

산악 지역 재난 감지를 위한 AI 영상인식·센서 융합 기반 산악안전경보시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 곽표성**, 박의준***

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**금성아이티

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a Mountain Safety Alert System based on AI Image Recognition and Sensor Fusion for Disaster Detection in Mountainous Areas

Je-Ho Song*, Pyo-Sung Gwak**, Eui-Jun Park***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Chonbuk National University

**GOLDSTAR IT Inc

**Dpet. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

최근 국내에서는 산불, 불법소각, 산사태와 같은 산악 지역 재난이 빈번히 발생하며, 이에 따른 인명 및 재산 피해가 지속적으로 증가하고 있다. 특히 이러한 재난은 초기 감지 실패 시 빠르게 확산되며 대응이 어려워지므로, 실시간 감시 및 조기 경보 체계의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 산불과 불법소각, 산사태 등을 감지하고 경고할 수 있는 지능형 산악안전경보시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 팬-틸트 모터 기반 CCTV, 공기질 센서, 지중경사계, 하중계 등 다양한 센서를 통합하고, YOLOv4 기반 객체 인식 알고리즘과 RS-485 통신 기반의 실시간 데이터 처리 구조를 갖춘다. 또한, LTE 기반의 IoT 통신과 웹 기반 관제 시스템을 통해 실시간 영상 감시, 이벤트 발생 시 자동 방송 및 SMS 경보 기능을 구현하였다. 시스템 성능 평가 결과, 객체 인식 정확도는 100%, 센서 반응 시간은 138ms 이하로 확인되었으며, 전체 시스템의 실시간 대응 가능성과 정밀도를 입증하였다. 본 연구는 산악 지역에서 발생 가능한 다양한 재난에 대해 감시와 신속한 초기 대응이 가능한 통합형 안전관리 시스템의 구현 가능성을 제시하며, 향후 지자체 및 산림 지역에 적용 가능한 스마트 안전 기술의 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

산불과 같은 산악 지역 자연재해의 특징은 그 규모가 넓은 산림의 특성상 예측이 어렵고, 발생하면 빠르게 확산되어 대처가 어렵고 피해 규모가 막대하다. 최근, 우리나라는 전국 동시다발적 산불로 인해 막대한 인명 피해와 재산 피해가 발생하였다. 2025년 3월 한 달 동안의 산불 발생 합계는 131건이고, 피해 면적은 총 1,244.37 ha에 달한다.[1]

이처럼 산불은 초기 진화에 실패하면 빠른 속도로 피해가 확산되며 대처가 더욱 어려워진다. 그렇기 때문에 산불은 초기 진화가 매우 중요한데, 이러한 산불 발생의 원인은 입산자 실화·쓰레기 불법소각이 전체 산불 발생 원인의 55%를 차지한다.[2] 불법소각은 여러 업체와 일반 주민 등 다양한 장소에서 발생하며, 이러한 불법소각은 또한 각종 대기오염물질의 주요 배출원으로 분류된다.

또한, 산악 지역에서 발생할 수 있는 산사태 재난 역시 한 번

발생하면 대처가 어렵고 피해 규모가 클 수 있기 때문에, 사전에 예측하고 감시하는 체계적인 시스템의 구축이 필요하다. 특히 산불이나 불법소각과 같이 예방과 초기 대응이 중요한 재난과 함께, 산사태처럼 지형·기후 요인에 의해 영향을 받는 자연재해는 지속적인 모니터링이 필수적이다.

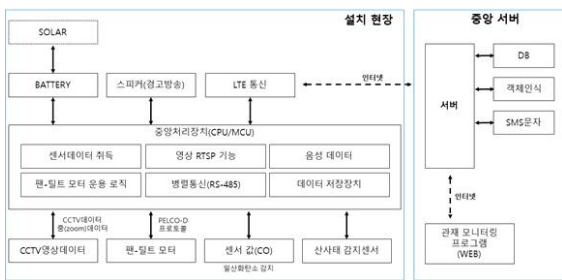
따라서, 본 논문에서는 산악 지역의 재난을 실시간으로 감시하고, 조기 경보를 발령할 수 있는 산악안전경보시스템을 제안한다. 산악안전경보시스템은 공기질 센서와 CCTV 영상 데이터 기반 객체인식을 통해 산불·불법소각을 감지하고, 지중경사계, 하중계 등의 센서 데이터를 통하여 산사태를 감지할 수 있도록 하였다. 이러한 산악안전시스템을 통해 산악 지역 재난에 대한 예방 중심의 대응 체계를 마련하고, 인명 및 재산 피해를 최소화하는 데 기여하고자 한다.

2. 본론

산악안전경보시스템은 산악 지역에서의 산불·불법소각, 산사태 등의 발생을 감시하고 예방하는 목적을 지닌다. 그림 1은 산악안전경보시스템의 개요도를 나타내었고, 그림 2는 시스템 블록도를 나타내었다.



[그림 1] 산악안전경보시스템 개요도

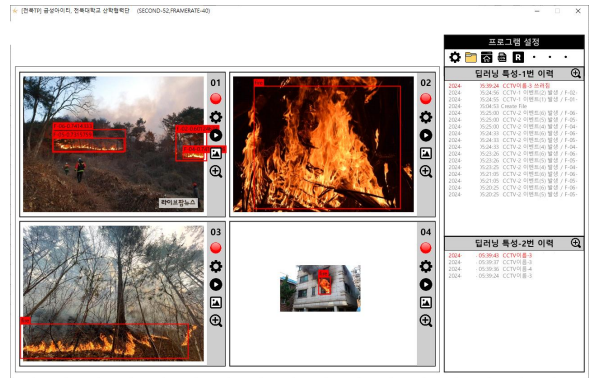


[그림 2] 산악안전경보시스템 블록도

산악안전경보시스템은 산지에 직접 설치되어 현장의 데이터를 수집하는 현장 계측기와, 서버와 관제 모니터링 프로그램을 포함하는 중앙 서버로 구성된다.

현장 계측기는 팬-틸트(Pan-Tilt) 모터와 결합된 CCTV, 스피커 방송장치, 공기질 센서·지중경사계·지표변위계·하중계 등 재난 감지용 센서, LTE 통신 모듈, 태양광 전원장치 등으로 구성된다. 팬-틸트 모터는 360° 전방위 감시를 위해 적용하였으며, CCTV의 줌 기능을 활용하여 작은 불꽃이나 연기까지도 확대 관찰할 수 있도록 하였다. 센서 및 영상 데이터는 실시간으로 수집되어 재난 발생 징후를 조기에 탐지하고 신속히 대응할 수 있도록 한다.

중앙 서버에서는 RTSP를 통해 전송되는 영상데이터를 YOLOv4 기반 객체인식 기술로 분석하여 불꽃과 연기를 자동 감지하고, RS-485 통신을 통해 수집된 센서데이터를 기준값과 비교하여 산사태 가능성을 계측한다.[3,4] YOLO 알고리즘은 4채널 CCTV 영상을 실시간으로 처리할 수 있도록 구현되었으며, 객체 인식률과 처리 속도에서 높은 성능을 보였다. 감지된 객체는 영상 내 박스와 함께 인식을 수치로 표기되며, 이벤트 발생 시 자동 로그 저장과 경고 연동이 실행된다. 이러한 객체인식 프로그램 화면을 그림 3에 나타내었다.



[그림 3] 객체인식 프로그램 화면

이벤트 발생 시, 관제 모니터링 시스템의 웹 인터페이스에서 실시간 위치 기반의 경고가 지도에 표시되며, 경고 방송 송출과 관리자 SMS 전송이 자동으로 이루어진다. 사용자별 ID 기반의 접근 권한이 설정되어 있어 다수의 관리자가 담당 구역을 효율적으로 관리할 수 있다. 또한, 기상청 API와 연계하여 온도, 풍속, 강우 등 외부 요인을 함께 고려함으로써, 재난 대응의 정확성과 실효성을 높인다.

관제 시스템은 OPEN API 지도 기반 시각화, 장비 상태 실시간 모니터링, 로그 검색 및 그래프 기능을 포함하며, JSP 및 PHP 서버 구조와 MSSQL 데이터베이스 기반으로 안정적인 데이터 저장과 전송을 구현하였다. 그래프와 리스트 화면은 시간·일자·월별 조화가 가능하고, 이상 데이터는 색상과 수치로 구분되어 시각적으로 명확하게 표현된다. 또한, 시스템은 사용자 요청 시 과거 데이터를 엑셀 형태로 출력하여 분석이나 보고서 작성 시 활용할 수 있도록 구성되었다.

최종 성능 검증 결과, 불꽃 및 연기 감지 정확도는 100%, 센서 계측 정밀도는 평균 99% 이상, 객체인식 속도는 2.33초 이내, 센서 이벤트 검출 시간은 138ms 이내로 확인되었다. 또한, 팬모터 위치 제어는 99.3% 이상의 정확도를 보였고, IoT 통신 패킷 전송률은 100%로 확인되어 통신 안정성도 확보되었다. 이와 같은 결과는 산악안전경보시스템이 산악 재난에 대응 가능한 실질적 현장 시스템으로서 충분한 신뢰성과 확장성을 가지고 있음을 나타낸다.

3. 결론

본 논문에서는 산불, 불법소각, 산사태 등 다양한 산악 지역 재난을 감시하고 대응할 수 있는 산악안전경보시스템을 제안하였다. 팬-틸트 기반 CCTV와 대기질, 산사태 센서를 결합한 현장 계측 장비, 그리고 객체인식 기반 영상분석과 IoT 통신을 통합한 시스템은 재난의 조기 탐지와 신속한 대응을 가능하게 하였다.

시스템은 RTSP 영상 스트리밍과 YOLOv4 객체인식 기술을 활용하여 불꽃과 연기를 자동 감지하고, RS-485 기반 센서 네트워크를 통해 산사태 징후를 분석하였다. 또한, 웹 기반의 관제 인

터페이스와 경고방송, SMS 알림 시스템을 연동하여 사용자의 접근성과 신속한 대응을 동시에 고려하였다.

성능 측정 결과, 불꽃 및 연기 감지 속도 및 정확도 등 주요 기능에서 높은 정확도와 안정성을 확보하였으며, 실시간 영상 분석, 센서 계측, 이벤트 감지 속도 모두 현장 대응 수준의 성능을 충족하였다. 본 시스템은 향후 다양한 산악 지역 재난 감시 기반 시설로서 확장 가능성이 높으며, 지자체 및 산림청 등 현장 중심의 실증 적용을 통해 실효성 있는 스마트 재난 대응 체계로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 산림청, “올해산불통계 2025”, [Internet], Available From: <https://fd.forest.go.kr/ffas/pubConn/movePage/sub3do>, (accessed April 24, 2025)
- [2] 산림청, 2024년 산불통계연보, 통계 보고서, 산림청, 대한민국, pp. 123
- [3] 김효준, 이동찬, 장준영, 박성배, 이찬우, “화재 대응을 위한 불꽃 인식 시스템 연구”, 한국정보과학회 학술발표논문집, pp.1369-1371, 2020
- [4] 김광주, 장인수, 임길택, “산불 연기 데이터셋 구축 및 심층 신경망 기반 검출 기술 비교 분석”, 한국통신학회 학술발표논문집, pp.1172-1173

본 연구는 (재)전북테크노파크의 2023년 전라북도 혁신성장 R&D+사업 기술개발사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제명 : 인공지능형(AI) 산불, 불법소각, 재난 예방을 위한 산악안전시스템 개발]