

04

IoT 센서와 AI 카메라를 융합한
급경사지 상태 분석 시스템 소개

이승주
한국건설기술연구원
/ 연구원
sjlee@kict.re.kr



정기연
주한림기술
/ 사무이사
jeungky@naver.com



이태훈
주한림기술
/ 대표이사
hanlim@hanlimce.co.kr



김영석
한국건설기술연구원
/ 선임연구원
kimys@kict.re.kr

1. 서론

최근 기후환경 변화와 집중호우가 심화되면서 산사태의 위험이 증가하고 있다. 전 지구 및 지역 기후모델을 분석한 결과, 한반도는 미래에 연평균 기온이 2~4℃ 이상 상승하고 강수량도 증가할 것으로 전망되며, 특히, 2030년대에는 현재보다 산사태 발생 가능성이 커질 것으로 예상된다. 실제로 ‘한국 기후변화 평가보고서 2020’에 따르면, 수도권 지역의 극한 강수는 20% 증가하고 이에 따라 산사태 발생 확률이 5배 증가할 것으로 예측된다(이석민과 윤형미, 2022). 2022년 여름, 중부 지방에서는 시간당 100mm가 넘는 폭우가 짧은 시간 동안 집중적으로 내렸다. 평균적으로 3.4개인의 태풍 발생 수치를 넘어서는 5개의 태풍이 우리나라에 영향을 미쳤으며, 그 중 11호 태풍 ‘힌남노’는 특히 많은 비를 뿌려 중부 지방에 상당한 피해를 주었다(기상청, 2022).

우리나라는 전체 국토의 63% 이상이 산악지역으로, 표층이 얇아 사면 재해에 상당히 취약한 상태이다. 도시화와 도로 건설로 인해 만들어진 비탈면, 석축, 옹벽과 같은 인공사면의 증가는 급경사지 붕괴 및 산사태를 유발하고 있다. 이로 인하여 다양한 지역에서 급경사지로 인한 재해 및 인명 피해가 발생하고 있다(국민안전처, 2016). 특히, 집중호우 시기나 해빙기에 산악지역에 설치된 모노레일과 같은 산악 관광 구조물도 피해를 입을 수 있기 때문에 급경사지의 거동을 예측하고 구조물의 피해를 최소화하기 위해서는 해당 지역의 실시간 거동을 분석(모니터링)하는 기술이 필요하다(김군태, 2017).

현재의 모니터링 기술은 주로 사람의 직접 개입이 필요한 수동적 방식, 고가의 분석기를 활용하는 방식, 그리고 단순한 데이터 수집 및 표출

에 중점을 둔 단선적이고 개별적인 관리방식으로 구성되어 있다. 이러한 구조는 효율성과 비용 측면에서 한계가 있으며, 실시간으로 작동하며, 자율적이고, 저비용이면서 고효율을 제공하는 방식으로 획기적 개선이 필요한 상황이다(정상섭 등, 2020). 최근 모니터링 기술의 진보는 IoT(Internet of Things) 기술을 활용하여 자율적으로 지능화된 융합 서비스를 제공하는 인프라의 구축으로 이루어지고 있다. 특히, 재난·재해 관리 분야에서 재난의 발생 요인을 사전에 제거하고 억제하는 예방 활동이 매우 중요하며, 이를 위해서 초연결 지능을 기반으로 한 재난 예방 및 모니터링 기술은 필수적이라 할 수 있다(명승일 등, 2018).

본 기고에서는 IoT 센서와 AI 카메라를 융합한 급경사지 상태 분석 시스템과 그 실·검증 연구를 소개하고자 한다. IoT 센서와 AI 카메라를 활용한 급경사지 상태 분석 시스템은 구조물 유지관리 분야에서 사용되는 다양한 IoT 계측 센서들을 AI 기술과 융합하여 상호보완적인 체계를 구축할 수 있으며, 계측데이터의 오차를 최소화하여 데이터의 신뢰성을 향상시킬 수도 있다.

2. IoT 센서와 AI 카메라를 융합한 급경사지 상태 분석 시스템

센서 기술의 발전으로 ICT 기반의 계측기기 성능과 정확도가 크게 향상되었다. 센서의 MCU(Micro Controller Unit)는 저전력 운영과 빠른 데이터 처리를 가능하게 하여, 실시간 고해상도 정보의 수집 및 분석이 용이해졌다. 또한, 태양광 자가 전력 생산과 RF(Radio Frequency), LoRa(Long Range), Bluetooth 등의 근거리 무선통신 기술 및 IoT 기반 M2M(Machine to Machine)과 같은 광대역 무선통신 기술을 활용하여 계측기기의 설치 공간 제한 문제를 극복하고 있다. MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 기반 센서는 온도, 습도, 가속도, 각속도 등 다양한 계측 항목을 한 센서에서 측정할 수 있으며, 이러한 센서들의 활용범위가 기술 발전으로 확대되고 있다(유해춘, 2023). 또한, IMU(Inertial Measurement Unit) 센서는 가속도계, 자이로스코프, 자력계로 구성된 장치로, 움직임과 방향을 측정할 수 있다. 가속도 센서는 기계적 충격이나 진동에 반응하여 가속도의 크기를 측정하며, 움직임이 없는 고정 상태에서는 드리프트

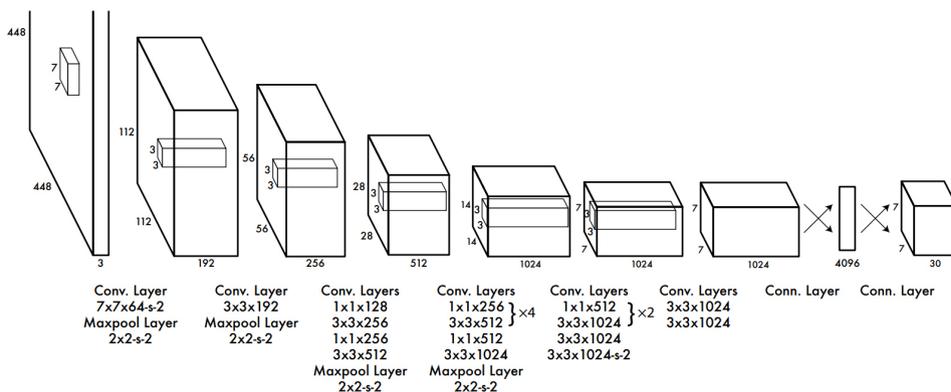


그림 1. YOLO 네트워크 아키텍처(Redmon et al., 2020)

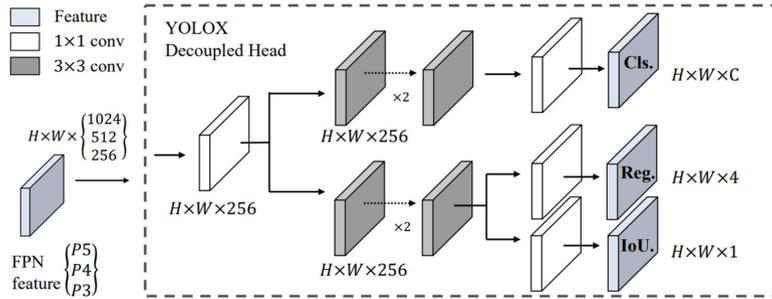


그림 2. YOLOX 모델 아키텍처(Zheng et al., 2021)

트 없이 정확한 각도 데이터를 측정할 수 있다(조진희와 진재현, 2017).

본 연구에서는 기존 계측시스템보다 경제적이고 정확한 IMU 센서를 활용하여 IoT 센서를 제작하였으며, 구조물의 거동(움직임)을 분석할 수 있는 YOLO(You Only Look Once) 모델 중 YOLOX를 기반으로 한 AI 기술을 CCTV와 같은 카메라에 적용하여 AI 카메라를 개발하였다(김영석 등, 2023). YOLO 모델은 객체 탐지와 분류를 동시에 수행하는데, 이는 Pascal VOC 데이터셋과 ImageNet 데이터셋으로 훈련된 실시간 객체 탐지 알고리즘이다(Redmon et al., 2020). YOLO의 구조(아키텍처)는 그림 1과 같이, 24개의 Convolutional Layers와 2개의 Fully Connected Layers로 구성되어 있다.

YOLOX는 기존 YOLO 모델과는 다르게 An-

chor를 사용하지 않고, 그림 2와 같이 Decoupled head 방식을 적용하고 있다. 또한, 데이터 증강을 위한 Data augmentation, Anchor free Multi positive 방법을 활용하여 기존 YOLO 모델의 성능보다 더 높은 성능을 보여준다(Zheng et al., 2021).

급경사지의 상태 분석을 위하여 기존에 설치된 CCTV를 활용하여 YOLOX 기반의 AI 영상 분석 알고리즘(AI 카메라)을 새롭게 설계하였으며, 주요 고려사항은 표 1과 같다.

또한, IoT 계측 센서는 기존 급경사지 IoT 계측 센서의 단점을 보완하여 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 활용하고, 기술적 향상이 가능하도록 제작하였다. 특히 기존 6축 변위 센서에 가속도 센서와 온·습도 센서를 추가 탑재하였다. 가속도계는 지표 변형 감시를 위

표 1. AI 카메라 알고리즘 설계 고려사항

구분	설계 고려사항
YOLO 기반의 객체 인식	· YOLOX 이상을 연동한 객체 검출 및 추적
검출률 향상을 위한 기술 적용	· 오 인식, 오 검출 감소를 위한 네거티브 학습 강화 · 구도가 다르기 때문에 학습 시 Input Size를 각 Module 별 평균 비율에 맞추어 학습되도록 학습모델 개량
학습 모델 분리	· 주 · 야간 검출 성능 최적화를 위해 특화된 AI 모델을 이용하여 검사 및 AI 모델 Multi Input이 가능한 알고리즘 구성
데이터 증강	· 데이터 증강을 통하여 데이터 불균형 문제를 해결 · 원본 이미지 조건에 따라 Contrast, Brightness 등 이미지의 퀄리티 열화가 발생할 시 자동으로 필터링하도록 알고리즘 구성
Training Value 최적화	· AI 모델 학습을 위한 Training Value 설정에 대하여 이미지별로 다른 Input Size, HSV 정보 등을 인식하여 자동으로 평균 정보를 도출하여 최적화

표 2. IoT 센서 설계 적용 내용

구분	적용 내용
계측 오류 최소화	<ul style="list-style-type: none"> · IMU 센서 적용(9축 센서: 가속도, 자이로스코프, 자기계) · IMU 센서의 시간에 따른 누적오차 최소화를 위해 칼만필터 적용 · 데이터 신뢰성 향상
계측 정확도 향상	<ul style="list-style-type: none"> · 지중센서 및 지상센서 적용 · 이중 센서 계측값 및 AI 분석에 의한 계측값의 상호보완을 통한 정확도 향상
현장 적용성 개선	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 계측 기술의 문제점 보완 · 태양광패널 충전 적용으로 부적합한 상시 전원 시설 배제 · LoRa 통신 적용으로 기존 통신 음영지역 문제 해결 · 시공성 향상, 유지관리 편의성 향상을 위해 분절 구조의 센서 기구 적용



그림 3. IoT 계측 센서 장치



그림 4. 센서 연계장치

해 널리 사용되는 센서로 센서 융합 기법을 적용할 경우 개별 센서를 단독으로 사용할 경우에 비해 보다 효율적으로 활용할 수 있다. 표 2와 같이 IMU 센서 적용(9축 센서), 지중센서 및 지상센서 적용, 2중 센서 계측값 및 AI 분석에 의한 계측값의 상호보완을 통한 정확도 향상, LoRa 및 BLE(Bluetooth Low Energy) 통신 적용으로 기존 통신 음영지역 문제 해결을 하였다. 그림 3과 4는 새롭게 개발한 IoT 계측 센서와 연계장치를 나타내고 있다.



그림 5. AI 카메라

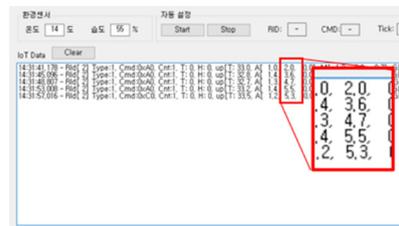
AI 카메라는 최대 2메가픽셀(1920×1080), Full HD 1080p 해상도 지원하며, 안개 보정 기능



그림 6. IoT 계측 센서 장치 현장 실증



(a) 3방향 와이어를 통한 IoT 센서 장비 변위 발생



(b) 현장 평가 센서 측정값

그림 7. IoT 센서 계측 데이터 현장 검증

(Defog), Day & Night (ICR), RS-485 통신 지원 및 Geforce GTX 1660 TI GPU의 서버 장치 및 LTE 무선통신과 LoRa 무선통신 가능하도록 그림 5와 같이 제작하였다.

3. 현장 성능평가 및 실증

IoT 센서와 AI 기술을 융합한 급경사지 상태 분석 시스템의 실·검증을 위해 대구지역에 위치

한 OO급경사지를 Test bed로 선정하였다. 높이 5m, 경사 1:1.8의 급경사지에 그림 6과 같이 IoT 계측 센서를 설치하였다.

설치 이후, 그림 7과 같이 3방향 와이어를 통한 IoT 센서 장치에 인위적인 변위를 발생시켜 성능을 평가하였으며, 디지털경사계를 활용하여 실제 변위값과 센서의 측정값을 비교 분석하였다. 그 결과, 15개의 IoT 센서를 전방, 후방, 좌측 및 우측으로 향할 때의 각도 평균 오차는 0.26°, 변위



그림 8. 주간 LED Target(15개) 검출-YOLOX

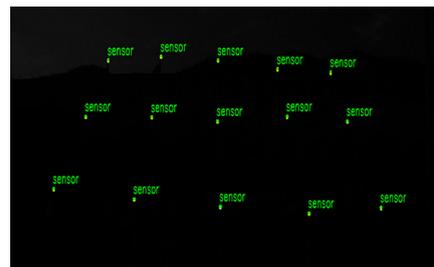


그림 9. 야간 LED Target 점등 검출-이미지 프로세싱



그림 10. YOLOX 기반 검출 결과 이미지

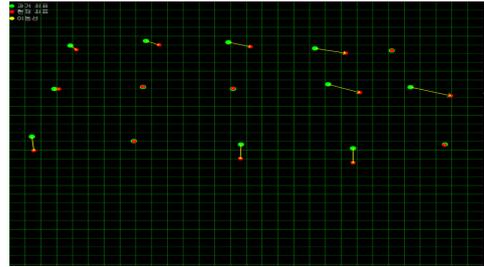


그림 11. LED Target 이동에 대한 분석 화면

평균 오차는 11.6mm로 측정되었으며, 기존 계측기 대비 우수한 성능을 확인하였다.

4. AI 카메라 성능평가 및 비교·분석

AI 카메라의 LED Target 인식을 평가는 그림 8과 9와 같이 주간 및 야간의 LED Target 칸델라(Candela) 설정에 따른 인식률을 평가하였다. 또한, 주간 및 야간 동일한 칸델라 설정에 따른 인식률을 평가하였다.

AI 카메라의 LED Target 변위값 인식 성능 평가를 실시하였으며, 그림 10과 11과 같이 현장 실증 결과 LED Target 이동에 따른 변위값 인식을 확인하였다.

급경사지 붕괴 위험을 평가하기 위해 주변에 설치된 LED Target 이미지의 변화를 분석하여

변위값과 변위속도를 계산하고, 이를 사전 설정된 GRID와 기준치를 활용하여 분석하였다. AI 영상 분석값 정확도 평가를 위해 실측값과 IoT 센서 및 AI 영상 분석 계측값을 그림 12와 같이 비교·분석하였다. 그 결과, 15개의 IoT 센서를 전방, 후방, 좌측 및 우측으로 향할 때의 각도 평균 오차는 0.54° , 변위 평균 오차는 24.2mm로 나타났다.

5. 결론

본 기고에서는 IoT 센서와 AI 카메라를 융합한 새로운 급경사지 상태 분석 시스템에 대하여 소개하였다. 기존 계측 시스템보다 경제적이며 높은 정확도를 제공하는 IoT 센서와 YOLOX의 실시간 객체 탐지 알고리즘을 적용한 AI 카메라를

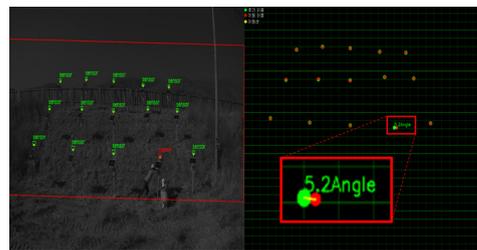
(a) 디지털경사계 실측값: 5.2° (b) AI 영상 분석값: 5.2°

그림 12. YOLOX 기반 검출 결과 이미지

융합한 시스템이다. 현장 성능평가를 통해 IoT 센서의 계측성능과 AI 카메라의 영상 분석 기술의 성능을 검증하였다. IoT와 AI 같은 첨단 기술의 상용화는 급경사지에 대한 예·경보 시스템 개발을 가능하게 하며, 공인인증을 통한 신뢰성 향상으로 사업화 범위를 확대할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 다양한 사회간접자본(SOC) 시설의 스마트 유지관리 분야에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 국민안전처(2016), 급경사지 관리 실무편람, p.18.
2. 기상청(2022), 2022 기상연감, p.19.
3. 김균태(2017), “IoT 기술 기반의 산악지 모니터링 시스템 개발”, *한국산학기술학회 논문집*, Vol.18, No.3, pp.437-446.
4. 김영석, 이승주, 정기연, 이태훈(2023), “AI 카메라를 활용한 급경사지 모니터링 시스템 개발”, *2023년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집*, pp.593-594.
5. 명승일, 이혜선, 이학준, 이강복(2018), “IoT Based Disaster Mitigation and Safety Monitoring Technologies”, *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.33, No.1, pp.101-110.
6. 유해준(2023), ICT 기반의 급경사지 계측에 관한 연구, 경북대학교 산업대학원, 석사학위논문.
7. 이석민, 윤형미(2022), “기후변화에 따른 서울시 산사태 관리 개선방안”, *서울연구원*, pp.1-147.
8. 정상섭, 김정환, 홍문현(2020), “IoT 기반 서울형 산사태 예보 시스템 구축”, *KSCE Magazine*, Vol.68, No.8, pp.114-117.
9. 조진희, 진재현(2017), “MEMS IMU 센서의 다중화와 개별 센서의 오동작 검출”, *항공우주시스템공학회 학술행사 논문집*, pp.33-35.
10. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., and Farhadi, A.(2016), “You only look once: Unified, real-time object detection”, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp.779-788.
11. Zheng Ge, Songtao Liu, Wang, Feng Wang, Zeming Li and Jian Sun.(2021), “Yolox: Exceeding yolo series in 2021”, *arXiv preprint*, arXiv:2107.08430.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 “스마트 건설기술 실·검증 연구지원 사업”의 연구비 지원으로 (주)한림기술과 공동으로 수행되었습니다.