450 W(Kryptex)	1.31(Kryptex 수치 기준) 추정	prlstats(10월 3일); Kryptex
H100 SXM5	735 TH/s	697 W	0.95 추정	PeakMiner, prlstats 경유(9월 19일)
B200	1.382 PH/s	983.5 W	0.71 추정	PeakMiner, prlstats 경유
B300	706–850 TH/s	920–1,072 W	1.2–1.3 추정	prlstats; SimeonOnSecurity

그림 02 **Pearl의 정수 연산에서 GPU는 같은 에너지 상한에 걸린다**

실측 Pearl 해시레이트 기준 INT7 곱셈-누산 1조 회당 줄(J/TH); 낮을수록 좋음



출처: Kryptex(2026년 11월 12일); prlstats 경유 PeakMiner·SRBMiner 벤치마크; SimeonOnSecurity; ASIC 범위는 측정값이 아닌 저자 추론.

이 표에서 칩 설계자에게 중요한 세부가 둘 있다. 첫째, 소비자용 RTX 4090·5090 카드와 데이터센터용 B300은 약 1.3 J/TH로 수렴하고, 가장 좋은 카드인 B200조차 약 0.71 J/TH에 그친다. 수만 달러짜리 데이터센터 GPU가 정수 곱셈-누산 1회에 게이밍 카드와 거의 같은 에너지를 쓴다는 것은, INT8 MAC당 텐서 코어 에너지에 공통 상한이 있음을 가리키며, 바로 그 상한이 전용 칩이 깰 수 있는 지점이다. 둘째, B300은 B200보다 느리다. NVIDIA가 Blackwell Ultra에서 INT8 처리량을 크게 줄였기 때문에, 그 칩에서 정수 작업은 더 느린 경로를 타야 한다. 주류 AI 실리콘은 INT8에서 FP8과 FP4 쪽으로 옮겨가고 있다. 합의가 고른 수치 형식이 하드웨어의 방향과 갈라지면 프로토콜은 규칙을 바꿀 수밖에 없고, 이것이 FP8 포크의 뿌리이자 이 보고서 뒤에서 내릴 ASIC 판단의 뿌리다.

제03장

03 Pearl · 경제학
Pearl: 규모, 발행, 그리고 유용성 격차

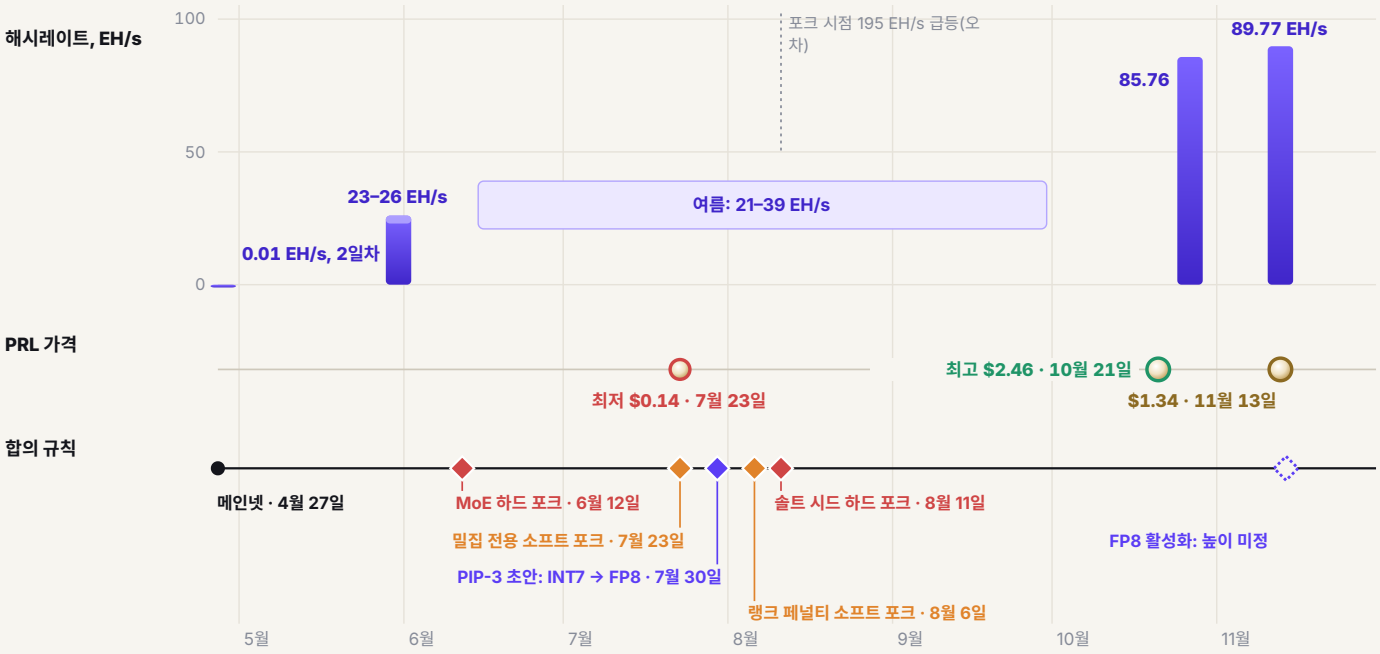
6개월 만에 0.01에서 90 EH/s로

지표	값(2026년 11월 13일)	근거와 출처
네트워크 해시레이트	약 90 EH/s(기준값 89.77; 당일 범위 88.20–93.22; 11월 12일 장중 최고 110–123)	독립 풀 노드 prlstats; Kryptex
난이도와 블록 높이	58,841,982 및 142,530	prlstats
환산 하드웨어	H100 약 122,000장 또는 RTX 5090 약 225,000장	카드당 735 및 400 TH/s 기준 추정
가격, 시가총액, 완전 희석 가치	$1.32–1.34; 약 5억 달러; 약 28억 달러(CoinGecko 순위 101위)	CoinGecko
역대 최고가와 최저가	$2.46(10월 21일) 및 $0.1399(7월 23일)	CoinGecko
채굴된 코인	3억 7,760만 PRL, 상한 21억 개의 17.98%	prlstats
블록 보조금과 일일 발행량	약 2,173 PRL 및 약 97만–103만 PRL	prlstats; Kryptex
향후 12개월 신규 공급	현재 공급량의 약 78%	prlstats
채굴자 수입	하루 약 125만 달러(모델), 연 약 4억 6,000만 달러	prlstats
해시레이트 단위당 수익 R	PH/s당 하루 약 14–15달러; RTX 5090은 하루 약 5–6달러	추정; Kryptex
실제 AI 작업을 담은 블록	약 1%(10월 28일 추정)	Blockworks
채굴 풀 집중도	최근 24시간 블록의 46.4%를 Kryptex가 발견; 상위 두 풀 약 62%	prlstats
보유자 집중도	주소 지니계수 0.969; 상위 100개 주소가 53.0% 보유	prlstats

Pearl의 해시레이트는 가격의 후행 함수에 가깝다. 출시 다음 날 네트워크는 약 0.01 EH/s였고, 5월 말에는 23–26 EH/s에 이르렀다. 여름 동안 가격은 5월 고점에서 약 86% 떨어졌고 해시레이트는 21–39 EH/s에서 횡보했다. 9월과 10월에 가격이 약 열 배 오르자 해시레이트는 10월 27일 85.76 EH/s, 11월에는 약 90 EH/s에 이르렀다. 8월 11일의 195 EH/s 급등은 포크와 겹친 것으로, 추정 오차로 읽어야 한다. 에너지도 함께 늘었다. 한 연구는 24 EH/s일 때 네트워크 전체를 약 112 MW로 추정했고, prlstats 모델은 현재 약 190–215 MW로 본다.

그림 03 **Pearl의 첫 6개월: 해시레이트는 가격을 따르고, 규칙은 계속 바뀐다**

네트워크 해시레이트, 세 가격 지점, 모든 합의 변경, 2026년 4월 27일–11월 13일



출처: prlstats 풀 노드와 시계열; Kryptex; CoinGecko; Pearl의 params.go와 PIP-3. 8월 11일 급등은 포크 시점의 추정 오차다.

발행이 재귀성을 증폭한다

공급 상한은 21억 개이고 반감기는 없다. 블록 보조금은 H = 650,226일 때 E(t) = S·H / ((t + H)(t + H − 1))에 따라 매끄럽게 줄어든다. 그러나 발행은 시간이 아니라 블록 단위로 계산되며, 초기 난이도는 너무 낮게 시작해 천천히 조정됐다. **첫날 약 4,406만 개, 첫 6일 동안 약 1억 2,000만 개가 채굴됐는데**, 이는 현재 공급량의 약 32%다 추정. 최근 블록은 약 171–183초로, 여전히 194초 목표보다 빠르게 나온다. 그 결과 공급은 향후 12개월 동안 약 78% 늘어나며, 이 희석은 채굴자, 하드웨어 제조사, 보유자 모두가 감당해야 한다.

채굴 경제학은 여기서 따라 나온다. 네트워크 전체 채굴자 수입은 하루 약 125만 달러(모델)이고, Kryptex의 일일 발행량에 현재 가격을 곱하면 하루 약 135만 달러이므로, **해시레이트 단위당 수익 R ≈ PH/s당 하루 14–15달러**다 추정. RTX 5090은 하루 약 5–6달러를 번다. H100이나 H200은 약 11달러를 버는데, 가장 싼 공개 온디맨드 임대료가 카드당 시간당 약 2.09달러, 즉 하루 약 50달러이므로 채굴만을 위해 카드를 빌리면 크게 손해다. R은 크게 출렁인다. prlstats 시계열로 보면 8월과 9월에는 약 10달러, 10월 중순에는 잠깐 약 33달러였다 추정. 출시 후 몇 주 만에 RTX 5090의 추정 일일 수익은 약 33.80달러에서 약 17.19달러로 반 토막 났다. 클라우드 GPU를 빌려 채굴하는 것은 첫 몇 주와 10월 가격 급등기에만 수지가 맞았다.

정리는 성립하지만, 인센티브는 성립하지 않는다

진짜 문제는 암호학이 아니라 수요다. Pearl의 유일한 공개 상업 연동은 Together AI의 Gemma-4-31B-it-pearl 엔드포인트로, 5월 15일 일반 가격보다 25% 이상 싸게 출시됐으며, 그 할인은 발행량의 기대 미래 가치로 충당됐다. 11월 13일 해당 모델 페이지에는 **Together의 서버리스 API에서 제공되지 않는다**고 표시되어 있었다. 6월에 네트워크의 약 21%에 해당하는 온라인 채굴 인스턴스 8,012개를 조사한 결과는 네트워크가 유용한 AI 연산을 전혀 생산하지 않는다고 결론지었고(저자는 그 증거를 결정적이 아니라 시사적이라고 했다), 순수 무작위 행렬로 만든 셰어도 채굴 풀이 받아들인다는 것을 보여 주었다. 10월 28일 Blockworks는 **실제 AI 작업을 담은 블록이 약 1%뿐**이라고 추정했다. Blockworks는 그것이 없다면 Pearl은 더 작고, 덜 안전하며, 인플레이션이 더 빠른 비트코인이라고 썼다.

그 이유는 계산할 수 있다. 추론 쪽 오버헤드는 실제로 작다. Pearl은 H200 네 장에서 Llama 70B의 종단 간 소요 시간이 5.08% 늘었다고 보고했고, 독립 시험에서는 Hopper GPU 한 장에서 처리량이 9.2% 줄었다. 문제는 채굴 쪽 수입이 너무 작다는 것이다. 공식 vLLM 플러그인은 1,024토큰 이상의 프리필 배치에서만 채굴하고 디코딩 단계에서는 결코 채굴하지 않는다. 추론을 서비스하는 카드는 순수 프리필 트래픽에서 전용 채굴기 해시레이트의 약 27%, 80%가 디코딩인 채팅 혼합에서 약 5.4%, 디코딩이 지배하는 트래픽에서는 약 1%만 얻는다. 유료 추론 수요가 없으면 합리적인 채굴자는 무작위 행렬을 곱한다. 프로토콜은 커밋된 행렬이 정직하게 곱해졌는지를 검증할 뿐, 그것이 유용했는지는 검증하지 않는다. **정리는 성립하지만, 인센티브는 성립하지 않는다.** Pearl의 유용성은 오프체인의 상업 문제다. 누군가 추론 비용을 내야 한다.

제04장

04 Pearl · 규칙
Pearl: 규칙 위험, 수치 형식, 거버넌스

두 달 만에 포크 네 번

Pearl의 또 다른 얼굴은 규칙이 얼마나 빨리 바뀌는가다. 2026년 6월부터 8월까지 랩은 하드코딩된 높이에서 합의 변경 네 건을 밀어붙였다. 전문가 혼합(MoE) 하드 포크(블록 71,935, 6월 12일경), 밀집 전용 소프트 포크(91,630, 7월 23일경), 랭크 페널티 소프트 포크(96,251, 8월 6일경), 솔트 시드 하드 포크(99,000, 8월 11일경)다. 솔트 시드 포크 이후 구형 채굴기는 무효 셰어만 생산할 수 있었고, 랭크 페널티는 고랭크 구성의 유효 해시레이트를 50%에서 87.5%까지 깎았다.

다음 단계는 아직 초안인 PIP-3다. 이는 채굴을 INT7에서 FP8 × FP8 → FP32로 옮기고 비트 단위로 정확한 장치 프로파일을 요구하며, **Hopper와 Blackwell 두 아키텍처만 지원한다**. 문서는 하드웨어 의존성을 부동소수점 프로토콜의 필요악이라 부르고, 검증에 어떤 허용 오차든 두면 그라인딩 공격을 부른다고 경고한다. 11월 12일 기준 fp8-scheme 브랜치의 메인넷 파라미터에는 활성화 높이가 정해져 있지 않았다. 현재 초안에서는 RTX 40 시리즈, A100, AMD 카드가 허용되지 않는데, 저신뢰 prlstats 모델은 해시레이트의 약 82%가 소비자용 카드에서 나온다고 추정한다. 포크를 강행하면 체인 분열이나 채굴자 반발의 위험이 있다.

수치 형식의 트릴레마

Pearl은 트릴레마에 직면해 있다. 수치 형식은 AI에 유용하고(FP8 또는 FP4), 하드웨어 간 비트 단위로 검증 가능하며, 하드웨어 중립적일 수 있지만, 셋 중 최대 둘만 가능하다. INT7 방식은 검증 가능하고 중립적이지만 AI 실리콘의 방향과 갈라진다. 화이트리스트를 둔 FP8은 유용하고 검증 가능하지만 합의를 한 업체에 묶는다. 허용 오차를 둔 FP8은 유용하고 중립적이지만 그라인딩 공격에 문을 연다. 텐서 코어의 부동소수점 산술은 일반적으로 수치 표준을 따르지 않으며 세대 간 재현되지 않는다. 예컨대 Hopper에서 FP8 누산은 소수부 13비트만 유지하고 절삭한다. 칩 설계자의 관점에서 'Hopper 프로파일'은 완전히 결정된 산술이므로, ASIC이 이를 비트 단위로, 어쩌면 GPU보다 더 효율적으로 구현할 수 있다. 그러나 그렇게 하는 것은 프로토콜이 밝힌 의도에 반하는 회색 지대의 사업이 되며, 거버넌스 위험이 매우 크다 분석.

거버넌스

거버넌스는 집중되어 있다. 모든 프로토콜 제안을 랩이 작성했고, 포크는 채굴자 신호 없이 하드코딩된 높이에서 활성화되며, 두 번째 클라이언트 구현이 없고, 10월 초 기준으로 노드나 영지식 회로에 대한 제3자 감사가 공개되지 않았다. 이스라엘 일간지 TheMarker는 랩이 비공개 라운드에서 약 1억 2,000만–1억 3,000만 달러(지분 투자 약 5,500만 달러와 약 7,500만 달러 규모의 GPU 인프라 펀드)를 조달했다고 보도했으나, Pearl은 공식 채널로 이를 확인하지 않았다. '토큰에 투자자 배정 없음'과 '벤처 주주가 있는 회사'는 둘 다 참일 수 있지만, 긴장은 남는다. AI 수익은 지분으로 흘러가고 희석은 토큰 보유자에게 떨어질 수 있다.

종합하면 Pearl은 지금까지 가장 깔끔한 '합의가 된 연산' 실험이다. 새로운 메커니즘이고, 온체인에서 검증 가능하며, AI 하드웨어에 일대일로 대응하는 단위를 가졌다. 그러나 유용성은 아직 오지 않았고, 보안 예산과 해시레이트와 채굴자의 열기는 모두 주된 수요가 아직 형성되지 않았으며 공급이 12개월 동안 약 78% 늘어날 토큰에 매달려 있다. Blockworks가 제시한 세 신호를 추적할 만하다. 업그레이드가 순조롭게 안착하는가, AI 작업 블록의 비중이 의미 있게 오르는가, 그리고 채굴 수입을 고객에게 돌려주는 추론 제공업체가 나오는가다.

제05장

05

유용한 작업 체인

유용한 작업 체인: 행렬도, 영지식도 ASIC을 막지 못한다

Kaspa: 행렬은 유용하지도, ASIC 내성도 없다

Kaspa는 교과서적 사례다. kHeavyHash는 두 해시 사이에 4비트 값에 대한 64 × 64 행렬-벡터 곱을 넣고, 그 곱은 버려진다. 2021년 11월 공정 출시 후 약 16개월 뒤인 2023년 3월 14일 IceRiver가 첫 Kaspa ASIC을 발표했고, 2023년 말에는 GPU 채굴이 끝났다. 3.8 GH/s, 300 W의 RTX 4090을 77 J/TH의 Bitmain KS7과 비교하면 효율 격차는 약 **1,000배**다 추정. 호황 뒤에는 압착이 왔다. 11월 13일 네트워크는 358.9 PH/s로, 2024년 8월의 1 EH/s보다 약 64% 낮았고, 최고 기종인 KS7도 kWh당 0.10달러 기준 **하루 0.86달러**만 번다.

Aleo: 영지식도 특수 하드웨어를 막지 못한다

Aleo의 증명자 퍼즐은 SNARK 증명 생성 작업을 흉내 내도록 설계됐다. 사용자의 거래를 증명하지 않으며, 프로젝트는 ZK ASIC을 공개적으로 환영한다. 2024년 9월 메인넷 후 약 5개월 만에 전용 장비가 출하됐다. 2025년 3분기 증명자는 3,120만 ALEO(약 780만 달러)를 받았지만 네트워크가 거둔 수수료는 약 43,000–44,000달러뿐이었다. **보조금 배수 약 175–180**이다. 가격은 초기 거래 때 약 9달러에서 그 분기 말 0.22달러로 떨어졌고, 이제 ARC-46은 솔루션당 10만–250만 ALEO의 스테이크를 요구해 채굴을 스테이크 문턱으로 바꿨다.

Qubic과 Bittensor

Qubic은 자사 Aigarth 신경망을 학습시키는 '유용한 작업 증명'을 내세우지만, 2025–2026년 그 연산의 가장 눈에 띄는 산출물은 다른 체인의 블록이었다. 먼저 Monero를 채굴해 점유율을 2025년 5월 중순 2% 미만에서 7월 말 25% 이상으로 끌어올렸고, 8월에는 51%를 주장하며 블록 6개 규모의 재구성을 일으켰다(다른 출처는 18개라고 한다). 2026년 4월 1일에는 ASIC으로 Dogecoin 채굴로 전환해 그 수익을 바이백과 소각에 썼다. 그 AI 학습이 유용하다는 독립적 증거는 없으며, 시가총액은 약 2억 8,000만–3억 달러에서 11월 13일 약 5,000만 달러로 떨어졌다. Qubic은 외부 효과도 드러냈다. 범용 연산에 돈을 지급하는 체인은 빌릴 수 있고 조직화된 대규모 해시레이트 풀을 만들어 내며, 그것은 CPU 친화적 체인을 겨냥할 수 있다.

Bittensor는 작업 증명이 아니라 지분 가중 주관적 채점이다. 검증자가 채굴자를 채점하고, 가중치는 지분 가중 중앙값에서 잘린다. 이 그룹에서 규모 있는 외부 수익을 가진 유일한 네트워크다. 검증 가능한 외부 고객만 세는 SubConnect 지수는 2026년 11월 초 **연약 7,000만 달러**를 보여 주며(9월 1일에는 약 3,500만 달러), 그중 78%에서 82%가 컴퓨팅과 인프라에서 나온다. 그러나 11월 초 가격 기준으로 발행량은 연 3억 달러를 넘으므로 수익은 9%에서 23%만 메운다. 수익 추정치는 기준에 따라 크게 달라, 약 1,700만 달러(Artemis)부터 자체 보고 총액을 연환산한 1억 7,200만 달러까지 있다. 4월에는 서브넷 128개 중 67개가 인센티브의 99% 이상을 소각하고 있었고, 선두 팀 Covenant가 거버넌스 문제로 떠나자 TAO는 몇 시간 만에 24% 떨어졌다.

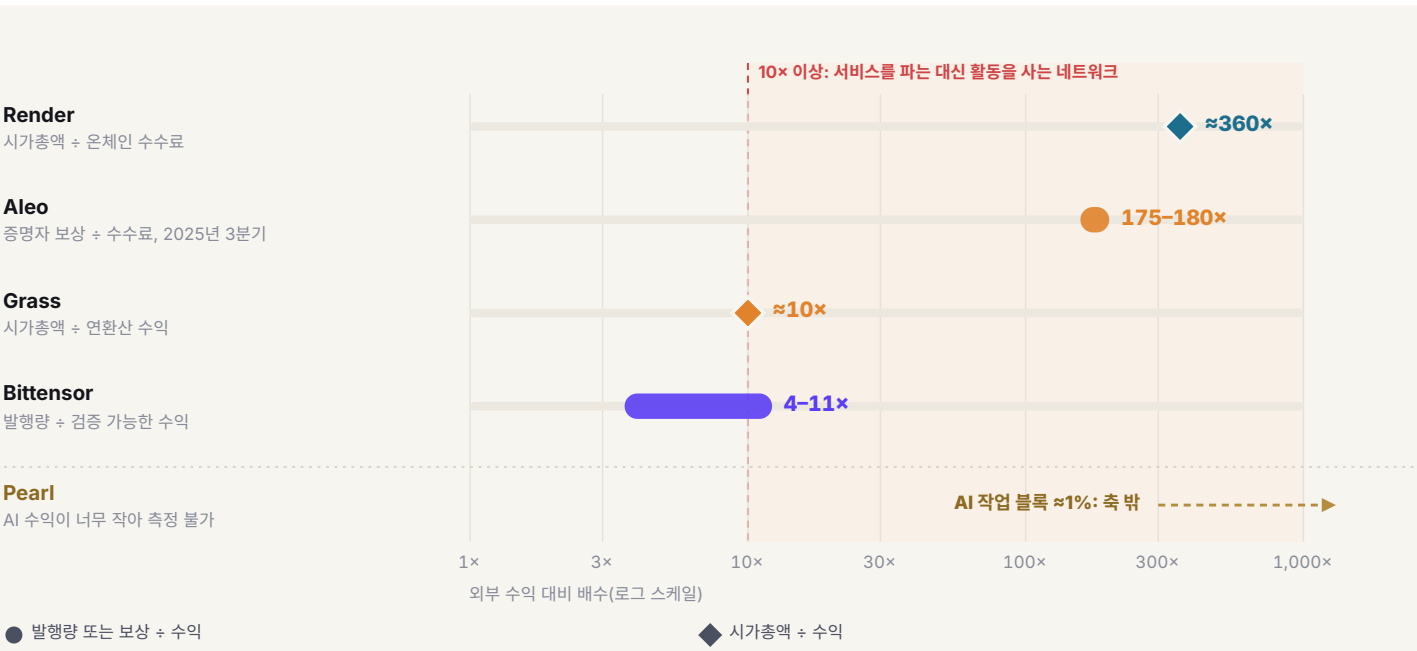
역사도 같은 답을 준다

Primecoin의 소수 사슬은 검증이 빨랐지만 아무도 필요로 하지 않았다. Gridcoin은 BOINC 기여를 증명하는 데 제3자 통계 사이트에 의존했고, 연구자들은 아무 연산도 하지 않고 블록을 위조했다. Filecoin의 저장 증명은 기술적으로 작동하지만, 2025년 3분기 활용률은 36%에 그쳤고 수수료 793,000달러의 99.5%가 벌금이었으며 기본 수수료는 4,100달러에 불과했다.

프로젝트	작업 또는 합의	시가총액(날짜)	하드웨어 경로	보조금 대비 유료 수요	판단
Pearl	노이즈 행렬 곱셈(INT7 MAC과 ZK 인증서)	약 5억 달러(11월 13일)	GPU; FP8 초안은 Hopper와 Blackwell을 화이트리스트에 올림	AI 작업 블록 약 1%; 채굴자 수입은 대부분 보조금	가장 믿을 만한 메커니즘; 수요는 미입증
Kaspa	kHeavyHash(해시 사이의 64 × 64, 4비트 행렬-벡터 곱)	약 8억 4,000만 달러(11월 13일)	출시 약 16개월 뒤 ASIC; 지금은 전부 ASIC	유용성 주장 없음; 채굴자 수익 연 약 1,800만 달러 추정	행렬은 유용하지도, ASIC 내성도 없다
Aleo	합성 SNARK 퍼즐과 지분 증명	약 1억 1,800만 달러(2025년 3분기 말)	약 5개월 뒤 전용 장비	증명자 보상이 수수료의 약 175–180배	보조금이 움직이는 합성 작업
Qubic	'uPoW'(Aigarth 학습을 주장)	약 5,000만 달러(11월 13일)	CPU와 GPU; 2026년 4월부터 Dogecoin용 ASIC	유용성의 독립적 증거 없음; 연산은 외부 채굴과 바이백에 사용	AI 서사로 포장한 연산 집적
Bittensor	Yuma 합의(지분 가중 채점)	약 25억 5,000만 달러(11월 11일)	범용 GPU; ASIC 경로 없음	검증 가능한 수익 연 약 7,000만 달러 대 발행량 3억 달러 이상	규모 있는 외부 수익을 가진 유일한 사례; 여전히 4–11배 보조금
Filecoin(참고)	복제 증명과 시공간 증명	약 15억 달러(2025년 3분기 말)	—	활용률 36%; 분기 기본 수수료 4,100달러	유용하지만 수요가 모자람

그림 04 **보조금 배수: 네트워크가 외부 수익의 몇 배를 지급하나**

발행량 또는 시가총액 ÷ 네트워크 외부에서 지불된 수익, 로그 스케일



출처: Blockworks(Aleo 2025년 3분기), DefiLlama(Render 수수료), CoinGecko, hoge.gg(Bittensor), Dealroom(Grass), Blockworks 0xResearch(Pearl); 저자 계산.

하드웨어에 주는 교훈은 이렇다. 유동성 있는 토큰으로 보상하는 고정적이고 규칙적인 작업은 약 3–16개월 안에 ASIC을 맞으며, 기존 강자보다 도전자가 먼저 내놓는 경우가 많다. '유용성' 주장은 외부 고객이 결과물에 돈을 내는 곳에서만 유지됐다. 그리고 하드웨어를 좌초시키는 주요 동인은 수익 대비 높은 보조금과 작업 함수에 대한 개발자의 통제다.

제06장

더 넓은 지형

06 AI × 크립토의 나머지: 실재하지만 작은 수요, 그리고 지분으로 옮겨가는 가치

탈중앙화 컴퓨팅 시장

탈중앙화 컴퓨팅에는 돈을 내는 고객이 있지만, 수요는 작고 집중되어 있으며 대부분 오픈 모델 추론의 재판매다. 온체인에서 검증 가능한 수수료는 작다. DefiLlama에 따르면 지난 1년간 Render의 수수료는 약 235만 달러, Livepeer는 약 68만 달러이며, DePIN 부문 전체의 2025년 온체인 수익은 약 7,200만 달러에 불과했다. 자체 보고 수치는 더 크지만 정의가 느슨하다. Aethir는 2025 회계연도 수익을 '1억 2,780만 달러 이상'으로 보고했지만 그것이 총 청구액인지 프로토콜 몫인지 밝히지 않았다. 토큰 가치와 수익은 양방향으로 어긋났다. Render의 시가총액은 온체인 수수료의 약 360배인 반면, Aethir의 시가총액 약 8,770만 달러는 자체 보고 수익보다 낮다 추정.

70%에서 85% 더 싸다는 주장은 하이퍼스케일러의 온디맨드 가격과 비교할 때만 성립한다. 11월 3일 Akash의 H100 가중 평균 가격은 **GPU 시간당 약 2.73달러**(범위 2.04–3.16달러)로, AWS의 약 6.88달러와 Google Cloud의 11.06달러보다 낮지만, Vast.ai의 약 1.73달러, RunPod 커뮤니티 클라우드의 1.99달러, 1년 예약의 약 2.44달러보다는 높다(다른 플랫폼 가격은 9월 12일 기준; 발표 주체인 Akash는 이해 당사자다). 수요는 대부분 OpenRouter를 통해 유통되는 범용 추론으로, AkashML에서 하루 약 17억 토큰, io.net에서 40억 토큰 이상이며, 모든 네오클라우드와 정면으로 경쟁한다. 가장 큰 '탈중앙화 컴퓨팅' 금액은 다시 중앙화되고 있다. Aethir의 토큰을 재무 자산으로 보유한 Axe Compute는 자체 B300 9,200장 클러스터를 임대하는 15억 달러 규모의 5년 계약을 맺었는데, 2026년 1분기 매출은 35,000달러였다.

탈중앙화 학습과 추론

인터넷을 통한 학습은 80억–400억 파라미터 규모에서 시연됐다. Pluralis-8B는 대부분 소비자용 GPU인 노드 330개에서 40일간 학습해 중앙화 H100 기준선 효율의 63%에 이르렀지만, 논문은 그 학습이 탈중앙화되지 않았으며 Pluralis 자체 노드와 참여 승인 기관이 필요했다고 인정한다. Nous Research의 Psyche는 400억 파라미터 Consilience 사전 학습을 완료했다. 프런티어 규모에서는 작업이 다시 중앙화됐다. Prime Intellect의 INTELLECT-3는 1,060억 파라미터 전문가 혼합 모델로, 400 Gbps InfiniBand로 연결된 H200 512장에서 두 달간 학습됐다. 제약은 분명하다. 노드에는 최소 200 Mbit/s 대역폭과 약 100배의 통신 압축이 필요하며, 신뢰와 검증은 여전히 운영자의 특권적 역할에 의존한다.

돈은 중앙화 제품을 파는 지분 기업으로 갔다. Prime Intellect는 7월 기업가치 10억 달러에 1억 3,000만 달러를 조달하기 전에 이미 연환산 매출이 1억 달러를 넘었다. 프라이빗 추론 앱 Venice는 연환산 매출 7,000만 달러 이상과 2026년 1분기부터의 흑자를 보고했고(회사 수치), 기업가치 10억 달러에 6,500만 달러를 조달했으며, 임차 GPU로 운영된다. 토큰 쪽에서는 Gensyn의 핵심 학습 네트워크가 여전히 '미정'이고 토큰 가치는 약 1,720만 달러다. AI 네이티브 레이어 1인 Ritual의 토큰은 메인넷 이후 고점 대비 72% 떨어졌다(헤드라인 기준).

검증 가능한 AI

실서비스는 신뢰 실행 환경(TEE)을 택했다. Hopper의 기밀 컴퓨팅은 일반적인 LLM 질의에 7% 미만의 오버헤드를 더하고, 대형 모델에서는 거의 0에 가깝다. Phala의 실서비스 오버헤드는 약 0.5%에서 5%이지만, 2025년 말 기준 사용자 10,004명 중 398명만 돈을 냈다. TEE의 신뢰 근원은 칩 업체다. 2025년 10월 공개된 TEE.fail은 1,000달러 미만의 DDR5 버스 인터포저로 최신 업데이트를 마친 Intel TDX와 AMD SEV-SNP 장비에서 증명 키를 추출했고, 이는 다시 NVIDIA의 GPU 기밀 컴퓨팅을 약화시킨다. 두 업체 모두 물리적 공격은 위협 모델 밖이라고 말한다. 그것이 바로 노드 운영자가 물리적 접근 권한을 가진 DePIN의 환경이다. zkML은 이제 완전한 LLM을 증명할 수 있다. Lagrange의 DeepProve는 GPT-2를 분당 약 174토큰, Gemma 3를 약 86토큰으로 증명하는데, 이는 실서비스 추론과 자릿수가 다르게 떨어져 있으며 공개된 유료 사용도 없다.

에이전트 결제와 데이터

x402는 가장 좋은 경고 사례다. TRM Labs는 2025년 5월 이후 알려진 퍼실리테이터가 정산한 거래를 약 1억 9,890만 건, 5,270만 달러로 집계하며, 그중 99.6%가 USDC다. 자기 결제, 일괄 흐름, 구매자가 10명 미만인 판매자를 걸러 내면 에이전트가 실제로 개시한 몫은 0.6%에서 7.5%, **월 약 5,000–11,000달러**에 불과하다. Artemis는 활동의 95% 이상이 매매가 아니라 프로토콜 신호라고 본다. 한편 레일은 기존 강자들이 표준화하고 있다. 7월 14일 Linux Foundation 산하에 x402 Foundation이 설립됐고, Visa, Mastercard, Stripe, Google, AWS, Cloudflare, Coinbase가 핵심 회원이다. Stripe와 Machine Payments Protocol을 공동 작성한 Tempo는 3월 기업가치 50억 달러로 메인넷을 출시했다. 에이전트 토큰 플랫폼은 여전히 런치패드 논리로 돌아간다. Virtuals는 4억 7,900만 달러의 'aGDP'를 자체 보고하고, ElizaOS의 창업자는 집단 소송 합의 뒤 자사 토큰이 죽었다고 선언했다. 가치는 스테이블코인 발행사와 결제 분야 기존 강자가 가져갈 가능성이 더 크다. 여기서 크립토 고유의 역할은 에이전트의 신원과 책임성일 수 있다.

데이터는 실제 오프체인 구매자가 있는 드문 하위 부문이다. Grass는 2025년 데이터 수익 1,700만 달러, 2026년 상반기에 다시 1,700만 달러를 보고했고, 연간 목표는 7,500만 달러이며 흑자라고 말한다. GRASS의 가치는 약 3억 2,800만 달러로, 상반기 연환산 수익의 약 10배다 추정. 그 해자는 크립토 자체가 아니라 분산된 가정용 대역폭의 수집 규모다. 데이터 DAO와 데이터 마켓플레이스에는 눈에 보이는 유료 수요가 없다. Vana의 가치는 약 2,150만 달러, Ocean은 약 2,760만 달러이며, Ocean은 Fetch.ai와 소송 중이다. 인격 증명(proof of personhood)은 에이전트가 늘어나면서 실제 연동을 얻고 있다. World는 약 1,800만 명을 검증했다고 말하며, Zoom, Docusign, Tinder가 World ID의 일부를 지원한다.

자본은 이미 투표했다

부문	검증 가능한 유료 수요	보조금·가치평가 신호	판단
유용한 작업 체인	Bittensor 검증 가능한 외부 수익 연 약 7,000만 달러; Pearl AI 작업 블록 약 1%	Aleo 175–180배; Bittensor 4–11배; Pearl 대부분 보조금	메커니즘에는 가치가 있다; 유용성에는 돈을 내는 고객이 필요하다
탈중앙화 컴퓨팅 시장	온체인 수수료 연 약 68만–235만 달러(Livepeer, Render); 자체 보고 400만–1억 2,800만 달러	Render 시가총액이 수수료의 약 360배	실재하나 작음, 대부분 범용 추론의 재판매
탈중앙화 학습과 추론	지분 기업: Prime Intellect 연 1억 달러 이상, Venice 7,000만 달러 이상(중앙화 인프라)	Gensyn 학습 메인넷 미가동; Ritual 토큰 고점 대비 −72%	기술 진전은 실재; 이익은 지분으로
검증 가능한 AI	TEE 실서비스 중(Phala 유료 사용자 398명); 공개된 유료 zkML 없음	—	TEE는 유용; zkML은 초기
에이전트 결제	에이전트가 개시한 흐름 월 약 5,000–11,000달러	약 2억 건 거래, 대부분 신호와 투기	레일이 먼저, 수요는 나중
데이터 네트워크	Grass 2026년 상반기 1,700만 달러(자체 보고)	GRASS 연환산 수익의 약 10배	실제 구매자가 있는 드문 부문

여섯 부문을 나란히 놓으면 결론은 일관된다. **보조금은 콜드 스타트의 연료이지 사업 모델이 아니다.** 11월 13일 CoinGecko AI 카테고리의 총가치는 약 186억 달러였지만, 그중 약 56%는 NEAR와 ICP 같은 범용 레이어 1과 TAO, 스테이킹된 TAO(TAO와 이중 계산됐을 수 있음), Pearl 같은 합의 수준 프로젝트다. 프로토콜·애플리케이션 계층의 AI 토큰은 합계 약 80억 달러 이하다 추정. 이는 지분 기업 네 곳, 즉 Tempo(50억 달러), Nous(보도 기준 15억 달러), Prime Intellect(10억 달러), Venice(10억 달러)의 기업가치를 합친 것과 비슷하다. 크립토 벤처 투자는 분기당 약 45억–50억 달러에 머물러 있으며, 증가분은 AI 관련 인프라에서 나왔다. 공개 금액에서 그 비중은 2026년 3분기에 8.1%에서 18.2%로 올랐다. 그리고 2025년에 출시된 토큰 118개 중 84.7%가 출시 가격 아래에서 거래된다. 한 문장으로 말하면 **크립토는 유통과 결제를 맡고, 이익은 지분이 가져간다.** 적어도 2026년에는 그렇다.

제07장

07 ASIC 경제학

ASIC 문제: 공식 하나, 잣대 셋

공식 하나: k = 5를 넘으면 효율이 더는 돈이 되지 않는 이유

R을 연산 단위당 일일 수익(네트워크 채굴자 수입 ÷ 네트워크 해시레이트), c를 한계 하드웨어(Pearl에서는 GPU)에서 연산 단위의 일일 비용, k를 ASIC이 그 한계 하드웨어보다 몇 배 저렴한가(c_ASIC = c/k)라고 하자. GPU가 한계 채굴자로 남아 있는 한, 자유로운 진입과 퇴출이 R을 c 쪽으로 밀어내므로 ASIC은 연산 단위당 R − c/k를 번다.

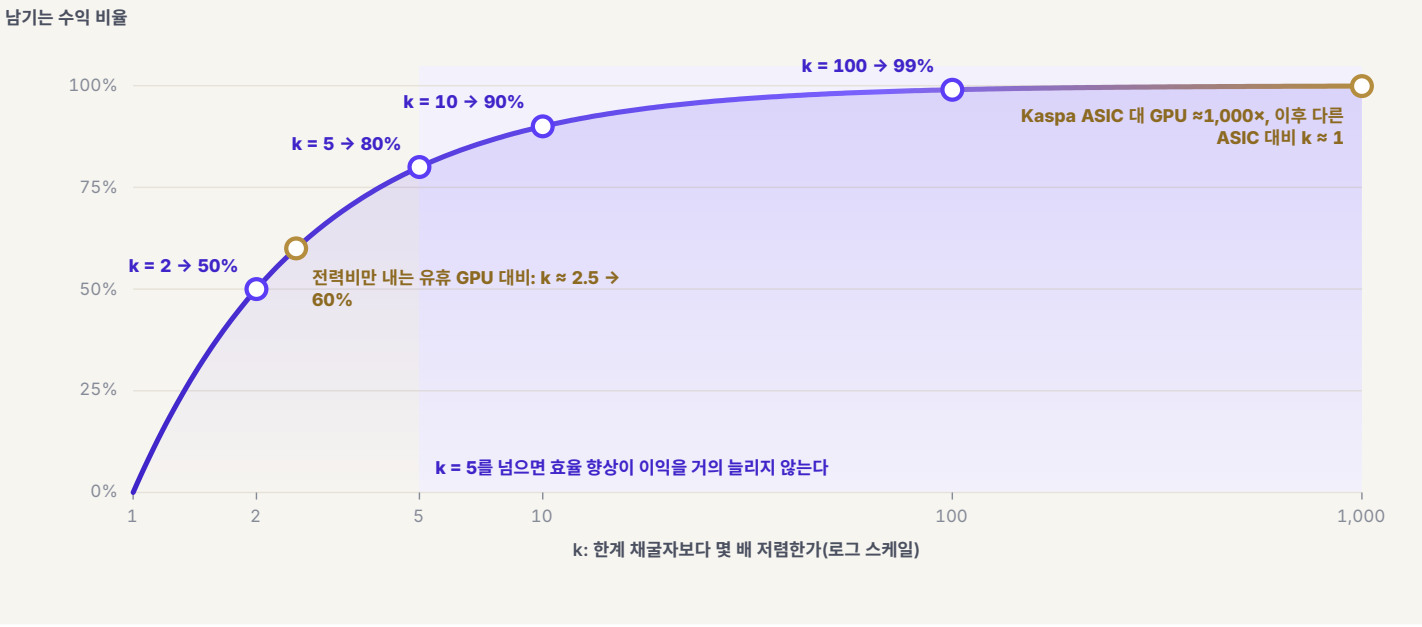
ASIC 이익 상한 ≈ R × (1 − 1/k)

네트워크 전체로 보면 ASIC 군의 연간 총이익 상한은 대략 네트워크 채굴자 수익 × (1 − 1/k)이며, 그것도 ASIC이 GPU를 대신해 한계 채굴자가 되기 전까지만이다.

이 공식에는 세 가지 귀결이 있다. 첫째, (1 − 1/k)는 오목하다. k = 2에서 ASIC은 수익의 50%를, k = 5에서 80%, k = 10에서 90%, k = 100에서 99%를 남긴다. **k = 5–10을 넘으면 효율 향상은 이익을 거의 늘리지 않으며**, R과 보상 풀의 크기가 결정한다. 둘째, 기준점이 재설정된다. ASIC이 한계 채굴자가 되면 k는 다른 ASIC을 기준으로 재야 한다. Kaspa의 ASIC은 GPU 대비 약 1,000배의 효율 우위를 가졌지만 그것으로 산 것은 짧은 횡재뿐이었고, 오늘날 최고 기종인 KS7은 하루 0.86달러를 번다. 셋째, Pearl처럼 GPU 친화적인 체인에서 기준점은 GPU 구매 가격이 아니라 **유휴 GPU의 전기료**인 경우가 많다. 이미 소유한 RTX 5090은 525 W, kWh당 0.10달러에서 하루 전력비가 약 1.26달러이고 수입은 약 5–6달러다 추정. 매몰 비용인 GPU를 상대로는, 에너지를 5분의 1만 쓰는 ASIC이라도 감가상각이 전기료와 같다면 실효 k는 약 2.5에 불과하고, 이익 상한은 R의 약 60%다(예시적 가정).

그림 05 **효율이 더는 돈이 되지 않는 이유: ASIC은 수익의 최대 1 − 1/k만 남긴다**

비용 우위 k에 따른, 한계 채굴자 대비 ASIC이 남기는 수익 비율



출처: 저자 모델: 한계 하드웨어가 가격을 정하면 연산 단위당 수익은 그 비용에 수렴한다; Kaspa와 RTX 5090 수치는 보고서 참조.

세 가지 잣대: 보상 풀, 회수 규모, 규칙

첫 번째 잣대는 **보상 풀**이다. 11월 첫째 주 블록 보상 약 2,893 BTC(약 2억 2,200만 달러)를 연환산하면 비트코인 채굴자는 연 약 115억 달러를 번다 추정. Pearl 채굴자는 약 4.6억–4.9억 달러(현재 가격 기준), Aleo의 증명자 보상은 2025년 3분기를 연환산하면 약 3,100만 달러, Kaspa 채굴자는 블록 보상 1.945 KAS와 초당 10블록 기준 약 1,800만 달러다 추정. **Kaspa 채굴자 수익 1년치 전부가 5/4 nm 칩 설계 예산 하나의 하단(약 3,000만 달러)보다 적다.**

두 번째 잣대는 **NRE를 회수하는 데 필요한 해시레이트**다.

h* = NRE ÷ [R × (1 − 1/k) × T × p]

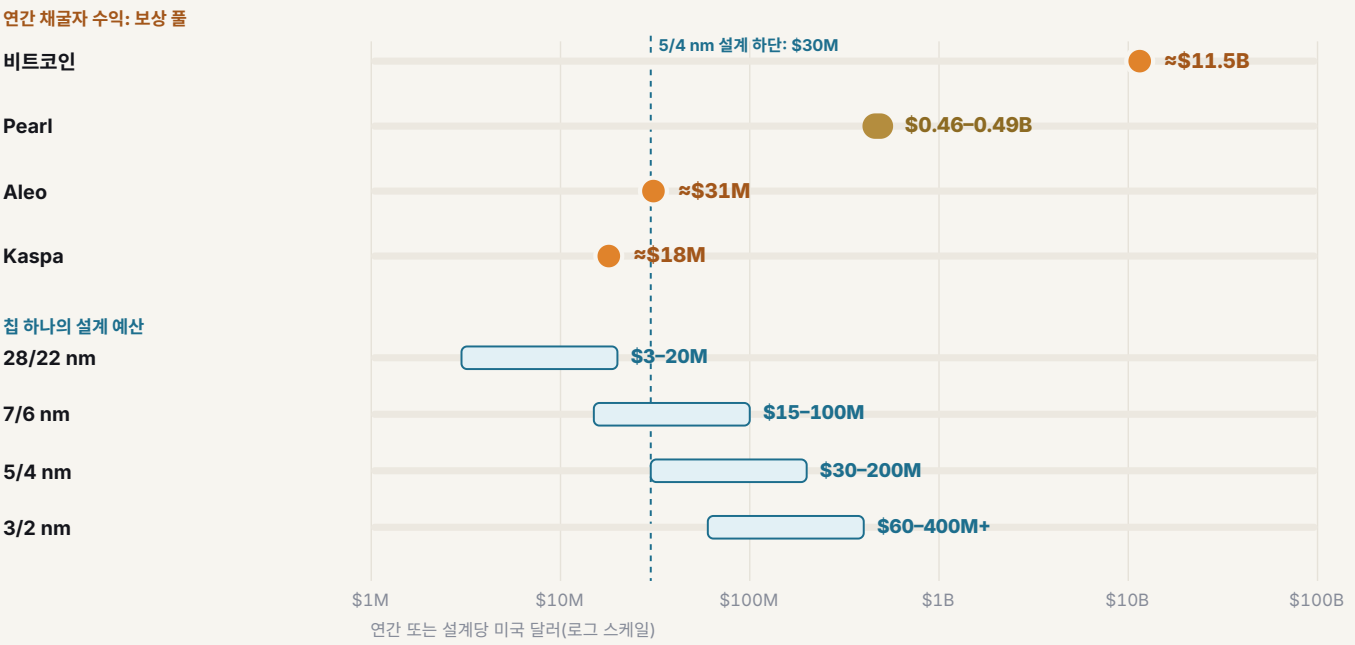
여기서 T는 유효 기간(일), p는 그 기간 동안 규칙이 바뀌지 않을 확률이다. Pearl에 대해 R = PH/s당 하루 14달러, k = 5, T = 365일, NRE 2,000만 달러를 잡자(N7/N6 반복 어레이 칩. Silicon Analysts의 중급 노드 범위 500만–3,000만 달러와 AnySilicon의 7/6 nm 연산 ASIC 범위 1,500만–1억 달러의 하단을 택했는데, 채굴 칩은 IP를 적게 쓰고 반복 구조이기 때문이다. 나의 가정이다). p = 1이면 1년 내내 약 **4.9 EH/s**, 즉 네트워크의 약 5%를 돌려야 한다. p = 0.5이면 약 **9.8 EH/s**, 약 11%다. R이 여름 수준인 약 10달러로 돌아가면 p = 1이라도 약 6.9 EH/s가 필요하다 추정. 규모 자체는 닿지 못할 정도가 아니다. 문제는 p와 T다.

세 번째 잣대는 **규칙 위험**이며, 결정적인 경우가 많다. 2018년 Monero의 반 ASIC 포크는 Bitmain의 X3를 좌초시켰고, 네트워크는 잠시 해시레이트의 거의 절반을 잃었다. 같은 해 Sia의 포크는 Bitmain과 Innosilicon의 채굴기를 무용지물로 만들었고, 개발자와 연계된 Obelisk 채굴기의 중고 가격은 2,499달러에서 5,000달러 이상으로 올랐다. Ethereum의 Merge 후 한 달 남짓 지났을 때 이전 Ethereum 채굴자 중 새 일을 찾은 비율은 20% 미만이었다. **작업 함수를 통제하는 쪽이 하드웨어 투자자의 운명을 통제하며**, Sia는 'ASIC 내성'이 개발자 자신의 해자가 될 수 있음을 보여 준다. 두 번째 시장이 있는 하드웨어는 살아남는다. Merge 후 GPU는 AI와 클라우드로 옮겨갔고, 단일 알고리즘 ASIC은 Ethereum Classic으로 몰려들었다. 기회의 창도 줄어들고 있다. Kaspa의 첫 ASIC은 약 16개월, Aleo는 약 5개월이 걸렸으며, 효율 최전선에 먼저 도달하는 쪽은 기존 강자보다 도전자인 경우가 많다.

네트워크	연간 채굴자 수익(약)	한계 또는 기준 하드웨어	규칙 안정성	신규 진입자가 얻을 수 있는 k	판단
비트코인	115억 달러	Bitmain S23 XP Hyd(8.9 J/TH, TH당 25.5달러)	매우 높음	≤1	보상 풀은 크지만 k는 기존 강자의 것
Pearl	4.6억–4.9억 달러(현재 가격 기준)	소유 또는 유휴 GPU(한계 비용 ≈ 전기료)와 데이터센터 GPU	매우 낮음: 두 달 만에 포크 네 번; FP8 화이트리스트 대기 중	효율로는 3–10배 정도일 수 있음 분석; 매몰 비용 GPU 대비로는 더 낮음	보상 풀은 충분히 크지만 규칙 위험이 거부권을 행사한다
Aleo	약 3,100만 달러(2025년 3분기, 연환산)	IceRiver AE2 등 전용 장비	중간: ARC-46 스테이크 문턱	≈1	보상 풀이 작고 문턱은 오르는 중
Kaspa	약 1,800만 달러	KS7(77 J/TH)	높음	≈1	연간 수익이 5/4 nm 설계 예산 하나의 하단보다 낮음

그림 06 **대부분의 보상 풀은 칩 하나의 설계 예산보다 작다**

네 네트워크의 연간 채굴자 수익과 공정 노드별 칩 하나의 설계 비용, 로그 스케일



출처: Hashrate Index(비트코인, 2026년 11월), prlstats·Kryptex(Pearl), Blockworks(Aleo, 2025년 3분기), minerstat(Kaspa), AnySilicon(설계 예산, 2026); 저자 연환산.

'큰 보상 풀, 안정된 규칙, k > 1'의 사분면은 지금 비어 있다. 비트코인은 보상 풀과 안정된 규칙을 갖췄지만 k는 기존 강자의 것이다. Pearl은 보상 풀이 충분히 크지만 규칙이 가장 불안정하다. Kaspa와 Aleo는 규칙은 충분히 안정적이지만 보상 풀이 너무 작다.

제08장

08 칩별 분석
다섯 가지 칩, 다섯 가지 답

Pearl형 PoUW: 전용 INT7 칩은 아니다. 추론도 서비스할 수 있는 채굴기에 걸어라

ASIC을 지지하는 논거는 실재한다. 지금 AI 작업을 담은 블록은 약 1%뿐이므로, 전용 ASIC은 유용한 작업을 할 능력을 잃어 덜 벌게 된다는 백서의 경제적 논거는 바로 지금 가장 약하다. GPU에서 가장 비싼 부분인 HBM과 CoWoS 패키징은 H100 제조 원가의 약 63%이고, 로직 다이는 약 9%에 불과하다. 7비트 정수 곱셈-누산만 하고, 피연산자를 온칩 SRAM에 두며, 저전압으로 도는 칩이라면 같은 노드 GPU보다 연산당 에너지에서 3–10배, 연산당 비용에서는 그보다 큰 우위를 얻을 수 있다 [분석; 아직 측정값 없음]. 반대 논거는 더 단단하다. 최첨단 노드의 파운드리 리드 타임은 50주를 넘을 수 있고, 신생 팀은 착수부터 양산까지 약 18–24개월이 필요하다 추정. 칩이 나올 즈음이면 Pearl은 FP8, 이어 FP4로 넘어가 있을 가능성이 크다. 그리고 PIP-3는 장치 화이트리스트로 허용되는 산술을 정의하므로, 그것이 활성화되면 INT7 칩은 그냥 작동을 멈춘다.

그래서 내 결론은 이렇다. **지금 Pearl 전용 INT7 칩을 테이프아웃하지 마라.** 더 나은 선택이 둘 있다. 하나는 채굴도 되는 추론 우선 가속기다. 범용 INT8/FP8 GEMM과 SRAM 상주 피연산자를 중심으로 만들어, 채굴 접근이 막히더라도 가치가 실제 추론 시장에 안착하게 하는 것이다. 다른 하나는 프로토콜 논의에 참여해, ASIC이 정확히 구현할 수 있는 업체 중립적 표준 산술과 알고리즘 안정성에 대한 약속을 함께 요구하는 것이다. 그것이 '큰 보상 풀, 안정된 규칙, k > 1' 사분면이 존재하기 위한 전제 조건이다. 그때까지는 FPGA나 성숙 노드 멀티 프로젝트 웨이퍼(MPW)로 아키텍처를 검증해 NRE 위험을 100만 달러 수준으로 묶어 둘 수 있다. 10장에서는 이를 단계별 예산으로 풀어낸다.

비트코인형 채굴기: k는 기존 강자의 것이고, 희소 자산은 전력이다

비트코인의 규칙 위험은 가장 낮지만, 경쟁 때문에 신규 진입자의 k는 1 아래로 밀린다. Bitmain의 S23 XP Hyd는 8.9 J/TH에 이르고, TH당 25.5달러에 팔리며, 11월부터 출하된다. 플래그십 효율은 2023년 S21의 17.5 J/TH에서 8.9 J/TH로, 3년 만에 약 49% 개선됐다. 2027–2028년에 양산 출하하는 신규 진입자가 버티려면 약 8 J/TH 이하가 필요하다 추정. 도전자들은 떠나고 있다. Canaan은 2026년 2분기 매출 3,190만 달러에 매출총손실 2,930만 달러를 보고했고, 3분기 전망은 1,100만–1,500만 달러에 그쳤다. Bitdeer의 3분기 자체 채굴기 외부 판매는 30만 달러로 떨어졌고 그룹 매출총이익률은 3.4%였다. Auradine은 Velaura AI로 이름을 바꾸고 AI 칩으로 돌아섰다. Core Scientific은 Block의 Proto 부문에 낸 약 15 EH/s 규모의 3 nm 장비 주문을 취소하고 4,190만 달러의 손실을 기록했다.

수요도 줄고 있다. 11월 9일 해시프라이스는 PH/s당 하루 약 31.89달러였고, 2027년 4월까지의 선도 곡선 평균은 약 32.7달러였으며, 수수료는 블록 보상의 0.72%에 불과했다. kWh당 0.045달러에서 S23 XP Hyd의 회수 기간은 약 3.1년으로 추정, 2028년경으로 예상되는 다음 반감기에 가깝다. 더 중요한 것은 전력의 기회비용이다. AI·고성능 컴퓨팅 임대는 이제 계약 메가와트당 연 약 167만–190만 달러를 벌며, 순영업이익률 80%에서 85%를 적용하면 메가와트당 채굴 매출총이익(약 56만–90만 달러)의 약 1.5–2.9배다 [추정; 두 메가와트 기준은 다르다]. Core Scientific은 4분기에 채굴을 중단한다. 이제 Keel이 된 Bitfarms는 미국 채굴장을 모두 닫았다. IREN은 한 분기에 AI 클라우드로 2억 달러를 벌었고 채굴로는 2,800만 달러만 벌었다. **자산은 전력과 데이터센터 용량이고, 채굴기는 소모품이다.**

NRE 계산도 똑같이 냉정하다. 최전선 효율에는 이제 3 nm급 공정이 필요하다(2차 출처에 따르면 MicroBT는 Samsung SF3를 쓰고, Auradine과 Proto의 칩은 3 nm다). 마스크는 약 1,000만–2,000만 달러, 전체 NRE는 3,000만–1억 달러 이상이다. TH당 20–25달러, 매출총이익률 30%라면 1 EH/s를 팔 때마다 약 600만–750만 달러의 매출총이익이 생기므로, Bitdeer 규모의 연간 연구개발비 약 1억 1,000만–1억 6,000만 달러를 메우려면 외부 구매자에게 연 약 20–25 EH/s, 즉 네트워크의 약 2%를 팔아야 한다

추정. 결론은 **신생 팀은 범용 판매용 비트코인 채굴기 시장에 들어가지 말아야 한다**는 것이다. 그래도 말이 되는 경우가 셋 있다. 자체 저가 전력과의 수직 통합, 가정용·난방용 채굴기 같은 틈새 폼팩터(Canaan도 가정용 난방 제품을 내놓고 있다), 그리고 IP와 설계 서비스로 기존 강자의 로드맵에 참여하는 것이다.

AI 학습 칩: 소규모 팀이 할 일은 아니다

학습 칩에서는 k를 얻기가 가장 어렵다. 같은 세대, 같은 정밀도에서 Google의 Ironwood는 칩 수준 FP8 효율에서 B300을 약 1.1–1.8배 앞설 뿐이다(Ironwood의 전력은 기자의 추정치) 추정. TPU v1 논문에서 흔히 인용되는 30–80배는 텐서 코어가 없던 K80과 비교해 측정한 값이다. 진짜 지렛대는 수치 형식이다. FP8에서 FP4로 옮기면 같은 실리콘에서 보통 2–3배의 처리량을 얻으며, 그 분야에서 NVIDIA가 가장 빨리 움직인다. NVIDIA는 2026년 하반기 양산되는 Rubin에 대해 NVFP4 추론 50 PF를 주장한다. 비용과 공급의 문턱은 더 높다. 3/2 nm 설계 예산은 6,000만–4억 달러 이상이다. 2026년 CoWoS 용량은 월 약 106,000–130,000장이며, TSMC는 최대 20%의 가격 인상을 검토 중인 것으로 보도됐다. HBM3E 계약 가격 GB당 15.6달러라면 288 GB 가속기의 HBM만 약 4,500달러다 추정. 이 시장은 하이퍼스케일러와 공동 개발하는 Broadcom식 모델의 것이다(11장). 결론은 **소규모 팀은 독자 학습 칩을 만들지 말아야 한다**는 것이다. 대신 IP, 칩렛, 설계 서비스를 만들라.

AI 추론 칩: 범용성을 k와 맞바꾸면 수익이 난다

추론은 ASIC에 가장 여지가 큰 곳이다. 범용성을 포기하면 k를 살 수 있기 때문이다. Etched는 칩 8개짜리 서버가 Llama-70B를 초당 500,000토큰 이상으로 돌린다고 주장하는데, 이는 H100 8장의 약 20배다. Taalas는 모델 가중치를 마스크 ROM에 고정 배선해 전력은 10배, 제조 원가는 20배 낮다고 주장한다(둘 다 업체 주장). SRAM 중심 아키텍처는 HBM과 CoWoS를 피하고 노드도 다루기 쉽다. Taalas는 TSMC 6 nm를 쓰고, Groq는 14 nm에서 Samsung 4 nm로 옮겼다. 크립토 유통은 추론 칩에 도움이 되지 않는다. 탈중앙화 컴퓨팅 네트워크는 거의 전부 NVIDIA로 돌아가기 때문이다. 진입로는 네오클라우드의 구매 경제학, 그리고 거대한 중국 국내 추론 시장이다. 중국에서는 국가 자금 데이터센터가 국산 AI 칩을 써야 하고, H200 수입은 조여지고 있으며, 베이징은 대형 인터넷 기업이 국산 칩으로 추론을 돌리기를 원한다. 결론은 **만들 가치가 있다**는 것이다. 단, 고객이 분명하고 모델·아키텍처에 대한 종속 수준을 의도적으로 선택한다면. 이것은 PoUW 채굴 칩에게도 가장 좋은 두 번째 시장이다.

ZK·FHE 가속기: ZK로는 헤지하고, FHE에는 일찍 자리를 잡아라

GPU는 이미 실시간 ZK 증명을 따라잡았다. Succinct의 SP1 Hypercube는 RTX 5090 16장으로 Ethereum 블록의 99.7%를 12초 안에 증명했다. Cysic은 자사 ZK C1 칩이 GPU 증명기보다 10–100배 효율적이며 2026년에 출하된다고 주장하지만, 그 수요는 대부분 자체 토큰 보상에서 나온다 업체 주장. Aleo 퍼즐 ASIC이 실제 ZK 증명에 쓰인다는 공개 증거는 찾지 못했다. ZK 증명은 정수 연산이고 결정적이어서 채굴 칩이 하는 일과 모양이 비슷하지만, 증명 시스템은 빠르게 바뀐다(SP1, RISC Zero, Halo2, Plonky2 등). 결론은 **대기하며 헤지하라**는 것이다. 프로그래머블 MSM·NTT·해시 엔진으로, 먼저 FPGA에서, 그다음 ASIC으로.

FHE는 하드웨어에 가장 많이 묶인 기본 요소이면서 상승 여력이 가장 크다. Intel 3 공정, 197 mm², 176 W, HBM3 48 GB의 Intel Heracles는 24코어 Xeon보다 FHE 연산을 1,074–5,547배 빠르게 돌리지만, Intel에는 상용화 계획이 없고 프로젝트 책임자는 2025년 12월에 떠났다. Niobium은 SemiFive를 설계 파트너로(약 686만 달러의 개발 계약) Samsung 8LPU에서 칩을 만들고 있으며 2,300만 달러 이상을 조달했다. 광학 방식의 Optalysys는 3,100만 달러를 조달했고 완전한 상용 칩까지 아직 2–3년이 남았다고 말한다. Zama의 오픈소스 FPGA 설계는 약 200 W에서 초당 약 13,000회의 프로그래머블 부트스트랩에 이르며, 이것이 어떤 ASIC이든 분명히 넘어서야 할 공개 기준선이다. 결론은 2027–2029년 무렵의 기회를 보고 **일찍 자리를 잡되 가벼운 자산으로 검증하라**는 것이다. 수요는 암호화폐 자체보다 기업과 정부의 암호화 AI에 자리 잡을 가능성이 크며, FHE에는 HBM이 필요하므로 비용 구조가 학습 칩과 닮았다.

칩 유형	k의 원천	수요와 보상 풀	NRE와 문턱	규칙 또는 종속 위험	두 번째 시장	판단
Pearl형 PoUW 채굴 칩	HBM, CoWoS, 범용 유닛 제거: J/op로 3–10배 정도 분석	채굴자 수입 연 약 4.6억–4.9억 달러, 변동성 큼	N7/N6 반복 어레이 약 1,000만–3,000만 달러 분석	매우 높음: 프로토콜이 수치 형식과 장치 화이트리스트를 정한다	범용 INT8/FP8 GEMM으로 만들면 AI 추론	전용 INT7 칩은 아님; 채굴 가능한 추론 우선 칩을 만들거나 표준 산술을 기다릴 것
비트코인 SHA-256 채굴 칩	Bitmain 대비 k ≤ 1	연 약 115억 달러, 범용 판매 시장은 두 회사가 장악	3 nm급 마스크 1,000만–2,000만 달러; 전체 NRE 3,000만–1억 달러 이상	낮음(안정된 알고리즘); 경쟁·반감기 위험은 높음	거의 없음(단일 알고리즘)	신규 진입자는 범용 판매 시장에 들어가지 말 것; 자체 전력, 틈새 폼팩터, IP만
AI 학습 칩	같은 세대 시스톨릭 어레이는 1.1–1.8배 뿐; 지렛대는 수치 형식	최대(Broadcom의 2026 회계연도 AI 반도체 매출 약 580억 달러)	3/2 nm 설계 6,000만–4억 달러 이상; CoWoS와 HBM	NVIDIA의 연간 출시 주기	—	소규모 팀은 독자 칩이 아니라 IP, 칩렛, 설계 서비스를 만들 것
AI 추론 칩	범용성 포기: 10–20배 주장 업체 주장	크고 분산됨; 중국 본토 국내 시장은 그 자체로 큼	N6/N7–N4의 SRAM 아키텍처는 다루기 쉬움	모델·아키텍처 종속	이것이 주력 시장	만들 가치 있음: 고객과 먼저 계약하고 종속 수준을 정할 것
ZK 가속기	GPU의 10–100배 주장 업체 주장	작고, 주로 토큰 보상이 움직임	N7/N6 다음 N5; FPGA부터	증명 시스템이 빠르게 바뀜	ZK 밖에서는 제한적	대기·헤지: 프로그래머블 MSM·NTT 엔진
FHE 가속기	Xeon의 1,074–5,547배 (Heracles)	아직 형성되지 않음; 기업·정부에 자리 잡을 것	HBM 필요; 비용 구조가 학습 칩에 가까움	표준과 생태계 미정	암호화 연산, 프라이빗 AI	조기 포지션, 가벼운 자산으로 검증; 2027–2029년 기회

그림 07

다섯 가지 칩, 다섯 가지 답

비용 우위 k의 원천, 규칙이 바뀔 때 실리콘을 팔 곳, 그리고 결론



Pearl형 PoUW 채굴 칩

지금은 아님

k: HBM·범용 유닛 없음: 연산당 3–10×(추론)

두 번째 시장: 범용 INT8/FP8 GEMM이면 AI 추론

전용 INT7 칩이 아니라 채굴도 되는 추론 우선 칩에 걸라



비트코인 SHA-256 채굴 칩

관망

k: 기존 강자 대비 ≤1

두 번째 시장: 거의 없음

자체 전력, 틈새 폼팩터, 또는 IP로만



AI 학습 칩

칩 대신 IP

k: 같은 정밀도에서 1.1–1.8×

두 번째 시장: —

패키징과 HBM이 좌우; IP·칩렛·서비스를 만들라



AI 추론 칩

개발

k: 범용성 포기: 10–20× 주장

두 번째 시장: 이것이 주력 시장

고객과 먼저 계약하고 종속 수준을 정하라



ZK 증명 가속기

대기·헤지

k: GPU의 10–100× 주장

두 번째 시장: ZK 밖에서는 제한적

프로그래머블 MSM·NTT 엔진; FPGA부터



FHE 가속기

조기 포지션

k: Xeon의 1,074–5,547×(Heracles)

두 번째 시장: 암호화 연산, 프라이빗 AI

2027–2029년 기회; 가벼운 자산으로 검증

출처: 7장과 8장에 대한 저자 종합; 업체 수치는 보고서의 표시를 따름.

제09장

09

공정 노드

공정 노드: 가장 큰 수명 주기 비용이 고르게 하라

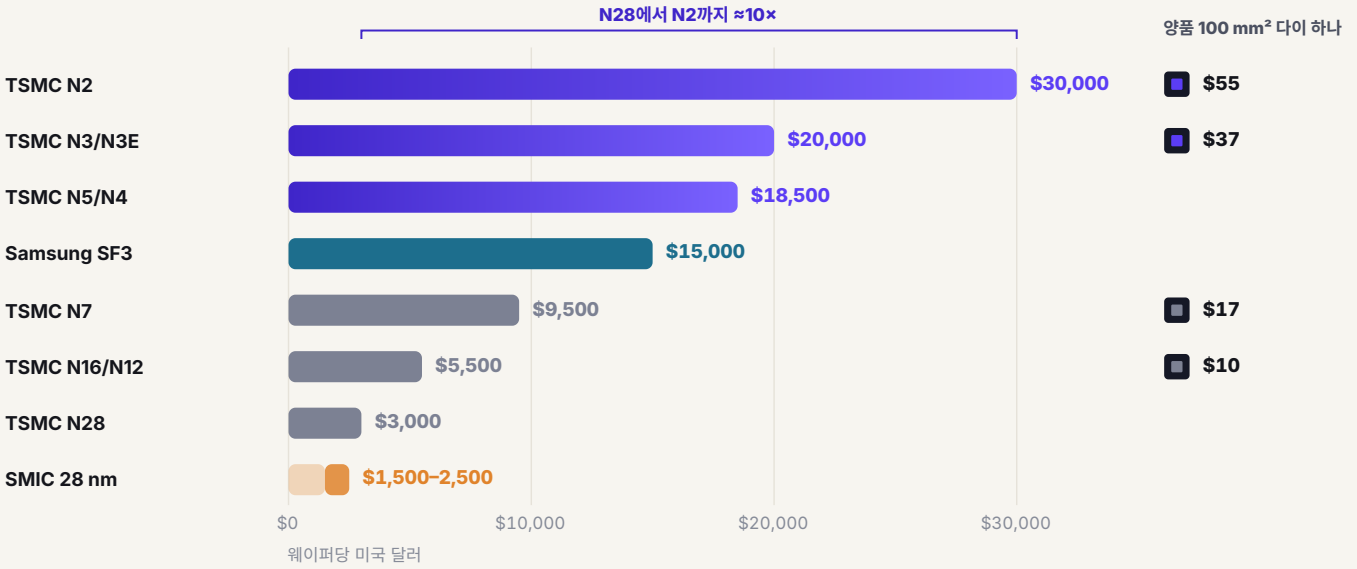
비용 사다리: 최첨단 웨이퍼는 성숙 공정의 열 배다

장부부터 보자. 최첨단 웨이퍼는 이제 성숙 공정의 약 열 배다. TSMC N2는 약 30,000달러, N3는 약 20,000달러, N7은 약 9,500달러, N28은 약 3,000달러다. Samsung SF3는 약 15,000달러로 N3보다 약 25% 싸다. SMIC의 7 nm급 제조 원가는 TSMC보다 40%에서 50% 높은 것으로 보도됐다. TSMC는 2027년 1월부터 가격을 다시 3%에서 6% 올리며, 2 nm와 3 nm의 인상 폭이 가장 크다고 보도됐다. 마스크와 설계 비용은 차이가 더 크고 출처마다 다르므로, 표에는 둘 다 실었다.

노드	웨이퍼 가격(추정치)	마스크 세트(모델값 / 가이드 범위)	설계 예산(AnySilicon)	MPW(프로젝트당)
TSMC N2	약 30,000달러	—	3/2 nm: 6,000만–4억 달러 이상	—
TSMC N3/N3E	약 20,000달러(18,000–27,000달러)	1,500만 달러 / 1,000만–2,000만 달러	위와 같음	—
Samsung SF3	약 15,000달러(13,000–17,000달러)	1,200만 달러	—	—
TSMC N5/N4	약 18,500달러(16,000–21,300달러, 낮은 신뢰도)	650만 달러 / 1,000만–2,000만 달러	5/4 nm: 3,000만–2억 달러	—
TSMC N7	약 9,500달러(8,100–10,900달러)	350만 달러 / 500만–1,000만 달러	7/6 nm: 1,500만–1억 달러	상업용 10만–50만 달러
TSMC N16/N12	약 5,500달러	180만 달러	16/12 nm: 600만–4,000만 달러	학술용 mm²당 약 35,000달러
TSMC N28	약 3,000달러	100만 달러 / 100만–300만 달러	28/22 nm: 300만–2,000만 달러	상업용 5만–15만 달러; 학술용 mm²당 약 12,000달러
SMIC 28 nm	1,500–2,500달러	—	—	—
SMIC 7 nm급 (N+2/N+3)	TSMC보다 40–50% 높음	—	—	—

그림 08 **최첨단 웨이퍼는 성숙 공정의 열 배다**

노드별 300 mm 웨이퍼 추정 가격과, 수율 85%에서 양품 100 mm² 다이 하나의 비용



출처: Silicon Analysts 웨이퍼 가격(추정치, N5는 낮은 신뢰도), Wccftech(SMIC); 다이 비용은 가정 수율에 따른 저자 계산.

다음은 물리다. Horowitz의 고전적 측정에 따르면 프로그래머블 명령 하나는 약 70 pJ을 쓰지만 산술 자체는 몇 피코줄에 불과하다. **산술은 싸고 오버헤드는 비싸다.** 이것이 시스톨릭 어레이와 전용 칩이 존재하는 이유다. 피처 크기를 절반으로 줄이면 연산당 에너지는 대략 절반이 되지만, 공급 전압은 0.9–1.1 V 부근에서 정체됐다. N2 웨이퍼는 N3보다 50%에서 67% 비싸므로, 밀도가 약 1.5배 넘게 오르지 않는 한 트랜지스터당 비용은 내려가는 것이 아니라 오른다 추정. 최첨단 노드는 효율과 성능으로 제값을 해야 한다. 수율 85%의 100 mm² 다이라면 양품 다이 하나의 비용은 N2에서 약 55달러, N3에서 37달러, N5에서 29–34달러, N7에서 17달러, N16에서 10달러다 [추정; 수율은 가정].

칩 유형과 팀에 따른 노드 선택

내 규칙은 이렇다. **칩의 수명 주기 비용 중 가장 큰 항목이 노드를 고르게 하라.** 24시간 전부하로 도는 연산 칩(채굴, ZK)은 전기료가 수명 주기 비용을 지배하므로, 알고리즘이 안정되면 N5/N4와 N3/SF3로 옮겨야 한다. 알고리즘이 정해지지 않았거나 자금이 부족하면 먼저 성숙 노드 MPW로 검증하라. 학습 칩의 병목은 패키징과 메모리(HBM과 CoWoS가 H100 부품 원가의 약 63%)이므로 노드는 부차적이다. 추론 칩의 첫 결정은 메모리 아키텍처다. SRAM 중심 설계는 N6/N7에서 N4에 머물 수 있고, HBM 설계는 학습 칩의 비용 구조를 물려받는다. FHE는 메모리 대역폭에 묶여 있어 HBM을 피할 수 없다.

칩 유형	스타트업 또는 소규모 팀	규모를 갖춘 회사	중국 본토 경로	핵심 사항
행렬 곱셈 PoUW 채굴 칩(SRAM 상주, HBM 없음)	28 nm 또는 16/12 nm MPW로 시제품; 첫 양산은 N7/N6; 알고리즘과 수익이 안정되면 N5/N4; 표준 플립칩 패키지의 50–150 mm² 다이	N3/N3E 또는 Samsung SF3	SMIC N+1/N+2 가능 (HBM·CoWoS 불필요), 양품 다이당 약 40–50% 더 비쌈	에너지가 지배; 프로토콜 규칙이 최대 위험
SHA-256 채굴 칩	최첨단을 쫓지 말 것; 틈새 폼팩터는 성숙 노드 가능	3 nm급; 기존 강자는 TSMC 5 nm에서 2 nm로, Samsung SF3에서 2 nm로 이동(2차 출처)	최첨단 노드 효율을 따라잡기 어려움	전력 가격과 반감기 주기가 마진을 정함

칩 유형	스타트업 또는 소규모 팀	규모를 갖춘 회사	중국 본토 경로	핵심 사항
AI 학습 칩	독자 칩은 안 됨: IP, 칩렛, 설계 서비스	N3P 다음 N2/A16; 칩렛 2–8개; CoWoS와 HBM을 일찍 확보	SMIC N+2/N+3와 국산 HBM(Huawei 모델); 칩당 FP8은 NVIDIA의 약 0.2–0.5배, 시스템 규모로 보완	패키징과 HBM이 병목
AI 추론 칩	SRAM 중심 또는 고정 배선, N6/N7 또는 N4/N5/SF4; INT8, FP8, FP4만	HBM을 단 N3/N2(긴 컨텍스트, 전문가 혼합), 또는 다중 칩렛 SRAM	SMIC N+2와 LPDDR 또는 GDDR; HBM급 메모리가 병목	아키텍처 종속 수준이 핵심 결정
ZK 가속기	FPGA 또는 16/12 nm MPW로 시작; 이후 N7/N6과 N5	N5/N3	SMIC N+1/N+2 가능	정수 연산이고 결정적; 검증이 쉬움
FHE 가속기	FPGA(오픈소스 기준선과 비교) 또는 16/12 nm MPW; 양산에는 HBM 필요	HBM을 단 N5/N3	HBM 접근성에 제약	속도를 정하는 것은 산술이 아니라 메모리 대역폭

첨단이냐 성숙이냐, 네 종류의 파운드리, 그리고 칩렛

선택지	주요 강점	주요 약점	적합한 용도
최첨단 노드(N3/N2, SF3/SF2, Intel 18A)	풀 노드마다 연산당 에너지가 대략 절반; 고밀도 SRAM	웨이퍼는 성숙 노드의 3–10배, 마스크는 5–15배, 설계 예산은 10–20배; 리드 타임 50주 이상; N2는 트랜지스터당 비용이 오를 수 있음	알고리즘이 안정되고 24시간 도는 연산 칩; 학습 칩
성숙·중급 노드(N7/N6, N16/12, N28)	100만 달러대 마스크, 저렴한 MPW, 빠른 반복, 많은 파운드리(TSMC, UMC, GlobalFoundries, SMIC)	24시간 전부하 시 효율 경쟁력 없음	시제품, 틈새 시장, 엣지 추론
TSMC	최고의 수율과 생태계	가장 높은 가격; N2/N3 용량 빠듯; CoWoS 대기열이 김	물량 약정을 갖고 효율 최전선을 쫓는 팀
Samsung Foundry	웨이퍼 약 20–25% 저렴(SF3 약 15,000달러 대 N3 약 20,000달러); Groq 2세대 등이 사용	파운드리 사업 적자, 2027년 말 손익분기 목표	비용에 민감한 연산 칩
Intel Foundry	Heracles 같은 복잡한 칩을 Intel 3에서 입증	18A의 외부 가격·고객 데이터 미공개; 파운드리 사업 적자	생태계와 지원을 사안별로 평가
중국 본토 파운드리(SMIC 등)	거대한 국내 시장과 가까움; 28 nm 웨이퍼 1,500–2,500달러	7 nm급 용량 월 약 45,000–60,000장으로 대부분 Huawei가 흡수; 수율은 TSMC의 약 3분의 1; 비용 40–50% 높음; DUV만 가능	국내 시장용 추론·채굴·ZK 칩
칩렛	레티클과 수율 한계 극복; HBM 시스템의 표준(MI355X, Ironwood, Trainium3)	패키징 비용 증가와 CoWoS 의존; 양품 다이(KGD) 검사가 비용을 더함	학습 칩과 대형 추론 칩; 소형 채굴·ZK 칩에는 불필요

제10장

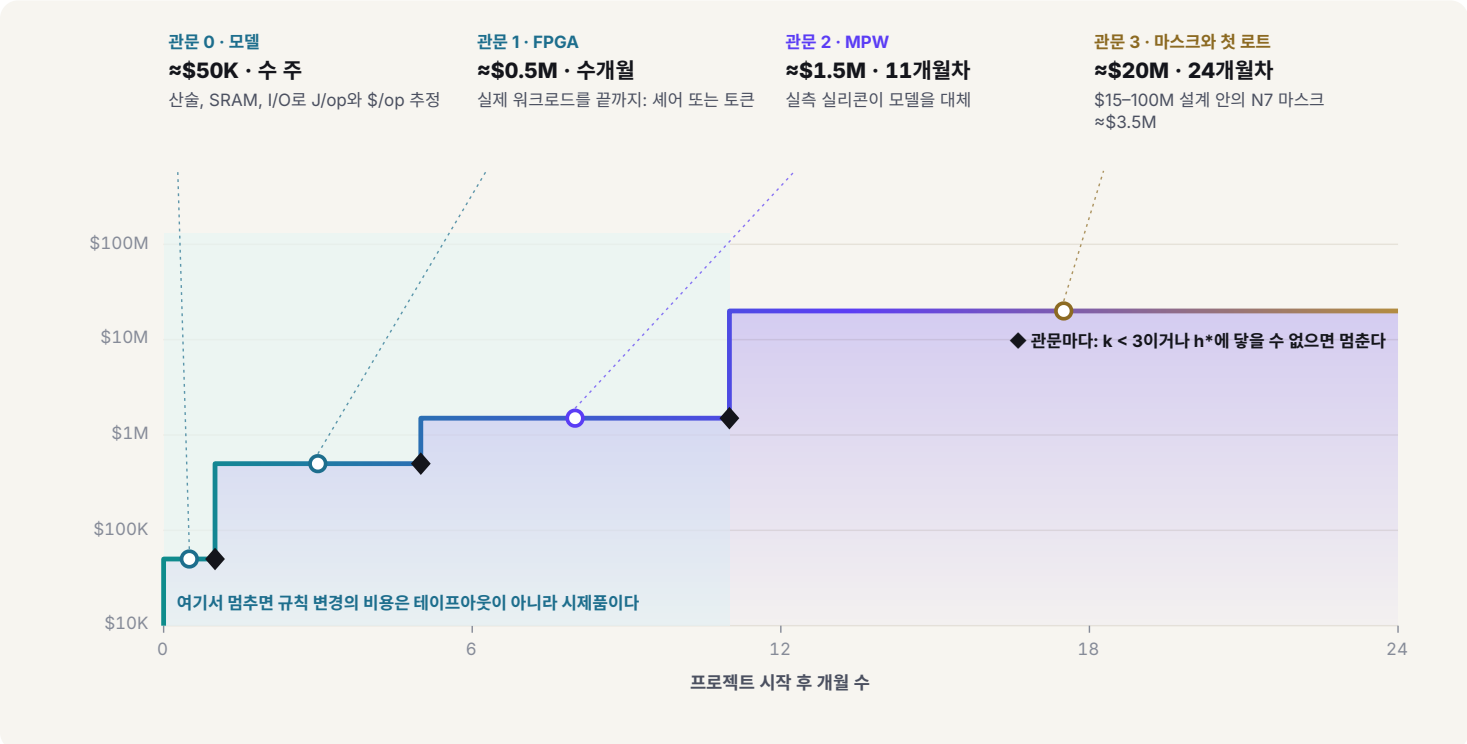
10 단계별 예산
모델에서 실리콘까지: 첫 칩의 단계별 예산

마스크보다 증거를 먼저 사라

풀 커스텀 칩은 갈수록 커지는 일련의 베팅이며, 원칙은 마스크를 사기 전에 증거를 사는 것이다. 나는 관문 네 개를 쓴다 분석. 관문 0은 모델이다. 산술, SRAM, I/O로부터 J/op와 $/op를 7장의 기준 하드웨어와 비교해 추정하는 아키텍처 연구로, 몇 주와 수만 달러가 든다. 관문 1은 실제 워크로드(채굴 셰어나 추론 토큰)를 끝까지 돌려 데이터패스와 프로토콜 연동을 입증하는 FPGA 시제품으로, 몇 달과 수십만 달러가 든다. 관문 2는 멀티 프로젝트 웨이퍼다. 상업용 슬롯은 N28에서 약 50,000–150,000달러, N7에서 100,000–500,000달러이며, 실측 실리콘이 모델의 에너지 추정을 대체한다. 관문 3은 전체 마스크 세트와 첫 양산 로트다. 마스크는 N28에서 약 100만 달러, N7에서 350만 달러, N3에서 1,500만 달러이고, 7/6 nm 설계 예산 1,500만–1억 달러 안에 들어간다. 관문마다 프로젝트를 멈추는 숫자가 있어야 한다. 예컨대 한계 하드웨어 대비 k가 3 미만이거나, 기간 안에 닿을 수 없는 회수 해시레이트 h*다.

그림 09 **마스크보다 증거를 먼저 사라: 첫 칩의 단계별 예산**

N7/N6 프로젝트가 네 관문을 거치며 쓰는 누적 지출(미국 달러), 로그 스케일; 관문마다 프로젝트를 멈추는 숫자가 있다



출처: 웨이퍼, MPW, 마스크 가격은 9장과 같음(Silicon Analysts, AnySilicon, 모델값); 관문의 시기와 지출은 저자의 예시적 가정.

계단은 가파르다. N7/N6 프로젝트에서 처음 세 관문은 합쳐서 약 150만 달러와 약 11개월이 들고, 네 번째는 그 열 배 이상이 든다 추정. 그래서 노드보다 순서가 더 중요하다. 프로토콜이 산술을 바꾸거나 구매자가 떠나도, 관문 2에서 멈춘 팀은 테이프아웃이 아니라 시제품 값만 잃는다.

칩마다 드는 비용, 그리고 참이어야 할 조건

프로젝트	관문 2(시제품)	관문 3(노드와 설계 예산)	양품 100 mm² 다이 하나	회수를 위해 참이어야 할 조건
채굴도 되는 추론 우선 가속기	16/12 nm 또는 N7 MPW, 10만–50만 달러	N6/N7, 약 1,500만–3,000만 달러 추정	N7에서 약 17달러, 패키징과 메모리 제외	계약된 추론 고객이 NRE 대부분을 부담; 채굴 수입은 기본 시나리오가 아니라 상승 여력
Pearl 전용 INT7 채굴기(지금은 비추천)	28 nm MPW, 5만–15만 달러	N7/N6, 약 2,000만 달러	N7에서 약 17달러	p = 1이면 1년 내내 약 4.9 EH/s, p = 0.5이면 9.8 EH/s(7장)
ZK 가속기	FPGA, 그다음 16/12 nm MPW	N7/N6, 그다음 N5	N16에서 약 10달러, N7에서 17달러	증명 시스템이 고정 설계로 처리할 수 있는 MSM·NTT 커널로 수렴할 것
FHE 가속기	오픈소스 기준선과 비교하는 FPGA	HBM을 단 N5/N3, 3,000만 달러 이상	HBM과 패키징이 지배	대량의 암호화 AI 구매자. 아직 존재하지 않는다

여기서 사업상의 요점이 둘 나온다. 첫째, 가장 싼 효율은 아키텍처에서 나온다. 피연산자를 SRAM에 두고 HBM과 CoWoS를 빼면, 노드를 고르기도 전에 GPU 비용의 대부분(H100 부품 원가의 약 63%)이 사라진다. 둘째, 시간도 비용이다. 신생 팀은 착수부터 양산까지 약 18–24개월이 필요하고 최첨단 리드 타임은 50주를 넘으므로, 몇 달마다 산술을 바꾸는 프로토콜은 관문 3이 제값을 하기 전에 칩을 구식으로 만들 수 있다.

소규모 팀을 위한 세 가지 규칙

이 숫자들을 종합하면 세 가지 규칙이 나온다 분석. 첫째, **이름 있는 구매자나 동결된 프로토콜 버전이 생길 때까지 관문 1이나 2에 머물러라.** 토큰 가격도 해시레이트도 그 어느 쪽을 대신하지 못한다. 둘째, **k는 먼저 아키텍처로, 그다음 노드로 사라.** N7의 SRAM 상주 어레이는 한 워크로드에서 N3의 범용 칩을 마스크 비용의 일부만으로 이길 수 있다. 셋째, **테이프아웃 전에 p를 반영한 회수 해시레이트나 물량을 적어 두고**, 마일스톤 지급을 고정 프로토콜 버전 기준으로 책정해 규칙 위험을 설계 회사가 아니라 고객이 지게 하라.

제11장

11 기회

기회는 어디에 있고, 나는 무엇을 하겠는가

맞춤형 칩: 수요는 압도적으로 AI에서 나온다

2026년 맞춤형 칩 수요는 압도적으로 AI에서 나온다. Broadcom의 2026 회계연도 3분기 AI 반도체 매출은 167억 달러로 전년 대비 221% 늘었고, 연간으로는 약 580억 달러이며, 그중 73%가 고객 여섯 곳을 위한 XPU에서 나왔다(실적 발표 통화의 자동 녹취록 기준). Global Unichip의 2분기 매출은 전년 대비 128% 늘었고, 턴키 생산 매출은 188% 늘었으며 매출총이익률은 21.5%였다. AIchip의 1분기 노드별 매출 비중은 3/2 nm 21%, 7/5 nm 63%, 12 nm 이상 16%였다. VeriSilicon의 2026년 신규 수주는 4월 말까지 82억 4,000만 위안(약 11억 6,000만 달러)에 이르렀고, 그중 91.37%가 AI 컴퓨팅용이었다. 시장은 세 층으로 나뉜다. 맨 위에는 수십억 달러 규모의 다년 공동 개발, 중간에는 NRE가 수백만 달러에서 1억 달러 이상인 7 nm–2 nm 프로젝트(중급 노드 500만–3,000만 달러, 최첨단 3,000만–1억 달러 이상), 그리고 NRE 50만–500만 달러의 성숙 노드 ASIC이라는 긴 꼬리가 있다. 크립토·채굴 고객은 작고 경기 순환적인 틈새이지만, 오늘날 연산에 돈을 내는 가장 빠르고 가장 허가가 필요 없는 '첫 고객'이다.

채굴 칩 팀의 역량 가운데 가장 잘 옮겨가는 것, 즉 문턱 전압 근처의 저전압 동작, 대규모로 복제된 연산 어레이, 킬로와트급 전력 공급과 냉각, 빠른 최첨단 노드 테이프아웃은 바로 추론 칩과 ZK·FHE 가속기에 필요한 것이다. 자본 시장은 이를 가격에 반영한다.

Velaura AI(옛 Auradine)는 8월 기업가치 10억 달러 이상에 1억 1,000만 달러를 조달했다. 반례는 Canaan의 엣지 AI 칩 부문으로, 2024 회계연도 매출이 90만 달러였는데 영업비용의 15%를 썼고, 2025년 6월 문을 닫았다. 차이는 채굴 유통망의 재사용이 아니라 독립적인 시장 진입 경로에 있다.

AI 개발: 시간은 범용 상품이고, 가치는 연결부에 있다

저가 쪽에서 AI 개발 서비스는 범용 상품이 됐다. Clutch의 일반적인 단가는 시간당 25–49달러, 미국·캐나다 등의 시장에서는 50–99달러이며, 블록체인 개발팀은 월 약 15,000달러에서 90,000달러 이상이 든다. 시간을 파는 데는 해자가 없다. 가치는 분야 사이의 연결부에 있다. 맞춤형 칩용 커널과 컴파일러, 추론 서빙에 내장된 채굴(Pearl의 vLLM 플러그인이 한 예), TEE와 ZK 표본 검사를 결합한 검증 가능한 추론, 그리고 에이전트를 위한 결제와 신원이다.

AI × 크립토 시스템: 토큰보다 연산 구매자와 먼저 계약하라

AI 네이티브 체인이나 컴퓨팅 네트워크를 설계하는 사람에게 2026년의 검증 도구 상자는 모양을 갖췄다. 작업 단위당 비용이 낮은 순서로 보면 통계적 샘플링(Hyperbolic의 샘플링 증명), 심판형 위임(Gensyn의 Verde. 정직한 검증자 하나만 있으면 되지만 비트 단위로 정확한 실행이 필요하다), TEE(네이티브에 가까운 속도, 그러나 칩 업체를 신뢰해야 함), 완전 중복 실행, 범용 zkML이다. 실용적인 설계는 계층형이다. 낮은 지연에는 TEE나 샘플링, 최종성에는 분쟁 게임이나 ZK 표본 검사를 쓴다. 2025년 12월의 한 논문은 사기 증명과 무작위 ZK 표본 검사를 결합한 H100 기밀 컴퓨팅을 시뮬레이션해, 중앙화 처리량의 99%와 질의당 한계 비용 0.07달러를 얻었다. 하드웨어 철학이 보안과 분포를 결정한다. GPU 네이티브 PoUW는 처음에 빌릴 수 있는 클라우드 GPU로 보호되므로 공격 비용이 임대 가격에 묶이며, Qubic은 범용 하드웨어 위의 작업 증명이 외부 인센티브에 통째로 장악될 수 있음을 보여 준다.

비용과 시간은 장벽이 아니다. Pearl은 논문(2025년 4월)에서 메인넷까지 약 12개월이 걸렸고, btcd에서 포크했으며, 출시 때 풀 노드, 지갑, 라이트 클라이언트, 채굴기를 갖췄다. 대부분의 DeFi 감사는 25,000–100,000달러, 기업용이나 멀티체인 감사는 150,000–250,000달러 이상이며, ZK 회로는 80%에서 120% 더 들고, 실제 가치가 걸린 프로젝트는 보안에 연 150,000–500,000달러를 책정한다. 진짜 장벽은 유통과 유동성이다. 창업자들은 Binance가 상장 대가로 토큰 공급량의 0%에서 3.5%, 주장에 따르면 8%까지 요구했다고 전한다(Binance는 상장으로 이익을 얻는다는 것을 부인한다). Cointelegraph가 검토한 '토큰 대여와 콜옵션' 방식의 마켓 메이킹 계약을 쓴 프로젝트 여섯 곳은 모두 하락했고, Movement의 마켓 메이커는 상장 당일 약 3,800만 달러어치의 토큰을 팔았다. 대안은 온체인 유동성이다. Hyperliquid는 Binance 상장 없이 시가총액 100억 달러를 넘었고, 그 HIP-3 무기한 선물 시장은 6월 미결제약정 32억 달러를 넘었다. 또 다른 대안은 대형 거래소를 통한 공개 판매로, Monad는 Coinbase를 통해 2억 6,900만 달러를 조달했다. 높은 완전 희석 가치와 낮은 유통 물량은 2025–2026년 출시 후 하락을 가장 분명하게 예고한 지표였다.

토큰 설계는 시스템 설계의 일부다. 발행은 유료 수요를 앞서지 말고 따라가야 한다. 이 보고서에서 보조금 배수가 가장 건강한 네트워크는 외부 구매자가 돈을 내는 작업에 보상을 묶고, 가장 나쁜 네트워크는 뒷받침 없는 해시레이트나 스테이크에 돈을 지급한다. 실용적인 규칙은 출시 전에 첫해, 둘째 해, 셋째 해에 목표로 하는 보조금 배수를 공개하고, 그것을 놓치면 발행을 줄이는 것이다 분석.

방향	누가 사는가, 지불 의향	시기	핵심 역량	주요 위험
채굴도 되는 추론 우선 가속기	네오클라우드, 프라이빗 배포, PoUW 네트워크	2027–2028년 (FP8·FP4 포크에 따라)	INT8, FP8, FP4 GEMM; SRAM 아키텍처; 프로토콜 연동	프로토콜 허용 여부, 아키텍처 종속
SRAM 또는 고정 배선 추론 칩	네오클라우드, 중국 본토 데이터센터, 엣지	지금	컴파일러와 모델 적응; N6–N4 설계	모델이 너무 빨리 바뀜
채굴 칩(틈새 또는 수직 통합)	자체 전력을 가진 채굴자; 가정용·난방용 채굴기	지금, 반감기와 해시프라이스가 한계	저전압 어레이, 효율, 양산 공급망	기존 강자의 가격 전쟁, 전력 가격
ZK 증명 가속	증명자 네트워크, 롤업	증명 시스템이 수렴할 때까지 대기	프로그래머블 MSM과 NTT	수요가 토큰 보상에 의존

방향	누가 사는가, 지불 의향	시기	핵심 역량	주요 위험
FHE 가속	기업·정부용 암호화 AI; 프라이버시 체인	2027–2029년	NTT, HBM 시스템, 암호 공학	수요 미형성; 긴 영업 주기
TEE 강화와 검증 가능한 추론	기밀 추론 네트워크, DePIN	지금	무결성을 갖춘 메모리 암호화, 독립적 증명 근원, ZK 표본 검사	업체 생태계 의존
AI 네이티브 체인 또는 컴퓨팅 네트워크	추론 구매자, 채굴자, 개발자	지금	검증 설계, 발행 설계, 유통	출시 후 하락, 토큰 유동성

내가 택할 세 갈래 길과 각각의 첫걸음

내가 골라야 한다면 최대 세 갈래 길을 택하고, 각각 돈을 걸기 전에 시험하는 작은 첫걸음을 두겠다 분석.

- **경로 A: 채굴도 되는 추론 우선 가속기.** 첫걸음: SRAM 상주 INT8/FP8 GEMM 어레이의 J/op와 $/op를 Pearl 작업과 트랜스포머 추론 양쪽에서 RTX 5090·H100과 비교해 모델링하는 4주간의 아키텍처 연구, 이어서 100만 달러 수준의 NRE로 FPGA 또는 성숙 노드 MPW 검증.
- **경로 B: 크립토를 첫 고객, AI를 두 번째 시장으로 하는 맞춤형 실리콘 서비스.** 첫걸음: 이 보고서의 NRE·손익분기 모델을 연산 칩 프로젝트용 유료 타당성 조사로 바꾸되, 마일스톤 지급과 고정 프로토콜 버전 기준의 검수를 둔다.
- **경로 C: 토큰보다 연산 구매자와 먼저 계약하는 AI 네이티브 네트워크.** 첫걸음: 계층형 검증(TEE, 샘플링, ZK 표본 검사)과 업체 중립적 표준 산술에 관한 설계 노트를, 토큰 설계에 앞서 이름 있는 추론 구매자 한 곳과 함께 쓴다.

제12장

12 이정표

지켜볼 것: 2026년 11월부터 2027년까지

시기	지켜볼 것	중요한 이유
수시	Pearl의 FP8 활성화 높이	정수 하드웨어와 비NVIDIA 카드가 계속 허용되는지, 체인이 분열하는지를 결정
매월	AI 작업을 담은 Pearl 블록 비중	'유용성'이 현실이 되고 있는지를 보여 주는 가장 좋은 단일 시험
매월	추론 제공업체가 채굴 수입을 고객에게 돌려주는지	유료 수요와 발행의 만남: Pearl에 필요한 모델
분기별	발행량 대비 Bittensor의 검증 가능한 수익	가장 큰 유용한 작업 네트워크가 보조금 격차를 좁히고 있는지
분기별	에이전트가 실제로 개시한 x402 흐름의 비중	에이전트 결제가 신호에서 상거래로 옮겨가는지
2027년 1월	보도된 TSMC의 3%에서 6% 가격 인상, 2 nm와 3 nm의 인상 폭이 가장 큼	최첨단 노드 테이프아웃의 비용
2027년 1분기	창업자 AMA에서 보도된 Pearl의 FP4 도입	작업이 NVIDIA의 최신 형식 쪽으로 더 이동
2027년 말	Samsung Foundry의 손익분기 목표	더 싼 두 번째 공급원이 건강하게 유지되는지
2028년 4월	비트코인의 다음 반감기	SHA-256 채굴자의 보상 풀이 절반으로

제13장

13 던져야 할 질문 — 묻지 않았지만 물었어야 할 질문

아래는 어떤 AI × 크립토 프로젝트에든 돈이나 실리콘을 걸기 전에 내가 던질 질문이다.

작업 함수는 누가 통제하는가? 작은 팀이 하드코딩된 높이에서 산술을 바꿀 수 있다면, 당신 하드웨어의 수명은 그들이 정한다. 서면으로 된 안정성 약속을 요구하거나, 두 번째 시장이 있는 하드웨어를 설계하라.

보조금 배수는 얼마인가? 발행량(또는 시가총액)을 네트워크 외부에서 지불된 수익으로 나눠라. 배수가 10을 넘으면 네트워크는 서비스를 파는 것이 아니라 활동을 사고 있다.

다음 관문의 비용은 얼마이고, 어떤 숫자가 당신을 멈추게 하는가? 멀티 프로젝트 웨이퍼는 수만에서 수십만 달러, 마스크 세트는 수백만 달러가 든다. 돈을 쓰기 전에 멈출 숫자를 정하라.

p를 반영한 회수 해시레이트는 얼마인가? NRE를 R × (1 − 1/k) × T × p로 나눠라. 답이 네트워크의 큰 비중이라면, 그 칩은 실리콘이 아니라 규칙에 거는 베팅이다.

칩의 두 번째 시장은 무엇인가? 프로토콜이 포크하거나 토큰이 떨어지면 그 실리콘을 달리 어디에 팔 수 있는가? GPU는 그런 시장이 있었기에 Ethereum Merge에서 살아남았고, 단일 알고리즘 ASIC은 그렇지 못했다.

가치는 토큰에 쌓이는가, 지분에 쌓이는가? 2026년에 이익을 내는 AI × 크립토 기업은 대부분 크립토 유통을 쓰는 지분 기업이다. 돈을 조달하기 전에 둘 중 무엇을 만드는지 정하라.

첫 유료 고객은 구체적으로 누구인가? Grass부터 Bittensor의 컴퓨팅 서브넷까지, 이 보고서의 지속 가능한 사례는 모두 네트워크 밖의 이름 있는 구매자에서 시작했다.

채굴, AI 학습·추론용 맞춤형 칩과 가속기, AI 개발, 그리고 체인에서 노드, 칩에 이르는 AI × 크립토 시스템은 내가 다른 이들과 기술 교류와 기술 협력을 통해 함께 탐구하고 싶은 분야다. i@tanshuai.com으로 연락할 수 있다.

이 보고서의 한계

이것은 2026년 11월 13일까지의 공개 문서에 기반한 문헌 조사다. 이번 판을 위해 1차 인터뷰나 독립 측정은 하지 않았다. 핵심 수치 몇 가지는 Aethir의 수익, Grass의 수익, Etched와 Taalas의 성능, Cysic의 효율처럼 회사나 업체의 주장이며, 그렇게 표시했다. Pearl의 체인 지표는 독립 풀 노드와 채굴 풀에서 나오며 시시각각 바뀐다. 나는 11월 13일 07:13 UTC 무렵의 값을 쓰고 당일 범위를 함께 제시했다. 웨이퍼, 마스크, 설계 비용은 서로 엇갈리는 제3자 추정치와 모델값이므로 범위로 제시했다. 나의 ASIC 손익분기 계산과 단계별 예산은 독자가 자신의 값으로 바꿔 넣어야 할 예시적 가정(k, T, p, NRE, 관문 비용)을 쓴다.



저자 소개

탄 슈아이는 칩, 하드웨어, 시스템 소프트웨어에 걸쳐 20년 넘게 일해 온 기술자이자 창업자로, 등록 특허 20건을 보유하고 있다. 암호화폐 채굴 칩과 멀티미디어 카메라 칩을 위한 풀 커스텀 ASIC 데이터패스 설계를 포함해 팹리스 칩 연구개발과 경영에 오랜 경력을 쌓았으며, 그것이 이 보고서의 렌즈다. 연산당 에너지, 웨이퍼당 비용, 프로토콜이 실리콘에 고정하도록 허락하는 것, 그리고 누가 돈을 내는가. 실리콘밸리, 뉴욕, 시카고, 대만, 그레이터 베이 에어리어(선전과 홍콩), 베트남, 말레이시아를 거쳐 일했다. 지금은 AI 연구·개발자로 일한다.

기술 토론: i@tanshuai.com · tanshuai.com

주석과 면책

이 보고서는 2026년 11월 13일까지 입수 가능한 공개 문서에 기반한 독립 문헌 조사다. 정보와 학습 목적으로만 제공되며 투자나 공학 자문이 아니다. 이 보고서는 기술과 사업만 다룬다. 가격, 체인 지표, 프로토콜 규칙은 바뀐다. 의존하는 내용은 무엇이든 1차 출처와 대조해 확인하라. 업체 주장 , 추정 , 분석 으로 표시된 수치는 그렇게 읽어야 한다. 암호자산 가격은 변동성이 매우 크다.

© 2026 탄 슈아이. 이 보고서는 출처를 밝히고 변경 없이 공유할 수 있다.



출처

모두 2026년 11월 10일부터 11월 13일 사이에 접속했다. 장별로 묶었다.

Pearl: 프로토콜, 코드, 체인 데이터

- Komargodski와 Weinstein, "Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication", arXiv 2504.09971: https://arxiv.org/abs/2504.09971
- Pearl Research Labs, INT 백서: https://pearlresearch.ai/research/int-whitepaper
- Pearl 소스 코드: 제네시스 블록: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/genesis.go ; 합의 파라미터와 포크 높이: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/params.go ; 해시레이트 산정: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/zk-pow/src/api/sanity_checks.rs ; 솔트 시드 포크 업그레이드 가이드: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/docs/salted-seed-fork-upgrade-guide.md ; fp8-scheme 브랜치 파라미터: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/fp8-scheme/node/chaincfg/params.go
- Pearl Improvement Proposals: https://github.com/pearl-research-labs/pips ; PIP-3, 부동소수점 채굴: https://github.com/pearl-research-labs/pips/blob/main/PIPS/pip-0003.md
- prlstats(독립 풀 노드): 네트워크: https://prlstats.com/api/network ; 시계열: https://prlstats.com/api/series ; 홈 화면과 채굴자 수입 모델: https://prlstats.com/api/home ; 채굴된 공급량: https://prlstats.com/api/mined ; 채굴 풀: https://prlstats.com/api/pools ; 보유자: https://prlstats.com/api/holders ; 하드웨어와 오버헤드 가정: https://prlstats.com/api/assumptions
- Kryptex Pool: Pearl 네트워크: https://pool.kryptex.com/prl/about-coin ; 해시레이트: https://pool.kryptex.com/prl/hashrate ; RTX 5090: https://pool.kryptex.com/de/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-5090 ; RTX 4090: https://pool.kryptex.com/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-4090 ; "Pearl FP8 fork": https://pool.kryptex.com/articles/pearl-fp8-fork-en
- CoinGecko, Pearl: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2 ; https://www.coingecko.com/en/coins/pearl-research ; 가격 이력: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2/market_chart?vs_currency=usd&days=365&interval=daily ; "Perle" 티커 검색: https://api.coingecko.com/api/v3/search?query=perle
- SimeonOnSecurity, "Mining Pearl (PRL) in 2026": https://simeononsecurity.com/articles/pearl-prl-mining-guide-2026/
- Hashrate Index, "Pearl (PRL): Inside the AI-Compute Cryptocurrency", 2026년 6월 2일: https://hashrateindex.com/blog/pearl-prl-ai-compute-cryptocurrency/
- Tom's Hardware, "New AI compute cryptocurrency Pearl sparks a GPU mining rush, but profitability is sliding": https://www.tomshardware.com/tech-industry/cryptomining/new-ai-compute-cryptocurrency-pearl-sparks-a-gpu-mining-rush-but-profitability-is-sliding
- Together AI, Pearl Research Labs와의 파트너십: https://together.ai/blog/together-ai-partners-with-pearl-research-labs ; 모델 페이지: https://together.ai/models/gemma-4-31b-it-pearl
- Basu, Pearl 채굴 인스턴스 전수 조사, arXiv 2606.04819: https://arxiv.org/html/2606.04819v2
- Blockworks, 0xResearch 뉴스레터, 2026년 10월 28일: https://blockworks.com/newsletter/0xresearch/issue/post_daf0d74a-2bf4-41e4-86d3-2a1275475a24
- Datawallet, "Pearl Explained": https://www.datawallet.com/crypto/pearl-explained
- Coingabbar, Pearl Research Labs 자금 조달에 관한 TheMarker 보도: https://www.coingabbar.com/en/pearl-research-labs-funding-130m-stealth-round-themarker

유용한 작업 체인과 역사

- Grothe 외, Gridcoin 보안 분석, USENIX WOOT 2017: https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-grothe.pdf
- 학습 증명 위조, arXiv 2208.03567: https://arxiv.org/abs/2208.03567
- hoge.gg, 탈중앙화 추론의 검증과 신뢰: https://hoge.gg/decentralized-inference-2026-verification-trust/ ; Bittensor 수익과 재무: https://hoge.gg/bittensor-quantum-wallet-revenue-tao-treasury-2026/
- Kaspa: kHeavyHash 행렬 코드: https://github.com/kaspanet/rusty-kaspa/blob/master/consensus/pow/src/matrix.rs ; 출시: https://coinranking.com/coin/V8GxkwWow+kaspa-kas/about ; IceRiver KS1/KS2 발표: https://www.iceriver.io/2023/03/14/1677644580/ ; GPU에서 ASIC으로의 역사: https://captainmining.com/blogs/crypto-news/the-evolution-of-kaspa-mining-from-gpus-to-asic-powerhouses ; GPU 해시레이트: https://coincalculators.io/algorithms/kheavyhash ; KS7: https://www.asicminervalue.com/miners/bitmain/antminer-ks7-40th ; 네트워크: https://minerstat.com/coin/kas ; 2024년 1 EH/s: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-reaches-1-ehs-in-hashrate ; Crescendo: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-crescendo-live
- Aleo: 메인넷 FAQ: https://aleo.org/post/aleo-mainnet-faq/ ; 탈중앙화 증명: https://aleo.org/post/decentralized-proving-advantages/ ; ASIC: https://whattomine.com/coins/432-aleo-zksnark/asics ; Blockworks, "State of Aleo Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-aleo-q3-2025 ; ARC-46: https://chaincatcher.com/en/article/2144326
- Qubic: Monero 재구성에 관한 The Block 보도: https://www.theblock.co/post/366535/monero-faces-chain-reorganization-fears-after-qubic-says-it-controls-51-of-hashrate ; Halborn: https://www.halborn.com/blog/post/explained-the-monero-51-percent-attack-august-2025 ; Dogecoin 채굴: https://hackernoon.com/qubic-is-now-mining-dogecoin-on-its-ai-compute-infrastructure ; CoinGecko: https://www.coingecko.com/en/coins/qubic
- Bittensor 합의 문서: https://www.bittensor.com/llms.mdx/docs/internals/consensus/content.md ; FalconX, "State of Bittensor": https://www.falconx.io/newsroom/state-of-bittensor-subnet-adoption-trends-network-mechanics-and-covenants-departure

- Primecoin: https://en.wikipedia.org/wiki/Primecoin ; Blockworks, "State of Filecoin Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-filecoin-q3-2025
- Monero와 ASIC 내성 포크: https://lbry.com/news/forking-for-asic-resistance ; Sia 포크: https://hotfix.coindesk.com/markets/2018/11/01/sia-completes-hard-fork-as-bricked-miners-form-rival-blockchain ; Obelisk 가격: https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/11/obelisk-hardware-skyrockets-in-selling-price-after-sia-hard-fork/ ; Merge 이후의 채굴자: https://hotfix.coindesk.com/business/2022/11/11/ex-ethereum-miners-token-hop-to-stay-alive-after-the-merge

AI × 크립토 부문

- DefiLlama: Render: https://defillama.com/protocol/render-network-bme ; Livepeer: https://defillama.com/protocol/livepeer
- Cointelegraph, Messari의 DePIN 수익 분석: https://cointelegraph.com/news/depin-revenues-grow-despite-token-losses
- Aethir, 2025년 결산: https://aethir.com/blog-posts/aethirs-2025-wrap-up-decentralized-gpu-cloud-milestones
- CoinGecko, AI 카테고리: https://www.coingecko.com/en/categories/artificial-intelligence
- Akash, H100 임대 가격: https://akash.network/the-bid/h100-rental-price-2026-cost-per-hour/ ; 2026년 1분기 보고서: https://akash.network/blog/akash-network-q1-2026-report/
- io.net, 800만 달러 계약과 일일 토큰: https://lifestyle.kbew98country.com/story/271004/io-net-to-burn-up-to-12m-tokens-as-network-closes-8m-deal-and-hits-4-billion-daily-ai-tokens/
- DCD, Axe Compute 계약: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/axe-compute-secures-15bn-compute-contract-with-unnamed-customer/
- Pluralis-8B: https://www.alphaxiv.org/abs/2607.13332.md ; Nous Research, Psyche: https://nousresearch.com/the-next-phase-of-psyche ; Implicator, INTELLECT-3: https://www.implicator.ai/prime-intellects-intellect-3-open-source-ambition-meets-centralized-reality/
- SiliconANGLE, Prime Intellect 자금 조달: https://siliconangle.com/2026/07/08/prime-intellect-raises-130m-1b-valuation-ai-training-platform/ ; The Block, Venice: https://www.theblock.co/post/406934 ; RuntimeWire, Nous 자금 조달: https://runtimewire.com/article/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valuation
- ownyourmind, Gensyn: https://ownyourmind.ai/projects/gensyn/ ; Phemex, Ritual(헤드라인만): https://phemex.com/news/article/ritual-launches-ai-layer-1-mainnet-and-ritual-token-price-dives-72-from-high-101259
- 기밀 컴퓨팅 오버헤드, arXiv 2409.03992: https://arxiv.org/abs/2409.03992v2 ; Phala 2025년 보고서: https://phala.com/posts/phala-2025-report ; TEE.fail: https://thehackernews.com/2025/10/new-teefail-side-channel-attack.html ; DeepProve, IACR ePrint 2026/1112: https://eprint.iacr.org/2026/1112
- TRM Labs, AI 에이전트 결제 측정: https://www.trmlabs.com/trm-tech-blog/whos-actually-paying-measuring-ai-agent-payments-onchain ; Forkast, x402 Foundation: https://forkast.news/the-x402-foundation-activated-a-27-year-old-internet-code-200-million-transactions-later-the-real-volume-is-still-tiny/ ; The Block, Tempo 메인넷: https://www.theblock.co/amp/post/394131/tempo-mainnet-goes-live-with-machine-payments-protocol-for-agents ; BlockEden, Virtuals의 aGDP: https://blockeden.xyz/blog/2026/04/21/agdp-agent-gdp-virtuals-protocol-ai-blockchain-valuation-primitive-tvl-displacement/ ; The Block, ElizaOS: https://theblock.co/post/410774/eliza-labs-native-token-dead
- Dealroom, Grass 수익: https://dealroom.co/news/157794-grass-backed-by-multicoin-projects-75m-in-2026-data-revenue/ ; CryptoSlate, Fetch.ai와 Ocean: https://cryptoslate.com/cryptos-flagship-ai-pact-fracture-fetch-sues-ocean-over-263m-fet-community-sales/ ; Fortune, World: https://fortune.com/2026/06/01/internet-according-to-sam-altman-seeing-orb/
- Galaxy, 크립토 벤처 캐피털: https://www.galaxy.com/insights/research/crypto-blockchain-venture-capital-q3 ; Crypto Briefing(헤드라인만): https://cryptobriefing.com/crypto-vc-investment-q3-2026-galaxy/ ; Blockhead, Tiger Research 분석: https://www.blockhead.co/2026/10/14/bitcoin-rose-43-in-q3-crypto-venture-funding-did-not-follow/ ; ForkLog, 2025년 토큰 출시: https://forklog.com/en/85-of-tokens-launched-in-2025-fell-below-initial-prices/

ASIC 경제학과 칩 유형

- Hashrate Index, 2026년 11월 9일 라운드업: https://hashrateindex.com/blog/hashrate-index-roundup-november-9-2026/
- AnySilicon, 2026년 노드별 ASIC 설계 비용: https://anysilicon.com/news/how-much-does-asic-design-cost-in-2026-real-price-ranges-by-process-node/ ; Silicon Analysts, 팹리스 테이프아웃 비용 가이드: https://siliconanalysts.com/analysis/fabless-startup-tapeout-cost-guide ; 시장 데이터: https://siliconanalysts.com/market-data
- MillionMiner, Bitmain S23 XP Hyd: https://millionminer.com/news/bitmain-wdms-2026-s23-xp-hyd-launch
- Khattak와 Mikaitis, 텐서 코어의 FP8 누산, arXiv 2512.07004: https://arxiv.org/html/2512.07004v2
- Canaan, 2026년 2분기 실적: https://finviz.com/news/389337/canaan-inc-reports-unaudited-second-quarter-2026-financial-results ; Bitdeer, 2026년 3분기 실적: https://greenstocknews.com/news/nasdaq/btdr/bitdeer-reports-unaudited-third-quarter-2026-results-record-revenue-of-us-320-7-million-adjusted-ebitda-up-173-to-us-69-6-million
- TheEnergyMag: Velaura AI: https://theenergymag.com/news/market-news/velaura-ai-series-a-bitcoin-pivot ; Core Scientific과 Block: https://theenergymag.com/news/2026-07-29/core-scientific-exit-block-bitcoin-deal-ai ; AI 임대 경제학: https://theenergymag.com/news/2026-08-06/miner-weekly-ai-pumpability-out-fuel
- Blockworks, Cipher와 Fluidstack: https://blockworks.co/news/cipher-mining-inks-3b-ai-hosting-deal-with-fluidstack ; Cointelegraph, Core Scientific: https://cointelegraph.com/news/core-scientific-to-quit-bitcoin-mining-by-year-end-as-ai-business-surges ; ForkLog, Bitfarms: https://forklog.com/en/former-bitfarms-shuts-down-all-mining-sites-in-the-us/ ; IREN, 2027 회계연도 1분기 실적: https://globenewswire.com/news-release/2026/11/05/3397020/0/en/iren-reports-q1-fy27-results.html
- Spark, 비트코인 ASIC 시장 집중도: https://www.spark.money/research/bitcoin-asic-manufacturer-market-concentration
- Google, TPU7x 문서: https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/tpu7x?hl=es ; The Register, Ironwood: https://www.theregister.com/2025/04/10/googles_7thgen_ironwood_tpus_debut/ ; SemiAnalysis, B300: https://inferencex.semianalysis.com/chips/b300 ; TPU v1 논문, arXiv 1704.04760: https://arxiv.org/abs/1704.04760 ; Glenn Lockwood, MI355X: https://glennklockwood.com/garden/processors/mi355x

- Tom's Hardware, Vera Rubin: https://www.tomshardware.com/pc-components/gpus/nvidia-launches-vera-rubin-nvl72-ai-supercomputer-at-ces-promises-up-to-5x-greater-inference-performance-and-10x-lower-cost-per-token-than-blackwell-coming-2h-2026 ; TrendForce, CoWoS 가격: https://trendforce.com/news/2026/10/27/news-tsmc-reportedly-eyes-20-cowos-price-hike-skips-equipment-price-renegotiations-amid-ai-demand-surge
- Menon Lab, AI 추론 가속기 비교: https://themenonlab.blog/blog/ai-inference-accelerators-compared ; Introl, GPU 너머의 AI 가속기: https://introl.com/blog/ai-accelerators-beyond-gpus-tpu-trainium-gaudi-cerebras-2025
- StratNews(Reuters), 국가 자금 데이터센터의 국산 AI 칩: https://stratnewsglobal.com/team-sng/china-orders-state-funded-data-centres-to-use-domestic-ai-chips/ ; TNW, H200 수입: https://thenextweb.com/news/nvidia-h200-chips-hong-kong-china-import-approval
- Succinct, GPU 16장으로 실시간 증명: https://blog.succinct.xyz/real-time-proving-16-gpus/ ; Cysic ZK ASIC 제품: https://cysic-docs.pages.dev/hardware-products/zk-asic-products
- Tom's Hardware, Intel Heracles: https://www.tomshardware.com/tech-industry/cyber-security/intels-heracles-chip-computes-fully-encrypted-data-without-decrypting-it-chip-is-1-074-to-5-547-times-faster-than-a-24-core-intel-xeon-in-fhe-math-operations ; IEEE Spectrum: https://spectrum.ieee.org/fhe-intel ; Evertiq, Niobium과 SemiFive: https://evertiq.com/design/2026-02-20-semifive-secures-design-win-with-niobium-for-fhe-accelerator ; The Quantum Insider, Niobium 자금 조달: https://thequantuminsider.com/2025/12/03/niobium-23m-fhe-funding/ ; Optica OPN, Optalysys: https://www.optica-opn.org/home/industry/2026/february/optalysys_raises_us_$31_million_to_push_photonics_computing_toward_cloud_infrastructure/ ; Zama, FPGA 기반 HPU: https://www.zama.org/post/announcing-hpu-on-fpga-the-first-open-source-hardware-accelerator-for-fhe

공정 노드

- Silicon Analysts, 웨이퍼 가격: https://siliconanalysts.com/data/wafer-pricing
- Tom's Hardware, TSMC A16 가격 루머: https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/tsmc-could-charge-up-to-usd45-000-for-1-6nm-wafers-rumors-allege-a-50-percent-increase-in-pricing-over-prior-gen-wafers ; Wccftech, SMIC 가격: https://wccftech.com/smic-5nm-chip-prices-up-to-50-percent-more-expensive/amp/
- EUROPRACTICE, 2026년 TSMC MPW 일정: https://europractice-ic.com/wp-content/uploads/2025/11/TSMC-Europractice-MPW-schedule-2026.pdf
- Horowitz, "Computing's Energy Problem", ISSCC 2014: https://www.Gwern.net/doc/cs/hardware/2014-horowitz-2.pdf
- Tom's Hardware, Huawei Ascend 로드맵: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/huawei-ascend-npu-roadmap-examined-company-targets-4-zettaflops-fp4-performance-by-2028-amid-manufacturing-constraints ; The Substrate, 중국 AI 칩 공급망: https://www.the-substrate.net/p/where-chinas-ai-chip-supply-chain ; Tom's Hardware, Trainium3: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/amazon-launches-trainium3-ai-accelerator-competing-directly-against-blackwell-ultra-in-fp8-performance-new-trn3-gen2-ultraserver-takes-vertical-scaling-notes-from-nvidias-playbook

기회와 출시 경제학

- Webull(Benzinga), Broadcom 실적 발표 통화: https://www.webull.com/news/15511095937917952 ; Quartr, Global Unichip Q2 2026: https://quartr.com/events/global-unichip-corp-3443-q2-2026_F9×6NJQY ; Taiwan News, Alchip: https://www.taiwannews.com.tw/news/6370946 ; Design & Reuse, VeriSilicon: https://www.design-reuse.com/news/202530457-surge-in-custom-chip-business-propels-verisilicon-s-q1-revenue-to-double-with-new-orders-skyrocketing-to-8-2-billion-yuan-increased-r-d-investment-leads-to-wider-net-loss-earnings-insight/ ; The Block, Canaan의 AI 부문: https://www.theblock.co/post/359250/crypto-miner-canaan-to-shutter-non-core-ai-semiconductor-business-unit-amid-strategic-realignment
- Clutch, AI 개발 단가: https://clutch.co/developers/artificial-intelligence/pricing ; PixelPlex, 블록체인 개발 비용: https://pixelplex.io/blog/blockchain-development-cost/
- Hyperbolic, 샘플링 증명: https://hyperbolic.ai/blog/deep-dive-into-hyperbolic-proof-of-sampling ; Gensyn, Verde: https://www.gensyn.ai/research/verde-a-verification-system-for-machine-learning-over-untrusted-nodes ; 계층형 검증, arXiv 2512.20176: https://arxiv.org/abs/2512.20176v1
- Sherlock, 2026년 감사 가격 참고 자료: https://sherlock.xyz/post/smart-contract-audit-pricing-a-market-reference-for-2026
- Blockworks, Binance 상장 기준: https://blockworks.com/news/binance-listing-standards-scrutiny ; Cointelegraph, 마켓 메이커 계약: https://cointelegraph.com/magazine/market-maker-deals-quietly-killing-crypto-projects ; Blockworks, Movement: https://blockworks.co/news/movement-rushi-manche-suspension-market-maker-web3port ; Nansen, HIP-3: https://nansen.ai/post/what-is-hip-3-hyperliquid ; The Block, Monad: https://www.theblock.co/post/380094/monad-mainnet-launches

유용한 작업 증명 · 크립토 × 실리콘

합의가 된 연산

2026년의 AI × 크립토 × 칩: Pearl의 유용한 작업 증명에서 출발하다

이 보고서의 핵심 수치에는 모두 출처와 날짜를 달았다. 저자가 도출한 수치는 추정으로, 판매자만 보고한 수치는 업체 주장으로 표시했다. 이 보고서는 기술과 사업만 다룬다.

탄 슈아이

기술자이자 창업자 · AI 연구·개발자

tanshuai.com · i@tanshuai.com

공개판 · 2026년 11월 13일 기준 데이터

