





Editorial

## 원격탐사와 GIS를 이용한 지구환경재해 관측과 관리 기술 현황

양민준 <sup>1)</sup> · 김재진 <sup>2)</sup> · 한경수 <sup>3)</sup> · 김진수 <sup>4)</sup>†

### Remote Sensing and GIS for Earth & Environmental disasters: The Current and Future in Monitoring, Assessment, and Management

Minjune Yang <sup>1)</sup> · Jae-Jin Kim <sup>2)</sup> · Kyung-soo Han <sup>3)</sup> · Jinsoo Kim <sup>4)</sup>†

**Abstract:** Natural and environmental disasters are recently increasing in frequency and complexity worldwide due to the rapid expansion of overpopulation, industrialization, and urbanization. Thus, analyzing past critical events/disasters in deep and preparing for future disasters in terms of risk identification, assessment and management are imperative requirements. In this special issue, we introduce several interesting studies covering disaster risk management and observation technologies for the heat waves, particulate matters, floods, drought, and earthquake using remote sensing and GIS performed by i-SEED (School of Integrated Science for Sustainable Earth & Environmental Disaster at Pukyong National University). We expect that the results of this special issue provide comprehensive information on the risk management and damage prevention of natural and environmental disasters and offer guidance on the application to future disasters to reduce their risks and impacts.

**Key Words:** Remote sensing, GIS, Disasters, i-SEED

**요약:** 최근 전세계적 자연재해는 도시화, 산업화 및 인구 증가로 인해 대형·복합화 되고있으며, 특히 기후변화로 인한 대규모 자연재해의 발생 건수가 급속도로 증가하고 있다. 따라서, 심층 분석을 통한 과거 재해에 대한 이해와 향후 발생 가능한 재해의 피해 범위 감소 및 위험성 평가에 관한 연구가 절실히 필요한 실정이다. 본 특별호는 자연재해·재난분야를 대상으로 원격탐사와 GIS를 이용한 관측과 관리 기술에 관련한 연구들을 살펴 보고, 최근 부경대학교 i-SEED 지구환경교육연구단에서 진행하고 있는 폭염, 미세먼지, 홍수, 가뭄, 지진에 관련한 연구 내용 및 결과를 소개하고자 한다. 이러한 연구결과는 자연재해로 인한 피해 완화 및 향후 자연재해를 대비한 사전 예방과 사후 관리에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Received December 21, 2021; Revised December 21, 2021; Accepted December 21, 2021; Published online December 29, 2021

<sup>1)</sup> 부경대학교 지구환경과학과 조교수 (Assistant Professor, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University)

<sup>2)</sup> 부경대학교 환경대기과학과 정교수 (Professor, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University)

<sup>3)</sup> 부경대학교 공간정보시스템공학과 정교수 (Professor, Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University)

<sup>4)</sup> 부경대학교 공간정보시스템공학과 부교수 (Associate Professor, Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University)

† Corresponding Author: Jinsoo Kim (jinsookim@pknu.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

전 세계적으로 기후변화로 인한 자연재해 피해가 증가하고 있으며 자연재해의 형태는 점차 대형화, 복합화되고 있어 각종 재난으로부터 국민 안전 기본권 확보를 위한 과학기술의 역할은 증대되고 있다. 통계에 따르면 1980년에서 2015년 사이 약 35년 동안 전 세계적으로 자연재해 발생건수는 2배 이상 증가하였으며 기후변화로 인한 자연재해의 발생건수가 지질학적 재해발생건수보다 훨씬 더 빨리 증가하고 있는 것으로 나타났다(Mayhorn and McLaughlin, 2014; EMDAT, 2021).

이러한 추세는 도시화와 산업화의 증가, 인구 증가, 기후변화에 의해 지속될 수 있으며, 자연재해에 의한 피해를 최소화하기 위한 발생 특성, 위험 저감 방법 등에 관한 연구와 기술개발의 필요성이 증대되고 있다(Shen *et al.*, 2018). 우리나라의 경우 국지성 호우, 태풍 규모 증가, 연속적인 지진, 싱크홀, 미세먼지, 원자력관련시설 해체 등 국민들의 일상생활에 밀접한 자연재해 및 사회재난 문제들이 증가하고 있으며(MPSS, 2015), 재해 및 재난에 취약한 지역을 찾아내어 방재 대책과 계획을 마련하는 것이 지속가능한 발전을 위한 중요한 요소라고 할 수 있겠다.

4차 산업혁명 시대의 도래에 따라 지구환경재해 분야에서는 기존 정보통신기술과 환경센서 네트워크를 이용한 지구통합환경 모니터링 기술인 Smart Earth 기술을 적용하여 피해 규모를 최소화하기 위한 시도들이 국가별로 추진되고 있다(Bakker and Ritts, 2018). 미국의 국가 과학기술위원회 산하 SDR (Subcommittee on Disaster Reduction)은 자연재해에 의한 피해를 줄이기 위한 기초 연구와 4차 산업 혁명과 연계한 응용 기술 개발에 초점을 맞추고 있다(SDR, 2018). EU는 심각한 자연재해에 대응하여 『EU Horizon 2020 사업』을 시행하였으며 우수과학성(Excellence Science), 산업리더십 강화(Industrial Leadership), 사회적 과제 해결(Science Challenges)을 3대 중요과제로 선정하고 자연사회재난대응 기술 연구(DARWIN, RASOR 프로젝트), 재난구조구난 로봇 기술 연구(Centauro, TRADR, NIFT 프로젝트) 등의 다양한 프로젝트를 추진 중에 있다(MOTIE, 2019). 또한, 유럽의 사회안전 유지를 위한 지구관측 위성을 개발하고 정보를 활용하는 코페르니쿠스 프로젝트를 실시 중이다.

가까운 이웃 나라 일본은 4차 산업혁명을 계기로 사회적 과제 대응, 기술 간 융합 등으로 과학기술 정책 패러다임이 변화하고 있으며, 빈번히 발생하는 지진, 태풍, 홍수와 같은 자연재해 연구 분야에 집중 투자를 하고 있다(Mimura *et al.*, 2011; Yoon *et al.*, 2016; Kumasaki and King, 2020).

우리나라의 경우 2018년 행정안전부에서 발표한 보고서에 의하면 한국의 재난 안전 기술 수준은 선진국 대비 73.5% 수준으로 평가하고 있으며, 최근 재난 환경 변화에 따라 4차 산업혁명 기반 첨단기술과 접목한 재난 안전 기술 선진화와 재난 대응관리 스마트화에 초점을 맞추고 있다(MOIS, 2020). 이렇듯 전 세계적으로 많은 연구자들이 자연 재해에 대한 피해를 최소화하기 위해 과거에 발생한 재해 이벤트에 대한 정보를 수집하고 향후 일어날 수 있는 재해에 대한 피해 범위와 영향을 평가하는 연구들을 활발히 진행하고 있으며, 더 나아가 자연재해 예측을 통해 재해 사후 관리 뿐만 아닌 사전 예방 및 완화 전략 수립에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.

이번 특별호에서는 원격탐사와 GIS를 이용한 지구환경재해 관측과 관리 기술에 대한 연구들을 돌아보고, 최근 부경대학교 i-SEED 지구환경교육연구단에서 진행하고 있는 지구환경재해 관련 연구 내용과 결과를 소개하고자 기획되었다. 이번 특별호에서는 인공지능을 활용한 연구동향 분석 1편, 미세먼지와 관련된 논문 5편, 지진, 폭염, 가뭄, 홍수와 같은 지구환경재해 관리·관측에 대한 논문 5편으로 총 11편으로 구성되어 있으며, 이와 같은 국내 자연재해 관측과 관리 기술에 대한 정보 공유를 통해 재해 예방 및 피해 저감 기술 발전에 기여하고자 한다.

## 2. 원격탐사와 GIS를 이용한 지구환경재해 관측과 관리 기술 현황

먼저 연구동향 분석으로 Kim *et al.* (2021a)은 대한원격탐사학회지의 창간년도인 1985년 1권 1호부터 2021년 37권 3호까지 총 37년간 출판한 논문 1,847편을 대상으로 대한원격탐사학회지의 전반적인 연구동향과 자연·환경재해분야의 연구동향을 확인하기 위해 Latent Dirichlet Allocation (LDA) 모델을 적용하여 연구주제를 분류하

고, 연구주제별 동향을 확인하였다. 전체 논문을 대상으로 LDA를 수행한 결과 4개의 연구주제(‘극권’, ‘수권’, ‘지권’, ‘기권’)로 분류할 수 있었으며, 시간에 따라 ‘기권’에 관한 연구들이 활발하게 수행되었음을 확인하였다. 전체 논문 중 자연·환경재해분야를 대상으로 LDA를 수행한 결과 총 7개(‘해양 오염’, ‘대기 오염’, ‘화산재해’, ‘산불’, ‘홍수’, ‘가뭄’, ‘폭우’)의 연구주제로 분류할 수 있었으며, 특히 ‘대기 오염’과 관련된 연구들이 활발하게 수행되었음을 확인하였다. 이러한 결과는 국내 원격탐사 및 GIS 분야의 연구주제 분류 및 연구동향을 확인하는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

특별호 논문 중 5개의 논문은 미세먼지(particulate matter, PM)를 대상으로 다양한 연구들이 수행되었다. Son and Kim (2021a)은 수도권(서울특별시, 경기도, 인천광역시)을 대상으로 대기 오염도 물질, 위성 기반의 aerosol optical depth (AOD), 기상인자 등의 자료를 이용하여 수도권의 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 농도를 예측하기 위한 연구를 수행하였다. PM<sub>2.5</sub> 농도 예측을 위해 기계 학습 모델 중 random forest (RF) 모델을 이용하였으며, 통계 지표(R<sup>2</sup>, RMSE, MAE, MAPE)를 산출하여 모델을 평가한 결과 매우 높은 정확도를 보였다. 수도권 대상으로 구축된 RF 모델에 시도별 데이터셋을 적용한 결과 시도별 모델 정확도 및 예측 정확도가 수도권과 비슷하게 나타났다. 또한 Son and Kim (2021b)은 수도권(서울특별시, 경기도, 인천광역시) 내 소재한 9곳의 초·중·고등학교를 대상으로 학교 PM<sub>2.5</sub> 농도를 예측하고 학교별 초미세먼지 범주화를 수행하였다. RF 모델에 10-fold cross validation과 grid-search method를 적용하여 PM<sub>2.5</sub> 농도를 예측하였으며, 도시대기 측정망과 4가지 통계 지표를 이용하여 정확도를 평가하였다. 학교 PM<sub>2.5</sub> 농도 예측 결과, 4가지 통계 지표(R<sup>2</sup>, RMSE, MAE, MAPE) 모두 높은 정확도로 나타났다. 또한, 환경부 24시간 평균치(35 µg/m<sup>3</sup>)를 초과하는 일자의 비율을 이용하여 느슨한 기준(Loose standard)과 엄격한 기준(Strict standard)으로 구분하여 각각 6가지 유형으로 학교 범주화를 수행하였다. 느슨한 기준의 경우, 유형 2(5-10%)에 가장 많은 학교가 포함되었으며, 다음으로 유형 3(10-15%)에 포함되었다. 엄격한 기준의 경우에는 유형 3(6-10%)과 4(10-14%)에 가장 많은 학교가 포함되었다. 이러한 결과를 통해 RF 모델을 이용한 수도권 미세먼지 범주화 결과

도출에 기초자료로서 가치가 있을 것으로 기대된다. Park *et al.* (2021)은 부산지역을 대상으로 봄철과 여름철(2020년 3-8월) 대기 중 미세먼지 농도 및 강우 특성을 정량화하고 다변량 통계분석을 이용하여 계절(봄, 여름) 특성에 따른 대기 중 PM 농도가 강우 수질에 미치는 영향을 평가하였다. 연구 결과, 계절 특성에 따라 대기 중 PM과 강우간 상관성이 상이하게 나타났다. 대기 중 PM<sub>10</sub> (34.11 µg/m<sup>3</sup>) 농도 및 PM<sub>2.5</sub> (19.23 µg/m<sup>3</sup>) 농도가 높고 강우 강도가 낮은 봄철의 경우, 대기 중 PM<sub>10</sub> 농도가 빗물 수질의 pH는 감소시키고 EC 및 수용성 이온의 농도를 증가시키는 요인으로 작용하였다. 반면, 상대적으로 대기 중 PM<sub>10</sub> (27.79 µg/m<sup>3</sup>) 농도 및 PM<sub>2.5</sub> (17.41 µg/m<sup>3</sup>) 농도가 낮고 강우 강도가 높은 여름철에는 PM<sub>10</sub> 농도가 빗물 수질에 미치는 영향을 규명할 수 없었다. 본 연구 결과를 통해 봄철과 여름철 대기 중 미세먼지가 강우 수질에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며, 강우로 인한 대기 중 미세먼지 저감과 빗물 수질 관리를 위한 환경정책 수립에 도움이 될 것으로 사료된다. Wang *et al.* (2021)은 수원시의 미세먼지 농도와 기상인자, 도시공간정보 간의 상관성을 분석하기 위해 다양한 탐사 자료를 비교·분석하였다. 최근 10년(2011-2020년) 동안 기상관측소(automated synoptic observing system, ASOS)의 풍속, 풍향, 기온자료와 도시대기측정소(air quality monitoring system, AQMS) 및 도로변대기질측정소(road air quality monitoring system, RAQMS)의 미세먼지 농도 측정자료를 이용하였으며, 수치지형도와 토지피복지도를 이용하여 측정소 주변 도시매개수(건물부피비, 도로면적비)를 산출하여 분석하였다. 분석결과 수원시 기상자료의 연변동 경향은 뚜렷하지 않았고, 기상인자 중 기온과 PM<sub>2.5</sub> 농도가 계절적 특성에 의해 약한 음의 상관관계를 보였다. 도시매개수와 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>의 상관성 분석 결과 PM<sub>10</sub> 농도는 상관성이 보이지 않았으나, PM<sub>2.5</sub> 농도는 강한 양의 상관관계를 보였다. 즉, PM<sub>10</sub> 농도는 도로 배출이나 건물에 의한 지상 풍속 감소의 영향보다는 외부로부터 유입 영향을 더 크게 받는 것으로 분석되지만, PM<sub>2.5</sub> 농도는 국지적인 배출이나 건물에 의한 풍속 감소의 영향을 더 크게 받는 것으로 판단되었다. 이러한 연구 결과를 통해 수원시의 미세먼지 농도 특성과 기상인자, 도시공간정보, 미세먼지 농도 간 상관관계를 확인할 수 있었다. Kim *et al.* (2021b)은 2015년부터

2020년 6월까지 측정된 532 nm와 1064 nm의 후방산란계수와 532 nm의 편광소멸도를 이용하여 입자 크기( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5-10}$ ,  $PM_{2.5}$ )에 따른 질량소산효율(Mass Extinction Efficiency, MEE)를 산출하였다. 산출 결과, MEE의 전체 평균값은  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5-10}$ ,  $PM_{2.5}$  중  $PM_{2.5}$ 가 가장 높은 값을 나타내었으며, 미세먼지의 질량 농도에 따른 MEE 값은  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 에서 질량 농도가 낮을수록 MEE가 높아지는 것으로 보고하였다.  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비와의 연관성을 확인한 결과,  $PM_{2.5}/PM_{10}$  비가 높아질수록  $PM_{2.5-10}$ 의 MEE는 황사의 영향으로 낮아지고,  $PM_{2.5}$ 의 MEE는 오염입자의 영향으로 높아지는 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 황사비(RD)를 통한 에어로졸 유형별로 MEE를 산출하였을 때,  $PM_{2.5-10}$ 는 황사의 영향으로 PA (pollution aerosol)가 PDM (pollution-dominated mixture), DDM (dust-dominated mixture), PD (pure dust)보다 두 배 정도 높은 값을 나타내었으나,  $PM_{2.5}$ 의 MEE는 RD의 구분없이 비슷한 경향을 보였다.  $PM_{10}$ 의 경우, RD값이 낮아질수록 MEE가 증가하는 것으로 보고하였다. 이러한 연구 결과는 향후 원격탐사 관측을 통한 미세먼지 질량 농도 산출의 기초자료로 활용될 수 있으며, MEE는 미세먼지 단위 질량 당 소산 정도를 확인할 수 있는 자료로서 국내 미세먼지 특성 변화 연구에 도움이 될 것으로 사료된다.

그 밖의 특별호 게재논문들은 원격탐사 자료를 활용하여 지질 및 수문학적 자연재해를 대비하기 위한 연구들을 다루었다. 지진재해 발생의 주요 원인인 활성단층의 특성을 이해하기 위해 선형구조분석에 다양한 원격탐사 기법이 폭넓게 활용되고 있으며(Choi *et al.*, 2017; Choi *et al.*, 2019; Oh, 2019; Oh and Kim, 2019), Gwon *et al.* (2021)은 활성단층 조사에 활용되는 위성원격탐사, 항공원격탐사, InSAR, LiDAR, GIS 방법의 장단점과 최근 연구동향에 대해 소개하였다. 그 결과, 위성원격탐사의 경우 넓은 지역을 동시 촬영, 주기적 촬영이 가능하나 해상도가 떨어진다는 단점이 있다. 항공사진의 경우 훼손된 지형모습을 관찰할 수 있지만, 수치영상 추출과정에서 오차가 발생하는 단점이 있었다. 따라서 항공사진에 InSAR 기법을 활용했을 때 지표파열이 없는 매복단층에 의한 변형과 작은 규모의 지표변형을 확인할 수 있으며, 항공 LiDAR 기반 DEM (Digital elevation model)을 활용한다면 수목을 제거하여 원지형을 확인할 수 있

으나, 비용이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 최근 원격탐사 연구에선 시간과 비용을 줄이기 위해 GIS를 기반으로 한 넓은 지역의 DEM 자료를 활용하고 있다. 이는 단일 프로파일과 경사변화를 결합하여 지형 분석을 할 때 지표파열을 더 명확하게 분류할 수 있고, 위성영상, 항공 LiDAR 또는 UAV를 GIS와 활용한다면 주향이동단층의 변위량을 정밀하게 측정할 수 있음을 보여주었다. 따라서 여러가지 원격탐사 방법의 특성, 장단점을 이해하고 상황과 목적에 맞는 적절한 방법을 선택해야 함을 시사하였다. 자연재해 관리·관측기술의 활용 방안으로 Byeon *et al.* (2021)은 위성별 구름 탐지 자료의 차이를 비교하기 위해 기상청(GK-2A/AMI) 및 극궤도(Terra/MODIS, Suomi-NPP/VIIRS) 위성 자료를 기반으로 계절별 구름 탐지 결과의 차이점을 분석하였다. 적설에 의해 발생 가능한 구름탐지 기법의 정확도 평가를 위해 적설이 존재하는 1월과 존재하지 않는 4월을 각각 연구 기간으로 설정하였다. 기상청 및 극궤도 위성 자료 간 비교분석 결과, 4월(mean proportion correct: 87.5%)이 1월(mean proportion correct: 74.7%)보다 큰 차이 없이 구름을 탐지하였으며, 얇은 구름이나 적설이 존재하는 경우에는 결과값이 다소 차이를 보였다. 본 연구 결과를 통해 위성별 구름탐지 자료들을 정량 및 정성적으로 평가하였으며, 향후 기후환경 및 수문학적 재해 예측을 위한 위성탐사 자료 활용에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. Kang *et al.* (2021)은 도시열섬, 폭염 재해 저감을 위한 도시계획 및 정책수립의 기초자료로 수원시 전역을 대상으로 바람길을 조사하였다. 최근 10년간 수원 중관 기상관측소(ASOS 119)에서 측정된 평균 풍속을 이용하여 16방위의 유입 풍향에 대해 지리정보시스템(GIS)과 전산유체역학(CFD) 모델을 이용하여 수치 모의를 수행하였다. 연구결과 1) 서풍이 불때 수원시 북부 지역(장안구)의 높은 산악 지형의 영향으로 복잡한 흐름이 형성되고, 2) 서부 및 남부(권선구)의 경우, 산 사이 일부 지역에서 곡간풍이 형성되어 풍속이 강한지역이 나타났으며, 3) 수원시 중부 및 동부 지역(팔달구, 영통구)의 경우 건물이 밀집되어 있는 도시 지역에서 마찰과 흐름 차단 효과로 인해 풍속이 감소하고, 복잡한 흐름장이 형성되는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 수원시 바람길 조성 사업 계획 시 기초자료로 사용될 수 있으며, 도시계획을 통한 열섬 및 폭염 재해현상 해소에 도움이 될

것으로 사료된다. 원격탐사 자료를 활용한 가뭄재해 연구로 Won *et al.* (2021)은 남한을 대상으로 강수량 및 기준 증발산량(Reference Evapotranspiration,  $E_o$ )에 대한 원격탐사 자료와 관측자료 사이의 상관성 분석을 수행하였으며, Receiver Operating Characteristics (ROC) 분석과 가뭄지수(SPI, EDDI 및 SPEI)를 이용하여 다양한 측면의 가뭄을 모니터링하기 위한 원격탐사 자료의 활용 가능성을 평가하고자 하였다. 연구 결과, 강수량의 원격탐사(Remote sensing, RS) 자료와 관측자료는 서로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났으나,  $E_o$ 는 다양한 기후변수들의 불확실성으로 인해 RS 자료와 관측자료의 상관성이 낮게 나타났다. 가뭄 모니터링을 위한 RS 자료의 활용성은 과거 가뭄 재현 능력으로 평가되었으며 관측자료와 비교하였을 때 RS 기반의 가뭄지수들은 대부분 유사한 성능을 보이는 것으로 판단되었다. 고해상도를 가지는 원격탐사자료를 적용한다면 광범위하게 발생하는 가뭄의 상황을 정확하게 판단할 수 있는 모니터링 체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다. 도시화로 인한 도시홍수 예방을 위해 Heo *et al.* (2021)은 부산광역시 연제구 관측공의 지하수위 자료와 강수량 자료를 대상으로 교차상관분석(Cross-correlation function, CCF)과 이동평균분석법(Moving average method, MA)을 수행하여 지하수위와 강수량 간 지연시간을 산정하였으며, GIS를 활용하여 토지피복형태와 지하수위와 강수량 간 지연시간의 상관관계를 규명하였다. 연구결과 관측공 반경 250 m 내 토지피복형태가 도심영향의 불투수층이 71-96%로 높게 나타난 GW01, GW03, GW05 관측공들은 CCF: 42-71일, MA: 148-161일로 긴 지연시간을 보였으며, 식생영향의 투수층이 65%로 높게 나타난 GW04 관측공은 CCF: 4일, MA: 67일로 짧은 지연시간이 나타났다. 연구 결과를 통해 토지피복형태에 따른 강수량과 지하수위의 지연시간을 규명함으로써 도시홍수와 같은 수자원 고갈 문제 예방을 위한 관리계획의 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

지금까지 본 특별호에서는 원격탐사와 GIS를 활용한 국내 자연재해 관측 관리 기술 및 활용과 관련된 연구에 대해서 간략하게 소개하였다. 자연재해 관측 및 관리 기술은 재난으로부터 국민 안전 기본권 확보를 위한 필수적인 과학기술이기 때문에, 최첨단 정보통신기술과 환경 센서 네트워크를 이용한 지구통합형 모델의 활

용을 위한 연구가 계속해서 수행될 것이다. 따라서 지속적인 특별호 발간을 통하여 미래지향적인 연구 결과가 다양한 분야의 연구자들에게 공유될 수 있기를 희망한다.

## 사사

이 연구는 4단계 BK21사업 i-SEED 지구환경교육연구단의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Bakker, K. and M. Ritts, 2018. Smart Earth: A meta-review and implications for environmental governance, *Global Environmental Change*, 52: 201-211.
- Byeon, Y., S. Choi, D. Jin, N.-H. Seong, D. Jung, S. Sim, J. Woo, U. Jeon, and K.-S. Han, 2021. Quality evaluation through Inter-Comparison of Satellite Cloud Detection products in East Asia, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1829-1836 (in Korean with English abstract).
- Choi, J.H., Y.S. Kim, and Y. Klinger, 2017. Recent progress in studies on the characteristics of surface rupture associated with large earthquakes, *Journal of the Geological Society of Korea*, 53(1): 129-157 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.J., Y.S. Ghim, Y. Cheon, and K. Ko, 2019. The first discovery of Quaternary fault in the Western part of the South Yangsan fault-Sinwoo site, *Economic and Environmental Geology*, 52(3): 251-258 (in Korean with English abstract).
- EM-DAT | The International Disaster Database, 2021. <https://www.emdat.be>, Accessed on Dec. 17, 2021.
- Gwon, O., S. Bae, H. Son, K. Park, H.-S. Choi, S.-K. Lee, and Y.-S. Kim, 2021. A review on remote sensing techniques and case studies for active fault investigation, *Korean Journal of Remote*

- Sensing*, 37(6-2): 1901-1922 (in Korean with English abstract).
- Heo, J., T. Kim, H. Park, T. Ha, H. Kang, and M. Yang, 2021. A study of a correlation between groundwater level and precipitation using statistical time series analysis by land cover types in urban areas, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1819-1827 (in Korean with English abstract).
- Kumasaki, M. and M. King, 2020. Three cases in Japan occurred by natural hazards and lessons for Natech disaster management, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51: 101855.
- Kim, T., H. Park, J. Heo, and M. Yang, 2021a. A Study on the Research Topics and Trends in Korean Journal of Remote Sensing: Focusing on Natural and Environmental Disasters, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1869-1880 (in Korean with English abstract).
- Kim, T., S. Joo, G. Kim, and Y. Noh, 2021b. The Study of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> Mass Extinction Efficiency Characteristics Using LIDAR Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1793-1801 (in Korean with English abstract).
- Kang, G., M.-J. Kim, J.-E. Kang, M. Yang, S.-H. Choi, E. Kang, and J.-J. Kim, 2021. A Study on the Surface Wind Characteristics in Suwon city using a GIS Data and a CFD Model, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1837-1847 (in Korean with English abstract).
- Mayhorn, C.B. and A.C. McLaughlin, 2014. Warning the world of extreme events: A global perspective on risk communication for natural and technological disaster, *Safety science*, 61: 43-50.
- MPSS (Ministry of Public Safety and Security), 2015. *2015 Yearbook of Disaster*, Ministry of Public Safety and Security, Sejong, KOR.
- Mimura, N., K. Yasuhara, S. Kawagoe, H. Yokoki, and S. Kazama, 2011. Damage from the Great East Japan Earthquake and Tsunami-a quick report, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(7): 803-818.
- MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), 2019. *Horizon Europe (2021-2027)*, Ministry of Trade, Industry and Energy, Sejong, KOR.
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety), 2020. *4th National Safety Management Master plan*, Ministry of the Interior and Safety, Sejong, KOR.
- Oh, J.-S., 2019. High-resolution DEM Generation of High-relief Landforms Using UAV Its Application of Geomorphic Analysis, *Journal of Photo Geography*, 29(2): 115-127 (in Korean with English abstract).
- Oh, J.S. and D.E. Kim, 2019. Lineament extraction and its comparison using DEMs based on LiDAR, digital topographic map, and aerial photo in the central segment of Yangsan Fault, *Journal of the Korean Geographical Society*, 54(5): 507-525 (in Korean with English abstract).
- Park, H., T. Kim, J. Heo, and M. Yang, 2021. Analysis of correlation between particulate matter in the atmosphere and rainwater quality during spring and summer of 2020, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1859-1867 (in Korean with English abstract).
- SDR (subcommittee on disaster reduction), 2018. <https://www.sdr.gov>, Accessed on Dec. 17, 2021.
- Shen, G., L. Zhou, Y. Wu, and Z. Cai, 2018. A global expected risk analysis of fatalities, injuries, and damages by natural disasters, *Sustainability*, 10(7): 2573.
- Son, S. and J. Kim, 2021a. Vulnerability Assessment for Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) in the Schools of the Seoul Metropolitan Area, Korea: Part I – Predicting Daily PM<sub>2.5</sub> Concentrations, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1881-1890 (in Korean with English abstract).
- Son, S. and J. Kim, 2021b. Vulnerability Assessment for Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) in the Schools of the Seoul Metropolitan Area, Korea: Part II – Vulnerability Assessment for PM<sub>2.5</sub> in the Schools,

- Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1891-1900 (in Korean with English abstract).
- Won, J., Y.-S. Son, S. Lee, L. Kang, and S. Kim, 2021. Evaluation of Utilization of Satellite Remote Sensing Data for Drought Monitoring, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1803-1818 (in Korean with English abstract).
- Wang, J.-W., S.-C. Han, D.-S. Mun, M. Yang, S.-H. Choi, E. Kang, and J.-J. Kim, 2021. A study on the characteristics of the atmospheric environment in Suwon based on GIS data and measured meteorological data and fine particle concentrations, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-2): 1849-1858 (in Korean with English abstract).
- Yoon, B., J. Lee, and Y. Kim, 2016. Trend on the International & Domestic of Solution for Social Issues based on Satellite Information, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 14(1): 183-190 (in Korean with English abstract).