

GIST-서울대, 야간 시력 좋은 고양이 눈 구조 모방해 객체·배경 구분 잘하는 고감도 인공 시각 시스템 개발

- 고양이 눈의 '수직 동공'과 '휘판(반사체)' 구조 모사해 밝거나 어두운 다양한 조명 환경에서도 고감도 영상 촬영... 소프트웨어 후처리 과정 필요 없이 객체 감지·인식
- GIST 전기전자컴퓨터공학부 송영민 교수팀, 서울대 화학생물공학부 김대형 교수팀 공동연구... "자율주행차, 드론, 감시 로봇 등 적용 기대", 국제학술지 《Science Advances》 표지논문 선정



▲ (상단 왼쪽부터) GIST 송영민 교수, 서울대 김대형 교수, 부산대 이길주 교수 (하단 왼쪽부터) 서울대 김민수 연구원, GIST 김민석 박사, 한국전기연구원 이민철 박사

최근 로봇이 주변 환경을 인식하고 탐색하는 혁신적인 **로봇 비전 시스템이 광범위하게 활용**되고 있으나, 밝은 환경에서는 픽셀이 포화 상태에 이르고 어두운 환경에서는 광전류가 낮아 물체와 배경의 구분이 어려워진다는 단점이 있다.

동물의 눈 구조에 착안한 '**위장 해제***'를 구현함으로써 밝거나 어두운 다양한 조명 환경에서 객체를 감지하고 인식하는 성능이 향상된 생체 모방 카메라가 국내 연구진에 의해 개발됐다.

기존 카메라의 조리개 시스템이 갖고 있던 한계를 보완하여 자율주행 자동차, 드론, 감시 로봇 등에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

* 위장 해제: 객체와 배경 간의 경계를 명확히 해 객체를 주변 환경과 분리하는 기술.

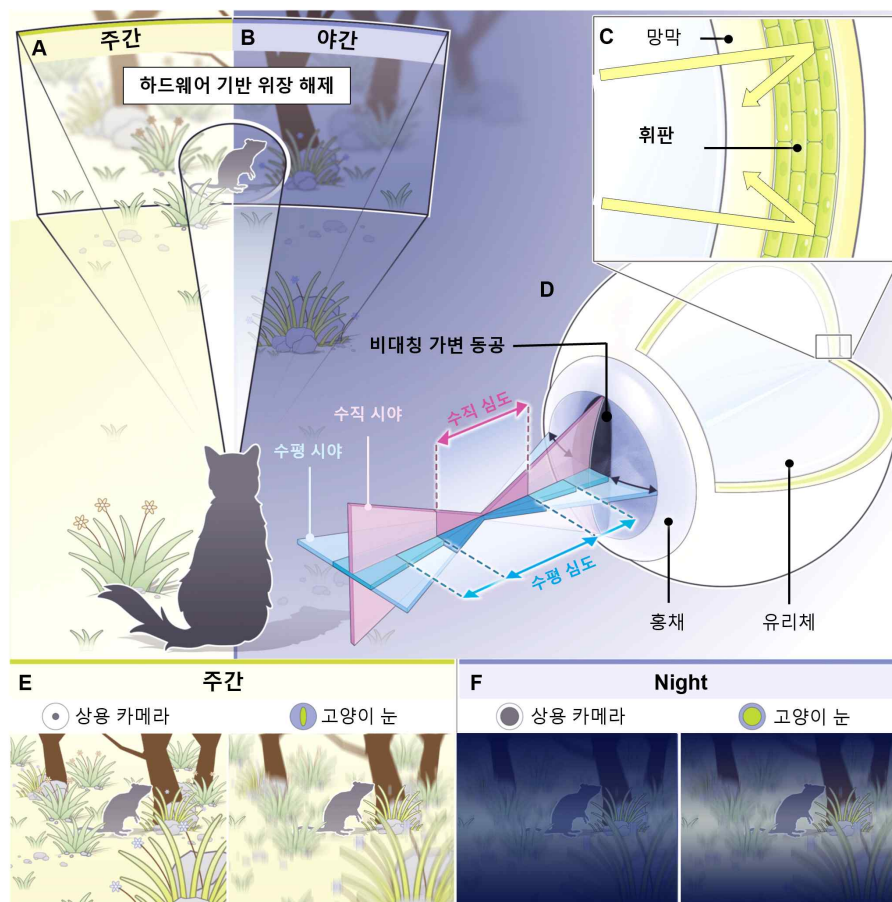
광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 전기전자컴퓨터공학부 송영민 교수팀이 서울대 화학생물공학부 김대형 교수팀과 함께 수직 가변 조리개와 결상 광학계를 결합하고, 하나의 포토다이오드와 은(銀) 휘판*으로 구성된 단위 픽셀을 반구형 이미지 센서 어레이로 제작하여 고양이 눈의 구조를 그대로 모방한 구형 형태의 카메라를 개발했다고 밝혔다.

* **휘판(Tapetum Lucidum)** : 척추동물의 눈에서 흔히 볼 수 있는 생물학적 반사체 시스템인 망막에 존재하는 조직층으로, 동물들의 눈이 어두운 곳에서 반사되어 빛나는 것이 바로 이 휘판에 의해서 일어나는 현상이다.

송영민 교수는 그동안 물고기, 농게, 갑오징어 등 자연계에 존재하는 다양한 생물의 시각 구조를 통해 다양한 카메라 기술을 개발해 온 광소자 전문가이다.

자연계의 동물은 장기간의 진화를 통해 복잡한 환경에 최적화된 독특한 시각 시스템을 발달시켰으며, 여기에는 인공 시각 시스템의 한계 극복을 위한 해결책이 잠재되어 있다.

고양이과 동물의 눈은 수직으로 길쭉한 동공과 휘판이라는 특징적 구조를 가지고 있어 다양한 조명 조건에서 위장 해제 능력을 갖추고 있다. 수직 동공은 비대칭적인 피사계 심도*와 대상 물체에 대한 고해상도 초점을 가능하게 하며, 휘판은 생물학적 빛 반사체 역할을 하여 어두운 환경에서도 시각적 감도를 향상시킨다.



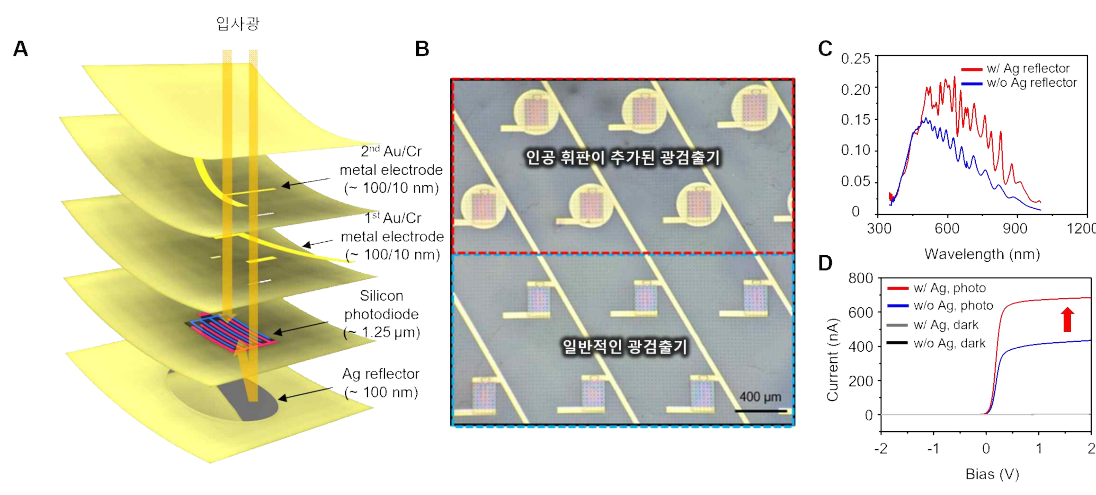
▲ 고양이 눈의 구조적 및 기능적 특징

(A와 B) 다양한 조명 조건에서 고양이의 위장 해제 능력을 보여주는 모식도 (C) 망막 내 휘판 (Tapetum Lucidum)의 확대 모식도 (D) 고양이 눈의 해부학적 구조 및 광학 특성 (E와 F) 주간(E)과 야간(F)에 상용 카메라(사람 모방)와 고양이 눈의 광학적 시각 특성

기존 카메라 시스템은 동공을 모방한 원형 조리개를 사용하여 광량이 많은 경우 작은 개구율의 조리개를 사용해 배경과 객체 모두에 초점을 맞추지만, 다양한 조명 환경에서 객체와 배경을 분리하는 데 한계가 있고, 이미지 센서의 감도 조절 또는 복잡한 인공지능 연산 등을 통한 후처리가 필요하다는 단점이 있다.

* **피사계 심도:** 피사계 심도: 피사계 심도는 이미지에서 선명하게 보이는 영역의 앞뒤 범위를 의미하며, 사진이나 비디오에서 초점이 맞는 부분의 깊이를 나타낸다. 피사계 심도가 얕으면 초점이 맞은 부분만 선명하고 그 외의 부분은 흐릿하게 표현되며, 심도가 깊으면 이미지 전반이 선명하게 보인다.

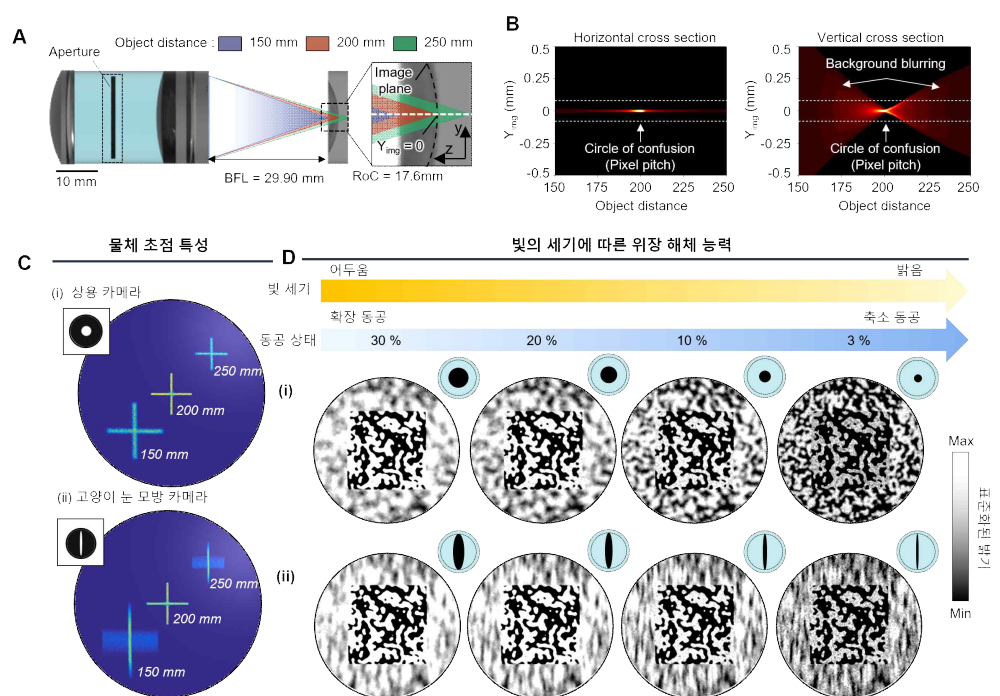
연구팀은 수직 가변 조리개를 이용하여 **강한 빛을 효과적으로 차단하여 포토다이오드의 과노출을 방지하고**, **어두운 환경에서는 충분한 빛을 받아들이는 원형 동공과 은(銀) 휘판을 통해 빛의 흡수 효율을 52% 향상시켰다.**



▲ **실리콘 광다이오드 소자의 구조 및 광학적 특성**

(A) 인공 휘판 있는 실리콘 광다이오드 배열(HPA-AgR)의 전개도 (B) 일반적인 광검출기 와 인공 휘판이 추가된 광검출기의 광학현미경 사진 (C) 가시광선 영역에서 반사판이 없는 실리콘과 반사판이 있는 실리콘의 광수흡 시뮬레이션 (D) 반사판이 있는 실리콘 광다이오드와 없는 실리콘 광다이오드의 광전류 측정

또한, 광학 시뮬레이션과 실험을 통해 **다양한 조명 환경에서 시스템의 고감도 타겟 이미징 성능과 위장 해제 기능을 검증**하였으며, 수직 동공을 가진 시스템이 작은 원형 동공 시스템에 비해 **배경과 대상 물체를 더욱 효과적으로 구분할 수 있음**을 이론적·실험적으로 입증하였다.

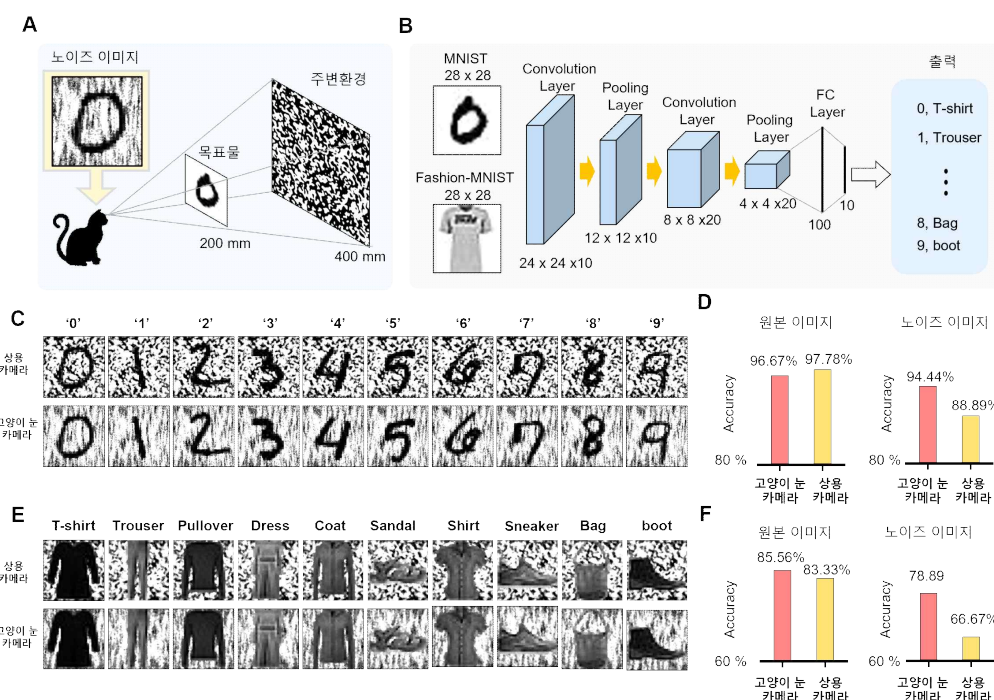


▲ **고양이 눈 모사 시각 시스템의 특성에 대한 광학 시뮬레이션**

(A) 고양이 눈 모방 시각 시스템의 광학계 구성도 (B) 물체 거리별 단면 초점 위치의 광학 시뮬레이션 결과 (C) 상용 카메라 조리개(i)와 고양이 눈 모방 수직 조리개(ii)을 사용한 다양한 물체 거리별 광선 추적 시뮬레이션 결과 비교 (D) 상용 카메라 조리개(i)와 고양이 눈 모방 수직 조리개(ii)을 사용한 위장 해제에 대한 광선 추적 시뮬레이션 결과 비교

연구팀은 광학 시뮬레이션을 통한 이론적 검증과 함께 실험적 입증을 위해 수직 조리개 시스템과 작은 원형 조리개 시스템을 비교 분석하였다.

그 결과, 수직 동공 시스템은 특정한 거리만큼 떨어져 있는 물체를 선명하게 포착하는 동시에, 떨어져 있는 거리가 다른 배경을 효과적으로 흐리게 처리하였다. 더불어, 실용성 평가를 위해 수행한 인공지능 기반 객체 인식 실험에서 수직 조리개 시스템이 객체 인식을 향상에 유의미하게 기여한다는 것을 입증하였다.

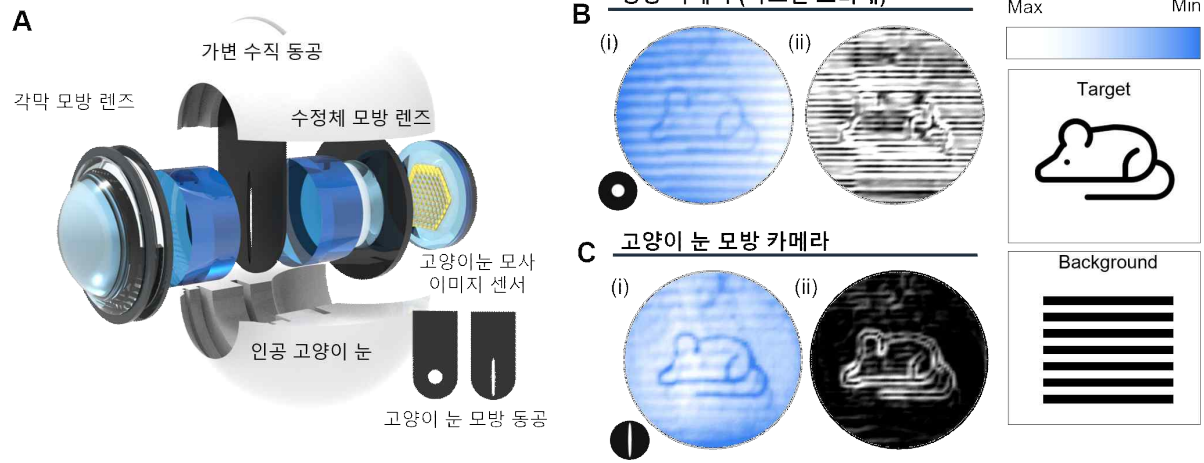


▲ 고양이 눈에서 영감을 받은 시각 시스템의 노이즈 배경에서의 객체 인식

(A) 배경 블러링을 통한 위장 해제 능력이 향상된 고양이 시각 시스템 (B) MNIST 및 Fashion-MNIST 데이터셋을 위한 합성곱 신경망(CNN) 다이어그램 (C) 상용 카메라와 고양이 눈 카메라를 사용한 MNIST 데이터셋의 광학 시뮬레이션 결과 (D) 노이즈가 있는 경우와 없는 경우의 MNIST 테스트의 정확도 (E) 상용 카메라와 고양이 눈 카메라를 사용한 Fashion-MNIST 데이터셋의 광학 시뮬레이션 결과 (F) 노이즈가 있는 경우와 없는 경우의 Fashion-MNIST 테스트의 정확도

송영민 교수는 "이번 연구 성과를 통해 **고양이의 수직 동공과 휘판 구조를 모사하여 고감도 인공 시각 시스템을 개발하고, 단안 위장 해제 능력*** 을 성공적으로 입증했다"고 강조하며, "다양한 조명 환경에서도 소프트웨어 후처리 없이 **하드웨어 자체로 객체 인지 능력을 향상시킬 수 있어 자율주행 자동차, 드론, 감시 로봇 등 다양한 분야에 적용될 수 있을 것으로 기대한다**"고 설명했다.

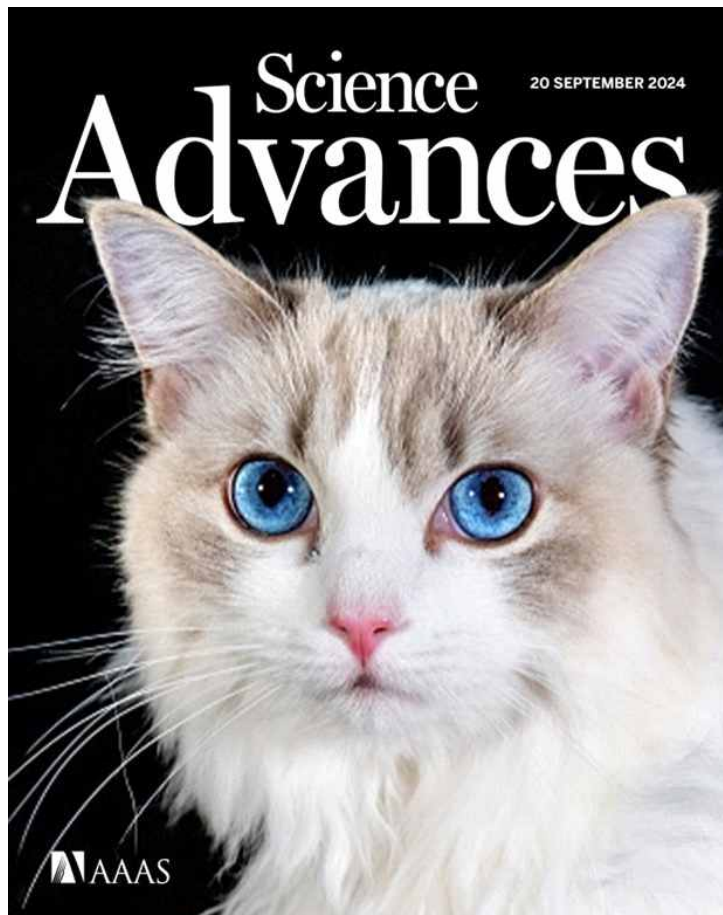
* 단안 위장 해제 능력 : 일반적으로, 2개 이상의 카메라를 사용해 깊이 정보를 분석하는 '스테레오 비전' 방식과 달리, 하나의 카메라만으로도 복잡한 배경 속에서 특정 객체를 효과적으로 식별하고 분리할 수 있는 능력이다.



▲ 고양이 눈에서 영감을 받은 시각 시스템의 이미징 데모

(A) 고양이 눈에서 영감을 받은 인공 시각 시스템의 개략도 (B) 상용 카메라 조리개를 장착한 고양이 눈 모방 시각 시스템의 측정 결과 (C) 고양이 눈 모방 수직 조리개를 장착한 고양이 눈 모방 시각 시스템의 측정 결과

이번 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업 및 세종과학펠로우십 과 기초과학연구원(IBS)의 기초과학연구원외부연구단 및 메가프로젝트의 지원으로 수행되었으며, GIST 전기전자컴퓨터공학부 송영민 교수팀(제1저자 김민석 박사(GIST), 교신저자 이길주 교수(부산대학교)), 서울대학교 화학생물공학부 김대형 교수팀(제1저자 김민수 서울대 박사과정생), 한국전기연구원 이민철 박사(제1저자)가 공동 진행하였다. 이번 연구 결과는 《사이언스 어드밴시스(Science Advances)》에 표지 논문으로 선정되어 2024년 9월 18일 온라인 게재됐다.



▲ 사이언스 어드밴시스(Science Advances)에 표지논문으로 선정

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Science advances(IF: 11.7, 2023년 기준)
- 논문명 : Feline-eye-inspired artificial vision for enhanced camouflage-breaking under diverse light conditions
- 저자 정보 : 송영민 교수(공동 교신저자/GIST), 김대형 교수(공동 교신저자/서울대학교), 이길주 교수(공동 교신저자/부산대학교), 김민수(공동 제1저자/서울대학교), 김민석 박사(공동 제1저자/GIST), 이민철 박사 (공동 제1저자/한국전기연구원), 장혁재·김도현·장세희(공동저자/GIST), 김민성 박사(공동저자/Northwestern University) 조효진(공동저자/서울대학교), 강지원(공동저자/한국과학기술원), 최창순·홍정표·황도경(공동저자/한국과학기술연구원)