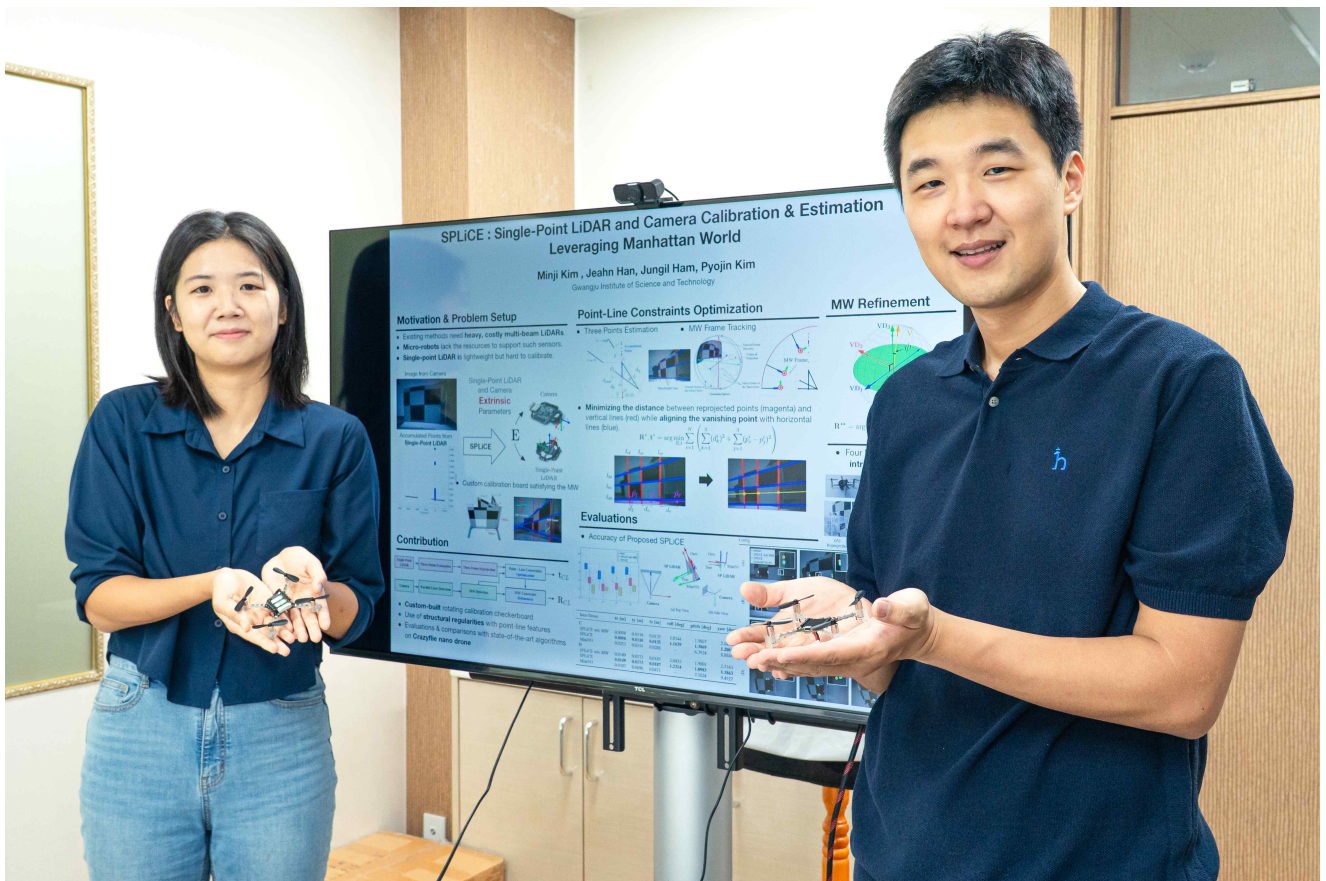


# GIST, 27그램 초소형 드론에도 탑재 가능한 초정밀 센서 보정 기술 개발

## 수집 데이터 적은 초소형 드론 환경에 최적화

- 기계로봇공학과 김표진 교수팀, 단일 방향 라이다와 카메라를 정밀 정렬하는 '스플라이스(SPLiCE)' 기술 개발... '퍼즐 조각'이 드문드문 놓인 상황에서도 '그림'을 완성하듯 좌표계 정렬 가능
- 나노 드론 실험에서 높은 정밀도(위치 오차 1cm, 각도 오차 1°) 입증해 자율비행·재난 구조·탐사에 응용 기대... IEEE 국제 지능형 로봇·시스템 학술대회(IROS 2025) 10월 발표 예정



▲ (왼쪽부터) 기계로봇공학과 김민지 학생, 김표진 교수

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 기계로봇공학과 김표진 교수 연구팀이 초경량 드론에서도 활용할 수 있는 새로운 센서 보정\* 기술인 '스플라이스(SPLiCE, Single-Point LiDAR and Camera Calibration & Estimation)'를 개발했다고 밝혔다.

이번 기술은 단일방향 라이다(LiDAR)와 카메라의 위치·방향을 정밀하게 일치시켜, 무게와 공간에 제약이 큰 환경에서도 정확한 센서 정렬이 가능하도록 설계됐다. 이를 통해 센서 간 데이터 융합\*이 가능해지므로 로봇이나 드론이 자율비행, 탐사, 재난 구조 등 다양한 임무를 보다 안정적으로 수행할 수 있다.

\* **센서 보정(Calibration)**: 서로 다른 센서가 측정한 정보의 좌표계를 일치시키고, 측정 과정에서 생기는 왜곡이나 편차를 바로잡아 실제 물리적 환경을 정확히 반영하도록 하는 과정이다. 단일 센서의 내부 특성을 반영한 내부 보정과, 서로 다른 센서 간 위치와 자세를 정밀하게 규명하는 외부 보정이 있다.

\* **데이터 융합(센서 융합, Sensor Fusion):** 여러 센서나 데이터 소스로부터 얻은 정보를 결합해 단일 센서보다 더 정확하고 신뢰성 높은 결과를 도출하는 기술이다. 센서 간 상호 보완과 협력을 통해 오차를 줄이고 새로운 정보를 생성하며, 칼만 필터나 딥러닝 기법 등이 활용된다. 대표적으로 자율주행, 로봇 위치 추정, 군사 및 의료 분야 등에 응용된다.

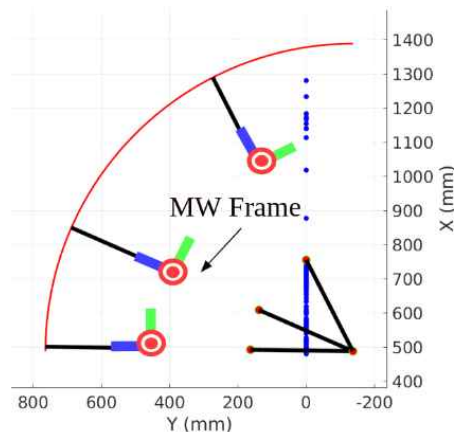
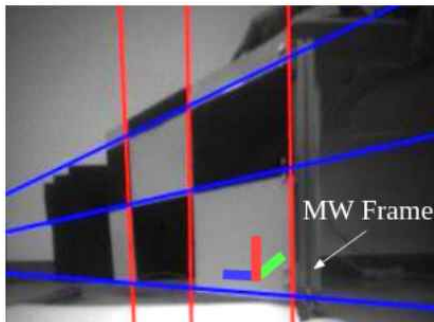
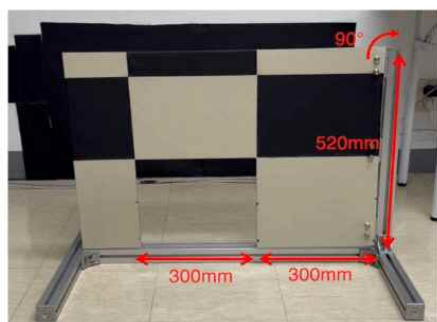
초소형 드론은 재난 현장 구조, 산업 시설 점검, 협소 공간 탐사 등에서 활용도가 높다. 그러나 기체에 장착할 수 있는 센서 무게가 제한적이어서 고성능 3D 라이다\* 센서 대신 단일 방향 라이다와 같은 초경량 센서를 사용해야 한다.

이 경우에는 얻을 수 있는 데이터가 매우 적어 마치 퍼즐 조각이 몇 개 안 되는 상태에서 그림을 맞추는 것처럼 센서 간 좌표계를 정확히 맞추기가 훨씬 까다롭다. 그래서 보정 기술의 중요성이 더욱 커진다.

\* **3D 라이다(3D LiDAR):** 레이저를 여러 방향으로 발사해 반사 시간을 측정하고, 이를 바탕으로 주변 환경의 3차원 점군 데이터를 생성하는 센서 기술로, 자율주행·로봇·드론 등에서 정밀한 공간 인식에 활용된다.

기존 라이다-카메라 보정 방식은 다중빔 3D 라이다에서 얻는 촘촘한 점군(Point Cloud) 데이터에 의존해 왔다. 하지만 초소형 드론에서는 단일 방향 라이다만 사용할 수 있어 얻을 수 있는 데이터가 매우 적다. 즉, 그림을 맞추기 위한 퍼즐 조각이 드문드문 놓인 상태이기 때문에 기존 방식으로는 보정이 어려웠다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 **맨해튼 월드(Manhattan World) 모델\***을 활용했다. 이는 건물이나 실내 구조물이 대부분 수평·수직으로 정렬돼 있다는 가정을 이용해 계산을 단순화하는 기법이다.



▲ 연구팀이 설계한 회전형 보정 보드(왼쪽)와 이를 통해 카메라에서 추출된 직선 및 소실점 기반 맨해튼 프레임(가운데, 오른쪽)을 나타낸다.

또한 연구팀은 직접 고안한 보정 보드를 통해 새로운 접근법을 제시했다. 이 보드는 흑백 격자와 작은 정사각형 구멍으로 구성돼 있으며 문처럼 회전할 수 있다.

\* **맨해튼 월드(Manhattan World) 모델:** 건물이나 실내 구조물이 대부분 수평·수직 방향으로 정렬돼 있다는 가정에 기반한 공간 구조 모델로, 컴퓨터 비전·로봇공학·자율주행 분야에서 실내외 지도 작성, 위치 추정, 구조 인식을 단순화하고 계산 효율성을 높이는 데 활용된다.

라이다는 원래 한 방향의 거리값만 측정할 수 있지만, 보드가 회전하면서 생기는 거리 변화와 구멍, 보드의 모양 정보를 함께 활용하면 단일 측정점이 누적되어 세계의 기준점으로 확장된다.

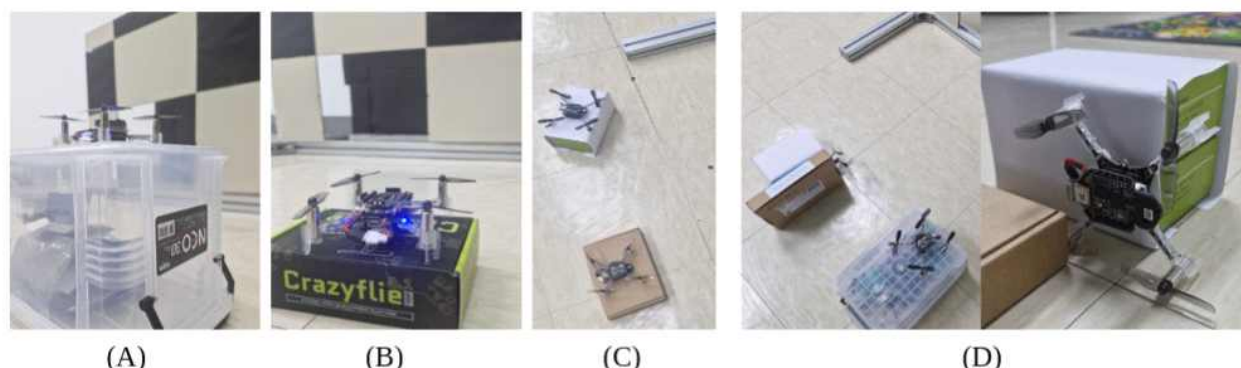
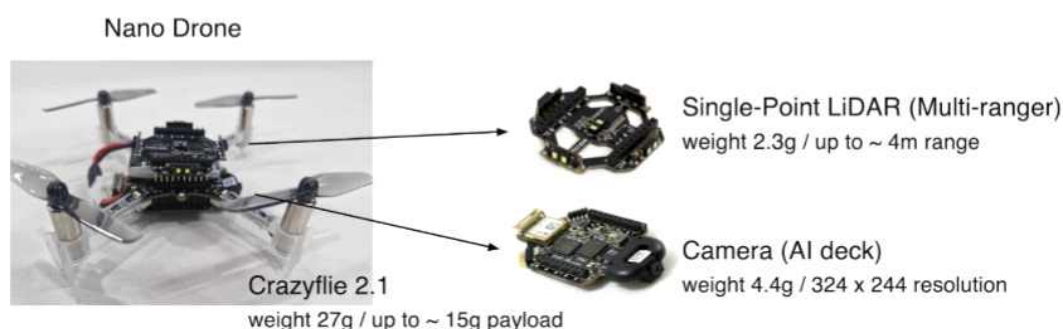
한편 카메라는 격자 무늬와 구멍을 통해 평행선과 소실점을 안정적으로 추출할 수 있다. 연구팀은 이렇게 얻은 라이다의 기준점과 카메라의 직선 정보를 서로 대응시켜, 두 센서의 좌표계를 정밀하게 일치시키는 데 성공했다.

연구팀은 제안한 기법을 검증하기 위해 나노 드론 플랫폼, '크레이지플라이 (Crazyflie, 9cm x 9cm, 27g)\*'에 센서를 탑재해 다양한 실험을 수행했다.

그 결과, 센서 보정 정확도를 평가하는 핵심 지표인 평균 재투영 오차\* 를 약 3픽셀 수준까지 낮추며 기존 방식과 비교하여 월등히 높은 정밀도를 보였다. 또한 센서 간 위치 오차는 약 1cm, 3축 회전(좌우·앞뒤·방향 회전) 각도 오차는 약 1°에 불과해 초소형 드론에서도 안정적인 보정 성능을 입증했다.

\* **Crazyflie(초소형 드론)** : 스웨덴 Bitcraze사에서 개발한 오픈소스 초소형 나노드론으로 크기 9cm\*9cm, 무게는 약 27g이다. 최대 15g의 소형 센서를 탑재할 수 있으며, 카메라·거리 센서·AI 모듈 등 다양한 확장 덱(deck)을 장착해 연구 및 교육 목적으로 널리 활용된다. 가볍고 저전력 구조 덕분에 실내 혹은 제한된 공간에서 자율비행 연구, 다중 군집드로 제어 등에 널리 활용된다.

\* **재투영 오차(Reprojection Error)** : 3차원 점을 카메라 모델을 통해 영상 평면에 투영했을 때, 실제 관측된 2차원 점과 예측된 투영 점 사이의 차이를 거리(픽셀 단위)로 정량화한 지표다. 주로 카메라 보정, SLAM, 3D 재구성 등에서 성능 평가 기준으로 활용된다. 실제 이미지 좌표와 투영된 좌표 간의 오차 벡터 크기를 평균하거나 제곱합으로 계산하며, 값이 0에 가까울수록 투영 모델이 실제 관측과 잘 일치함을 의미한다.

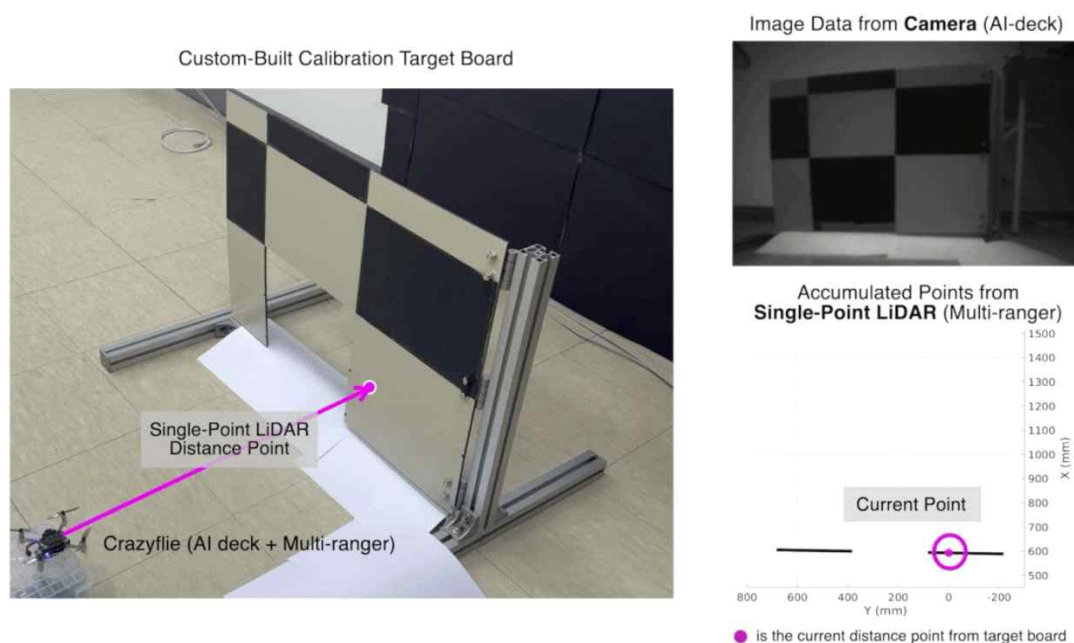


▲ 무게 27g의 초소형 드론 'Crazyflie 2.1'에 단일방향 LiDAR와 카메라(AI deck)를 장착해 실험하는 모습을 보여주며, (A-D)는 다양한 환경에서의 센서 보정 및 검증 과정을 보여주고 있다.



특히, '스플라이스(SPLiCE)'는 기존의 체커보드 기반 기법이나 가상 2D 라이다 기반 접근법보다 훨씬 적은 데이터(15쌍)만으로도 높은 정확도를 확보했다. 이는 일반적으로 40쌍 이상의 데이터가 필요한 기존 방식에 비해 효율성과 실용성을 크게 향상시킨 것이다.

이러한 성과를 통해 무게와 전력 제약이 큰 초소형 드론에서도 안정적인 센서 보정이 가능해졌으며, 향후 다양한 자율비행 응용을 뒷받침할 핵심 기반 기술로 발전할 수 있다.



▲ 초소형 드론 'Crazyflie'가 단일방향 LiDAR와 카메라(AI deck)로 데이터를 수집하는 모습을 보여주며, 카메라는 격자 이미지를 획득하고 LiDAR는 회전 과정에서 누적된 거리 값을 통해 보정에 활용된다.

김표진 교수는 "이번 연구는 초소형 드론처럼 센서 무게와 성능에 제약이 큰 환경에서도 라이다와 카메라를 정밀하게 보정할 수 있는 기술"이라며, "앞으로 다수의 드론이 협력해 지도 작성이나 탐사와 같은 임무를 수행하는 데에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다"고 말했다.

GIST 기계로봇공학과 김표진 교수가 지도하고 김민지 석사과정생이 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단(NRF) 우수신진연구사업 지원을 받았다.

연구 결과는 오는 2025년 10월 중국 항저우에서 열리는 '국제 지능로봇·시스템 학술대회(IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2025)'에서 구두 발표로 소개될 예정이다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, 기술이전 관련 협의는 기술사업화센터(hgmoon@gist.ac.kr)를 통해 진행할 수 있다고 밝혔다.

# 논문의 주요 정보

## 1. 논문명, 저자정보

- 게재 학술대회: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2025
- 논문명 : SPLiCE: Single-Point LiDAR and Camera Calibration & Estimation Leveraging Manhattan World
- 저자 정보 : 김민지(제1저자, 기계로봇공학과), 김표진(교신저자, 기계로봇공학과), 한진목(제2저자, 기계로봇공학과), 함중일(제3저자, 기계로봇공학과)