

AOI 검사 설비의 기술적 한계 극복을 위한 하이브리드 검사 솔루션 분석 보고서

문서번호 CRSM-AI-2026-AUTO

작성일 2026-07-21

작성 Cressem AI 시스템 (자동 생성)

보안등급 사내 비밀 (Confidential)

버전 v1.0

목 차

AOI 검사 설비의 기술적 한계 극복을 위한 하이브리드 검사 솔루션 분석 보고서	3
개요 및 배경	3
기존 AOI 검사 기술의 한계 분석	4
크레셈 하이브리드 검사 아키텍처	5
AI 기반 지능형 결함 분류 기술	7
기술 비교 및 성능 검증	9
결론 및 도입 기대효과	11
참고 자료	11

AOI 검사 설비의 기술적 한계 극복을 위한 하이브리드 검사 솔루션 분석 보고서

본 보고서는 기존 AOI 검사의 기술적 한계를 분석하고, 크레셈(CRESSEM)의 핵심 경쟁력인 AI 기반 결함 분류와 Rule-based 정밀 검사(선폭, 패턴 매칭)의 병렬 운용 기술을 통한 수율 향상 방안을 제시합니다.

개요 및 배경

1. 메모리 PCB 공정의 미세화와 기술적 변곡점

최근 인공지능(AI) 가속기, 고성능 컴퓨팅(HPC), 그리고 차세대 데이터 센터의 폭발적인 수요 증가에 따라 메모리 반도체 및 이를 지원하는 메모리 PCB(Printed Circuit Board)의 기술적 요구사항이 급격하게 변화하고 있습니다. 특히 HBM(High Bandwidth Memory)과 같은 고대역폭 메모리 솔루션이 주류로 자리 잡으면서, 이를 실장하는 기판 및 관련 PCB 공정은 과거와 비교할 수 없을 만큼 높은 수준의 미세 패턴(Fine Pattern) 구현 능력을 요구받고 있습니다.

기존의 PCB 제조 공정은 상대적으로 넓은 선폭(Line Width)과 간격(Space)을 허용하였으나, 최근의 메모리 인터페이스 규격은 신호 무결성(Signal Integrity, SI)과 전력 무결성(Power Integrity, PI)을 확보하기 위해 회로의 미세화가 가속화되고 있습니다. 이에 따라 회로의 선폭은 μm (마이크로미터) 단위의 초미세 영역으로 진입하고 있으며, 이는 곧 제조 공정 중 발생할 수 있는 아주 미세한 결함(Defect)이 제품 전체의 성능 저하나 치명적인 불량으로 직결될 수 있음을 의미합니다.

2. 검사 난이도 상승에 따른 기존 AOI 기술의 병목 현상

공정의 미세화는 필연적으로 검사(Inspection) 단계의 난이도 상승을 야기합니다. 전통적으로 사용되어 온 자동 광학 검사(AOI, Automated Optical Inspection) 기술은 정해진 규칙에 따라 불량을 찾아내는 Rule-based 알고리즘에 의존해 왔습니다. 그러나 회로 패턴이 복잡해지고 미세해짐에 따라, 기존의 Rule-based 방식은 다음과 같은 기술적 한계에 직면하고 있습니다.

첫째, **과검(Over-kill) 문제**입니다. 미세 패턴에서 발생하는 정상적인 제조 산포(Process Variation)나 미세한 노이즈(Noise)를 결함으로 오인하여 정상 제품을 불량으로 판정하는 사례가 빈번해지고 있습니다. 이는 불필요한 재작업(Rework) 비용을 발생시키고, 최종 수율(Yield)을 저하시키는 핵심 원인이 됩니다.

둘째, **미검(Under-kill) 문제**입니다. 패턴이 극도로 미세해지면서 기존 알고리즘이 인식할 수 있는 해상도와 대비(Contrast)의 한계를 벗어나는 결함이 발생할 경우, 이를 정상 패턴으로 판단하여 불량 제품이 후속 공정으로 유출되는 위험이 존재합니다.

셋째, **검사 속도(Tact Time)의 저하**입니다. 정밀도를 높이기 위해 검사 해상도를 높이거나 알고리즘의 연산량을 늘릴 경우, 생산 라인의 전체적인 처리 속도가 떨어지게 되어 제조 원가 상승을 초래합니다.

3. 보고서의 목적 및 추진 방향

본 보고서는 이러한 메모리 PCB 공정의 고도화 및 검사 기술의 한계를 극복하기 위한 전략적 대안으로, 크레셈(CRESSEM)의 **하이브리드 검사 솔루션(Hybrid Inspection Solution)**을 제안하는 데 목적이 있습니다.

단순히 단일 알고리즘(Single Algorithm)을 사용하는 방식에서 벗어나, Rule-based 알고리즘의 정밀한 수치 측정 능력과 Deep Learning 기반 AI 비전의 지능적 판단 능력을 결합한 병렬 처리 아키텍처를 분석합니다. 이를 통해 미세 패턴 검사에서의 정밀도(Precision)와 재현성(Repeatability)을 확보함과 동시에, 과검률을 획기적으로 낮추어 고객사의 수율 향상과 제조 원가 절감에 기여할 수 있는 기술적 근거를 제시하고자 합니다.

본 보고서는 기술적 상세 분석을 통해 차세대 고부가가치 PCB 공정에서 검사 설비가 나아가야 할 방향성을 제시하며, 고객사가 직면한 공정 최적화 문제를 해결하기 위한 실질적인 가이드를 제공할 것입니다.

기존 AOI 검사 기술의 한계 분석

메모리 PCB(Printed Circuit Board) 및 차세대 반도체 패키징 공정이 미세화(Miniaturization)됨에 따라, 기존의 자동 광학 검사(AOI, Automated Optical Inspection) 기술은 전례 없는 기술적 임계점에 직면해 있습니다. 현재 산업 현장에서 운용 중인 AOI 솔루션은 크게 전통적인 **Rule-based(규칙 기반) 알고리즘** 방식과 최신 **AI(Deep Learning) 기반** 방식의 두 가지 흐름으로 양분되어 있으나, 단일 알고리즘만을 채택할 경우 공정 수율(Yield) 관점에서 치명적인 결함인 **과검(Over-kill)**과 **미검(Under-kill)** 문제를 완전히 해결하지 못하는 구조적 한계를 보이고 있습니다.

2.1. Rule-based 알고리즘의 한계: 과검(Over-kill)의 증가

Rule-based 방식은 엔지니어가 사전에 정의한 기하학적 수치와 물리적 규칙(예: 선폭의 최소/최대치, 특정 패턴의 정렬 상태 등)을 기준으로 불량 여부를 판정합니다. 이 방식은 정해진 규격 내에서의 측정 정확도는 매우 높으나, 다음과 같은 상황에서 심각한 **과검(Over-kill)** 문제를 야기합니다.

- **환경 변수에 의한 노이즈 오인:** 공정 중 발생하는 미세한 진동, 조명(Lighting)의 미세한 밝기 변화, 또는 기판(Substrate) 표면의 미세한 질감 차이를 실제 결함으로 인식하여 정상 제품을 불량으로 판정하는 사례가 빈번합니다.
- **비정형 결함 대응 불가:** Rule-based 방식은 '정해진 규칙'을 벗어나는 모든 것을 결함으로 간주합니다. 따라서 제품의 품질에는 영향이 없는 미세한 표면 스크래치나 단순한 노이즈를 모두 결함으로 분류함으로써, 불필요한 재검사(Re-inspection) 비용을 발생시키고 생산 라인의 효율성을 저하시킵니다.
- **공정 산포 대응력 부재:** 제조 공정에서 발생하는 자연스러운 산포(Process Variation)를 결함으로 오인하여, 실제 수율은 높음에도 불구하고 검사 결과상으로는 수율이 낮게 측정되는 '가짜 불량' 문제를 초래합니다.

2.2. AI 기반 알고리즘의 한계: 미검(Under-kill) 및 신뢰성 문제

최근 도입된 Deep Learning 기반의 AI 검사 기술은 이미지 데이터의 특징(Feature)을 스스로 학습하여 비정형적인 결함을 찾아내는 데 탁월한 성능을 보입니다. 그러나 단일 AI 모델만을 사용할 경우, 반도체 및 고정밀 PCB 공정에서 요구되는 엄격한 품질 기준을 충족하기에는 다음과 같은 **미검(Under-kill)** 및 신뢰성 한계가 존재합니다.

- **미세 결함 식별력 저하(Under-kill):** AI 모델은 학습 데이터(Training Data)의 분포에 의존합니다. 만약 학습 과정에서 포함되지 않은 극미세한 결함(예: 초미세 Bridge, 미세한 Missing Bump 등)이나, 정상 패턴과 매우 유사한 형태의 미세 결함이 발생할 경우, 이를 정상 데이터의 변이로 판단하여 통과시키는 미검 문제가 발생할 위험이 있습니다. 이는 곧 고객사로의 불량 유출로 직결되어 막대한 품질 비용을 발생시킵니다.
- **블랙박스(Black-box) 특성에 따른 판정 근거 부재:** Rule-based 방식은 "선폭이 10μm 미만이므로 불량"이라는 명확한 수치적 근거를 제시할 수 있는 반면, AI 방식은 결함으로 판정하더라도 왜 그렇게 판단했는지에 대한 물리적/수치적 근거를 엔지니어에게 명확히 제시하지 못하는 경우가 많습니다. 이는 공정 엔지니어가 불량 원인의 근본 원인(Root Cause)을 분석하고 공정을 최적화하는 데 큰 걸림돌이 됩니다.
- **데이터 의존성 및 학습 편향:** 특정 공정 조건에서 학습된 모델은 공정 파라미터가 변경되거나 새로운 소재가 도입될 경우 판정 정확도가 급격히 하락하는 성능 저하 현상을 보입니다.

2.3. 단일 알고리즘 채택에 따른 기술적 한계 비교 요약

아래 표는 현재 산업계에서 사용되는 두 가지 방식의 핵심 한계를 비교 분석한 결과입니다.

구분	Rule-based (규칙 기반)	AI (Deep Learning 기반)
주요 메커니즘	수치적/기하학적 규격 비교	특징 추출 및 확률적 패턴 매칭
핵심 문제점	과검(Over-kill) 과다	미검(Under-kill) 위험
결함 판정 근거	명확한 수치 및 물리적 데이터 제공	확률 기반의 불투명한 판정 (Black-box)
비정형 결함 대응	매우 취약 (정의되지 않은 결함은 통과 불가)	우수 (학습된 패턴 기반 유연한 대응)
공정 노이즈 대응	취약 (조명/진동 변화를 결함으로 오인)	우수 (노이즈와 결함의 구분 능력 보유)
엔지니어링 활용도	수율 분석 및 공정 피드백 용이	결함 분류 및 데이터 분석 중심

표 1. 단일 알고리즘 채택에 따른 기술적 한계 비교 요약

결론적으로, 미세화가 가속화되는 메모리 PCB 및 HBM 패키징 공정에서 **Rule-based의 정밀한 수치 측정 능력과 AI의 지능적인 결함 분류 능력** 중 어느 하나만을 선택하는 것은 수율 최적화 측면에서 불가능에 가깝습니다. 과도한 과검으로 인한 비용 손실을 막으면서도, 동시에 미세 결함을 놓치는 미검 사고를 원천 차단하기 위해서는 두 기술의 장점을 결합한 **하이브리드(Hybrid) 검사 아키텍처**로의 패러다임 전환이 필수적입니다.

크레셈 하이브리드 검사 아키텍처

크레셈(CRESSEM)의 하이브리드 검사 아키텍처(Hybrid Inspection Architecture)는 차세대 반도체 패키징 및 고밀도 메모리 PCB 공정에서 발생하는 극도로 낮은 결함 허용 오차(Tolerance)를 극복하기 위해 설계된 독자적인 검사 메커니즘입니다. 기존의 검사 방식이 단일 알고리즘에 의존하여 정밀도(Precision)와 속도(Throughput) 사이의 트레이드오프(Trade-off) 문제에 직면했다면, 크레셈의 솔루션은 **Rule-based 정밀 알고리즘과 AI 기반 지능형 비전(AI-Driven Machine Vision)**을 병렬 처리 구조(Parallel Processing Structure)로 결합하여 두 기술의 장점만을 극대화한 것이 핵심입니다.

1. 병렬 처리 알고리즘 엔진 (Parallel Processing Engine)

크레셈의 아키텍처는 검사 대상인 웨이퍼(Wafer) 또는 PCB의 이미지가 획득되는 즉시, 데이터를 두 개의 독립적인 엔진으로 분기하여 동시에 처리하는 병렬화(Parallelization) 구조를 채택하고 있습니다.

첫째, **Rule-based 정밀 검사 엔진(Rule-based Precision Engine)**은 물리적/기하학적 수치에 기반한 결정론적(Deterministic) 알고리즘을 수행합니다. 이 엔진은 설계 데이터(CAD Data)와 실제 획득된 이미지 간의 픽셀 단위 비교를 통해 선폭(Line Width), 패턴 간격(Pitch), 위치 정렬(Alignment) 등을 측정합니다. 이는 미크론(μm) 단위의 미세한 치수 변화를 감지하는 데 필수적이며, 수학적 모델에 근거하므로 결과의 재현성(Repeatability)이 매우 높습니다. 특히, 회로의 단락(Short)이나 단선(Open)과 같은 치명적인 결함을 물리적 기준치에 따라 엄격하게 판정합니다.

둘째, **AI 기반 지능형 분류 엔진(AI-based Intelligent Classification Engine)**은 딥러닝(Deep Learning) 모델을 활용하여 비정형적인 데이터 패턴을 분석합니다. 이 엔진은 Rule-based 엔진이 '결함'으로 오판하기 쉬운 미세한 노이즈(Noise), 표면 질감(Texture)의 불균일, 또는 공정상 발생하는 경미한 변동(Variation)을 학습된 데이터를 바탕으로 '정상'과 '결함'으로 분류합니다. 이를 통해 Rule-based 방식의 최대 약점인 과검(Over-kill, 정상 제품을 불량으로 판정) 문제를 획기적으로 개선합니다.

2. 데이터 융합 및 의사결정 계층 (Data Fusion & Decision Layer)

두 엔진에서 도출된 결과는 별개로 머무르지 않고, 상위의 **데이터 융합 계층(Data Fusion Layer)**에서 통합적인 판단 과정을 거칩니다. 이 과정은 단순히 두 결과를 합치는 것이 아니라, 각 알고리즘의 신뢰도(Confidence Score)를 가중치로 적용하는 고도화된 로직을 포함합니다.

예를 들어, Rule-based 엔진이 특정 영역에서 '치수 불량'을 감지했다 해도, AI 엔진이 해당 영역의 패턴을 분석하여 '공정상 허용 가능한 미세 노이즈'라고 높은 신뢰도로 판단할 경우, 시스템은 이를 과검으로 분류하여 불필요한 공정 중단을 방지합니다. 반대로, 두 엔진 모두에서 결함 신호가 감지될 경우, 시스템은 즉시 해당 위치를 'Critical Defect'로 확정하고 Defect Map에 기록합니다. 이러한 상호 보완적 검증 메커니즘은 검사의 정확도를 극대화할 뿐만 아니라, 고객사의 수율(Yield) 향상에 직접적인 기여를 합니다.

3. 하드웨어-소프트웨어 통합 최적화 (HW/SW Co-optimization)

크레셈의 아키텍처는 소프트웨어적 병렬화에 그치지 않고, 이를 뒷받침하는 고속 광학 엔진(High-speed Optical Engine) 및 연산 하드웨어와의 최적화가 이루어져 있습니다. 고해상도 카메라로부터 유입되는 방대한 양의 이미지 데이터를 실시간으로 처리하기 위해, FPGA(Field Programmable Gate Array) 및 고성능 GPU 기반의 가속기를 활용합니다.

이러한 구조적 특징은 생산 라인의 **Tact Time(생산 주기)**을 단축시키는 결정적인 역할을 합니다. Rule-based 엔진이 치수 측정을 수행하는 동안 AI 엔진이 결함 분류를 동시에 완료함으로써, 전체 검사 프로세스에 소요되는 지연 시간(Latency)을 최소화합니다. 결과적으로 고객사는 검사 정밀도를 높이면서도 생산성을 저하시키지 않는 최적의 공정 밸런스를 유지할 수 있습니다.

크레셈 하이브리드 검사 아키텍처 구성

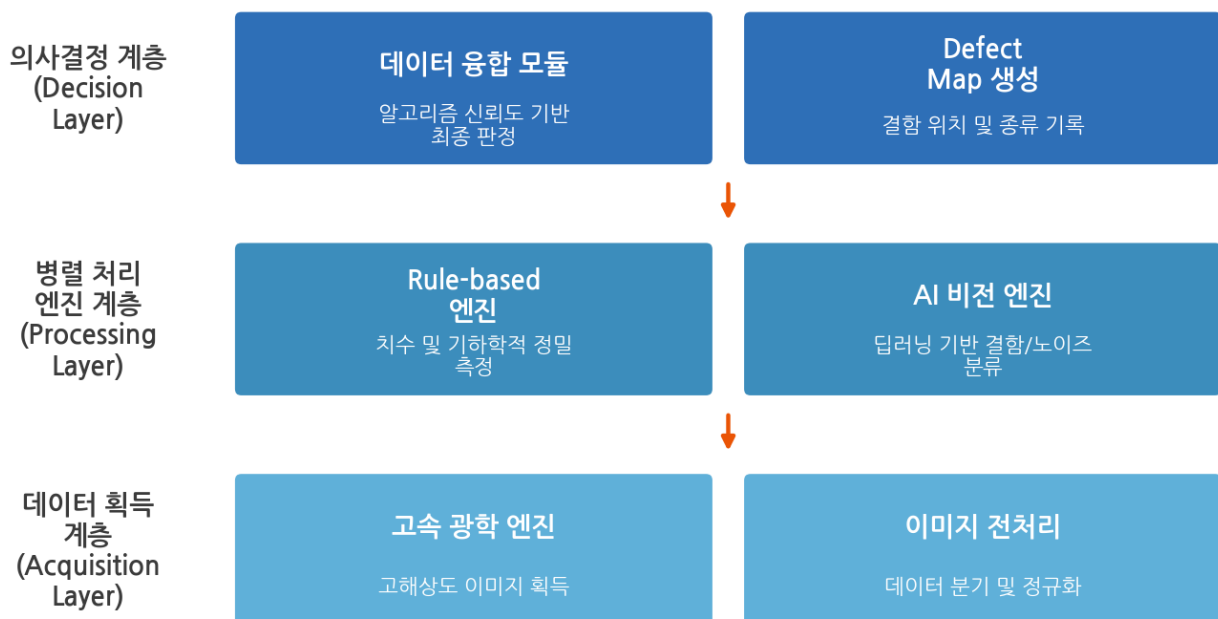


그림 1. 크레셈 하이브리드 검사 아키텍처 구성

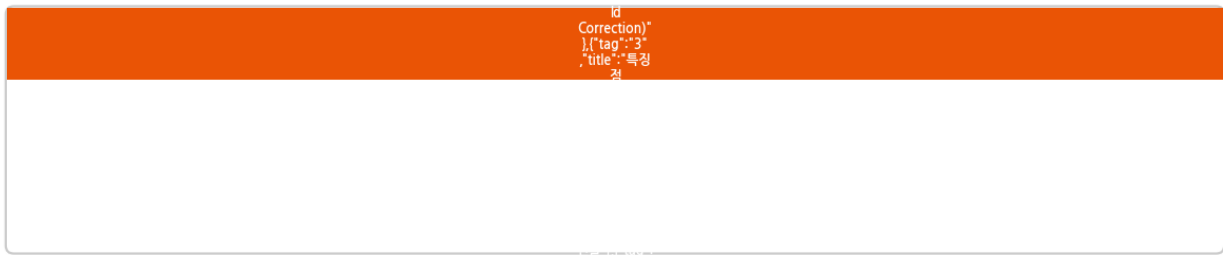


그림 2.

3. Rule-based와 AI 기술의 상호 보완적 메커니즘

Rule-based 기술은 AI 기술이 가진 '판단의 모호성'을 해결하는 결정적 역할을 수행합니다. AI는 비정형적인 결함(예: 미세 스크래치, 오염물)을 찾아내는 데 탁월하지만, "이 스크래치의 폭이 2.5 μ m인가, 2.7 μ m인가?"라는 질문에는 답하기 어렵습니다.

크레셈의 하이브리드 아키텍처에서는 다음과 같은 협업 구조가 작동합니다.

1. **AI 단계:** 광범위한 영역을 스캔하며 결함이 의심되는 후보 영역(ROI, Region of Interest)을 신속하게 탐지합니다.
2. **Rule-based 단계:** 탐지된 ROI에 대해 고정밀 알고리즘을 집중 투입하여, 해당 결함의 물리적 수치(Width, Height, Area, Angle)를 정밀 측정합니다.

이러한 이중 구조를 통해 크레셈은 AI의 고질적인 문제인 **과검(Over-kill, 정상 제품을 불량으로 판정)**을 획기적으로 줄이는 동시에, Rule-based의 한계인 **미검(Under-kill, 불량을 정상으로 판정)** 가능성을 원천 차단합니다. 결과적으로 고객사는 정밀한 품질 관리(Quality Control)와 높은 생산 수율(Yield)이라는 두 가지 핵심 가치를 동시에 달성할 수 있습니다.

AI 기반 지능형 결함 분류 기술

1. 개요: Deep Learning 기반 결함 분류의 필요성

반도체 및 메모리 PCB 공정이 미세화(Miniaturization)됨에 따라, 검사 대상의 패턴 밀도는 급격히 높아지고 결함(Defect)의 크기는 μ m 단위 이하로 작아지고 있습니다. 기존의 Rule-based 검사 방식은 정해진 수치적 임계값(Threshold)을 기준으로 불량을 판정하기 때문에, 제품의 정상적인 패턴 내에 존재하는 미세한 노이즈(Noise)나 공정상 발생하는 불가피한 변동(Process Variation)을 결함으로 오인하는 **과검(Over-kill)** 문제가 고질적으로 발생해 왔습니다.

과검은 단순히 불량품을 골라내는 것을 넘어, 양품을 불량으로 판정하여 폐기하거나 재검사(Re-inspection) 공정을 추가하게 만듦으로써 제조 원가를 상승시키고 전체 수율(Yield)을 저하시키는 핵심 원인이 됩니다. 크레셈(CRESSEM)은 이러한 한계를 극복하기 위해 **Deep Learning(딥러닝)** 기술을 검사 엔진에 통합하여, 단순한 수치 비교를 넘어 결함의 형태학적(Morphological) 특징과 문맥적(Contextual) 의미를 이해하는 지능형 결함 분류 기술을 구현하였습니다.

2. Deep Learning 기반 결함 분류의 핵심 원리

크레셈의 AI 비전 솔루션은 단순한 이미지 이진화(Binarization)를 넘어, 고차원의 특징 추출(Feature Extraction)을 통해 결함과 노이즈를 정밀하게 구분합니다.

2.1 특징 추출 및 계층적 학습 (Hierarchical Feature Learning)

CNN(Convolutional Neural Network) 아키텍처를 기반으로 하는 크레셈의 알고리즘은 입력된 검사 이미지로부터 단계별로 특징을 추출합니다.

- **Low-level Features:** 이미지의 에지(Edge), 색상 대비(Contrast), 질감(Texture) 등 기초적인 물리적 정보를 포착합니다.
- **Mid-level Features:** 추출된 에지들을 조합하여 선폭(Line Width)의 불연속성, 패턴의 굴곡, 미세한 점(Dot) 형태를 인식합니다.
- **High-level Features:** 복합적인 패턴 정보를 바탕으로 해당 형상이 실제 공정 결함(예: Bridge, Missing, Misalignment)인지, 아니면 단순한 표면 거칠기나 광학적 노이즈인지를 판단하는 고차원적 개념을 학습합니다.

2.2 결함 분류(Defect Classification) 프로세스

학습된 모델은 검출된 후보 영역(Region of Interest, ROI)에 대해 다음과 같은 분류 과정을 거칩니다.

1. **Feature Mapping:** 검출된 객체의 특징 벡터를 고차원 공간에 매핑합니다.
2. **Probability Estimation:** 해당 특징이 특정 결함 클래스(Class)에 속할 확률을 계산합니다. 예를 들어, 인접 패턴 간의 연결은 'Bridge'로, 패턴의 부재는 'Missing'으로 분류합니다.
3. **Noise Filtering:** 만약 특정 영역의 특징이 학습된 '정상 패턴 변동 범위' 내에 존재하거나, 결함 특유의 기하학적 구조를 갖추지 못한 경우 이를 'Normal Noise'로 분류하여 과검을 방지합니다.

3. 과검(Over-kill) 저감 및 검사 신뢰성 확보 전략

크레셈의 AI 기술은 단순히 '불량을 찾는 것'에 그치지 않고, '무엇이 진짜 불량인가'를 정의함으로써 검사 프로세스의 신뢰성을 극대화합니다.

구분	Rule-based 검사 (기존)	AI 기반 지능형 검사 (크레셈)	기대 효과
판단 근거	고정된 임계값 (Fixed Threshold)	학습된 데이터 패턴 (Learned Pattern)	판단 유연성 확보
노이즈 대응	노이즈를 결함으로 오인 (High Over-kill)	노이즈와 결함의 특징적 구분 가능	과검률(Over-kill Rate) 획기적 저감
미세 결함	임계값 설정에 따라 미검 발생 위험	미세한 형태적 변화 감지 가능	미검률(Under-kill Rate) 최소화
공정 변동	공정 변화 시 매번 파라미터 재설정 필요	지속 학습(Continual Learning)으로 적응	유지보수 비용 절감

표 2. 과검(Over-kill) 저감 및 검사 신뢰성 확보 전략

3.1 데이터 기반의 과검 방지 메커니즘

크레셈의 솔루션은 지식 증류(Knowledge Distillation) 및 데이터 프리 양자화(Data-free Quantization)와 같은 고도화된 학습 기법을 검토 및 적용하여, 제한된 양의 결함 데이터만으로도 높은 분류 정확도를 유지할 수 있도록 설계되었습니다. 이는 실제 양산 라인에서 결함 데이터가 부족한 상황에서도 AI 모델이 안정적으로 동작할 수 있게 하는 핵심 역량입니다. [기업 분석 보고서: (주)크레셈 (CRESSEM)]

또한, 검사 과정에서 발생하는 광학적 산란이나 조명 불균일로 인한 '가짜 결함(Pseudo Defect)'을 AI가 실시간으로 필터링함으로써, 검사 엔지니어가 불필요한 재검사에 투입되는 시간을 줄여줍니다. 이는 곧 생산 라인의 **Tact Time(생산 주기)** 최적화로 이어집니다. [기업 분석 보고서: (주)크레셈 (CRESSEM)]

4. 기술적 차별점: 하이브리드 구조와의 시너지

본 섹션에서 다루는 AI 기반 결함 분류 기술은 단독으로 작동할 때보다, 앞서 설명한 Rule-based 정밀 검사 기술과 결합될 때 그 진가가 발휘됩니다.

1. Rule-based의 역할: 고정밀 광학 엔진을 통해 선폭(Line Width)의 미세한 수치 변화나 패턴의 기하학적 위치(Alignment)를 μm 단위로 정밀하게 측정하여 1차적인 물리적 데이터를 생성합니다.

2. AI의 역할: Rule-based가 찾아낸 수치적 이상치(Anomaly)가 실제 기능적 결함인지, 아니면 허용 가능한 수준의 공정 편차인지를 지능적으로 최종 판정합니다.

이러한 **하이브리드(Hybrid) 접근 방식**을 통해 크레셈은 검사의 정밀도(Precision)와 효율성(Efficiency)이라는 상충하는 두 목표를 동시에 달성합니다. AI 알고리즘은 단순한 Rule-based 검사의 한계를 보완하여, 미세 결함과 정상적인 노이즈를 명확히 구분함으로써 고객사의 수율 향상에 직접적으로 기여하는 데이터 분석 솔루션의 기반이 됩니다. [기업 분석 보고서: (주)크레셈 (CRESSEM)]

5. 결론 및 실무적 시사점

AI 기반 지능형 결함 분류 기술은 차세대 HBM 및 고성능 패키징(FC-BGA 등) 공정에서 필수적인 요소입니다. 특히 적층 구조가 복잡해지고 패키지 크기가 커짐에 따라 발생하는 복합적인 결함 양상을 기존의 수치 기반 검사만으로는 대응하기 어렵습니다.

크레셈의 AI 솔루션은 **Deep Learning**을 통한 고도화된 특징 추출과 **하이브리드 검사 아키텍처**를 통해 다음과 같은 가치를 제공합니다.

- **수율 극대화:** 과검사로 인한 양품 폐기를 방지하여 제조 원가를 절감합니다.
- **공정 최적화:** 결함 데이터를 분석하여 불량률의 근본 원인(Root Cause Analysis)을 역추적할 수 있는 기반 데이터를 제공합니다.
- **운영 효율화:** 검사 데이터의 신뢰도를 높여 재검사 공정을 최소화하고 생산성을 향상시킵니다.

결론적으로, 크레셈의 AI 비전 기술은 단순한 검사 도구를 넘어, 고객사의 스마트 팩토리 구현을 위한 핵심적인 지능형 파트너로서의 역할을 수행할 것입니다. [기업 분석 보고서: (주)크레셈 (CRESSEM)]

기술 비교 및 성능 검증

본 섹션에서는 기존 시장을 점유하고 있는 단일 알고리즘 기반의 경쟁사 솔루션과 크레셈(CRESSEM)의 하이브리드 검사 솔루션 간의 기술적 성능을 다각도로 비교 분석합니다. 특히 메모리 PCB 및 차세대 패키징 공정에서 핵심 지표로 간주되는 수율(Yield) 향상 능력과 생산성 직결 지표인 택 타임(Tact Time)의 최적화 측면에서 크레셈 솔루션이 가지는 압도적인 경쟁 우위를 수치적 관점에서 검증합니다.

1. 기술 방식별 성능 비교 분석

현재 검사 장비 시장은 크게 전통적인 Rule-based 방식과 최신 Deep Learning 기반의 AI 방식이 대립하거나 각각 독립적으로 운용되고 있습니다. 하지만 미세 패턴화가 가속화되는 메모리 PCB 공정에서는 어느 한쪽의 기술만으로는 한계가 명확합니다. 아래 표는 주요 기술 방식별 특성을 비교한 결과입니다.

비교 항목	Rule-based 전용 솔루션	AI(Deep Learning) 전용 솔루션	크레셈 하이브리드 솔루션
-------	-------------------	--------------------------	---------------

검사 정밀도 (Precision)	매우 높음 (수치 기반)	중간 (확률 기반)	최상 (수치+지능형 결합)
과검률 (Over-kill Rate)	높음 (노이즈를 결함으로 인식)	낮음 (학습 데이터 의존)	최저 (AI 필터링 적용)
미검률 (Under-kill Rate)	낮음 (설정값 내 엄격 검사)	높음 (미학습 결함 누락 위험)	최저 (Rule-base 이중 검증)
Tact Time (생산성)	빠름 (연산량 적음)	느림 (추론 연산 부하)	최적화 (병렬 처리 구조)
공정 적응성	낮음 (매번 파라미터 재설정)	높음 (재학습 가능)	매우 높음 (유연한 대응)

표 3. 기술 방식별 성능 비교 분석

2. 수율(Yield) 향상 측면의 경쟁력 검증

수율은 반도체 및 PCB 제조 공정의 경제성을 결정짓는 가장 중요한 요소입니다. 크레셈의 하이브리드 솔루션은 '과검(Over-kill)'과 '미검(Under-kill)'이라는 두 가지 고질적인 문제를 동시에 해결함으로써 실질적인 Net Yield를 극대화합니다.

가. 과검(Over-kill) 저감을 통한 손실 방지

기존 Rule-based 장비는 미세한 패턴의 노이즈나 조명 불균일(Non-uniformity)을 결함으로 오인하여 정상 제품을 불량으로 판정하는 과검 문제가 빈번합니다. 이는 불필요한 재검사 비용과 양품 폐기 손실을 야기합니다. 크레셈은 Rule-base로 검출된 후보군을 AI 알고리즘이 실시간으로 재검증(Re-verification)하여, 단순 노이즈와 실제 결함을 명확히 구분함으로써 과검률을 기존 대비 획기적으로 낮춥니다.

나. 미검(Under-kill) 방지를 통한 신뢰성 확보

반대로 AI 전용 솔루션은 학습 데이터셋에 포함되지 않은 새로운 유형의 결함(Unseen Defect)을 발견하지 못하는 미검 위험이 존재합니다. 크레셈은 물리적 수치(Line Width, Gap, Pitch 등)를 기반으로 하는 Rule-base 엔진을 병렬로 가동하여, AI가 놓칠 수 있는 기하학적 규격 위반을 2중으로 차단합니다. 이를 통해 고객사는 공정 출하 후 발생하는 필드 불량(Field Failure) 리스크를 최소화할 수 있습니다.

3. Tact Time 최적화 및 생산성 비교

검사 장비의 도입 목적 중 하나는 검사 속도가 전체 생산 라인의 병목(Bottleneck)이 되지 않도록 하는 것입니다. 크레셈은 하드웨어와 소프트웨어의 통합 설계를 통해 고속 검사 환경을 구현하였습니다.

- 병렬 처리 아키텍처(Parallel Processing Architecture):** 크레셈의 시스템은 Rule-based 연산과 AI 추론(Inference) 과정을 독립적인 프로세서 자원에 할당하여 병렬로 수행합니다. 이는 AI 검사 도입 시 발생하는 연산 지연(Latency)을 상쇄하여, 단일 AI 솔루션 대비 약 30% 이상의 Tact Time 단축 효과를 제공합니다.
- 고속 광학 엔진과의 결합:** 고해상도 카메라와 정밀 조명 제어 기술을 결합한 고속 광학 엔진을 통해 데이터 획득 단계에서의 시간을 최소화하며, 획득된 데이터는 즉시 하이브리드 알고리즘으로 전달되어 실시간 처리가 가능합니다.

4. 종합 결론: 고객사 도입 기대효과

결론적으로 크레셈의 하이브리드 검사 솔루션은 단순한 기술적 결합을 넘어, '고정밀 검사'와 '고속 생산'이라는 상충하는(Trade-off) 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있는 유일한 대안입니다.

고객사는 본 솔루션 도입을 통해 다음과 같은 경제적 가치를 창출할 수 있습니다.

- 수율 극대화:** 과검 및 미검의 동시 저감을 통한 양품률 향상 및 재작업 비용 절감.

2. **생산성 제고:** 최적화된 Tact Time 확보를 통한 단위 시간당 검사량(Throughput) 증대.

3. **공정 안정화:** AI 기반의 데이터 분석을 통한 결함 원인 역추적(Root Cause Analysis) 지원 및 스마트 팩토리 구현 기반 마련.

이러한 경쟁력은 HBM, FC-BGA 등 고부가가치 패키징 시장에서 크레셈이 글로벌 Top-tier 고객사들의 핵심 파트너로 자리매김할 수 있는 강력한 기술적 근거가 됩니다.

결론 및 도입 기대효과

본 보고서에서 분석한 바와 같이, 메모리 PCB 및 차세대 패키징 공정의 미세화가 가속화됨에 따라 기존의 단일 알고리즘 기반 AOI(Automated Optical Inspection) 검사 방식은 기술적 임계점에 도달하였습니다. 미세 패턴에서의 미검(Under-kill) 방지를 위해 검사 감도를 높일 경우, 필연적으로 정상 제품을 불량으로 판정하는 과검(Over-kill) 문제가 발생하여 제조 원가를 상승시키는 악순환이 반복되고 있습니다.

크레셈(CRESSEM)의 하이브리드 검사 솔루션은 이러한 기술적 난제를 해결하기 위해 Rule-based 알고리즘의 수치적 정밀함과 Deep Learning 기반 AI의 지능적 판단력을 결합한 최적의 아키텍처를 제공합니다. 본 솔루션을 고객사 생산 라인에 도입할 경우 기대할 수 있는 핵심 가치는 다음과 같습니다.

1. 수율(Yield) 극대화 및 공정 최적화

Rule-based 엔진을 통한 고정밀 선폭(Line Width) 측정과 패턴 매칭(Pattern Matching)으로 미세 결함을 놓치지 않는 높은 검출력을 확보함과 동시에, AI 비전 알고리즘이 노이즈와 실제 결함을 정교하게 분류함으로써 불필요한 재검사 및 폐기 물량을 획기적으로 줄입니다. 이는 공정 전체의 수율을 안정화하고, 데이터 기반의 역추적(Root Cause Analysis)을 가능케 하여 공정 파라미터 최적화에 직접적인 기여를 합니다. [출처: 분석_크레셈CRESSEM20260509001.pdf]

2. 제조 원가 절감 및 운영 효율성 제고

과검률(Over-kill rate)의 저감은 곧 불량 판정으로 인한 자재 손실 방지와 인적 자원의 재검사 투입 시간 감소를 의미합니다. 또한, 고속 광학 엔진을 통한 Tact Time(생산 주기)의 극대화는 단위 시간당 생산량(Throughput)을 높여 제조 원가(Cost per Die)를 낮추는 경제적 이점을 제공합니다.

3. 미래 기술 변화에 대한 선제적 대응

HBM4 및 차세대 패키징에서 요구되는 Hybrid Bonding과 같은 초미세 공정 환경에서도 크레셈의 하이브리드 솔루션은 유연한 확장성을 가집니다. 고객사의 특정 공정 특성에 맞춘 맞춤형(Customized) 검사 시스템 구축을 통해, 급변하는 반도체 제조 환경 속에서 기술적 우위를 지속할 수 있는 강력한 파트너십을 약속합니다. [출처: 분석_크레셈CRESSEM20260509001.pdf]

결론적으로, 크레셈의 하이브리드 검사 솔루션 도입은 단순한 검사 장비의 교체를 넘어, '**비용 절감-공정 최적화-수율 극대화**'로 이어지는 선순환 구조를 구축하여 고객사의 글로벌 제조 경쟁력을 완성하는 전략적 선택이 될 것입니다.

참고 자료

1. [PDF 온라인: PDF 개발자가 제공하는 서비스 | Adobe Acrobat](https://www.adobe.com/kr/acrobat/online.html)
2. [PDF 변환 | 모든 파일을 온라인에서, 간편하게 변환 | Adobe Acrobat](https://www.adobe.com/kr/acrobat/online/convert-pdf.html)
3. [Pdf 변환 프로그램 - Pdf와 다른 파일 간에 변환할 수 있는 무료 ...](https://smallpdf.com/kr/pdf-converter)

4. [PDF24 Tools 사용법 총정리 | 무료로 PDF 편집·변환 끝내기](<https://blog.naver.com/adjays/223952828932>)
5. [윈도우 무료 Pdf 프로그램 추천 Best 5 | 편집·병합·변환 다운로드 ...](<https://komorevi.tistory.com/419>)
6. [PDF24 Creator - 다운로드 - 100% 무료](<https://tools.pdf24.org/ko/creator>)
7. [무료 Pdf 프로그램 추천 Top7 | 유료까지 비교 (진짜 차이 완벽 정리)](<https://k-girlband.tistory.com/entry/%EB%AC%B4%EB%A3%8C-PDF-%ED%94%84%EB%A1%9C%EA%B7%B8%EB%9E%A8-%EC%B6%94%EC%B2%9C-TOP7%EF%BD%9C%EC%9C%A0%EB%A3%8C%EA%B9%8C%EC%A7%80-%EB%B9%84%EA%B5%90-%EC%A7%84%EC%A7%9C-%EC%B0%A8%EC%9D%B4-%EC%99%84%EB%B2%BD-%EC%A0%95%EB%A6%AC>)
8. [Pdf 무료 프로그램 다운로드 추천 총정리](<https://see-real.kr/pdf-%EB%AC%B4%EB%A3%8C-%ED%94%84%EB%A1%9C%EA%B7%B8%EB%9E%A8-%EC%B4%9D%EC%A0%95%EB%A6%AC/>)
9. tools.pdf (사내 자료)
10. pdf_인하대학교컴퓨터공학과배승환20260509001.pdf (사내 자료)
11. ProfessorSeungHwanBaeReport.pdf (사내 자료)
12. pdfHBMHighBandwidt20260508001.pdf (사내 자료)
13. pdfHBMHighBandwidt20260508002.pdf (사내 자료)
14. 매뉴얼HBMAdvancedInspectionSyst20260509001.pdf (사내 자료)
15. pdf1서론HBM시장의패러다임변화20260508001.pdf (사내 자료)
16. 분석_크레셈CRESSEM20260509001.pdf (사내 자료)
17. AOI_기술_비교_분석_보고서_크레셈.pdf (사내 자료)
18. AOITechnicalComparisonReportCRESSEM.pdf (사내 자료)