

Editorial

RS/GIS 자료융합을 통한 국가 재난관리 및 조사·분석

김성삼¹⁾ · 석재욱¹⁾ · 이달근²⁾ · 이준우^{3)*}

National Disaster Management, Investigation, and Analysis Using RS/GIS Data Fusion

Seongsam Kim¹⁾ · Jaewook Suk¹⁾ · Dalgeun Lee²⁾ · Junwoo Lee^{3)*}

Abstract: The global occurrence of myriad natural disasters and incidents, catalyzed by climate change and extreme meteorological conditions, has engendered substantial human and material losses. International organizations such as the International Charter have established an enduring collaborative framework for real-time coordination to provide high-resolution satellite imagery and geospatial information. These resources are instrumental in the management of large-scale disaster scenarios and the expeditious execution of recovery operations. At the national level, the operational deployment of advanced National Earth Observation Satellites, controlled by National Geographic Information Institute, has not only catalyzed the advancement of geospatial data but has also contributed to the provisioning of damage analysis data for significant domestic and international disaster events. This special edition of the National Disaster Management Research Institute delineates the contemporary landscape of major disaster incidents in the year 2023 and elucidates the strategic blueprint of the government's national disaster safety system reform. Additionally, it encapsulates the most recent research accomplishments in the domains of artificial satellite systems, information and communication technology, and spatial information utilization, which are paramount in the institution's disaster situation management and analysis efforts. Furthermore, the publication encompasses the most recent research findings relevant to data collection, processing, and analysis pertaining to disaster cause and damage extent. These findings are especially pertinent to the institute's on-site investigation initiatives and are informed by cutting-edge technologies, including drone-based mapping and LiDAR observation, as evidenced by a case study involving the 2023 landslide damage resulting from concentrated heavy rainfall.

Keywords: Satellite imagery, Drone, Disaster accident, Disaster situation management, Damage investigation, Mapping, Disaster-info sharing

Received October 14, 2023; Revised October 24, 2023; Accepted October 26, 2023; Published online October 31, 2023

¹⁾ 국립재난안전연구원 재난원인조사실 시설연구사(Researcher, Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Republic of Korea)

²⁾ 국립재난안전연구원 재난정보연구실 시설연구사(Researcher, Disaster Information Research Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Republic of Korea)

³⁾ 국립재난안전연구원 재난정보연구실 시설연구관(Senior Researcher, Disaster Information Research Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Republic of Korea)

* Corresponding author: Junwoo Lee (jw_lee@korea.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약: 기후변화와 극한기상으로 유발된 다양한 자연재해와 사고로 전세계적으로 수많은 인명과 재산 피해가 발생하고 있다. International Charter와 같은 국제기구간의 상시 공조체계를 구축하고, 이러한 대규모 재난관리와 신속한 복구를 위해 고해상 위성영상 및 공간정보를 제공하고 있다. 국내에서는 국토위성이 본격적으로 정상 운용되면서 국토정보 구축뿐만 아니라 국내·외 대형 재난에 대해 피해분석 정보를 제공하고 있다. 이번 국립재난안전연구원 특별호에서는 2023년 주요 재난사고 발생 현황과 정부의 국가재난안전시스템 개편 대책을 기술하였다. 또한, 연구원에서 재난 상황관리 및 분석을 위해 수행하고 있는 인공위성과 정보통신, 공간정보 활용기술과 관련된 최신 연구성과와 재난사고 원인·피해조사를 위한 자료 수집·처리·분석과 관련된 최신 연구성과를 담았다. 아울러, 드론매핑(drone mapping)과 라이다(LiDAR) 관측기술을 활용한 2023년 집중호우로 인한 산사태 피해 현장조사 사례를 기술하였다.

주요어: 위성영상, 드론, 재난사고, 재난상황관리, 피해조사, 매핑, 재난정보 공유

1. 서론

기후변화와 극한기상으로 유발된 홍수, 가뭄, 산사태, 산불, 지진, 폭설·한파 등 다양한 유형의 자연재해와 사고로 전 세계적으로 수많은 인명과 재산 피해가 발생하고 있다. 국가별 위성개발·운영기관, 재난관리 책임기관, 국제연합(United Nations), International Charter, 세계은행(World Bank)과 같은 국제기구를 중심으로 위성영상, 드론 등의 지구관측 플랫폼과 공간정보 기술을 활용하여 자연재해나 재난사고를 효과적으로 모니터링하고 관리하고 있다. 가령, 세계은행은 유럽항공우주국(European Space Agency)과 협업하여 지속가능한 개발을 위한 고해상도 위성정보기반 지구관측 프로젝트를 수행하고 있으며, 대표적인 재난모니터링 프로젝트로 가나의 홍수방재시스템 건설, 인도네시아 자카르타의 지반침하 분석, 브라질 리우데자네이루의 재난취약성 평가 등이 추진되었다(Lim, 2015; Kim et al., 2017).

국내에서도 차세대중형위성 1단계 개발사업의 일환으로 국토이용/자원관리, 재난 대응 및 국가공간정보 활용을 위해 500 kg급 정밀지상관측위성인 국토위성을 개발·운영하고 있다. 국토지리정보원에서는 2020년부터 국내·외 대형 재난에 대해 피해분석 정보로 ‘긴급 공간정보’를 제공하고 있으며, 국제재난기구인 International Charter에 가입하여 재해재난 시 국토위성 영상을 신속하게 촬영·처리·분석하여 전 세계적으로 공유하고 있다. 2023년부터 국토위성을 활용하여 위치정확도와 해상도가 향상된 기존의 위성정사영상 서비스 외에 영상처리 전문지식이 없이도 사용자가 즉시 분석에 사용 가능하도록 전처리가 완료된 국토위성영상과 부가정

보를 제공하는 사용자 친화적인 국토위성영상(analysis ready data, ARD) 서비스를 제공함으로써 누구나 편리하게 데이터에 접근하고 분석에 즉시 활용할 수 있는 기반을 제공할 계획이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023).

2023년 한반도는 전 지구적인 극한기상의 여파로 2022년 가을부터 심화된 가뭄과 한파·폭설, 7월 집중호우와 태풍 내습 등 자연재해가 지속적으로 발생했다. 2023년 7월 14일 군산의 일 강수량이 429.4 mm로 1968년 기상관측 이래 최대였으며, 전국 평균 누적 강수량 648.7 mm는 역대 세 번째로 기록됐다. 이 기간에 강한 호우로 인해 공평2 지하차도 침수사고, 경북 산악지역 산사태 피해 등이 발생하여 90여명의 사상자와 16개 시도 12,902가구 19,607명이 일시 대피하는 등 엄청난 사회·경제적인 손실이 발생하였다(Wikipedia, 2023). 2022년 10월 29일 밤, 할로윈 행사에 모인 수 만명의 인파가 용산 이태원역 1번 출구 해밀턴 호텔 서편의 폭 4 m의 좁은 내리막길 골목에서 수백명이 몰려 넘어지면서 사상자가 355여명에 달하는 인파사고가 발생하였다. 이태원 참사를 계기로 정부는 드론·CCTV 기반의 밀집도 실시간 분석, 위험성 탐지·평가, 예·경보 시스템 고도화를 통한 현장인파관리시스템 구축 등의 국가안전시스템 전반에 대한 개편 대책을 마련하게 되었다(Ministry of Interior and Safety, 2023a).

이번 특별호에서는 올 한해 국내에서 발생한 주요 재난사고 현황과 극한기상, 예측하기 힘든 다중인파사고 등 국가적 재난 상황을 극복하기 위한 정부의 국가재난 안전시스템 개편 방향과 전략, 이를 실행하기 위한 세부 과제들을 기술하였다. 또한, 연구원에서 재난 상황관

리 및 분석을 위해 수행하고 있는 인공위성과 정보통신, 공간정보 활용기술과 관련된 최신 연구성과와 재난사고 원인과 피해규모를 규명하기 위해 현장조사 업무에 활용하고 있는 드론, 특수차량 등의 관측 플랫폼과 고해상도 광학센서, 라이다 센서기반의 현장자료 수집·자료 처리와 분석과 관련된 최신 연구성과를 기술하였다.

2. 기후변화로 인한 최근 재난 여건과 정부의 재난 대응 전략

2.1. 최근 주요 재난 발생 현황

2.1.1 2023년 봄 가뭄

2022년 태풍 힌남노가 한반도 남부 지역에 남긴 상흔으로 북구가 한참이던 11월 중순, 생활용수 가뭄 5단계인 '경계' 단계에 있던 전남 일부 지역은 6개월 넘게 정상적인 물공급이 되지 않아 제한급수나 운반급수에 의존하고 있었고, 전남과 광주지역의 댐 저수율은 30% 이하로 떨어졌다. 2022년 한해 동안 남부지방과 제주도의 강수량은 평년보다 매우 적었고, 남부지방에는 가뭄 일수 227.3일로 기상관측 최장 가뭄으로 남았다. 2023년 1월 중순 전국적으로 내린 비로 남부 지역 댐과 저수지의 저수율은 다소 상승했으나, 가뭄 해결에는 턱없이 부족했다. 2023년 2월과 3월, 남해안과 일부 동해안 지역에 약간의 비가 내렸으나 전국적으로 가뭄은 심화되었다. 5월 4일부터 6일까지 남부지방에 300 mm가 넘는 폭우가 내리면서 전남 완도 등 도서 지역의 제한 급수가 단계적으로 해제되었고 정상 급수가 실시되면서 2022년 가을부터 시작된 전국적인 가뭄은 해소되었다.

2.1.2. 한파와 폭설

지구온난화로 인한 기후변화의 여파로 동아시아권, 유럽, 북미 전반에 북극한파가 내려오면서 지구의 북반부와 한반도에 폭설과 강추위가 닥쳤다. 2023년 1월 중순부터 경기, 강원, 충청, 전라, 제주지역에 이르기까지 전국적으로 70 cm 이상의 많은 눈이 내려 귀경 차량들이 몰리면서 100건이 넘는 교통사고와 고립사고가 잇따랐다. 산간도로 곳곳이 통제되고 시내·외 버스 노선이 막히고, 양양공항 대부분의 항공편이 결항되었다.

2023년 1월 하순, 연이은 한파와 폭설로 제주공항 전편이 결항되어 귀경 및 여행객 4만여 명의 발이 묶였고, 강풍과 함께 덮친 한파로 서울의 체감온도는 -33.8°C, 평창은 -44.1°C, 부산은 -12°C를 기록해 한반도에서 가장 최저기온으로 기록되었다. 2022년 겨울부터 2023년 1월까지 한반도 한파와 폭설은 가스비 인상과 맞물려 2023년 난방비 대란의 직접적인 원인을 제공했다.

2.1.3. 7월 집중호우

2020년 한반도 집중호우와 2022년 중부권 집중호우 재해에 이어 2023년 6월 하순부터 십여 년 만에 제주, 충청, 전라, 경북, 부산 등에 기록적인 폭우가 집중적으로 내리면서 전국에서 수해가 발생했다. 2022년 집중호우는 국지적으로 강한 집중호우였던 반면, 2023년은 이 기간 동안 총 강수량이 640 mm를 웃돌며, 기상관측 이래 2006년 704 mm, 2020년 701 mm에 이어 세번째로 강수량이 많은 장마기간으로 기록됐다.

이 집중호우 기간인 7월 14일 오후 4시경, 논산시 논산시립납골당에서 비탈면 토사가 무너져 내려 4명의 사상자가 발생하였으며, 7월 15일 하루 동안 경북에서만 산사태로 사망 19명, 실종 8명, 부상 17명의 인명피해가 발생하였다. 7월 19일에는 예천군에서 수색 중이던 해병대원이 급류에 휩쓸려 사망하는 안타까운 사고도 발생하였다. 또한, 7월 14일 23시경, 청주 서원구에서는 산사태로 인해 선로 내 토사가 유입되면서 무궁화호가 탈선하여 일부 구간에서 KTX 열차 지연 및 일반 열차는 전면 운행이 중단되는 등 전국적인 철도 운행에 큰 차질을 빚기도 했다. 7월 15일 청주 지역에 500 mm가 넘는 폭우가 쏟아지면서 미호천교 확장공사 중인 임시 제방 둑이 터지고 미호강이 범람하면서 6만톤에 달하는 물이 지하차도로 2~3분만에 들어차면서 지하차도를 지나던 17대 차량이 고립됐다. 궁평2 지하차도 침수사고로 23명의 사상자가 발생하였다.

이 집중호우로 인해 충청, 경북 등에서 대규모 산사태가 발생하고 궁평2 지하차도 침수 사고 등 여러 2차 피해가 발생하여 90여 명의 사상자가 발생하였고, 약 36,865.6 ha의 농경지가 침수되거나 매몰되었고, 13,884 건의 시설물 피해 등 막대한 재산 피해가 발생하였다 (Wikipedia, 2023).

Table 1. Action strategies and tasks of NDMS* reorganization measures

| Action strategy | Task |
|--|--|
| 1. Establishment of new risk prediction and regular preparedness system | <ul style="list-style-type: none"> • Establishment of a government-wide management system that constantly discovers and predicts new risks • Establishment of a management system to prevent crowd accidents • Establishment of an NDMS in preparation for climate change, network society, etc. |
| 2. Transformation of an NDMS that operates in the field | <ul style="list-style-type: none"> • Establishment of a situation management system for rapid on-site response • Strengthening the initial response capabilities of field response agencies • Reorganizing regional and field disaster safety management systems and strengthening its capabilities |
| 3. Scientific disaster management based on digital platform | <ul style="list-style-type: none"> • System advancement for pre-emptive disaster prediction, detection, and response support • Strengthening disaster management and response capabilities based on digital platforms, expanding R&D |
| 4. Strengthening resilience through practical damage support | <ul style="list-style-type: none"> • Community recovery through practical disaster damage support • Strengthening safety management tailored to safety-vulnerable groups |
| 5. Activating safety management centered on private sector participation and collaboration | <ul style="list-style-type: none"> • Expansion of effective safety education throughout the life cycle • Spreading a safety culture based on voluntary participation of the public and strengthening autonomous safety management |

NDMS: National Disaster Management System.

2.2. 국가 재난 대응 전략 및 방안

2.2.1. 국가안전시스템 개편 종합대책

2022년 이태원 참사 이후 정부는 범정부 안전시스템 개편 task force (TF)를 구성·발족하고, 국민, 민간전문가, 국회 국정조사, 지자체 등의 다양한 의견을 수렴하여 국가안전시스템개편 종합대책을 마련하였다. 이 대책은 새로운 위험에 상시 대비하고, 현장에서 작동하는 국가 재난안전관리체계를 확립하여 함께 만드는 모두의 일상이 안전한 대한민국을 실현하는 비전 아래 기존의 재난안전관리에 대한 관점, 방식, 행동 전환을 기본방향으로 설정하였다.

세부 추진전략으로 새로운 위험 예측 및 상시 대비체계 강화, 현장에서 작동하는 재난안전관리체계 전환, 디지털 플랫폼기반의 과학적 재난안전 관리, 실질적 피해 지원으로 회복력 강화, 민간 참여와 협업중심 안전관리 활성화 등의 5대 전략을 확정하였다. 새로운 위험 예측 및 상시 대비체계의 강화를 위해 신종재난 위험요소 발굴센터를 설치·운영(2023년 3월~)하고 있으며, 지능형 CCTV 전환과 현장인파관리시스템 개발, 112 반복신고 감지시스템을 운영(2023년 1월~)하고 있다. 현장에서 관리하는 재난안전관리체계로의 전환을 위해 재난대응 기관간 소통과 협력체계 제도화, 현장응급의료 대응역량 훈련 및 교육 강화, 경찰-소방간 상호연락관 배치와

소방청내 24시간 긴급대응팀 설치 운영 등 경찰-소방-지자체간 소통과 협력체계를 강화하였다. 지역의 재난 안전역량 확충을 위해서는 재난문자 송출권역을 기존 시군구 단위에서 읍·면·동까지 세분화하고 극한호우 시 기상청이 위험지역 주민에게 직접 재난문자를 발송하는 등 지역실정에 맞는 신속한 재난문자 발송체계를 구축하였다. 또한, 재난안전분야 인력 재배치와 재난·재해 현장 근무자 처우를 개선하는 등 관련 법·제도를 개정하였다. 디지털플랫폼 기반의 과학적 재난안전관리를 위해 응급의료 모바일단말기 시스템 구축 등 ICT 기반 현장대응역량 제고와 재난안전데이터 공유플랫폼 운영과 재난관리자원 통합관리시스템 구축 등 데이터·플랫폼기반 재난관리 강화, 도심침수 스마트대응시스템, 산사태중기예보시스템 구축, 산불위험예보, 국가 가축방역통합시스템 구축 등 각종 예측시스템 고도화를 추진하고 있다. 실질적인 피해지원으로 회복력 강화를 위해 공동체 회복을 포함한 종합 복구 추진을 위한 재난 및 안전관리 기본법, 자연재해대책법 상의 법적 근거 마련, 재난피해에 대한 주택지원금 향상 등의 과제를 마련하였다. 민간참여와 협업중심의 안전관리 활성화를 위해 안전신문고 기능 개선으로 안전관리에 실질적인 주민 참여 유도, 국민안전교육 플랫폼 운영(2023년 1월~), 위험성 평가중심의 자기규율 예방체계 확립(2023년 5월~)을 추진하고 있다(Ministry of Interior and Safety, 2023a).

Table 2. Action strategies and tasks for improving NDMS regarding to weather change

| Action strategy | Task |
|---|---|
| 1. Improvement of weather and flood forecasting capabilities | <ul style="list-style-type: none"> • Establishment of an AI-based flood forecasting system • Construction of a real-time landslide risk map linked to heavy rain situations |
| 2. Expansion of disaster prevention infrastructure considering climate change | <ul style="list-style-type: none"> • Expansion of prevention infrastructure for each disaster facility, such as underground rainwater tunnels and reservoirs • Strengthening of disaster prevention performance goals and segmentation by region • Management of vulnerability areas using the latest technologies such as ICT and IoT |
| 3. Establishment of flood prevention measures for disaster-vulnerable houses and underground spaces | <ul style="list-style-type: none"> • Expansion of support for improving the residential environment of disaster-vulnerable homes • Support for residential safety reinforcement such as flood prevention facilities |
| 4. Establishment of a rapid disaster response system | <ul style="list-style-type: none"> • Establishment of a disaster safety data-sharing platform • Expansion of authority to send emergency disaster text messages • Upgrading the 119-emergency reporting system • Implementation of manuals and behavior guidelines |
| 5. Strengthening damage recovery support | <ul style="list-style-type: none"> • Realization of increased restoration costs for damaged houses, etc. • Expansion and strengthening of compensation, including expansion of disaster insurance target items |

NDMS: National Disaster Management System.

2.2.2. 기후변화 대응을 위한 국가재난관리체계 개선

최근 국지적인 집중호우와 한반도를 관통하는 슈퍼 태풍의 내습으로 인해 수도권 및 경북 지역에 도시침수·하천 범람, 재해취약 주택·가구 피해, 주차장 등 지하공간 침수로 인해 많은 인명 및 재산피해가 발생하였다. 이에 정부는 국지적이고 집중적인 극한 기상현상으로 인한 재난의 피해 확대에 대응하기 위한 대책을 중앙부처 합동으로 마련하였다. 확정된 5대 추진 전략으로 첫째, 기상·홍수 예측을 위한 역량 강화, 둘째, 재해 예방 인프라 확충, 셋째, 재해취약 주택 및 지하공간 침수방지, 넷째, 신속한 대응체계 구축, 다섯째, 피해회복 지원 강화 등을 추진하고 있다.

세부 사항으로 AI 기반의 홍수예보체계 구축과 시스템 고도화를 통해 예측 정확성 향상과 기상 감시를 위한 기상관측망 확충, 집중호우를 반영한 실시간 산사태 위험지도 구축, 재해 위험 지역에 대한 정보를 연계하여 점검과 관리를 강화한다. 또한, 대심도빗물터널 등 재해예방 인프라를 확충하고 방재성능 목표와 시설물별 설계기준을 상향·연계하여 기후변화와 극한기후에 대비한다. 반지하 주택 등 재해 취약한 시설이나 지하공간에 대한 실태 조사를 통해 주거시설 환경개선 지원, 시설별 수방시설과 침수방지시설 설치 등 재해취약지 안전보장 지원 등 관련 제도를 개선한다. 아울러, 재난 정보 공유 강화, 대피 및 긴급구조 체계 정비, 매뉴얼 및

행동요령 현행화 등을 통해 신속·정확한 재난 대응체계를 확립한다. 마지막으로, 재해취약지역과 경제취약계층에 대한 정부지원을 내실화하고 재해보험 제도 개선 등을 통해 재난지역에 대한 대정부 피해회복 지원을 강화할 계획이다(Ministry of Interior and Safety, 2023b).

3. 드론/라이다 관측기술을 활용한 산사태 위험성 평가 및 피해조사

3.1. 드론/라이다 관측기술을 이용한 급경사지 안전점검

2장에서 언급했듯이 매년 반복적인 극한 강우와 지속적으로 도시화와 도로 건설로 조성된 비탈면, 석축·옹벽과 같은 인공사면이 증가하면서 급경사지 붕괴와 산사태 피해가 지속적으로 발생하고 있다. 행정안전부에서는 「급경사지 재해예방에 관한 법률」에 따라 급경사지 붕괴위험지역을 재해위험도 평가기준에 따라 등급화하고 급경사지 붕괴위험지역으로 지정·관리하고 있다. 급경사지 붕괴로 인한 사면재해 사전 예방과 관리를 위해 전국 14,325개소 급경사지를 대상으로 매년 우기와 해빙기 전에 안전관리 실태를 점검하고 있다. 연구원에서는 전문가 육안검사나 간단한 측정장비에 의존하던 기존 방식에서 벗어나 드론, 라이다, 특수차량

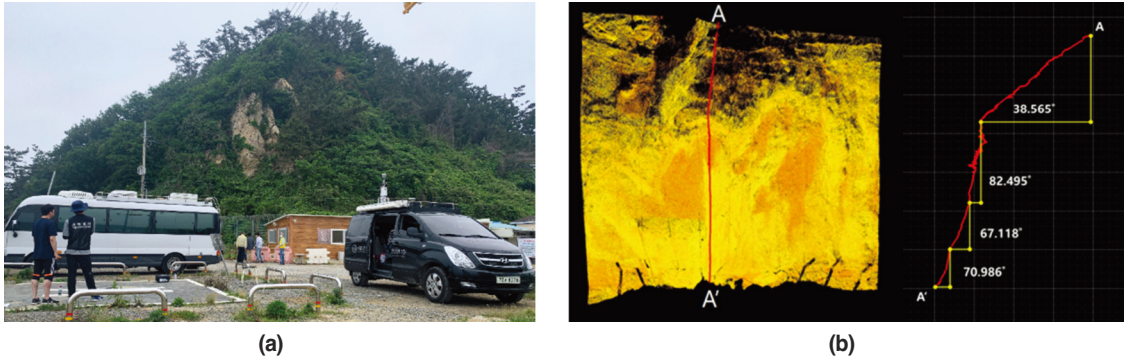


Fig. 1. Field investigation for slope risk assessment. (a) LiDAR built-in Investigation vehicle operation. (b) Profile analysis of steep slope for risk assessment.

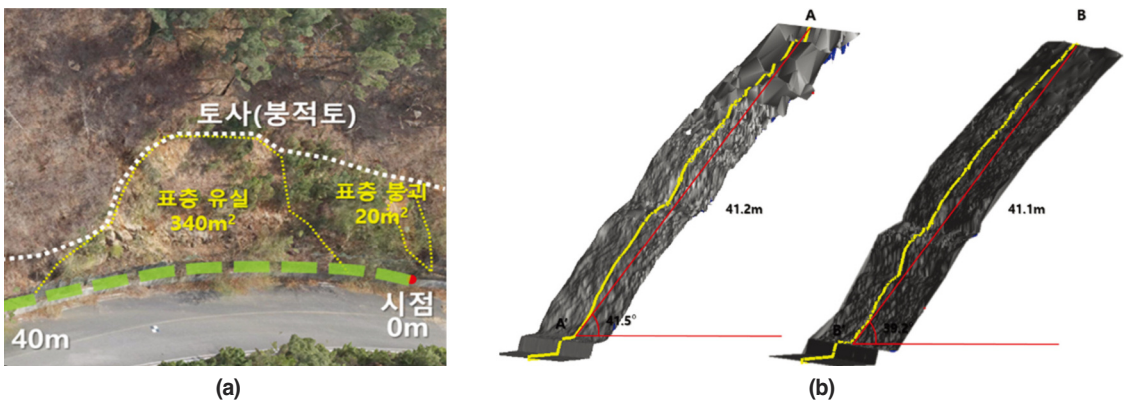


Fig. 2. Risk assessment of steep slope. (a) Slope's surface collapse. (b) Cross-section shape of slope.

등의 첨단 관측장비를 활용하여 2016년부터 총 31개소 급경사지 위험지역을 대상으로 정기적이고 체계적인 급경사지 안전점검을 통해 현장조사의 효율성과 전문성을 확보하고자 노력하고 있다.

2023년에는 경남 하동 3개소와 창원 마산회원구 1개소의 급경사지 위험지역을 대상으로 안전관리 실태를 점검하였으며, 지상 라이다와 드론을 활용하여 급경사지 위험구간의 3차원 지형 모델 구축·정밀 관측을 통해 조사구간의 재해위험도 평가와 지질·지형적 위험요인의 특성을 파악하여 안전관리 개선방안을 도출하였다.

3.2. 드론/라이다 관측기술을 이용한 산사태 현장조사 및 피해분석

2023년 7월 15일, 집중호우로 인한 산사태로 대규모 인명피해가 발생한 경북, 충청, 세종 지역을 대상으로 드론/라이다 관측기술을 활용하여 재난피해 현장조

사를 수행하였다. 피해조사 결과, 기반암, 절리, 토층의 포화상태 등의 지질적인 요인과 여러 계곡이 한곳에 집중되거나 지표수가 집중되기 쉬운 집중지형에서 토석류가 발달하면서 대규모 산사태 피해가 발생한 것으로 판단됐다. 여기에 임도, 작업로의 인장균열과 지반포화로 하부 비탈면이 붕괴되고 인위적인 물길이 형성되면서 붕괴가 가중되는 현장도 있었다. 또한, 산지에서 유실된 토사가 계곡지형내 지지력이 약한 입목벌채지역을 지나면서 다량의 토사와 합쳐져 토석류의 규모가 증대되는 현장도 확인되었다.

이러한 연구원의 산사태 발생원인 및 피해조사 결과는 행정안전부의 민·관합동 산사태 피해방지 원인조사반의 초동 조사자료로 제공되었으며, 기후위기 대응 수해방지 범정부 TF 과제로 향후 산사태 발생시 첨단장비를 활용한 초동조사를 연구원에서 전담해서 수행할 예정이다.

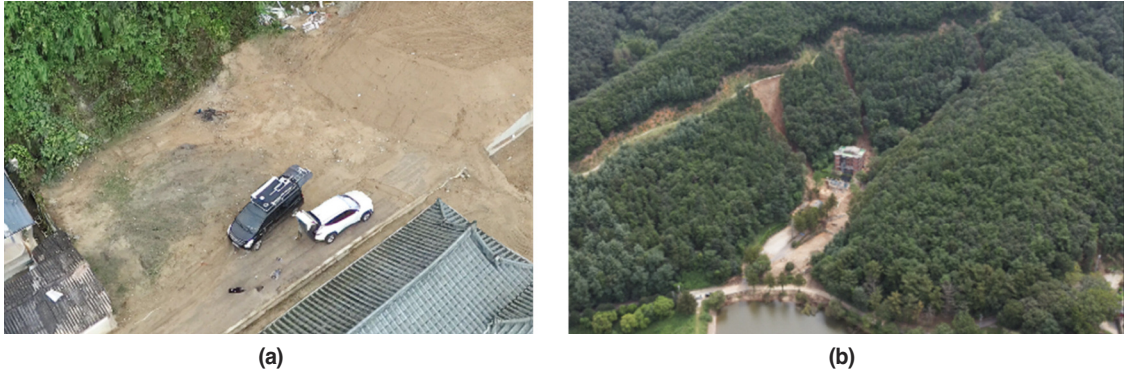


Fig. 3. Damage investigation by landslide. (a) Landslide damaged field Investigation. (b) Landslide-damaged area captured by drone aerial imaging (Nonsan-si).

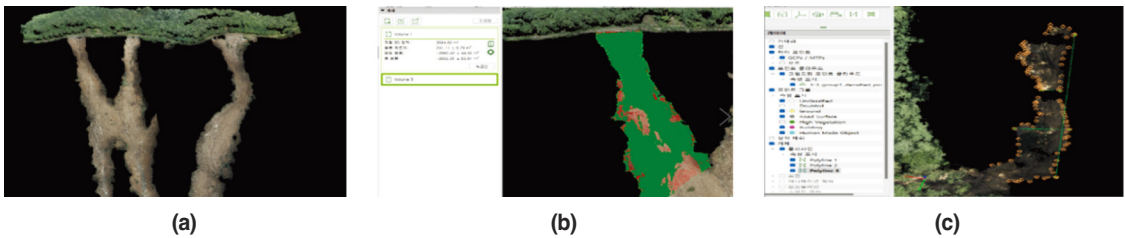


Fig. 4. Landslide damage analysis. (a) Occurrence cause Investigation. (b) Debris runoff volume calculation. (c) Topographic analysis using drone mapping products.

4. 원격탐사와 공간정보 기술을 활용한 재난관리 및 조사 연구동향

4.1. 위성기반 재난 상황관리와 공간분석 연구

홍수 등으로 인한 침수피해 지역을 신속하게 파악하는데 구름이나 강우 등 기상 상황과 상관없이 능동적으로 지구를 관측할 수 있는 합성개구레이더(synthetic aperture radar, SAR)가 주로 활용되고 있다. Yu et al. (2022)은 멀티 커널(multi-kernel) 기반의 수정된 U-NET과 TerraSAR-X 영상을 활용하여 다양한 특성 맵 추출을 통해 speckle noise의 효과를 저감하고 홍수 전후 두 장의 영상을 활용해 홍수 발생 지역을 탐지하는 딥러닝 모델을 제안하였다. 제안한 모델의 적용 결과, 평균 F1 점수 값이 0.966의 높은 수준으로 홍수 발생 지역을 탐지할 수 있음을 확인함으로써 수해지역에 대한 신속한 복구와 수해 예방책 도출에 기여할 것으로 기대된다.

도로, 시설물 균열과 같은 도시기반 시설의 손상을 초래할 수 있는 지반 침하의 주요 지각운동, 토양의 압밀, 퇴적물 압축과 같은 지질학적 요인에 의해 발생된다. 기

존에는 global navigation satellite system (GNSS)와 레벨 등을 이용하여 지상에서 침하를 모니터링해왔으나, 강도높은 현장 작업과 침하 지점 위주의 조사의 제한성 때문에 인공위성 레이더의 InSAR 기술이 장기간 지상 변위 감지와 관측에 유용하게 사용되어 왔다. Vadivel et al. (2022)은 Sentinel-1 C-band SAR 자료와 시계열 InSAR (small baseline subset (SBAS)-InSAR) 기법을 이용하여 울산시의 도시 지반 침하를 조사하고 감시하는 연구를 수행하였다. 79장의 Sentinel-1 SAR 영상과 385장의 간섭도 영상 (interferogram)을 사용하여 분석한 결과, 울산 북구와 남구의 지반 침하율이 각각 연 3.44 cm, 1.68 cm로 계측되었다. Unwrapping된 간섭도 위상을 이용하여 대기 지연에 의한 영향을 제거하는 가능성 평가에서 generic atmospheric correction online service (GACOS) 보정 전후의 SBAS-InSAR 지상변위 측정 차가 연 1 mm 미만임을 확인하였다.

기름 유출 사고는 환경과 관련된 다양한 문제를 야기하므로 신속하게 유출유역의 면적과 위치 변화를 파악하는 것이 중요하다. 주로 광학 위성자료의 파장대별 기

름의 반사도를 분석한 후 특정 파장대의 밴드를 이용하는 oil spill index를 활용하고 있다. Kim and Hyun (2023)은 웹 브라우저를 통해 대량의 위성자료 분석이 가능한 Google Earth와 Sentinel-2 위성 자료를 이용하여 러시아 노릴스크(Norilsk) 지역의 기름 유출 사고를 모니터링하는 연구를 수행하였다. 지표 피복별 index 값을 비교하여 유출 영역이 타 피복과 잘 구분되는 지에 대한 분리도를 평가하고 기름 유출 면적을 산정하였다. 또한, Kang et al. (2022)은 PlanetScope 위성의 고해상 광학영상 자료를 이용하여 유출유 레이블을 제작하고, DeepLab v3+ 기반의 유출유 탐지 모델을 제안하여 높은 정확도로 유출유 발생지역을 탐지함을 확인하였다.

픽셀기반 및 커널기반의 기계학습, 딥러닝과 같은 인공지능 기술을 활용하여 다양한 재난 탐지나 취약성 분석과 같은 연구들이 수행되고 있다. 기존의 산사태 취약성 분석에 주로 활용되던 빈도비, 앙상블, 논리회귀 모델, 인공신경망 등의 픽셀기반 머신러닝 모델 외에 커널 기반의 합성곱신경망(convolutional neural network, CNN) 모델과 입력 자료의 공간적 특성이 산사태 취약성 매핑의 정확도에 중요한 영향을 미친다는 사실에 기초하여 Gong et al. (2022)은 픽셀기반 deep neural network (DNN) 모델과 패치기반 CNN 모델을 이용하여 산사태 취약성을 분석하였다. 정량적인 지표를 통해 제안한 모델과 산사태 취약성에 대해 검증한 결과, 패치기반의 CNN 모델에서 픽셀기반의 DNN 모델에 비해 3.4% 향상된 성능을 보였다.

위성영상 자료의 시간해상도를 결정짓는 재방문주기는 위성의 운용계획에 따라 상이하지만, Landsat-8과 Sentinel-2는 각각 16일, 10일 주기의 시간해상도로 구름 등 기상으로 인한 영상 수집의 한계와 봄철 산불 피해 시 식생 생장으로 인한 변화가 커서 산불 탐지에 어려움이 있다. Kim et al. (2022)은 2022년 울진에서 발생한 산불 재난을 대상으로 difference normalized burn ratio (dNVR), relative difference normalized burn ratio (RdNBR), burn area index (BAI) 등의 지수를 이용하여 산불피해 면적 탐지에 관한 연구를 수행하였다. 6개의 지수 산출물을 기반으로 Landsat-8/9, Sentinel-2 영상 중 동일한 날짜로 취득된 위성자료를 활용하여 시간해상도의 한계를 극복하고 탐지 정확도가 상대적으로 높은 지수를 비교하여 산불 피해 정확도를 분석하였다. Cha et al. (2022)

은 산불 피해를 분류하기 위해 Sentinel-2 분광대역, 정규식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI), 정규수역지수(normalized difference water index, NDWI)를 활용하여 2022년 강릉·동해안 산불 피해를 대상으로 U-NET기반 CNN 딥러닝 모델을 적용하였다. 적용 결과, 국립산림과학원에서 보고한 산불 피해 면적과의 중첩도가 74.4%로 확인되어 모델의 불확도를 고려하더라도 높은 수준의 정확도를 나타냈다.

해양생태 및 양식업에 유해한 영향을 끼치는 적조의 광학적 특성을 파악하기 위한 원격탐사 반사도 및 수중 구성성분에 대한 분석에 다양한 원격탐사 센서를 활용하고 있으나, 수심이 얕고 부유퇴적물이 많은 연안 해역에 적용하는 데 많은 한계가 발생하고 있다. Koh et al. (2002)은 선박현장조사를 통하여 적조해수의 원격탐사 반사도와 수질변수를 취득하고 광학변수와 수질변수 간의 관계를 분석하였으며, 그 결과 적조의 엽록소 농도와 식물성 플랑크톤 흡광계수는 결정계수 0.9의 상관도를 나타냈고, Rediff를 이용한 기법이 B-G ratio를 이용한 기법보다 적조농도를 더 정확하게 추정하는 것으로 나타났다.

이번 특별호에서는 연구원에서 수행하고 있는 인공위성과 정보통신, 공간정보 기술을 활용한 재난 상황관리 및 분석과 관련된 최신 연구성과를 게재하였다.

Park et al. (2023)은 재난관리에 활용할 수 있는 국내·외 위성들과 최근 운용 중이거나 개발 중인 차세대 초소형·중형 위성 현황과 그 활용 기술 동향을 조사, 기술하였다. 또한, 인공지능 기술을 접목한 분석 기술과 사용자 중심의 분석준비 데이터 활용 플랫폼을 소개하고, 최근 발생한 주요 재난 중심으로 위성영상기반 재난분석과 활용방안에 대해 기술하였다. 마지막으로 향후 계획된 위성에 대한 재난관리 단계별 활용방안을 제시하였다. 재난 상황에서 신속하게 재난 발생을 알리고, 재난 유형별로 대피요령을 지원해 주는 긴급재난문자 서비스는 재난 및 안전관리기본법에 따라 이동통신사를 통해 개인 휴대폰으로 발송되고 있다. 그러나, 이러한 긴급재난문자 서비스는 긍정적인 사회·경제적 효과에 못지않게 송출 방식과 내용, 기준 등 제도적 미비점이 노출되면서 국민들에게 피로와 불편을 초래하는 한계도 제기되고 있다. Lee et al. (2023)은 긴급재난문자의 표준화가 국민에게 미치는 영향을 분석하기 위해 2022년 발생한 동해시, 밀양시 산불을 중심으로 긴급재난문자

송출형태에 따른 유동인구 특성 분석을 통해 그 효과성과 대국민 영향에 대해 분석하였다. 그 결과, 긴급재난 문자 내용 중 대피시설에 대한 안내는 신속한 주민 이동과 대피에 핵심적인 정보로써, 문자의 송출 기준과 내용의 구체화, 관계기관 간의 표준화 등의 제도적 개선도 필요함을 확인하였다.

데이터 활용기반 지능형 행정서비스 추진 기조에 따라 재난안전관리 분야에서도 신종·복합재난에 효율적인 대응과 과학·체계적인 안전정책을 수립하고자 데이터기반 재난안전관리 정책 및 시스템 구축사업들이 추진되고 있다. Choi et al. (2023)은 행정안전부 중앙재난안전상황실 실무자를 대상으로 개별 면담을 통해 재난상황관리 업무 범위와 실무자들의 GIS통합상황관리시스템의 주요 기능과 활용성을 조사하였다. 이를 위해 정확한 현장상황 파악, 데이터기반 상황판단, 효율적 상황관리 지원 등 3개 전략을 위한 24개 실행과제를 도출하였다. 최종적으로 analytic hierarchy process (AHP) 분석을 통해 실행과제별 중요도를 토대로 우선순위를 결정하여 중장기 상황관리 지능화 기술개발을 추진 방안을 제시하였다.

산불 피해를 최소화하기 위해 산림청에서는 지역별 산림특성을 고려하여 산불 위험도를 관리하는 산불위험지도를 제작하고 있다. 그러나 산림 주변 지역의 인구, 주택과 시설물에 대한 산불 피해등급과 위험도 분석에 관한 연구의 필요성이 제기되고 있다. Kim et al. (2023)은 행정안전부의 국가지점번호와 산림 주변 지역에 직접적인 영향을 주는 인자들을 활용하여 강릉 산불에 대한 격자기반 산불위험지도를 작성하고 위험등급도를 작성하는 방안을 제시하였다. Han et al. (2023)은 기계학습 모델을 활용하여 2016년 내습한 태풍 차바 영향으로 인한 격자기반 침수위험지도 제작에 관한 연구를 수행했다. 위험도 분석을 위해 강우, 하천 수위 등의 동적 자료와 건물, 인구, 토지피복 등의 정적 자료를 활용하여 국가지점번호기반 10 m 격자 자료로 구축하고, 리스크 매트릭스를 적용하여 침수위험도를 분석하였다. random forest (RF), support vector machine (SVM), K-nearest algorithm (KNN) 등의 기계학습 모델로 분석했을 때, SVM, RF, KNN 순으로 우수한 정확도를 보였다. 또한, RF 모델에서의 위험도 영향요인은 강우와 하천 수위가 높은 것으로 나타났다.

4.2. 드론/라이다기반 재난사고 현장조사 연구

4.1절의 선행연구에서 확인할 수 있듯이, 주기적인 광역 재난 모니터링에 강점이 있는 인공위성기반 원격탐사 기술은 핵심적인 재난관리 활용 기술로 자리매김해왔으나, 최근 공간해상도나 시간해상도 측면에서 실시간으로 저고도에서 정밀한 공간정보를 수집할 수 있는 드론기반 원격탐사 기술이 인공위성이나 유인항공기를 보완·대체할 수 있는 최신 지구관측 플랫폼으로 부상하고 있다. 드론 기체의 소형화, 고성능 관측센서 탑재, 스마트 배터리 기술 등을 활용한 자동 경로 탐색과 충돌회피, 자율비행, 안티재밍(anti-jamming), 군집비행 등의 보다 개선된 기능성, 인공지능 알고리즘을 기계 운용부터 실시간 탐지·분석 단계까지 융합하면서 스마트한 지구관측 플랫폼 기술로 그 활용성이 점차 확대되고 있다. 또한, 기존의 위성영상 자료가 가진 낮은 공간 및 시간해상도를 극복하거나 위성기반 원격탐사 기술의 정확도와 성능을 정량적으로 검증, 개선하기 위한 기준자료로 고해상도 드론기반 원격탐사 기술과 산출물의 활용 수요가 점차 증가하고 있다.

고해상도 드론 영상과 딥러닝 기술을 결합한 활성산불 감시는 연구 초기 단계에 있으며, Park et al. (2022) 등은 YOLO v7기반의 활성산불 객체탐지를 통해 동일한 데이터셋을 사용한 선행 연구에 비해 F1 점수가 다소 향상된 결과를 보였으며, 광역적인 산불 감시에 적용하기 위한 추가적인 기술 개발이 필요하다고 제안하였다. 기후변화로 인해 노지 작물이 스트레스 상황에 노출되는 빈도가 늘고 있고, 특히 대표적인 벼 재배지역에서 대규모 병해가 발생하고 있다. 광역적인 작물 모니터링에 위성기반 원격탐사 기술을 적용하기 위해서는 작물의 생육 이상에 따른 민감도 평가가 선행되어야 한다. Ryu et al. (2022)은 드론 영상을 이용하여 벼 병해 발생지역에서 서로 다른 공간해상도를 가지는 Sentinel-2, Landsat-8 위성 영상자료의 정규식생지수를 평가하였다. 센서 해상도, 관측 시점의 차이 등으로 인한 bias 영향을 최소화하였을 때 Sentinel-2 NDVI는 Landsat-8 NDVI에 비해 드론 NDVI와 0.2~2.8% 더 적은 root mean square error (RMSE)를 가졌다. 또한, Sentinel-2 NDVI는 드론 NDVI와 병해 피해 정도와 관계없이 일정한 오차를 가지는 반면, Landsat-8 NDVI는 병해피해정도에 따라 오차 특성이 다르게 나타났다. 농경지 경계에서 오차가 크다는 것을 고려했을

때, 공간해상도가 높은 영상을 활용하는 것이 작물 모니터링에 효과적임을 확인하였다.

이번 특별호에서는 연구원에서 재난사고 원인과 피해규모를 규명하기 위한 현장조사 업무에 활용하고 있는 드론, 특수차량 등의 관측 플랫폼과 고해상 광학센서, 라이다 센서기반의 현장자료 수집·처리·분석과 관련된 최신 연구성과를 게재하였다.

Lim et al. (2023)은 사고현장에서 화학물질로 인해 발생한 사고 지점의 피해면적을 식생지수로 산출하는 방안을 제시하였다. 드론에 탑재된 다중분광센서의 분광대역 정보를 활용하여 생성된 정상영상에서 NDVI 임계값에 따른 피해면적을 분석한 결과, 근적외선 밴드기반 NDVI의 kappa 값은 0.79, 녹색 밴드기반 NDVI는 0.76으로 나타났다. Jung et al. (2023)은 2023년 4월 성남시 분당구의 정자교 붕괴사고 현장을 대상으로 드론 라이다(light detection and ranging, LiDAR)의 재난사고 조사 활용가능성에 관한 연구를 수행하였다. 붕괴사고가 발생한 교량을 대상으로 드론 라이다를 이용하여 포인트 클라우드를 생성하고 관측 정확도를 확인하기 위해 10개의 지상기준점(ground control points, GCP)을 설치하였다. 또한, 고정밀 지상 라이다로 생성한 포인트 클라우드와 드론 라이다에 의한 포인트 클라우드 간의 관측 정확도를 비교함으로써, 재난사고 현장조사에 드론 라이다를 활용하기 위한 가능성을 검토하였다.

드론 라이다는 산지의 정상부, 접근이 어려운 사면 등에 근접 조사가 가능한 관측 기술로 산악지형 재난사고 현장조사 활용성이 확대되고 있다. 드론 라이다를 활용하여 보다 정밀한 3차원 지형 정보를 생성하기 위하여 취득된 포인트 클라우드를 지면과 비지면 점들로 분리하는 전처리 과정이 필요하다. Koo et al. (2023)은 상용 드론에 탑재된 항공 라이다 포인트 클라우드 자료에 cloth simulation filtering (CSF) 알고리즘을 적용하여 지면-비지면 분류 정확도를 평가하였다. 그 결과 지면-비지면간 분리 정확도는 84.3%, kappa 계수는 0.71로, 드론 라이다 기반의 산악지형 산사태 현장조사 활용가능성을 제시하였다.

5. 결론

기후변화와 극한기상으로 유발된 홍수, 가뭄, 산사태, 산불, 지진, 폭설·한파 등 다양한 유형의 자연재해와 사고로 전세계적으로 수많은 인명과 재산 피해가 발생하고 있다. 유럽항공우주국, International Charter와 같은 국제기구들 간의 상시 공조체계를 구축하고, 인공위성과 공간정보 기술을 이용하여 이러한 대규모 재난 전조 모니터링에서부터 신속한 복구를 위해 고해상 위성영상 및 공간정보를 제공하고 있다. 국내에서는 국토위성이 본격적으로 정상 운용되면서 국토정보 구축뿐만 아니라 국내·외 대형 재난에 대해 피해분석 정보로 '긴급 공간정보'를 제공하고 있으며, 나아가 기존 위성정상영상의 위치정확도와 해상도 향상과 사용자 친화적인 국토위성영상 서비스를 제공하고 있다.

이번 국립재난안전연구원 특별호에서는 올 한해 국내에서 발생한 주요 재난사고 현황과 극한기상, 예측하기 힘든 다중인파사고 등 국가적 재난 상황을 극복하기 위한 정부의 국가재난안전시스템 개편 방향과 전략, 이를 실행하기 위한 세부 과제들을 기술하였다. 또한, 연구원에서 재난 상황관리 및 분석을 위해 수행하고 있는 인공위성과 정보통신, 공간정보 활용기술과 관련된 최신 연구성과와 재난사고 원인·피해규모를 규명하기 위해 현장조사 업무에 활용하고 있는 드론, 특수차량 등의 관측 플랫폼과 고해상 광학센서, 라이다 센서기반의 현장자료 수집·처리·분석과 관련된 최신 연구성과를 담았다. 아울러, 드론매핑과 라이다 관측기술을 활용한 2023년 집중호우로 인한 산사태 피해 현장조사 사례를 기술하였다. 향후 인공위성, 드론과 같은 지구관측 플랫폼 기술과 공간정보기반 재난예측 분석기술, 인공지능, 빅데이터 등의 4차 산업혁명 기술에 대한 관심과 재난관리 활용기술 개발을 통해 기후변화와 극한기상으로 유발되는 각종 자연재해와 사회재난의 사전 대비와 모니터링, 체계적인 대응체계를 구축하도록 지속적으로 노력해야 할 것이다.

사사

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 주요 사업(이동형 로봇기반 재난사고 현장조사 공유 기술개발(NDMI-주요-2023-06-02), 다중위성기반 재난위험 추적형 위성정보 융합분석 기술개발(NDMI-주요-2023-03-03))으로 수행되었습니다. 특히, 본 사설에 소개된 국립재난안전연구원의 재난원인조사실과 재난정보연구실 저자들에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Cha, S., Won, M., Jang, K., Kim, K., Kim, W., Baek, S., and Lim, J., 2022. Deep learning-based forest fire classification evaluation for application of CAS500-4. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-1), 1273-1283. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.22>
- Choi, S. H., Son, J. Y., Kim, M. S., Yoon, H., Ryu, S. H., and Yoon, S. H., 2023. Research on making a disaster situation management intelligent based on user demand. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 811-825. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.6>
- Gong, S. H., Baek, W. K., and Jung, H. S., 2022. Landslide susceptibility mapping using deep neural network and convolutional neural network. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-2), 1723-1735. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.2.12>
- Han, J., Kwak, C., Kim, K., and Lee, M., 2023. Performance comparison of machine learning models for grid-based flood risk mapping. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 771-783. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.3>
- Jung, Y., Lim, E., Suk, J., Koo S., and Kim, S., 2023. Utilization of drone LiDAR for field investigation of facility collapse accident. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 849-858. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.9>
- Kang, J., Youn, Y., Kim, G., Park, G., Choi, S., Yang, C. S., Lee, Y. et al., 2022. Detection of marine oil spills from PlanetScope images using DeepLabV3+ model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-2), 1623-1631. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.2.4>
- Kim, B., Lee, K., Park, S., and Im, J., 2022. Forest burned area detection using Landsat 8/9 and Sentinel-2 A/B imagery with various indices: A case study of Uljin. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(5-2), 765-779. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.5.2.9>
- Kim, K., Lee, M., Kwak, C., and Han, J., 2023. Forest fire risk analysis using a grid system based on cases of wildfire damage in the east coast of Korean Peninsula. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 785-798. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.4>
- Kim, M., and Hyun, C. U., 2023. Oil spill monitoring in Norilsk, Russia using Google Earth Engine and Sentinel-2 data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(3), 311-323. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.3.5>
- Kim, Y., Lee, S. B., Kim, J., and Park, Y., 2017. Disaster management using high resolution optical satellite imagery and case analysis. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 17(3), 117-124. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.3.117>
- Koh, S., Baek, S., Lim, T., Jeon, G.-S., Jeong, Y., Kim, P., Kim, W. et al., 2022. Analysis on optical and water quality measurements for red tide waters. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-1), 1541-1555. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.15>

6.1.41

- Koo, S., Lim, E., Jung, Y., Suk, J., and Kim, S., 2023. Study on applicability of cloth simulation filtering algorithm for segmentation of ground points from drone LiDAR point clouds in mountainous areas. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 827-835. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.7>
- Lee, D. K., Kim, J. S., Pyo, K. S., and Kim, M., 2023. Analysis of population mobility characteristics based on emergency disaster message content: Focus on the 2022 wildfires in Donghae city and Miryang city. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 799-810. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.5>
- Lim, E., Jung, Y., and Kim, S., 2023. Accuracy assessment of environmental damage range calculation using drone sensing data and vegetation index. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 837-847. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.8>
- Lim, J., 2015. Current status and challenges of overseas high-resolution land observation satellite image information. *Monthly Land*, 407, 40-47.
- Ministry of Interior and Safety, 2023a. Comprehensive national safety system reform measures. Available online: <https://www.mois.go.kr/fit/sub/a05/reSafetySystem/screen.do> (accessed on Oct. 14, 2023).
- Ministry of Interior and Safety, 2023b. Pan-government to improve disaster management system against climate change. Available online: <https://www.mois.go.kr/fit/sub/a05/reSafetySystem/screen.do> (accessed on Oct. 14, 2023).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023. National land observation satellite imagery, use it easily and conveniently. Available online: http://molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=1&id=95088845 (accessed on Oct. 14, 2023).
- Park, G., Kang, J., Choi, S., Youn, Y., Kim, G., and Lee, Y., 2022. Detection of active fire objects from drone images using YOLOv7x model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-2), 1737-1741. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.2.13>
- Park, J., Lee, D., Lee, J. Cheon, E., and Jeong, H., 2023. Study on disaster response strategies using multi-sensors satellite imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5-2), 755-770. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.2.2>
- Ryu, J. H., Ahn, H., Na, S. I., Lee, B., and Lee, K., 2022. Evaluation of NDVI retrieved from Sentinel-2 and Landsat-8 satellites using drone imagery under rice disease. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-1), 1231-1244. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.19>
- Vadivel, S. K. P., Kim, D., Lee, J., Song, J., and Kim, J., 2022. Urban subsidence monitoring in Ulsan city using GACOS based tropospheric delay corrected time-series SBAS-InSAR technique. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-1), 1081-1089. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.9>
- Wikipedia, 2023. 2023 summer Korean peninsula heavyrainfall. Available online: https://ko.wikipedia.org/wiki/2023_summer_Korean_peninsula_heavy_rainfall (accessed on Oct. 14, 2023).
- Yu, J. W., Yoon, Y. W., Lee, E. R., Baek, W. K., and Jung, H. S., 2022. Flood mapping using modified U-NET from TerraSAR-X images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-2), 1709-1722. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.2.11>