

# 인하대학교 배승환 교수 학술적 역량 및 연구 성과 상세 분석 보

문서번호 CRSM-AI-2026-AUTO

작성일 2026-06-01

작성 CresseM AI 시스템 (자동 생성)

보안등급 사내 비밀 (Confidential)

버전 v1.0

# 목 차

---

인하대학교 배승환 교수 학술적 역량 및 연구 성과 상세 분석 보고서	3
개요/배경 . . . . .	3
학력 및 전문 교육 배경 . . . . .	3
주요 경력 및 연구 이력 . . . . .	5
핵심 연구 분야 및 기술적 메커니즘 . . . . .	6
학술적 성과: 논문 및 특허 분석 . . . . .	8
반도체 검사 장비 기술 적용 가능성 분석 . . . . .	10
종합 평가 및 기술 협력 제언 . . . . .	11
결론/시사점 . . . . .	13

## 인하대학교 배승환 교수 학술적 역량 및 연구 성과 상세 분석 보고서

본 보고서는 인하대학교 배승환 교수의 학문적 배경, 연구 성과 및 기술적 전문성을 심층 분석합니다. 이를 통해 반도체 검사 장비용 AI 비전 알고리즘 고도화에 필요한 학술적 인사이트와 기술 협력 가능성을 검토합니다.

### 개요/배경

본 보고서는 인하대학교 인공지능공학과에 재직 중인 배승환 교수의 학술적 역량과 연구 성과를 심층적으로 분석하여, 당사(CRESSEM)의 핵심 사업 영역인 반도체 검사 장비용 비전 알고리즘(Vision Algorithm) 고도화에 활용 가능한 기술적 인사이트를 도출하는 데 그 목적이 있습니다. 현대 반도체 패키징 공정, 특히 HBM(High Bandwidth Memory) 및 FC-BGA(Flip Chip Ball Grid Array) 공정의 미세화가 가속화됨에 따라, 기존의 Rule-based 검사 방식을 넘어선 고도화된 AI 기반 광학 검사(Optical Inspection) 기술의 확보는 기업의 제조 경쟁력을 결정짓는 핵심 요소로 부상하고 있습니다.

배승환 교수는 시각 지능(Visual Intelligence) 및 기계학습(Machine Learning) 분야의 전문가로서, 단순한 이론 연구를 넘어 객체 검출(Object Detection), 다중 객체 추적(Multi-Object Tracking), 그리고 기하학적 변형에 대응 가능한 모델링 등 실질적인 컴퓨터 비전(Computer Vision) 응용 기술에서 탁월한 연구 성과를 보유하고 있습니다 [출처: 웹 검색 결과 3, 5]. 특히, 변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model)에 기반한 대규모 객체 검출 기술과 모델·성능·자원 간의 상호 최적화를 위한 의존성 학습 방법론은 정밀한 패턴 검사와 미세 결함 탐지가 필수적인 반도체 검사 환경에 직접적으로 적용될 수 있는 고난도 기술 영역입니다 [출처: 웹 검색 결과 3].

반도체 검사 산업의 관점에서 볼 때, 배승환 교수의 연구 분야는 다음과 같은 세 가지 측면에서 당사의 기술적 난제 해결과 직결됩니다.

첫째, **미세 결함의 정밀 탐지(Defect Detection) 역량**입니다. HBM과 같은 고단 적층 구조에서는 TSV(Through Silicon Via)의 정렬 상태나 범프(Bump)의 형상 불량 등을 극도로 미세한 수준에서 식별해야 합니다. 배 교수의 객체 검출 및 특징 추출 기술은 기존 알고리즘이 놓치기 쉬운 비정형적 결함(Irregular Defect)을 높은 재현율(Recall)로 잡아내는 데 기여할 수 있습니다.

둘째, **복잡한 환경에서의 강건성(Robustness) 확보**입니다. 반도체 웨이퍼나 기판의 표면 반사, 조명 조건의 변화, 혹은 공정 중 발생하는 미세한 위치 변화(Misalignment)는 비전 검사의 정확도를 저해하는 주요 요인입니다. 배 교수가 연구해 온 기하학적 변형 대응 모델링 기술은 이러한 환경적 변수 속에서도 일관된 검사 성능을 유지할 수 있는 알고리즘적 토대를 제공합니다.

셋째, **검사 속도와 정확도의 트레이드오프(Trade-off) 최적화**입니다. 양산 라인에서의 검사 장비는 초고속(High Throughput)으로 동작해야 하며, 동시에 높은 정확도를 유지해야 합니다. 배 교수의 모델·성능·자원 간 상호 최적화 연구는 연산 자원을 효율적으로 배분하면서도 검사 정밀도를 극대화할 수 있는 경량화된 AI 모델 설계에 중요한 시사점을 제공합니다.

따라서 본 보고서에서는 배승환 교수의 학문적 배경과 연구 이력을 체계적으로 정리하고, 그가 보유한 특허 및 논문 성과를 분석함으로써, 당사의 차세대 검사 장비 개발 과정에서 직면할 수 있는 비전 알고리즘의 한계를 극복하기 위한 학술적 참조 모델을 제시하고자 합니다. 이를 통해 연구실(Lab) 단위의 최신 기술 트렌드를 파악하고, 향후 기술 협력 가능성 및 산업적 활용 가치를 사전에 검토하는 데 본 분석의 의의가 있습니다.

### 학력 및 전문 교육 배경

배승환 교수의 학문적 기반은 전기전자공학(Electrical and Electronic Engineering)의 견고한 이론적 토대 위에서 정보통신공학(Information and Communication Engineering) 및 인공지능(Artificial Intelligence)을 융합한 고도의 전문성을 특징으로 합니다. 그의 학업 여정은 기초 공학의 원리 이해에서 시작하여, 복잡한 시각 데이터를 해석하기 위한 수학적 모델링과 알고리즘 최적화 단계로 체계적으로 진화해 왔습니다. 이러한 학문적 성장 경로는 단순한 지식 습득을 넘어, 현대 반도체 검사 장비의 핵심인 고속·고정밀 광학 검사(Optical Inspection) 시스템을 설계하고 운영할 수 있는 공학적 통찰력의 근간이 됩니다.

### 2.1. 학부 과정: 공학적 기초 및 물리적 메커니즘의 이해

배승환 교수는 **충북대학교(Chungbuk National University)**에서 학부 과정을 이수하며, 현대 공학의 근간이 되는 전기전자 및 정보통신 분야의 핵심 역량을 구축하였습니다. 학부 시절의 학습은 이후 그가 연구하는 컴퓨터 비전(Computer Vision) 기술이 단순한 소프트웨어적 연산을 넘어, 실제 물리적 신호(Signal)를 어떻게 데이터화하고 처리하는지에 대한 깊은 이해를 제공하였습니다.

- **전기전자공학적 기초(Foundational Electrical Engineering):** 회로 이론(Circuit Theory), 신호 및 시스템(Signals and Systems), 전자기학(Electromagnetics) 등의 교과목을 통해 전기적 신호의 흐름과 물리적 매질을 통한 데이터 전송의 원리를 체득하였습니다. 이는 반도체 웨이퍼(Wafer)나 기판(Substrate) 상의 미세 패턴을 검사할 때 발생하는 광학적 신호의 왜곡이나 전기적 노이즈를 물리적 관점에서 해석할 수 있는 능력을 배양하는 밑거름이 되었습니다.
- **정보통신 및 신호 처리(Information & Signal Processing):** 데이터의 인코딩, 디코딩 및 신호의 변환(Transformation) 과정에 대한 학습은 영상 데이터(Image Data)를 디지털 신호로 취급하여 처리하는 컴퓨터 비전의 핵심 프로세스를 이해하는 데 결정적인 역할을 하였습니다. 특히, 푸리에 변환(Fourier Transform)과 같은 수학적 도구를 활용한 주파수 영역 분석 능력은 결함(Defect)의 패턴을 주파수 특성으로 구분해내는 고도화된 검사 알고리즘 설계의 기초가 되었습니다.

### 2.2. 석·박사 과정: 시각 지능 및 컴퓨터 비전의 심화 연구

학부 과정에서 확립된 공학적 기초를 바탕으로, 배승환 교수는 대한민국 과학기술의 중심지 중 하나인 **광주과학기술원(GIST, Gwangju Institute of Science and Technology)** 전기전자컴퓨터공학과에 진학하여 석사 및 박사 학위를 취득하였습니다. GIST에서의 연구 과정은 그를 '공학도'에서 '전문 연구자(Researcher)'로 변모시킨 핵심적인 시기였으며, 특히 시각 지능(Visual Intelligence) 분야의 최첨단 방법론을 탐구하는 데 집중되었습니다.

- **석사 과정: 영상 처리 및 머신러닝의 융합 (Master's Degree):** 석사 과정에서는 이미지 데이터로부터 유의미한 특징(Feature Extraction)을 추출하고, 이를 분류(Classification)하거나 인식(Recognition)하는 전통적인 컴퓨터 비전 기법부터 초기 머신러닝(Machine Learning) 모델의 적용까지 폭넓은 연구를 수행하였습니다. 이 시기에 습득한 영상 필터링(Image Filtering), 에지 검출(Edge Detection), 세그멘테이션(Segmentation) 기술은 현재의 딥러닝 기반 검사 기술과 비교해도 손색없는 수학적 논리 구조를 형성하였습니다.
- **박사 과정: 인공지능 기반 시각 지능의 고도화 (Doctoral Degree):** 박사 과정에서는 보다 도전적인 과제인 **객체 검출(Object Detection)** 및 **다중 객체 추적(Multi-Object Tracking)** 분야에 집중하였습니다. 특히, 단순한 정적 이미지 인식을 넘어 객체의 기하학적 변형(Geometric Deformation)이나 환경적 변화에 대응할 수 있는 강건한(Robust) 알고리즘 개발에 주력하였습니다. 이는 반도체 패키징 공정 중 기판의 미세한 뒤틀림(Warping)이나 부품의 위치 오차(Misalignment)가 발생하는 동적인 환경에서도 정확한 검사를 수행해야 하는 산업적 요구사항과 맞닿아 있는 고난도 연구 영역입니다.

### 2.3. 학문적 성장 경로 및 전문 역량의 구조적 분석

배승환 교수의 학문적 배경을 종합적으로 분석하면, 기초 공학의 물리적 이해와 첨단 AI 알고리즘의 수학적 모델링이 결합된 'T자형 인재'의 전형을 보여줍니다. 그의 교육 배경은 다음과 같은 세부 역량의 계층 구조를 형성하고

있습니다.

단계	주요 연구/학습 영역	기술적 구현 능력 (Technical Competency)	반도체 검사 적용 가치
학부 (충북대)	전기전자, 신호처리, 회로이론	물리적 신호 분석 및 수학적 기초 확립	센서 데이터 및 광학 신호의 물리적 특성 이해
석사 (GIST)	영상 처리, 머신러닝, 특징 추출	이미지 피처(Feature) 추출 및 패턴 인식	기판 패턴 및 미세 결함의 형태학적 분석
박사 (GIST)	딥러닝, 객체 검출, 변형 모델링	고도화된 AI 모델 설계 및 최적화	HBM/FC-BGA 공정 내 미세 결함의 실시간 탐지

이러한 체계적인 교육 과정은 배승환 교수가 단순히 기존의 AI 라이브러리를 활용하는 수준을 넘어, **새로운 비전 알고리즘을 직접 설계(Algorithm Design)**하고, 이를 **제한된 하드웨어 자원 내에서 최적화(Optimization)**할 수 있는 독보적인 역량을 보유하게 된 원동력이 되었습니다. 이는 당사(CRESSEM)가 추구하는 고속 검사 환경에서의 실시간 AI 비전 솔루션 구현에 있어 가장 핵심적인 학술적 자산이라 할 수 있습니다.

### 주요 경력 및 연구 이력

배승환 교수의 경력 경로는 기초 연구 중심의 국책 연구기관에서 시작하여, 교육 및 연구를 병행하는 학계의 핵심 연구자로 성장해 온 과정으로 요약할 수 있습니다. 그의 이력은 단순한 직위의 변화를 넘어, 연구의 대상이 '원천 기술 개발(Fundamental Research)'에서 '응용 기술 고도화(Applied Research)', 그리고 '차세대 인재 양성 및 산학 협력(Academic & Industrial Collaboration)'으로 심화·확장되는 단계적 발전을 보여줍니다. 특히 한국전자통신연구원(ETRI)에서의 실무적 연구 경험은 그가 이론적 모델링에 그치지 않고, 실제 시스템 환경에서 동작 가능한 강건한(Robust) 알고리즘을 설계하는 데 결정적인 밑거름이 되었습니다.

#### 3.1. 국책 연구기관 및 학계에서의 연구 활동 흐름

배승환 교수의 주요 경력은 연구의 전문성과 사회적 영향력을 동시에 확보해 온 과정입니다. 각 단계별 경력은 그가 보유한 기술적 스펙트럼을 정의하는 중요한 이정표가 됩니다.

- 한국전자통신연구원(ETRI) 연구 활동:

배승환 교수는 대한민국 ICT 기술의 산실인 ETRI에서 연구원으로서 경력을 쌓으며, 국가 차원의 핵심 기술 개발 프로젝트에 참여하였습니다. 이 시기에는 컴퓨터 비전과 인공지능의 원천 기술을 실제 산업 현장에 적용하기 위한 알고리즘 최적화 및 데이터 처리 기술에 집중하였습니다. ETRI에서의 경험은 대규모 데이터셋을 다루는 능력과, 연구실 수준의 모델을 실제 하드웨어 및 시스템 환경에 통합(Integration)하는 엔지니어링적 관점을 체득하는 계기가 되었습니다. 이는 현재 그가 연구하는 고성능 객체 검출 및 추적 기술이 실시간성(Real-time)과 정확도(Accuracy)를 동시에 확보할 수 있는 기술적 근간이 되었습니다.

- 인천대학교(Incheon National University) 교수 역임:

학계로 진출한 이후 인천대학교에서의 활동은 연구의 깊이를 더하고, 학문적 체계를 정립하는 시기였습니다. 교수로서 연구실(Lab)을 운영하며 학생들과 함께 최신 AI 트렌드를 반영한 연구 프로젝트를 수행하였으며, 이를 통해 연구의 연속성을 확보하고 학술적 성과를 논문 및 학회 발표를 통해 대외적으로 입증하였습니다.

- 인하대학교(Inha University) 인공지능공학과 재직:

현재 인하대학교 인공지능공학과에 재직 중인 배승환 교수는 보다 전문화된 인공지능 연구를 주도하고 있습니다. 인하대학교의 우수한 연구 인프라를 바탕으로 시각 지능(Visual Intelligence) 분야의 심화 연구를 수행하고 있으며, 특히 복잡한 환경에서의 객체 인식 및 변형 대응 기술 등 고난도 비전 알고리즘 연구에 매진하고 있습니다. 현재의 위치는 그가 단순한 교육자를 넘어, 산업계의 난제를 해결할 수 있는 기술적 솔루션을 제시하는 '연구 중심 교수(Research-oriented Professor)'로서의 입지를 굳건히 하고 있음을 의미합니다.

### 3.2. 경력 기반의 연구 역량 및 전문성 분석

배승환 교수의 경력 경로를 통해 도출할 수 있는 핵심 역량은 다음과 같이 세 가지 차원으로 구분됩니다.

경력 단계	주요 역할 및 활동 범위	확보된 핵심 역량 (Core Competency)
연구원 단계 (ETRI)	국책 과제 수행, 원천 기술의 시스템 통합 및 실증	알고리즘의 실용성(Practicality), 하드웨어 최적화, 대규모 데이터 핸들링
교수 단계 (인천대/인하대)	연구실 운영, 차세대 AI 인재 양성, 학술 논문 발표	최신 연구 트렌드 리딩, 이론적 모델링(Modeling), 학술적 독창성 확보
융합 단계 (현재)	산학 협력 프로젝트, 산업 난제 해결형 연구	기술 이전(Technology Transfer) 가능성, 산업 맞춤형 AI 솔루션 설계

배승환 교수의 이러한 이력은 당사(CRESSEM)가 추구하는 반도체 검사 장비의 지능화 전략과 매우 높은 정합성을 가집니다. ETRI에서 습득한 '현장 중심의 기술 구현 능력'과 학계에서 다져온 '최첨단 알고리즘 설계 능력'의 결합은, HBM이나 FC-BGA와 같이 극도의 정밀도가 요구되는 공정에서 발생하는 미세 결함을 탐지하기 위한 고도화된 비전 솔루션을 개발하는 데 있어 최적의 기술적 자산이 될 수 있습니다. 그의 경력은 단순한 이력을 넘어, 이론과 실무가 결합된 완성형 연구자로서의 전문성을 입증하고 있습니다.

### 핵심 연구 분야 및 기술적 메커니즘

배승환 교수의 연구 핵심은 인간의 시각 시스템을 모방하여 디지털 이미지로부터 고차원의 의미론적 정보(Semantic Information)를 추출하고, 이를 정밀하게 해석하는 시각 지능(Visual Intelligence)의 구현에 있습니다. 그의 연구는 단순한 이미지 분류(Image Classification)를 넘어, 복잡한 환경 내에서 객체의 위치를 정확히 특정하는 객체 검출(Object Detection)과 객체의 형태적 변화에 유연하게 대응하는 변형 가능한 모델링(Deformable Modeling) 기술에 집중되어 있습니다. 이러한 기술적 메커니즘은 미세 패턴의 결함을 찾아내야 하는 반도체 검사 장비의 비전 알고리즘 고도화에 있어 핵심적인 학술적 토대를 제공합니다.

#### 4.1. 시각 지능(Visual Intelligence) 및 딥러닝 기반 특징 추출

배승환 교수의 연구 기반이 되는 시각 지능은 심층 신경망(Deep Neural Networks, DNN)을 활용하여 이미지 내의 계층적 특징(Hierarchical Features)을 학습하는 것을 골자로 합니다. 초기 단계의 레이어(Layer)에서는 에지(Edge), 코너(Corner), 색상 대비(Contrast)와 같은 저수준 특징(Low-level Features)을 추출하며, 심층부로 갈수록 객체의 부분 구조나 전체적인 형상과 같은 고수준 특징(High-level Features)을 통합적으로 이해합니다.

특히, 그는 딥러닝 모델이 학습 과정에서 데이터의 통계적 특성을 어떻게 효율적으로 반영할 것인가에 대한 연구를 수행해 왔습니다. 이는 반도체 웨이퍼(Wafer)나 기판(Substrate) 상의 미세 결함(Defect)이 불규칙한 조명 조건이나 미세한 각도 변화에도 불구하고 일관되게 검출될 수 있도록 하는 특징 불변성(Feature Invariance) 확보와 직결됩니다. 배 교수의 연구는 모델의 파라미터(Parameter) 최적화를 통해 연산 복잡도를 낮추면서도 검출 정확도를 극대화하는 알고리즘적 효율성을 지향합니다.

#### 4.2. 객체 검출(Object Detection)의 고도화 및 정밀도 최적화

객체 검출은 이미지 내에서 특정 클래스에 속하는 객체의 경계 상자(Bounding Box)를 찾는 기술로, 배승환 교수는 이를 수행하기 위한 다양한 아키텍처 연구를 진행하였습니다. 그의 연구는 크게 두 가지 방향으로 구분됩니다.

첫째, **단일 단계 검출기(One-stage Detector)**의 속도와 **2단계 검출기(Two-stage Detector)**의 정확도 사이의 트레이드오프(Trade-off)를 극복하는 메커니즘입니다. 반도체 검사 공정은 초고속 양산 라인에서 이루어지므로, 실시간성(Real-time capability)을 유지하면서도 미세 결함을 놓치지 않는 정밀한 검출 성능이 필수적입니다. 배 교수의 연구는 특징 피라미드 네트워크(Feature Pyramid Network, FPN)와 같은 다중 스케일(Multi-scale) 특징 융합 기술을 통해, 크기가 매우 작은 결함부터 상대적으로 큰 패턴 오류까지 모두 잡아낼 수 있는 기술적 기반을 제시합니다.

둘째, **손실 함수(Loss Function)의 설계 및 최적화**입니다. 객체의 위치를 나타내는 회귀(Regression) 오차와 클래스를 분류하는 분류(Classification) 오차를 어떻게 결합하여 학습시키느냐에 따라 검출 성능이 결정됩니다. 배 교수는 객체의 경계가 모호하거나 중첩된 상황에서도 높은 신뢰도(Confidence Score)를 유지할 수 있는 정교한 손실 함수 설계 방법론을 탐구해 왔습니다.

#### 4.3. 변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model) 및 기하학적 대응력

배승환 교수의 연구 중 가장 독창적인 영역 중 하나는 **변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model)**에 기반한 객체 인식 기술입니다. 전통적인 객체 인식 모델은 객체의 형태가 고정되어 있다고 가정하는 경향이 있으나, 실제 산업 현장이나 복잡한 이미지 데이터에서는 조명, 시점(Viewpoint), 혹은 물리적 변형에 의해 객체의 기하학적 구조가 변할 수 있습니다.

이 메커니즘은 객체를 하나의 통일된 개체로 보는 것이 아니라, 여러 개의 **부분적 구성 요소(Parts)**들의 집합으로 정의합니다. 각 부분 요소는 독립적인 위치와 형태를 가질 수 있으며, 이들이 특정 공간적 관계(Spatial Relationship)를 유지하며 결합될 때 비로소 전체 객체로 인식됩니다.

핵심 요소	기술적 메커니즘 (Mechanism)	반도체 검사 적용 시나리오
Part-based Representation	객체를 하위 구성 요소들의 집합으로 분해하여 모델링	FC-BGA 기판 내 미세 패턴의 국부적 결함 탐지
Deformable Geometry	구성 요소 간의 상대적 위치 및 형태 변화를 허용	열 변형이나 압착으로 인해 휘어진(Warpage) 기판 검사
Spatial Constraint Learning	부분 요소들 사이의 기하학적 상관관계를 학습	패턴의 배열(Array) 규칙성 위반 및 정렬(Alignment) 오류 검출

이러한 변형 대응 기술은 특히 **HBM(High Bandwidth Memory)**의 적층 구조나 **2.5D/3D 패키징** 공정에서 발생하는 미세한 물리적 변형을 인지하는 데 매우 유용합니다. 기존의 Rule-based 알고리즘은 고정된 템플릿(Template)을 기준으로 검사하기 때문에, 미세한 형태 변화를 결함으로 오인(False Call)하거나 반대로 실제 결함을 무시하는 한계가 있습니다. 배 교수의 연구는 이러한 기하학적 유연성을 확보함으로써 검사의 강건성(Robustness)을 획기적으로 높일 수 있는 학술적 해법을 제공합니다.

#### 4.4. 모델·성능·자원 간의 상호 최적화 및 의존성 학습

마지막으로, 배 교수는 인공지능 모델의 성능을 극대화하기 위해 **모델 구조(Model Architecture)**, **연산 성능(Performance)**, 그리고 **하드웨어 자원(Resource)** 간의 상관관계를 분석하는 연구를 수행합니다. 이는 딥러닝 모델이 단순히 높은 정확도를 기록하는 것에 그치지 않고, 실제 검사 장비의 임베디드 시스템(Embedded System)이나 GPU 가속 환경에서 효율적으로 구동되어야 한다는 실무적 요구사항을 반영한 것입니다.

그는 모델의 복잡도와 데이터의 특성 사이의 의존성을 학습하는 방법론을 통해, 불필요한 연산을 줄이면서도 핵심적인 특징에 집중할 수 있는 **경량화된 고성능 비전 알고리즘** 개발에 주력하고 있습니다. 이는 대량의 데이터를 초고속으로 처리해야 하는 반도체 양산 라인의 검사 장비(Inspection Equipment) 개발에 있어 필수적인 기술적 지향점입니다.

### 배승환 교수 핵심 연구 메커니즘 아키텍처



### 학술적 성과: 논문 및 특허 분석

배승환 교수의 학술적 성과는 단순히 양적인 측면을 넘어, 컴퓨터 비전(Computer Vision) 및 기계학습(Machine Learning) 분야의 난제들을 해결하려는 질적인 도전과 기술적 독창성에 기반하고 있습니다. 그의 연구는 이론적 모델의 정립에 그치지 않고, 실제 환경에서 발생하는 데이터의 변형, 노이즈, 그리고 연산 자원의 제약이라는 실무적 한계를 극복하는 방향으로 전개되어 왔습니다. 본 섹션에서는 배승환 교수의 주요 논문 실적과 특허 성과를 통해 그가 보유한 기술적 영향력과 학술적 깊이를 심층 분석합니다.

#### 5.1. 주요 학술 논문 실적 및 연구 테마 분석

배승환 교수의 논문들은 주로 IEEE, CVPR(Conference on Computer Vision and Pattern Recognition), ICCV(International Conference on Computer Vision) 등 컴퓨터 비전 분야의 최상위 권위 학술지 및 컨퍼런스를 중심으로 발표되었습니다. 그의 연구 테마는 크게 세 가지 핵심 축으로 구분할 수 있으며, 이는 반도체 검사 장비의 지능화에 필수적인 요소들과 직결됩니다.

##### 1) 변형 가능한 객체 모델링 및 정밀 검출 (Deformable Object Modeling & Precise Detection)

기존의 객체 검출 알고리즘이 정형화된 형태의 사물을 인식하는 데 특화되어 있었다면, 배승환 교수의 연구는 사물의 형태가 비선형적으로 변하거나 부분적인 가려짐(Occlusion)이 발생하는 상황에서의 강인한(Robust) 검출 성능을 확보하는 데 집중되어 있습니다. 특히 '변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model)'을 고도화하여, 객체의 각 구성 요소가 독립적이면서도 유기적으로 연결된 구조를 수학적으로 모델링하는 연구는 매우 높은 학술적 가치를 지닙니다. 이는 미세한 패턴의 왜곡이나 기판의 열 변형이 발생할 수 있는 반도체 패키징 검사 환경에서 결함과 정상 패턴을 구분하는 결정적인 기술적 근거가 됩니다.

##### 2) 데이터 효율성 및 모델 최적화 (Data Efficiency & Model Optimization)

딥러닝 모델의 성능은 학습 데이터의 양과 질에 의존하지만, 반도체 공정의 결함 데이터(Defect Data)는 특성상 불균형(Imbalance)이 매우 심하며 획득이 어렵습니다. 배승환 교수는 모델과 성능, 그리고 가용 자원 사이의 의존성을 학습(Dependency Learning)하여, 적은 양의 데이터로도 높은 일반화 성능을 확보하거나, 제한된 연산 환경(Edge Computing)에서도 실시간 추론(Real-time Inference)이 가능한 경량화 알고리즘 연구를 수행해 왔습니다. 이는 검사 장비의 Tact Time(공정 주기 시간)을 단축해야 하는 양산 라인의 요구사항을 충족시킬 수 있는 핵심 연구 분야입니다.

### 3) 다중 객체 추적 및 시공간적 맥락 이해 (Multi-Object Tracking & Spatio-temporal Context)

단일 프레임의 이미지 분석을 넘어, 연속적인 영상 흐름 속에서 객체의 움직임을 정확히 예측하고 추적하는 기술에 관한 연구도 비중 있게 다루어집니다. 이는 검사 장비가 이동하는 웨이퍼(Wafer)나 기판(Substrate) 위에서 다수의 미세 결함을 동시에 탐지하고, 동일한 결함에 대한 중복 검사를 방지하는 '결함 매핑(Defect Mapping)' 기술의 고도화로 이어질 수 있습니다.

#### 5.2. 특허 성과를 통해 본 기술적 독창성 및 권리 확보 역량

배승환 교수의 특허 포트폴리오는 연구실의 이론적 성과를 산업적 자산으로 전환하는 능력을 보여줍니다. 특허 분석 결과, 그의 기술은 단순한 알고리즘의 적용을 넘어, 시스템 레벨에서의 구현 방법론을 포함하고 있다는 특징이 있습니다.

특허/기술 분류	핵심 기술 내용 (Core Technology)	산업적 활용 가치 (Industrial Value)
지능형 객체 인식 시스템	기하학적 변형에 대응 가능한 특징점 추출 및 매칭 기술	FC-BGA 기판 내 미세 회로 패턴의 왜곡 검출
경량화 비전 알고리즘	모델 압축 및 연산 최적화를 통한 실시간 추론 엔진	검사 장비 내 임베디드 시스템의 고속 처리 구현
데이터 증강 및 합성 기술	결함 데이터 부족 문제를 해결하기 위한 생성 모델 기반 데이터 생성	HBM 적층 공정 내 희소 결함(Rare Defect) 학습 모델 구축

그의 특허 기술들은 특히 '환경 변화에 대한 강인성(Robustness)'을 확보하는 데 초점이 맞춰져 있습니다. 예를 들어, 조명 조건의 변화(Lighting Variation)나 렌즈의 초점 미세 변화가 발생하는 광학 검사 환경에서도 일관된 검출 성능을 유지할 수 있는 알고리즘적 장치들을 특허로 권리화하고 있습니다. 이는 기술의 독창성뿐만 아니라, 실제 양산 현장에서 발생할 수 있는 변수들을 사전에 고려한 실용적 연구 스타일을 입증합니다.

#### 5.3. 학술적 영향력 및 기술적 시사점

배승환 교수의 연구는 인용 지수(Citation Index)와 학술적 논의의 흐름을 통해 그 영향력이 증명되고 있습니다. 그의 연구 결과물들은 후속 연구자들에게 새로운 방법론적 기준을 제시하고 있으며, 특히 '모델-성능-자원' 간의 최적화 문제를 다룬 연구들은 최근 AI 가속기(AI Accelerator)를 활용한 비전 시스템 설계 분야에서 활발히 인용되고 있습니다.

##### 종합 분석 의견:

배승환 교수의 학술적 성과는 '이론적 엄밀성'과 '실제적 적용성'이라는 두 마리 토끼를 모두 잡고 있는 것으로 평가됩니다.

- 1. 학술적 측면:** 컴퓨터 비전의 근본적인 문제인 '변형(Deformation)'과 '희소성(Scarcity)' 문제를 수학적·알고리즘적으로 접근하여 상위 컨퍼런스에서 인정받았습니다.
- 2. 기술적 측면:** 특허를 통해 알고리즘의 시스템화 가능성을 보여주었으며, 이는 곧 제품화로 이어질 수 있는 기술적 성숙도를 의미합니다.

결론적으로, 그의 논문과 특허에 나타난 기술적 궤적은 당사(CRESSEM)가 지향하는 '고속·고정밀·지능형 반도체 검사 솔루션'의 핵심 엔진을 개발하는 데 있어 매우 강력한 학술적 토대가 될 수 있습니다. 특히 HBM과 같이 적층 구조가 복잡하고 미세 결함 탐지가 극도로 어려운 차세대 패키징 공정에서, 그의 연구 성과를 알고리즘화하여 적용한다면 기존 경쟁사 대비 압도적인 검사 정확도(Accuracy)와 재현성(Repeatability)을 확보할 수 있을 것으로 판단됩니다.

## 반도체 검사 장비 기술 적용 가능성 분석

배승환 교수의 핵심 연구 분야인 시각 지능(Visual Intelligence) 및 고도화된 객체 검출(Object Detection) 기술은 현재 반도체 패키징 산업의 기술적 난제를 해결할 수 있는 강력한 도구로서의 잠재력을 지니고 있습니다. 특히 HBM(High Bandwidth Memory)과 FC-BGA(Flip Chip Ball Grid Array)와 같이 적층 구조가 복잡해지고 회로 선폭이 미세화되는 차세대 패키징 공정에서는 기존의 Rule-based 검사 방식이 가진 한계(과검/미검 문제 및 검사 속도 저하)를 극복하기 위해 배 교수의 연구 성과를 직접적으로 투영할 수 있는 기술적 접점이 다수 존재합니다.

### 6.1. HBM(High Bandwidth Memory) 적층 및 TSV 검사 공정 적용

HBM은 수직 적층 구조를 통해 데이터 전송 대역폭을 극대화한 메모리로, 칩과 칩 사이를 연결하는 TSV(Through Silicon Via) 및 마이크로 범프(Micro Bump)의 정밀도가 제품의 수율을 결정짓는 핵심 요소입니다. 배승환 교수의 연구 중 '변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model)' 및 '기하학적 변형 대응 기술'은 HBM 검사 공정에 다음과 같이 혁신적으로 적용될 수 있습니다.

#### 1) 미세 범프 및 TSV 정렬(Alignment) 검사 고도화

HBM 제조 공정 중 칩 적층(Stacking) 단계에서는 미세한 열팽창이나 물리적 압력으로 인해 범프의 위치가 미세하게 변형되거나 기울어지는 현상이 발생합니다. 배 교수의 연구 핵심인 변형 대응형 객체 검출 알고리즘을 적용할 경우, 고정된 패턴만을 찾는 기존 방식과 달리, 미세하게 변형된 범프의 형상과 위치를 실시간으로 학습하여 정밀하게 인식할 수 있습니다. 이는 범프의 미세한 기울어짐(Tilt)이나 오정렬(Misalignment)을 탐지하는 데 있어 검사 정확도를 획기적으로 높일 수 있음을 의미합니다.

#### 2) 적층 간 결함(Defect) 탐지 알고리즘 최적화

HBM은 적층 수가 늘어날수록(예: 12단, 16단 이상) 검사해야 할 데이터의 양과 복잡도가 기하급수적으로 증가합니다. 배 교수의 '모델-성능-자원 간 상호 최적화(Dependency Learning)' 방법론은 검사 장비의 연산 자원을 효율적으로 배분하면서도, 고해상도 이미지 내의 미세한 결함(Scratches, Particles, Void 등)을 놓치지 않는 고성능 비전 알고리즘 구현을 가능케 합니다. 이는 검사 장비의 Tact Time(공정 주기 시간)을 단축하면서도 검사 신뢰도를 유지해야 하는 양산 라인의 요구사항을 충족시킬 수 있는 핵심 기술입니다.

### 6.2. FC-BGA(Flip Chip Ball Grid Array) 기판 검사 및 미세 패턴 분석

FC-BGA는 고성능 컴퓨팅(HPC) 및 AI 가속기에 필수적인 대면적·고다층 기판으로, 기판 내의 미세 회로(Fine Pitch Pattern)와 솔더 볼(Solder Ball)의 신뢰성 확보가 관건입니다.

#### 1) 다중 객체 추적(Multi-Object Tracking) 기반의 실시간 결함 모니터링

FC-BGA 검사 시, 대면적 기판 상에 존재하는 수만 개의 솔더 볼과 미세 회로 패턴을 동시에 검사해야 합니다. 배 교수의 다중 객체 추적 및 인식 기술을 비전 검사 시스템에 통합할 경우, 기판이 이동하는 동적 환경에서도 각 객체의 특징점(Feature)을 안정적으로 유지하며 검사를 수행할 수 있습니다. 이는 검사 중 발생할 수 있는 모션 블러(Motion Blur)나 조명 변화에 따른 오인식률을 최소화하는 데 기여합니다.

#### 2) 복합 결함 분류(Defect Classification) 및 데이터 기반 수율 예측

단순히 결함의 유무를 판단하는 것을 넘어, 결함의 유형(Short, Open, Bridge, Solder Ball Missing 등)을 정밀하게 분류하는 것이 FC-BGA 공정 관리의 핵심입니다. 배 교수의 시각 지능 기반 특징 추출 기술은 결함의 미세한 형상 차이를 학습하여 결함 유형을 높은 정확도로 분류할 수 있게 합니다. 이렇게 분류된 데이터는 공정 내 불량 발생 패턴을 분석하는 기초 자료로 활용되어, 결과적으로 공정 제어(Process Control)를 통한 수율 향상으로 이어지는 선순환 구조를 구축할 수 있습니다.

### 6.3. 기술 적용 시나리오 및 기대 효과 비교 분석

배 교수의 연구 기술이 적용되었을 때와 기존 Rule-based/일반 AI 검사 방식 간의 차이를 기술적 측면에서 비교하면 다음과 같습니다.

구분	기존 Rule-based 방식	일반 AI(CNN 기반) 방식	배승환 교수 연구 기술 적용 시
변형 대응력	고정된 템플릿 사용으로 변형 시 미검 발생	데이터 학습량에 의존하나 기하학적 변형에 취약	Deformable Model을 통한 능동적 변형 대응
미세 결함 탐지	임계값(Threshold) 설정에 따른 과검/미검 상존	미세 패턴과 노이즈 간 구별 능력 한계	고도화된 특징 추출을 통한 미세 결함 분별력 극대화
연산 효율성	연산량은 적으나 복잡한 패턴 대응 불가	고성능 GPU 필수 및 연산 부하 매우 높음	모델-자원 최적화로 고속 검사 환경 구현 가능
적용 공정	단순 패턴 검사 (Solder Ball 유무 등)	일반적인 불량 분류	HBM TSV, FC-BGA 미세 회로 등 고난도 공정

#### 6.4. 결론: CRESSEM의 기술적 도약 제언

배승환 교수의 연구 역량은 단순한 소프트웨어 알고리즘 개발을 넘어, 반도체 검사 장비의 하드웨어적 특성과 공정 환경(진동, 조명, 미세 변형)을 고려한 '현장 맞춤형 지능형 비전 솔루션'으로의 진화 가능성을 시사합니다.

당사(CRESSEM)가 주력하고 있는 HBM 및 FC-BGA 검사 장비 라인업에 배 교수의 변형 대응형 객체 검출 기술과 자원 최적화 알고리즘을 도입한다면, 다음과 같은 전략적 우위를 점할 수 있습니다.

- 기술적 초격차 확보:** 기존 경쟁사들이 해결하지 못한 미세 변형 및 고속 검사 환경에서의 정밀도 문제를 해결함으로써 독보적인 장비 경쟁력을 확보할 수 있습니다.
- 고객사 신뢰도 향상:** SK하이닉스 등 글로벌 메모리 제조사가 요구하는 초정밀·초고속 검사 스펙을 충족함으로써 수주 경쟁력을 강화할 수 있습니다.
- 지능형 검사 플랫폼 구축:** 단순 검사 장비를 넘어, 데이터를 스스로 학습하고 공정 이상을 사전에 예측하는 'AI 기반 지능형 검사 플랫폼'으로의 사업 영역 확장이 가능해질 것입니다.

### 종합 평가 및 기술 협력 제언

배승환 교수의 학술적 성과와 연구 궤적을 종합적으로 분석한 결과, 그는 단순한 이론적 컴퓨터 비전(Computer Vision) 연구자를 넘어, 실제 환경의 복잡성과 데이터의 비정형성을 극복할 수 있는 실전적 알고리즘 설계 역량을 보유한 전문가로 평가됩니다. 특히 그가 보유한 '변형 가능한 모델링(Deformable Modeling)' 및 '자원 최적화 의존성 학습(Resource-efficient Dependency Learning)' 기술은 고도의 정밀도와 실시간성을 동시에 요구하는 반도체 검사 장비 시장에서 당사(CRESSEM)가 직면한 기술적 난제들을 해결할 수 있는 핵심 열쇠가 될 가능성이 매우 높습니다.

#### 7.1. 연구 역량 종합 평가

배승환 교수의 연구 역량은 크게 세 가지 차원에서 독보적인 경쟁력을 지니고 있습니다.

첫째, **비정형 객체에 대한 강건한 인식 능력(Robustness to Deformable Objects)**입니다. 반도체 패키징 공정, 특히 FC-BGA나 2.5D/3D 패키징 과정에서 발생하는 미세한 기판의 휨(Warpage) 현상이나 범프(Bump)의 불규칙한 형상은 기존의 Rule-based 검사나 정형화된 딥러닝 모델로는 검출 한계가 존재합니다. 배 교수의 변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model) 연구는 이러한 기하학적 변형이 발생한 객체를 정확하게 모델링하고 식별할

수 있는 수학적 기반을 제공합니다.

둘째, **모델-성능-자원 간의 최적화 메커니즘(Optimization of Model-Performance-Resource Trade-off)**입니다. 검사 장비의 양산 라인에서는 고해상도 이미지를 초고속으로 처리해야 하므로, 알고리즘의 정확도만큼이나 연산 효율성(Computational Efficiency)이 중요합니다. 배 교수가 연구해 온 의존성 학습 방법론은 제한된 하드웨어 자원 내에서 검사 정확도를 극대화할 수 있는 경량화 및 최적화 기술로 치환될 수 있습니다.

셋째, **학문적 깊이와 산업적 응용력의 균형**입니다. GIST에서의 심도 있는 기초 연구와 ETRI 및 대학에서의 응용 연구 경험은, 최신 논문 수준의 알고리즘을 실제 장비의 임베디드 시스템이나 고성능 GPU 서버 환경에 이식(Porting)할 때 발생할 수 있는 간극을 최소화할 수 있는 역량을 의미합니다.

### 7.2. CRESSEM을 위한 산학 협력 방향성 제안

당사의 차세대 검사 솔루션 고도화를 위해 배승환 교수 연구팀과의 단계별 산학 협력 모델을 다음과 같이 제안합니다.

협력 단계	주요 협력 과제 (Task)	기대 효과 (Expected Impact)
1단계: 기술 검증 (PoC)	HBM/FC-BGA 미세 결함 데이터셋 기반 알고리즘 성능 테스트	기존 검사 알고리즘 대비 검출력(Recall) 및 정밀도(Precision) 향상 검증
2단계: 공동 연구 (R&D)	변형 대응형 AI 비전 알고리즘 및 경량화 모델 공동 개발	Warping 및 미세 패턴 왜곡에 강건한 독자적 검사 엔진 확보
3단계: 기술 내재화 (Transfer)	실시간 검사 시스템 적용을 위한 하드웨어-소프트웨어 최적화	양산 장비 탑재 가능한 수준의 고속·고정밀 검사 솔루션 완성

#### #### [전략적 협력 시나리오]

- HBM 적층 결함 검사 고도화:** HBM(High Bandwidth Memory)의 적층 공정에서 발생하는 TSV(Through Silicon Via) 정렬 불량이나 미세 크랙을 탐지하기 위해, 배 교수의 객체 검출(Object Detection) 기술을 적용하여 미세 결함의 위치와 크기를 픽셀 단위로 정밀 추적하는 기술을 공동 개발합니다.
- FC-BGA 기판 검사 자동화:** 기판의 대면적화에 따른 패턴 왜곡 문제를 해결하기 위해, 기하학적 변형을 실시간으로 보정하며 패턴의 연속성을 검사하는 'Deformable-based Pattern Inspection' 기술을 당사 장비에 탑재하여 검사 신뢰도를 제고합니다.
- Edge-AI 기반 실시간 검사 시스템:** 검사 장비 내부의 FPGA 또는 GPU 자원을 효율적으로 활용할 수 있도록, 배 교수의 자원 최적화 알고리즘을 적용하여 검사 속도(Tact Time)를 획기적으로 단축하는 연구를 수행합니다.

### 7.3. 결론 및 기술 로드맵 제언

결론적으로 배승환 교수는 당사가 지향하는 '**AI 기반 지능형 검사 솔루션 기업**'으로의 도약을 위한 최적의 학술적 파트너입니다. 당사는 단순한 부품 공급사를 넘어, 알고리즘의 독창성을 바탕으로 한 기술 선도 기업으로 자리매김해야 합니다.

이를 위해 향후 3개년 기술 로드맵(Technology Roadmap)에 배 교수의 연구 분야를 다음과 같이 반영할 것을 권고합니다.

- **Year 1:** AI 비전 알고리즘의 기초 성능 검증 및 데이터 확보
- **Year 2:** 변형 대응형 및 경량화 알고리즘의 독자 IP(지식재산권) 확보
- **Year 3:** 차세대 HBM/FC-BGA 전용 고속 AI 검사 장비 시장 점유율 확대

본 분석을 통해 도출된 배승환 교수의 전문성은 당사의 기술적 격차(Technology Gap)를 해소하고, 글로벌 반도체 패키징 검사 시장에서 기술적 초격차를 확보하는 데 핵심적인 자산이 될 것입니다.

## 결론/시사점

본 보고서는 인하대학교 배승환 교수의 학술적 궤적과 연구 성과를 심층적으로 분석하였으며, 이를 통해 도출된 결론은 단순한 학술적 평가를 넘어 당사(CRESSEM)의 차세대 반도체 검사 장비 기술 전략 수립에 중요한 이정표를 제시합니다. 배승환 교수가 보유한 시각 지능(Visual Intelligence) 및 고도화된 객체 검출(Object Detection) 기술은 현재 반도체 패키징 산업이 직면한 기술적 난제들을 해결할 수 있는 핵심적인 솔루션으로서의 가치를 지닙니다.

### 1. 분석 결과 요약

배승환 교수의 연구 역량은 기초 전기전자공학의 탄탄한 토대 위에 컴퓨터 비전과 기계학습을 결합한 융합적 전문성에 기반하고 있습니다. 특히 **변형 가능한 부분 모델(Deformable Part-based Model)**과 같은 기술은 정형화되지 않은 미세 결함이나, 공정 중 발생하는 기하학적 변형을 실시간으로 감지해야 하는 고정밀 검사 환경에서 탁월한 성능을 발휘할 수 있는 원천 기술입니다. 또한, 모델의 정확도와 연산 자원 간의 최적화를 다루는 그의 연구 방법론은, 초고속·대용량 데이터를 처리해야 하는 반도체 양산 라인의 검사 장비(Inspection Equipment)에 적용하기에 매우 적합한 특성을 보입니다.

### 2. 전략적 시사점 및 미래 기술 확보 방안

분석된 연구 성과를 바탕으로 당사가 취해야 할 기술적 대응 전략은 다음과 같습니다.

- **AI 기반 비전 알고리즘의 고도화:** 기존의 Rule-based 방식이 가진 한계(환경 변화에 취약, 미세 결함 검출력 저하)를 극복하기 위해, 배 교수의 연구 분야인 딥러닝 기반의 특징 추출(Feature Extraction) 기술을 당사 검사 알고리즘에 내재화해야 합니다. 이는 HBM(High Bandwidth Memory)의 TSV(Through Silicon Via) 검사나 FC-BGA의 미세 패턴 결함 탐지 시 검출률(Yield)을 극대화하는 핵심 동력이 될 것입니다.
- **엣지 컴퓨팅 및 실시간성 확보:** 연구 내용 중 모델 성능과 자원 간의 의존성 학습(Dependency Learning) 기술은 검사 장비의 하드웨어 리소스를 효율적으로 사용하면서도 검사 속도(Takt Time)를 유지할 수 있는 최적의 알고리즘 설계 가이드라인을 제공합니다.
- **선제적 기술 협력 체계 구축:** 배승환 교수의 연구실(Lab)이 보유한 최신 시각 지능 트렌드를 지속적으로 모니터링하고, 이를 당사의 장비 개발 로드맵과 동기화하는 산학 협력 모델을 검토해야 합니다. 이는 단순한 기술 도입을 넘어, 차세대 패키징 공정(CoWoS, Fan-out 등)에서 요구되는 초정밀 검사 기술을 선점하는 전략적 교두보가 될 것입니다.

결론적으로, 배승환 교수의 연구 역량은 당사가 지향하는 '**AI 기반 지능형 반도체 검사 솔루션 리더**'로의 도약을 위한 기술적 자산으로서 매우 높은 가치를 지니며, 이를 당사의 도메인 지식(Domain Knowledge)과 결합할 시 강력한 기술적 진입장벽을 구축할 수 있을 것으로 판단됩니다.