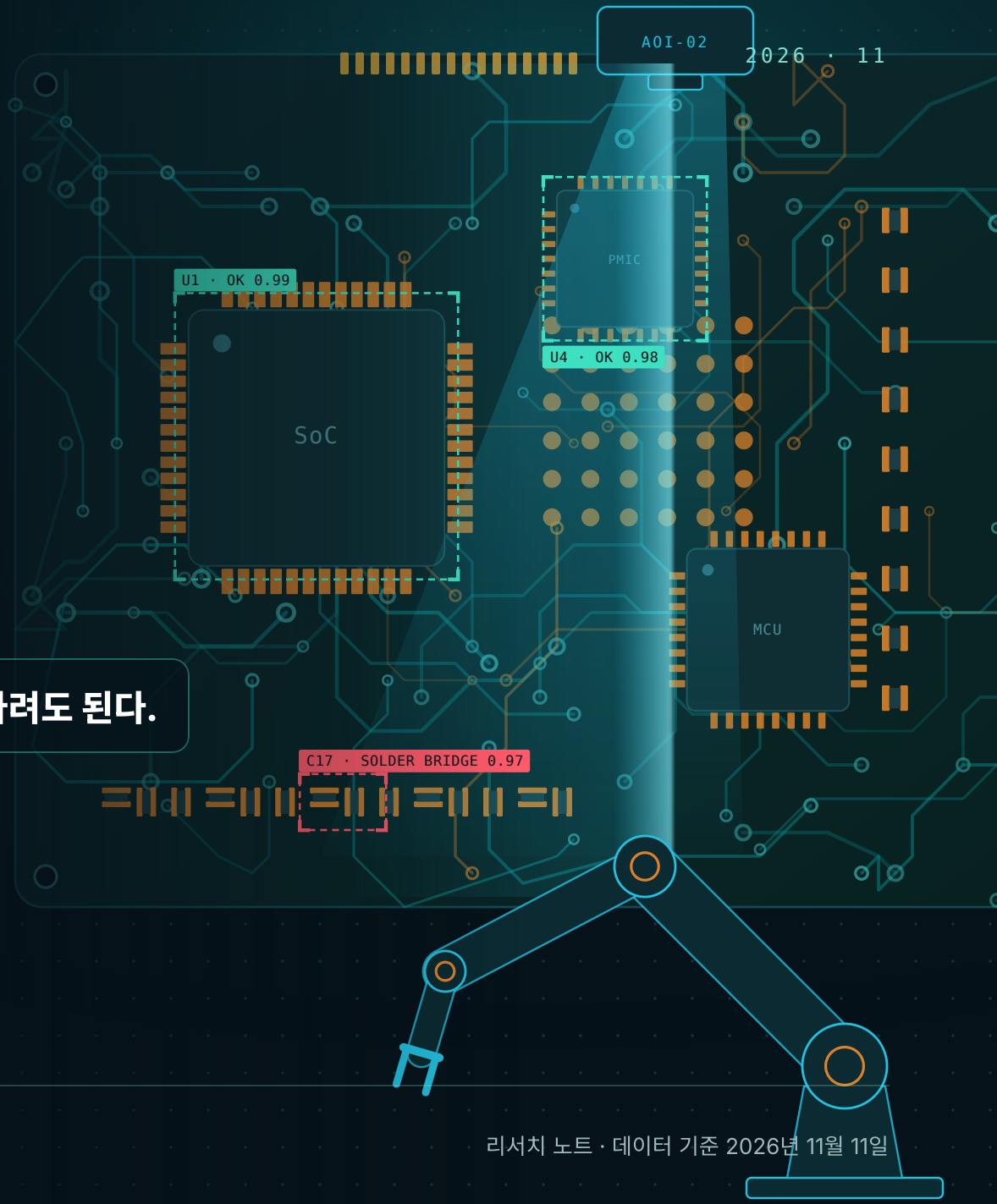


전자 제조 · AI 검사 × 로보틱스

SMT 라인의 AI:

2026년에 회수되는 것

전자 공장의 AI 비전 검사와 로봇 암
중국 본토 · 대만 · 동남아시아 · 미국

핵심 발견 **AI 재판정은 좁은 범위에서 할 가치가 있다. 임바디드 암은 기다려도 된다.**

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

리서치 노트 · 데이터 기준 2026년 11월 11일

할 가치가 있다, 다만 좁게, 지금, 파트너와 함께

핵심 발견

2026년에 성숙했고 공장이 지불할 것은 AOI 이미지의 AI 재판정·틈새 검사와 프로그래밍된 로봇 머신 텐딩이지, '기판을 보는 대형 모델 + 기판을 집는 임바디드 로봇'이 아니다.

0.46-0.65 yr

라인당 RMB 50k 기준 미국, 대만, 선전의 AI 재판정 회수 기간

≥95% · <20 PPM

선두 EMS의 자체 AI 재판정: 티어 1 EMS 판매의 기준

100-700 RMB M

중국 본토의 서드파티 개조 대상 시장, 일회성, ≈5년 윈도우

0 scores

2026년 11월 플래그십의 산업 결함 벤치마크 점수

1.1-1.5 yr

협동로봇 머신 텐딩 셀의 회수 기간, 2교대

0.003-0.14 FTE

선별 전용 로봇 암이 교대당 절감하는 인력: 결코 회수되지 않음

출처: 보고서 요약과 4–5장; 회수 기간과 시장 수치는 저자 추정.

여섯 질문, 여섯 답

① 공장이 돌리는 것

3D SPI, 리플로우 전·후 AOI, 스폿 X-ray, ICT/FCT. 모든 AOI 뒤에는 사람이 재판정하며, 택트는 기판당 ≈13–22초.

② 기술이 얼마나 갈 수 있나

검사는 '검출기 + AI 재판정 + 소수 인력'으로 산업급이다. 어떤 가격에도 인력 0은 불가. 중국 본토: 국산 모델; 대만: 고객이 결정; 미국: 관세와 인증.

③ 온프레미스와 에어갭

실용적; 한계는 절차다. 라인에는 ≤100 W 무팬 박스, 서버는 서버실, 기본은 8-bit.

④ 교사와 학생

검사: 프런티어 모델이 사전 라벨, 사람이 판정, 골든 세트가 게이트. 암: 교사는 여전히 사람 데모와 시뮬레이션.

⑤ 비용과 회수

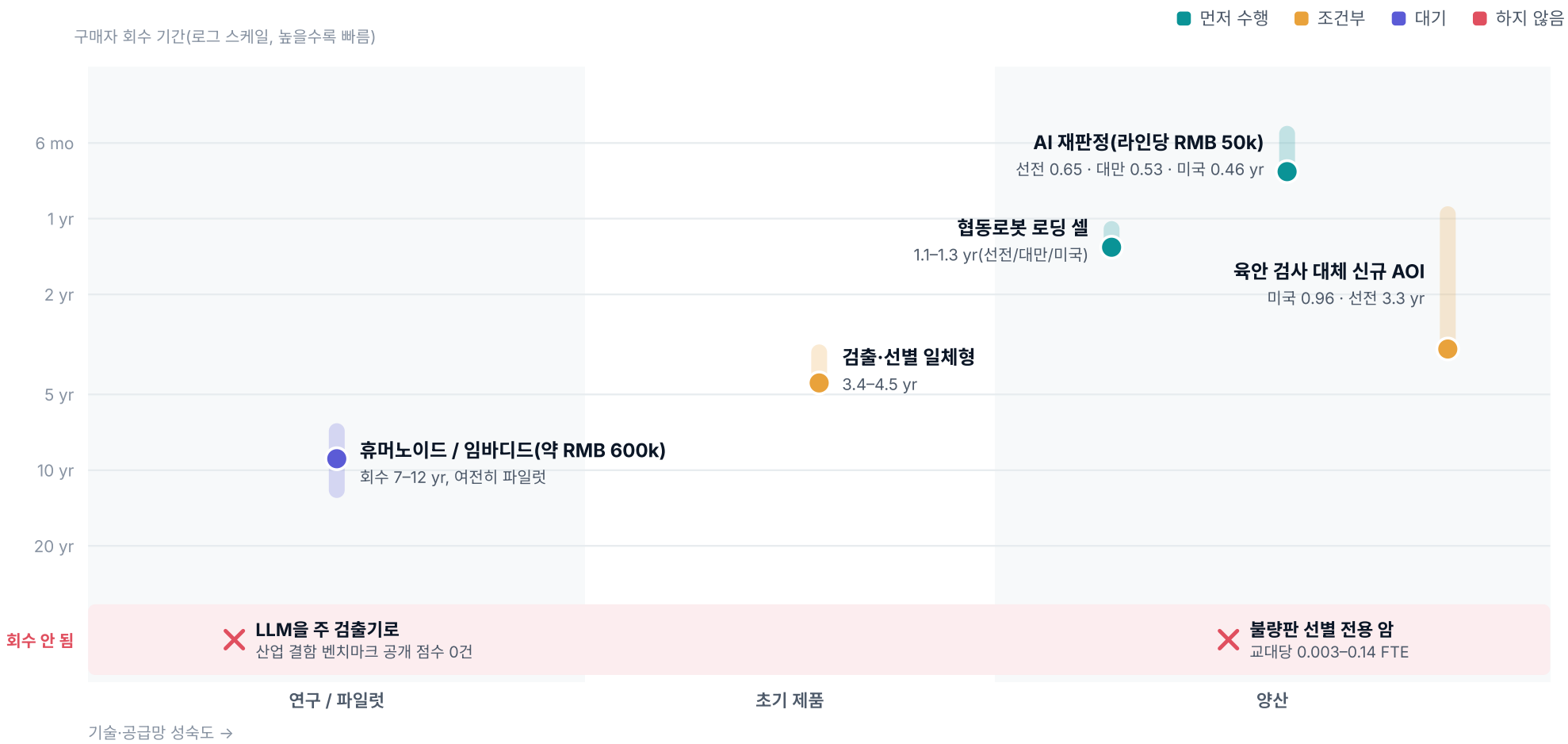
미국, 대만, 선전은 1년 내, 협동로봇 텐딩 1.1–1.5년, 동남아시아 2–6년, 선별 전용 암은 결코 회수 안 됨.

⑥ 지금인가 기다림인가

수요는 실재하지만 공급은 포화. OEM AI가 ≈5년 개조 윈도우를 남긴다. 검사는 지금, 좁게; 임바디드 AI는 2027–28 데이터 이후.

출처: 보고서 요약.

오늘날 공장 현장에서 AI가 들어가는 자리

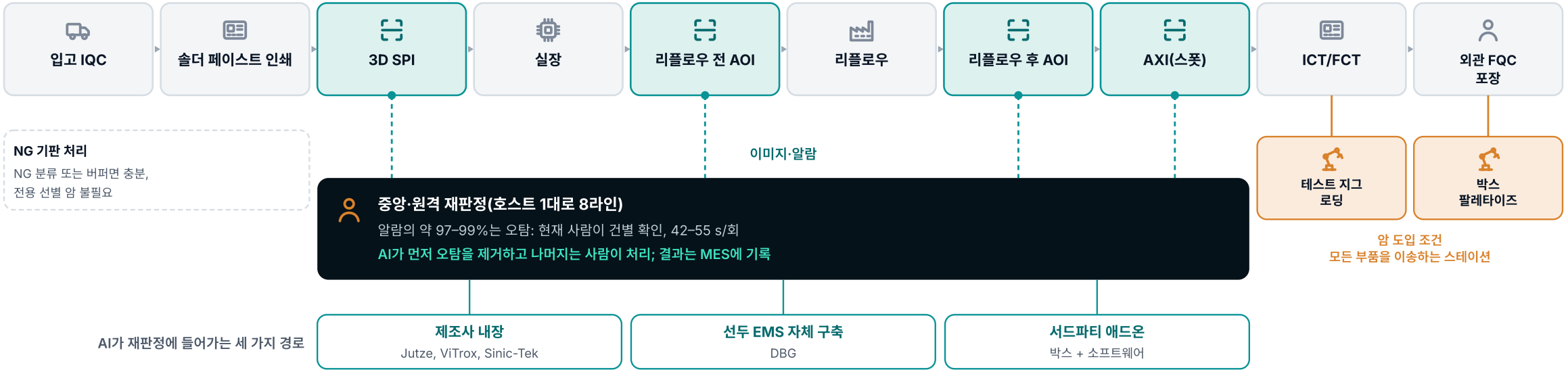


출처: 회수는 저자 모델(제4장); 성숙도 축은 저자 판단.

사람은 AOI 뒤에 앉는다. AI가 들어가는 곳이 바로 그곳이다

양산 SMT 라인

택트 약 13–22 s/장 · 라인당 AOI 3–5대



출처: 공시 자료와 벤더 자료(Huaqin, DBG, Sinic-Tek 등); 저자 편집.

AOI 알람의 약 97–99%는 오탐

AOI 알람 100회당



현재: 사람이 건별 재판정

회당 42–55 s

가동률 높은 라인은 교대당 약 448회 오탐

→ 교대당 5.2–6.8 h ≈ 상근 재판정자 1명

사례 배치: 교대당 2명

AI 재판정: 오탐을 먼저 제거하고 나머지는 사람에게

오탐·재판정 공수 60–90% 절감(벤더 주장)

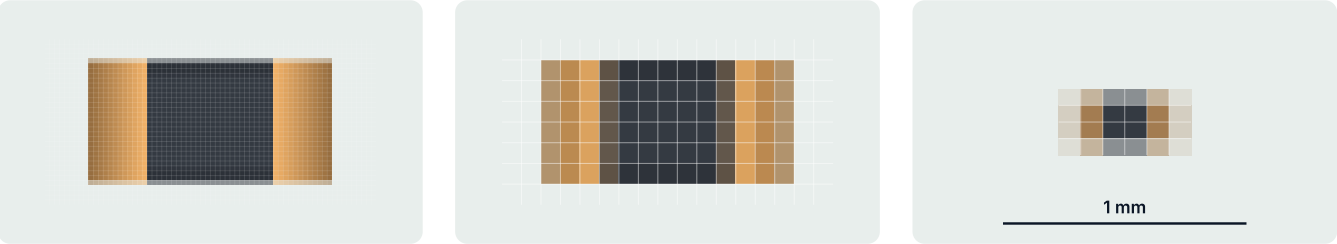
선두 EMS 자체 벤치마크: 플래그 부품 ≥95% 커버,

유출 <20 PPM, 사람 재판정 ≥85% 감소

장애 시 사람으로 페일오픈, 라인 정지 없음

출처: Siemens 사례, iFactory(벤더 주장), DBG 2025 연차보고; 재판정 공수는 저자 추정.

범용 카메라는 AOI가 아니다



AOI: 8–20 µm/px
0402는 약 100×50 px

4K 카메라로 300 mm 기판 전체: 약 78 µm/px
0402는 약 13×6 px로 축소: 유무와 큰 오프셋만 판별 가능

같은 카메라로 01005 관찰
약 5×3 px: 사실상 안 보임

- **AOI:** 픽셀당 8–20 µm, 다각도 다색 조명과 구조광
- **300 mm 기판 전체를 4K로:** 픽셀당 ≈78 µm; 0402는 ≈13×6 픽셀로, 유무 판별은 가능하지만 접합부는 불가
- **01005:** ≈5×3 픽셀, 사실상 보이지 않음
- **즉:** AI는 AOI가 만든 이미지 위에서 작동하며, 광학계를 대체하지 않는다

출처: Circuits Assembly; 300 mm 기판·4K 센서 저자 계산. 픽셀 그리드는 예시.

에어갭 배포: 박스가 판정하고 서버실이 답한다



출처: 저자 종합(제2장).

청정·ESD 구역이 컴퓨트 위치를 결정하고, 속도 한계는 용도에 달렸다

청정도 →

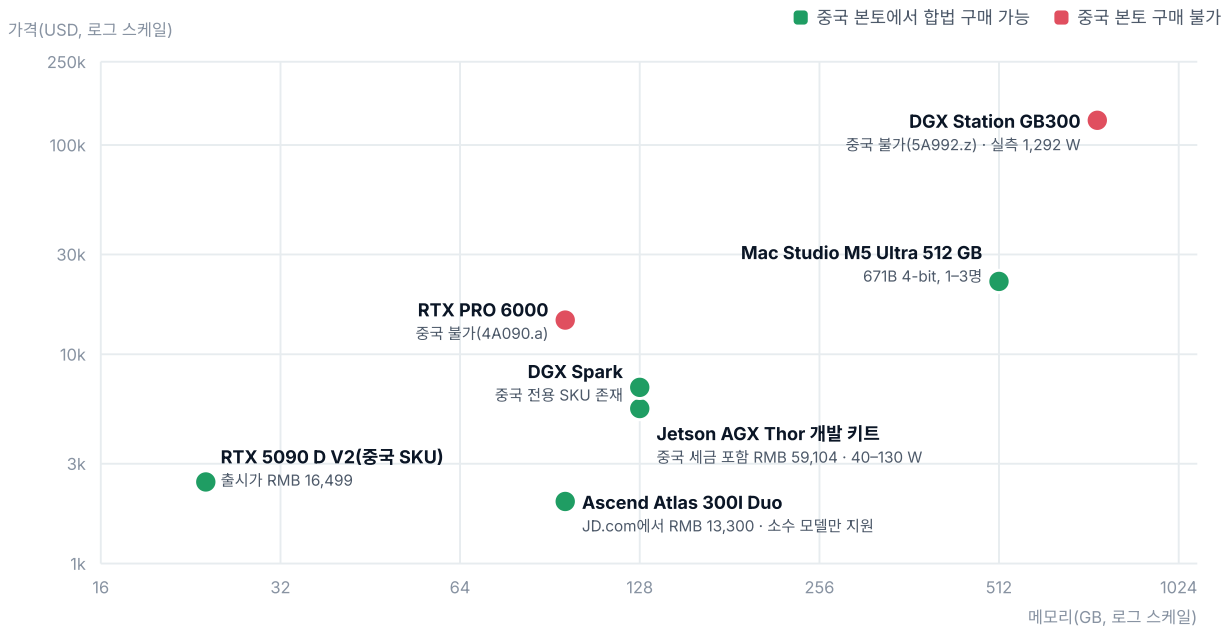
일반 SMT/PCBA 홀	클린룸 ISO 7–8	국소 미니환경 ISO 5–6	팹, ISO 5 이상
ESD 보호 구역(약 ISO 8) 습도 40–60%	의료, 카메라 모듈, EV 클린룸 + ESD	베어 다이, 와이어 본드, 광학 미니환경	SEMI E78 ESD · E187/E188 사이버 팹 전용 플랜
라인 사이드 컴퓨트 접지 금속 케이스 무팬 박스, AOI 또는 재판정 자리 근처	**라인 사이드 컴퓨트** 무팬, IP65/66 밀봉, 세척 용이; ISO 14644-14 데이터 요청	**라인 사이드 컴퓨트** 카메라와 광원만, 연산 박스는 외부	**라인 사이드 컴퓨트** 툴 통합·팹 인증 컨트롤러만 사용
GPU/NPU 서버 서버실 또는 냉방 IT 랙	**GPU/NPU 서버** 클린룸 밖, 네트워크는 내부로	**GPU/NPU 서버** 서버실	**GPU/NPU 서버** 서브팹 액랭 랙 또는 데이터센터



핵심 요점 일반 SMT 홀은 등급 클린룸이 아니라 ESD 보호 구역이다. 접지된 금속 케이스의 무팬 박스를 AOI나 재판정 자리 옆에 두고, GPU 서버는 라인에 두지 않는다.

출처: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, SEMI 표준·벤더 자료; 저자 편집. 저자 종합(제1–2장).

벤치마크보다 먼저 수출 규제가 하드웨어 후보를 결정한다



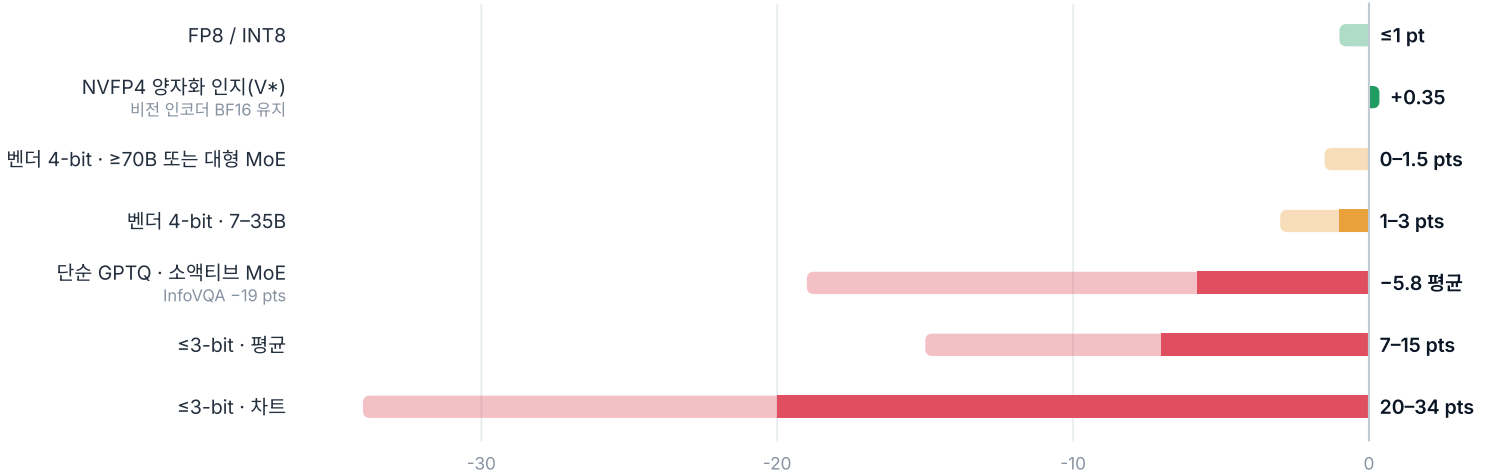
- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; AOI 크롭에 2–8B 비전 모델, 실시간 3B급 VLA; China에서 RMB 59,104
- **Mac Studio 512 GB:** DeepSeek 671B 4-bit, 1–3명
- **DGX Station:** 5A992.z, 중국 본토 불가; 743B 모델은 사용자 32명에게 각 ≈4 tokens/s
- **국산 가속기:** 풀사이즈 다중 사용자 Q&A에는 8카드 Ascend 서버 2대

출처: NVIDIA 수출 분류, Apple, RS China, JD.com·리뷰 가격(2026년 11월). StorageReview(2026년 8·10월); ServeTheHome. 단일 소스 독립 테스트.

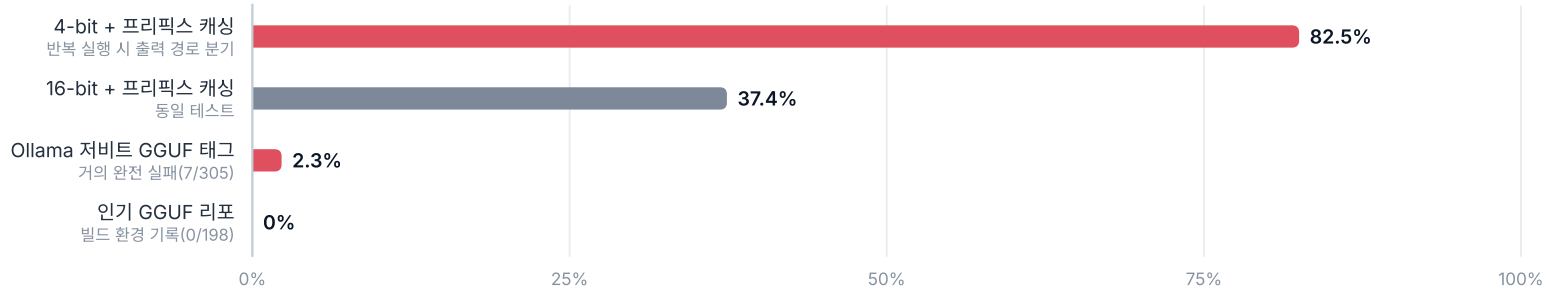
양자화: 8-bit는 안전, 4-bit는 레시피 의존, 3-bit 이하는 탈락

정확도: 8-bit 안정, 4-bit 레시피 의존, ≤3-bit 탈락

전체 정밀도 대비 점수 변화(포인트)



양자화 오차보다 큰 것은 엔지니어링 사고



출처: NVIDIA Nemotron 모델 카드, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 등.

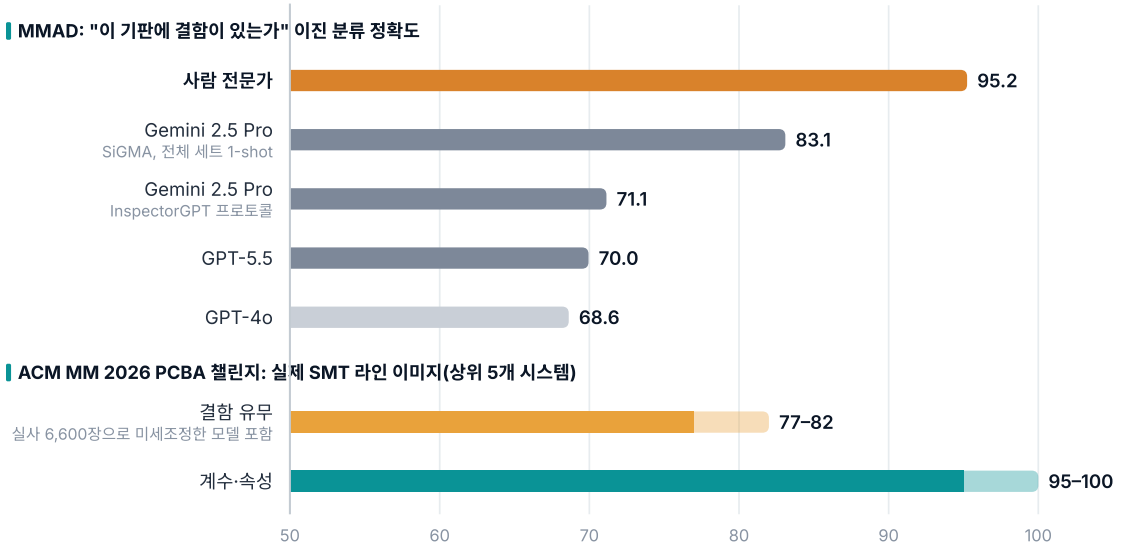
범용 비전은 한 세대에 두 배, 산업 결함 점수는 없다

Roboflow 범용 검출 mAP@50



산업 결함 벤치마크(MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): 2026년 플래그십 공개 점수 0건
범용 검출 점수는 한 세대에 배가됐지만 결함 판정을 대체 못 함; 자사 골든 세트로 실측 필요

정확도 또는 점수(%)



출처: Roboflow Vision Evals; 모델 릴리스 노트; MMAD, MVTec AD 2 등(2026년 11월 11일 기준). MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA 챌린지.

프런티어 모델이 사전 라벨, 사람이 판정, 골든 세트가 게이트

검사: 프런티어 모델이 사전 라벨, 사람이 판정, 골든 세트가 게이트



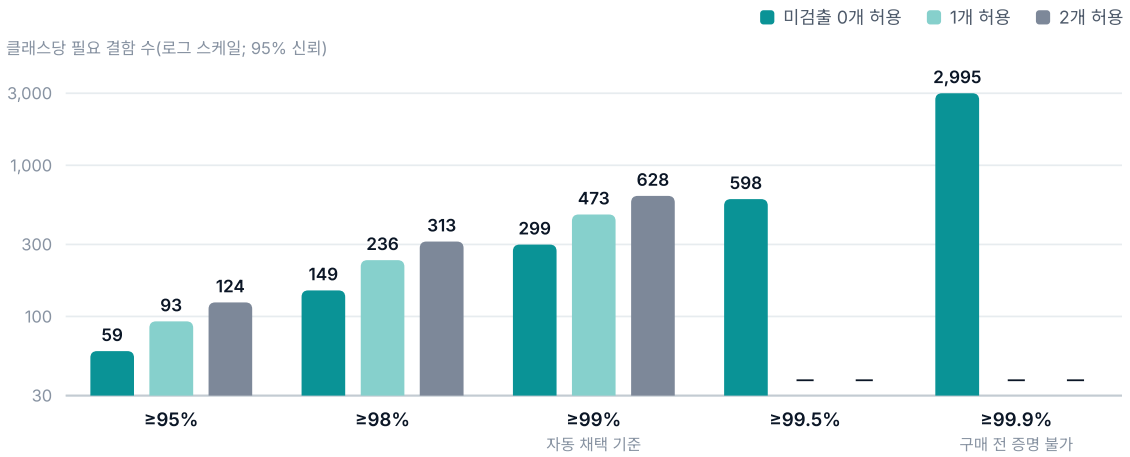
교사 라벨 자동 채택 기준

클래스당: 결함 ≥299개·미검출 0(95% 신뢰에서 재현율 ≥99%), 모델-정답 일치가 사람 간 이상. 아니면 사전 라벨만

암 제어: 교사는 여전히 사람 데모, 실기 RL, 시뮬레이션

프런티어 모델은 오프라인 프로그래밍·교체 시에만 도움



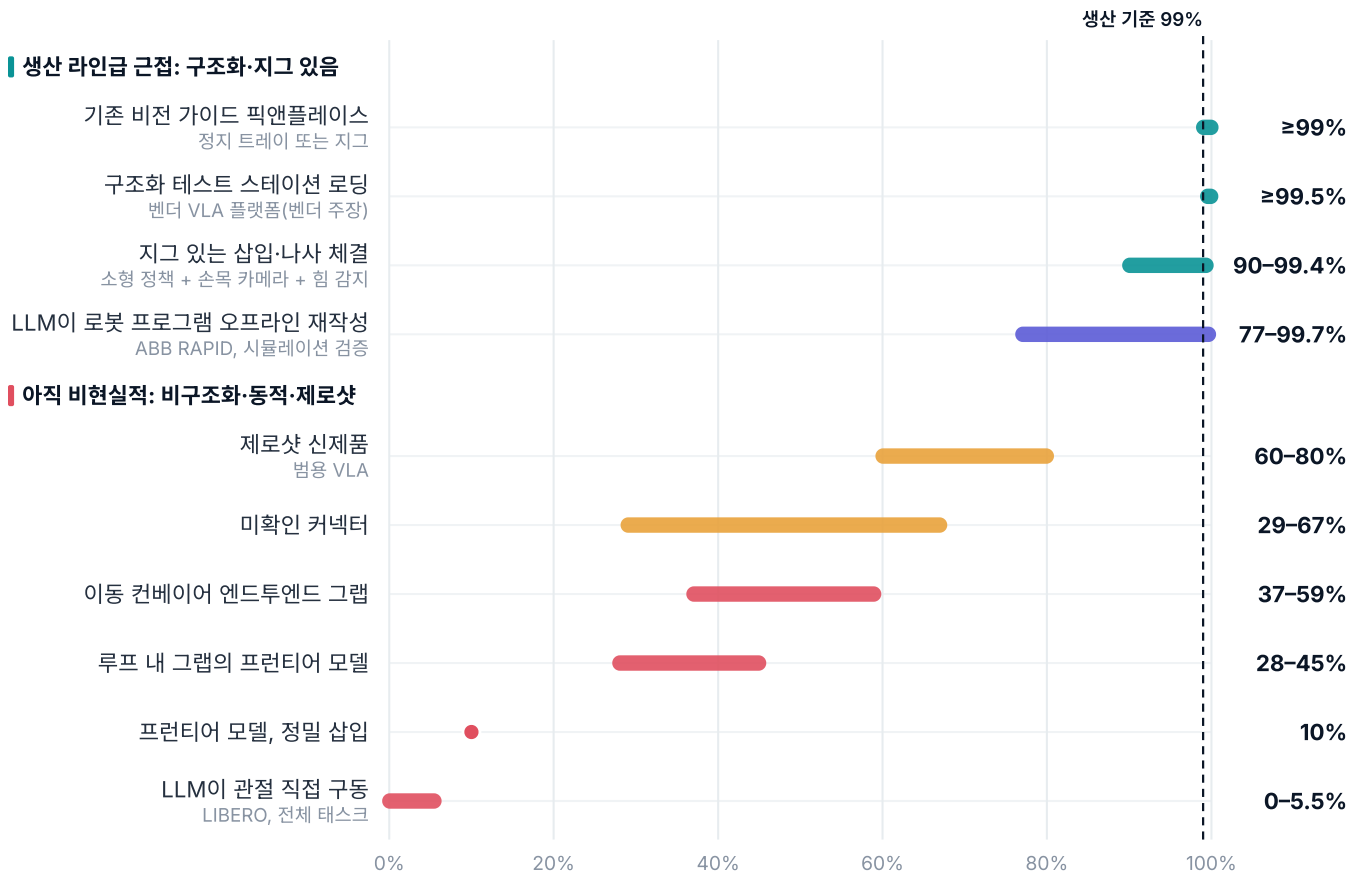


핵심 요점 골든 결함 ≥299개에서 미검출 0인 클래스(95% 신뢰도에서 재현율 99%)만 교사 라벨을 자동 채택한다. 쇼트, 부품 누락, 극성 같은 치명 클래스는 더 많이 필요하다.

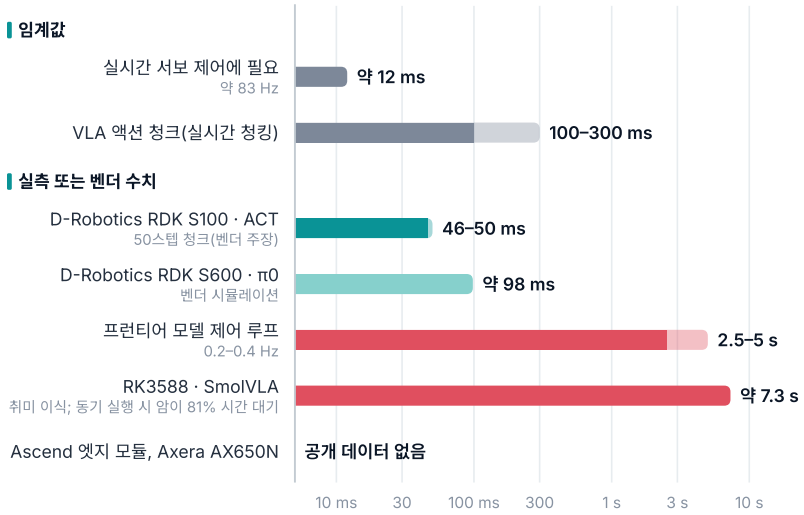
출처: 저자 종합(제3장); 비용·샘플 수는 추정. 정확 이항 신뢰구간(95%).

로봇 학생: 스테이션이 구조화될 때만 생산급에 근접

태스크 성공률

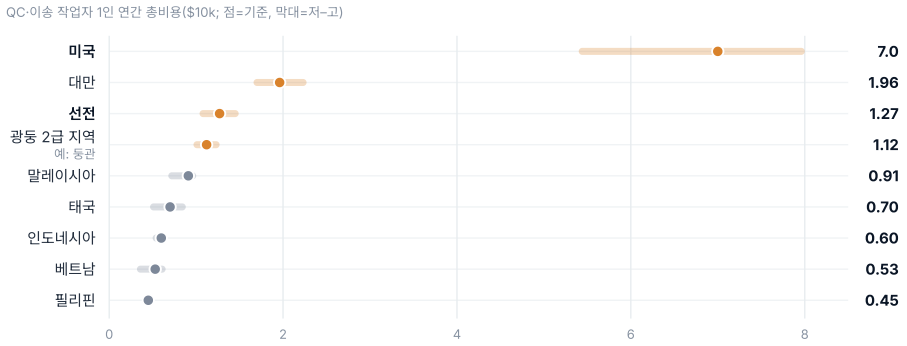


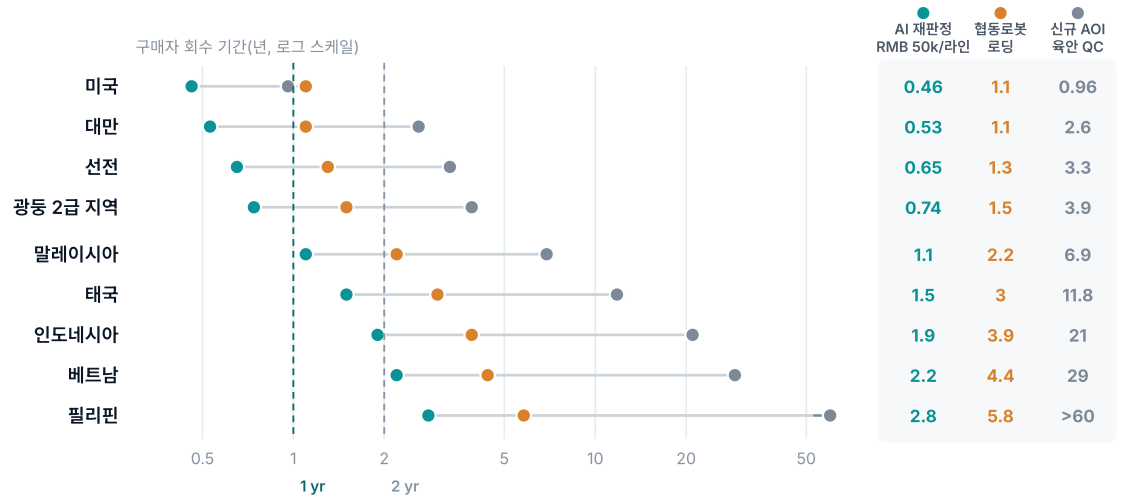
액션 청크·제어 주기당 추론 지연(로그 스케일)



출처: 제3장 인용 논문·벤더 자료; 일부 수치는 벤더 주장. D-Robotics 문서·포럼(벤더 수치); GitHub 커뮤니티 이식; Anthropic 연구.

AI 재판정은 수개월 내, 머신 텐딩은 약 1년 내 회수



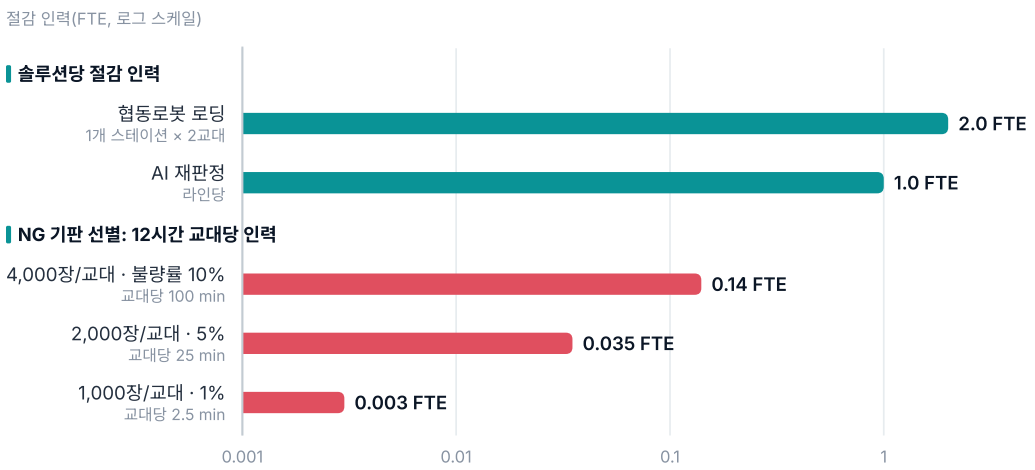


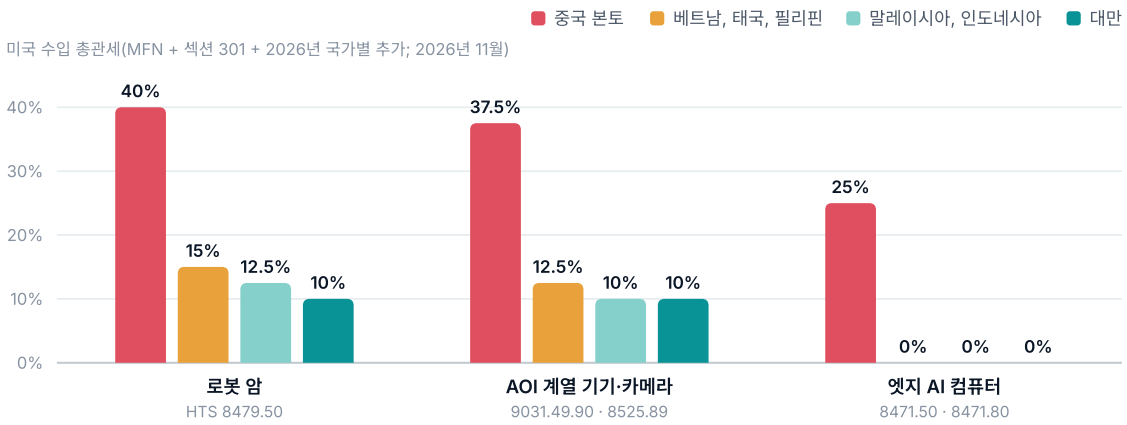
불량판 선별 전용 암: 모든 지역에서 회수 안 됨
직통률 90% 초과 시 선별은 교대당 0.003–0.14 FTE만

핵심 요점 라인당 RMB 50,000 기준 AI 재판정은 미국 0.46년, 대만 0.53년, 선전 0.65년, 베트남 2.2년에 회수되고, 2교대 협동로봇 텐딩 셀은 1.1–1.5년 [estimates].

출처: 선전 공식 임금 지침, 대만 노동부, JETRO, BLS; 저자 추정. 저자 모델: AI 재판정 박스 RMB 50k/라인; 협동로봇 로딩 셀 RMB 200k 또는 $140k, 2교대.

선별 전용 암은 결코 회수되지 않는다. 암의 제조지가 미국 관세를 바꾼다.





핵심 요점 직통률 90% 이상이면 NG 기판 선별은 교대당 0.003–0.14인분에 불과해 NG 분류기나 버퍼로 충분하다. 중국 본토산 암은 미국 종합 관세 약 40%도 부담한다.

출처: 저자 추정. USITC 관세율표 제99장; Federal Register; USTR(2026년 11월).

실재하지만 작다: 대상 라인 16,000개, 일회성 ≈RMB 320M, 5년 윈도우

중국 SMT 라인
40,000줄
35k–46k

× 80% × 50%
AI 미적용: 75–85%
도달 가능: 40–60%

대상 라인
16,000줄
10.5k–23.5k

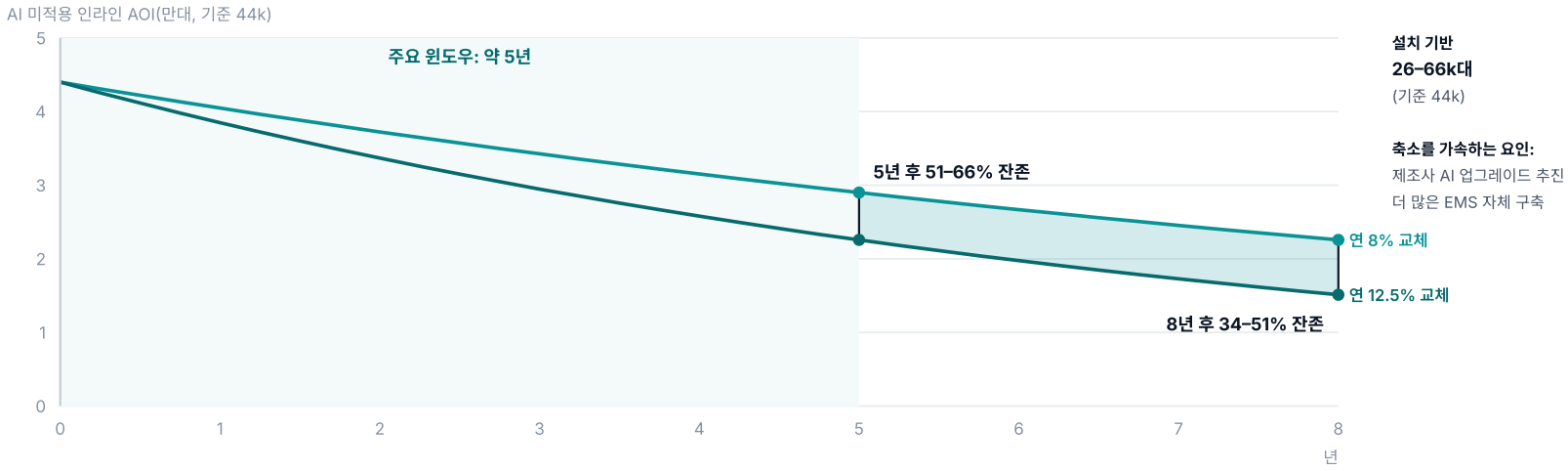
× RMB 20k
RMB 10–30k 일회성

일회성 시장
RMB 320M
RMB 105–705M

÷ 약 5년
연 8–12% 축소

5년 윈도우
RMB 64M/yr
RMB 21–141M

신규 진입자가 3년 내 대상 라인의 2–5% 확보: 약 320–800라인, 연 RMB 2–5M
구독(라인·연 RMB 5k)이면 RMB 1.6–4M 경상 수익, IDC 중국 산업 AI 검사 예측의 0.3–2.3%에 불과



출처: NVR(2020 기준); 저자 추정. 저자 추정; 설치 기반·점유율은 독립 검증 없음.

재판정 쐐기는 포위당했다. 마진은 제품화된 하드웨어에 있다

선두 EMS 자체 구축

DBG(2025): 플래그 부품의 ≥95% 커버
유출 <20 PPM, 사람 재판정 −85%
티어 1 EMS에 판매하는 기준

AOI 제조사 내장 AI

Jutze AI 3D AOI 양산, "검사 단계에서 사람 재판정 제거"
ViTrox V510Ai; Sinic-Tek, Tencent와 공동 개발
신규 기계는 AI 탑재, 기존은 업그레이드

서드파티 AI 재판정

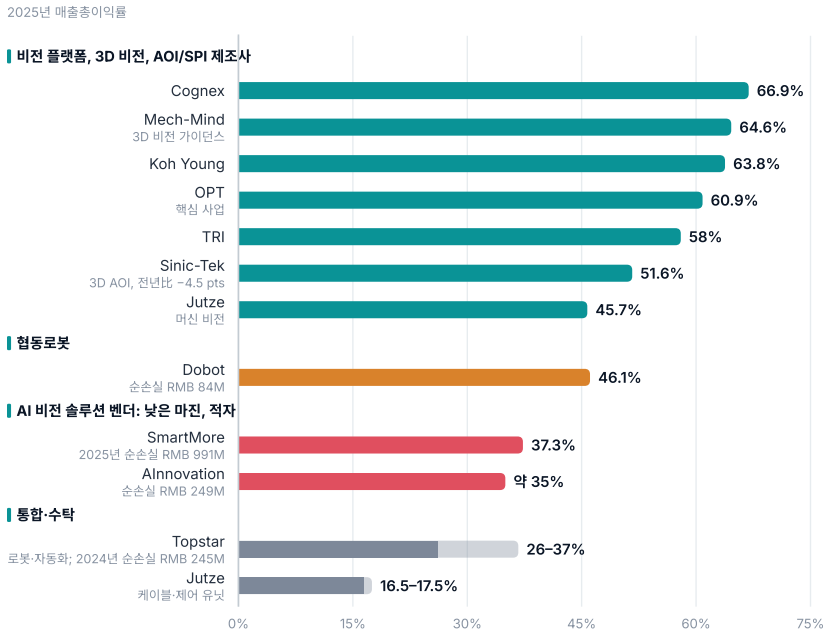
기존 AOI에 덧붙이는 박스 + 소프트웨어

플랫폼 벤더

Hikvision Guanlan과 SmartMore IndustryGPT 판매 중
선두 AI 벤더: 2025년 매출 RMB 1.086B
순손실 RMB 991M: 가격 전쟁

서드파티에 남은 여지

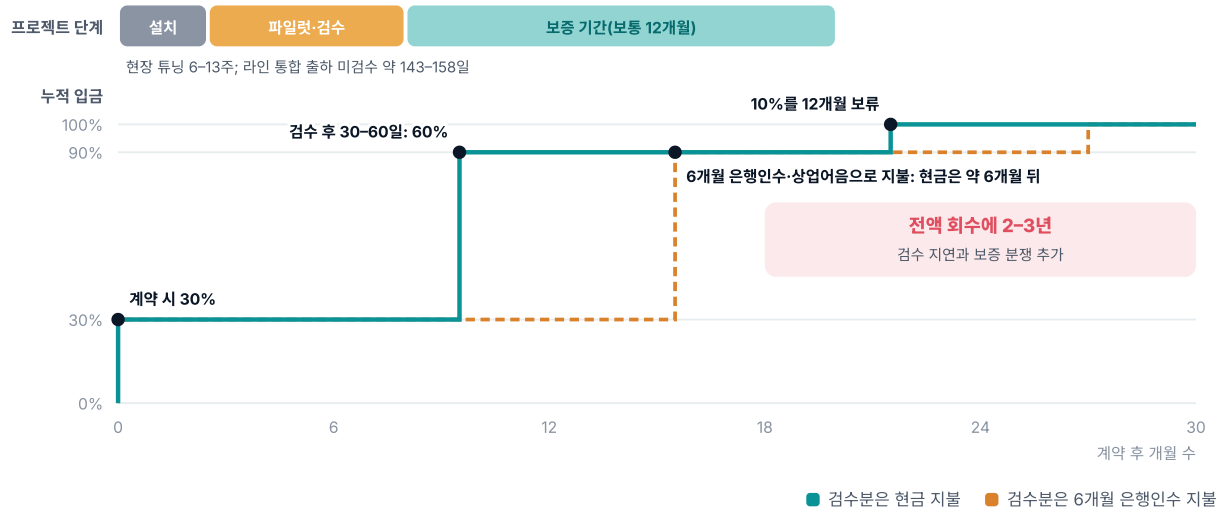
구형·복수 브랜드 AOI를 갖고 제조사가 AI 업그레이드를 제공하지 않는 중견 EMS(약 10–40라인)
AOI가 약한 틈새 검사: THT·수납땜, 컨포멀 코팅, 케이블/커넥터/FPC, 완제품 외관·나사

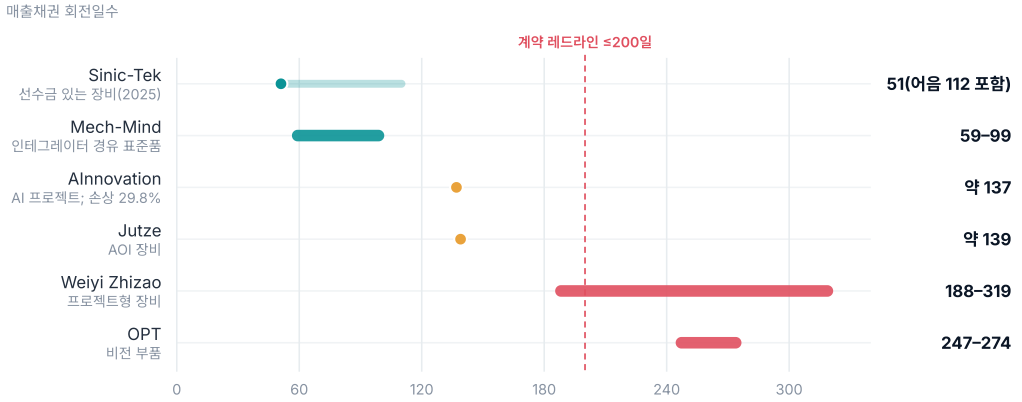


근거 선두 AI 비전 벤더의 2025년 매출은 RMB 10.86억, 순손실은 RMB 9.91억. 가장 가까운 상장 비교 기업의 3C 매출은 2026년 1–5월 전년 동기 대비 79.9% 감소.

출처: Jutze, Sinic-Tek, DBG 연차보고; Hikvision·SmartMore 공개 자료; 저자 편집. 2025년 연차보고 또는 증권신고서.

구매자는 30/60/10으로 지불; 전액 회수에 2–3년





핵심 요점 30%는 주문과 함께, 60%는 약 4–9개월 후, 마지막 10%는 약 16–21개월 후에 들어온다. 대형 EMS의 첫 파일럿부터 전액 회수까지는 2–3년이 걸릴 수 있다 [estimate].

출처: Sinic-Tek 문의 답변, Mech-Mind, GKG, JT 등; 일반 조건 개요, 시기는 추정. 기업 자료; 매출채권(계약자산 포함) ÷ 매출 × 365.

오프라인에서 계획하고 소형 정책으로 행동하며, 모션과 안전은 결정론적으로 유지

계층	무엇을 하는지, 증거는 어디까지인지	시간 스케일 · 누가 보유
계획 L4	**프런티어 모델(오프라인)** 로봇 프로그램 오프라인 작성·변경, 교체, 이상 설명 ABB RAPID 프로그램을 77–99.7% 재작성, 시뮬레이션 검증 후 배포 제어 루프 0.2–0.4 Hz만: 실시간 제외	초에서 분 모델 거인
스킬 / 정책 L3	**ACT, 확산 정책, 소형 VLA** 지그 있는 구조화 스테이션 90–99.4% 엣지 칩: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	액션 청크 100–300 ms 칩 벤더 · 로봇 제조사
모션 제어 L2	**로봇 컨트롤러** 궤적, 서보, 힘 제어, 충돌 검지 결정론적 코드; 학습 정책은 목표만 설정	밀리초(실시간은 83 Hz 초과 필요) 로봇 제조사
안전 L1	**안전 PLC, 스캐너, 힘·속도 제한** ISO 10218-1/-2:2025 및 현지 규정 인증 안전 기능에 ML 제외: EU, 2027년 1월 20일부터 인증기관 평가 필요	하드 실시간 인증 로봇 + 인테그레이터

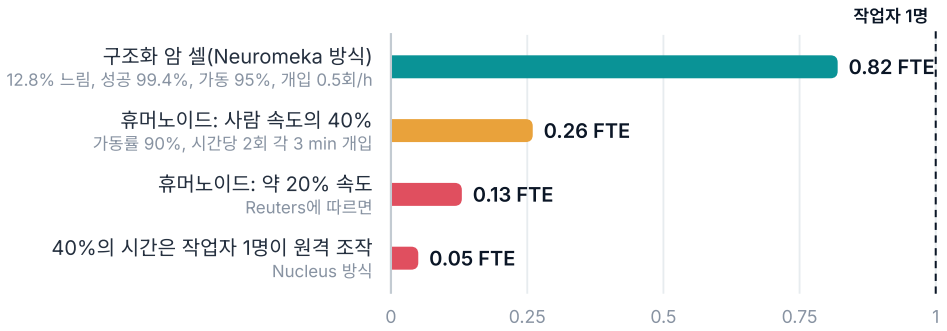
중소기업의 기회는 통합·센싱 하드웨어: 학습형 인지와 소형 정책을 인증 로봇 셀에 넣어 스테이션별로 도입

	성공률	택트	개입 / 원격조작	가동률 / 고장	양산 가동
Figure 02 @ BMW	목표만 >99%/교대	목표만 84 s	목표만 0회/교대	미공개	1,250 h
Agility Digit @ GXO	미공개	미공개	미공개	미공개	100,000개 토트
Apptronik Apollo @ Mercedes	미공개	미공개	미공개	미공개	미공개
Agile ONE @ Audi	미공개	미공개	미공개	미공개	미공개
Nucleus(공장명 미공개)	미공개	미공개	약 40% 원격조작*	미공개	약 2 h 영상
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	공정당 18–20 s	미공개	고장 1회당 2 min	64+ h
Neurometka 하이브리드 셀	322/324	12.8% 느림	미공개	미공개	324사이클
π0.6 @ 고객 현장	—	—	96.4% 자율	미공개	1교대

* 계산 방법 미공개

공개됨(대부분 벤더 주장) 목표만 공개 미공개

로봇 1대·교대당 순 대체 인력



출처: 저자 종합(3장, 6장)과 추정; ISO 10218:2025; EU Machinery Regulation; BMW, Figure, Agility, Mercedes-Benz 등의 공개 자료.

좁게 구축하고, 공장 자체 이미지로 검증한 뒤 확장하라

구축	구형 또는 복수 브랜드 AOI를 가진 중견 EMS를 위한 AOI 이미지 AI 재판정·결함 분류; AOI가 잘 커버하지 못하는 검사; 모든 부품을 이송하는 협동로봇 셀
구축하지 않음	범용 AI+암 플랫폼; LLM을 주 검사기로; SMT 라인의 선별 전용 암; 휴머노이드와 로봇 서비스(RaaS); 제어 루프나 안전 기능 속 프런티어 모델

파일럿

1. **0–2주차:** 데이터 계약, 결함 클래스, 베이스라인
2. **1–4주차:** 골든 세트, 블라인드 라벨링 및 판정
3. **2–4주차 이상:** 섀도 모드, 클래스별 비교
4. **4–8주차:** 통과 클래스에 한해 보조 운영
5. **그다음:** 서면 검수, 라인별 확대, 모든 변경 시 재검증

안전 안전 기능에는 머신러닝 금지: EU는 2027년 1월 20일부터 인증기관 평가를 요구하며, AI 인증 경로는 2027–2029년 전에는 확정되지 않는다.

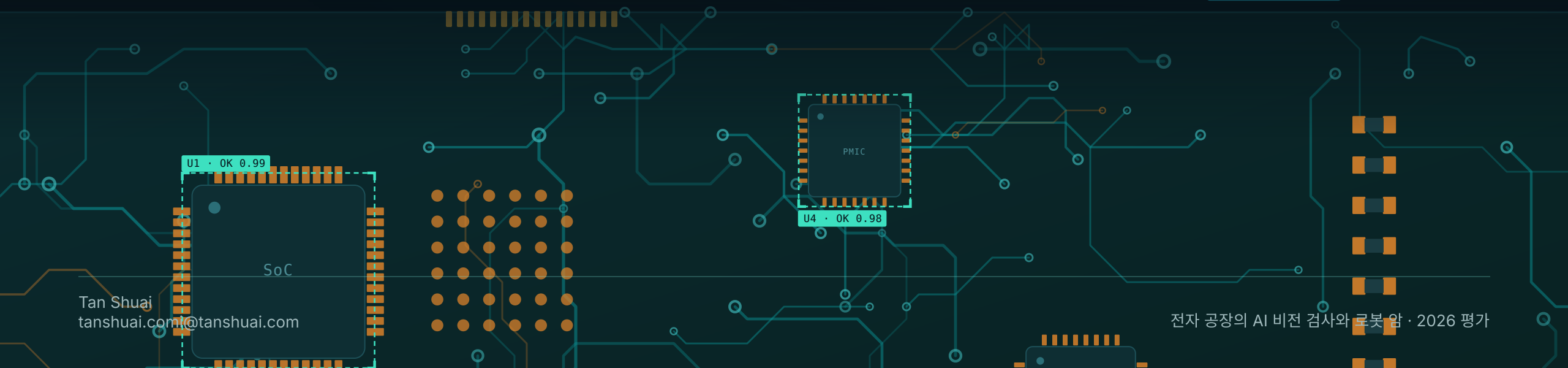
출처: 보고서 6–7장과 요약; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC 및 국가 규제 데이터베이스.

저자 소개

Tan Shuai

기술자이자 창업자, 반도체, 하드웨어, 시스템 소프트웨어에서 20년 이상의 경력과 등록 특허 20건을 보유했다. Silicon Valley, New York, Chicago, 대만, 광둥-홍콩-마카오 대만구(선전·홍콩), 베트남, 말레이시아에서 일했으며, 첨단 제조와 공급망에 오래 집중해 왔다. 현재는 AI 연구자이자 개발자로 일하며, AI가 공장 현장에서 실제로 어떻게 쓰이는지에 집중하고 있다.

전체 보고서(모든 그림, 표, 출처)와 기사는 tanshuai.com에 있다. 제조 분야 AI 종사자와의 대화를 환영한다: i@tanshuai.com



Tan Shuai
tanshuai.com · i@tanshuai.com