





Editorial

최신 원격탐사 기법을 이용한 지구환경 모니터링 및 예측

박선영 ¹⁾ · 송아람 ²⁾ · 이양원 ³⁾ · 임정호 ^{4)*}

Environmental Monitoring and Forecasting Using Advanced Remote Sensing Approaches

Seonyoung Park ¹⁾ · Ahram Song ²⁾ · Yangwon Lee ³⁾ · Jungho Im ^{4)*}

Abstract: As satellite technology progresses, a growing number of satellites—like CubeSat and radar satellites—are available with a higher spectral and spatial resolutions than previous. National initiatives used to be the main force behind satellite development, but current trends indicate that private enterprises are also actively exploring and developing new satellite technologies. This special issue examines the recent research results and advanced technology in remote sensing approaches for Earth environment analysis. These results provide important information for the development of satellite sensors in the future and are of great interest to researchers working with artificial intelligence in this field. The special issue introduces the latest advances in remote sensing technology and highlights studies that make use of data to monitor and forecast Earth’s environment. The objective is to provide direction for the future of remote sensing research.

Keywords: Remote sensing, Satellite, Satellite application, Deep learning, Artificial intelligence

요약: 인공위성의 발전과 함께 초소형 위성, 레이더 위성 등 이전보다 높은 시공간 해상도와 분광 해상도를 제공하는 위성들이 많아지고 있다. 이전에는 국가 단위의 위성개발이 주를 이루었지만 최근에는 민간기업에서도 위성을 개발하고 활용하는 연구들을 꾸준히 진행하고 있다. 본 특별호에서는 우리나라에서 수행되는 최신 원격탐사 기법 기반의 지구환경 분석에 대한 연구 및 기술개발 동향을 확인할 수 있다. 연구결과를 통해 추후 위성센서 개발을 위한 기초자료가 될 수 있으며 인공지능을 이용하는 연구자들에게 도메인에 대한 연구정보

Received October 31, 2023; Accepted November 1, 2023; Published online November 3, 2023

¹⁾ 서울과학기술대학교 인공지능응용학과 조교수(Assistant Professor, Department of Applied Artificial Intelligence, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea)

²⁾ 경북대학교 위치정보시스템학과 조교수(Assistant Professor, Department of Location-Based Information System, Kyungpook National University, Sangju, Republic of Korea)

³⁾ 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 교수(Professor, Department of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

⁴⁾ 울산과학기술원 지구환경도시건설공학과 교수(Professor, Department of Civil Urban Earth and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, Republic of Korea)

* Corresponding author: Jungho Im (ersgis@unist.ac.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.

를 제공할 수 있다. 이번 특별호에서는 최신 원격탐사 기법을 이용하여 지구환경을 모니터링하고 예측하는 연구들에 대한 소개를 중심으로 최근 원격탐사 분야의 기술 동향을 안내한다. 이를 통해 앞으로 원격탐사 분야에서 나아가야 할 방향을 확인하고자 한다.

주요어: 원격탐사, 위성, 위성 활용, 딥러닝, 인공지능

1. 서론

위성 원격탐사의 경우 이전에는 국가 단위의 위성개발과 활용이 주를 이루었지만 최근에는 민간기업에서도 위성을 개발하고 활용하는 연구들이 진행되고 있다. 특히, 초소형 위성의 개발과 활용이 민간 기업에서 활발하게 이루어지고 있다. 초소형 위성의 경우 기존 중형급 위성과 비교하였을 때, 개발비용이 저렴하다는 장점을 갖고 있으며, 위성의 크기가 작아 여러 대를 한 번에 발사할 수 있다는 장점 또한 갖고 있다. 그 중 대표적인 초소형 위성은 Planet으로 현재 약 200개 수준의 위성이 군집을 이루어 전 지구를 매일 1회 수준으로 촬영하고 있다.

인공위성의 발전과 함께 초소형 위성, 레이더 위성 등 이전보다 높은 시공간 해상도와 분광 해상도를 제공하는 위성들이 많아지고 있다. 위성의 개발과 함께 탑재체의 성능도 크게 발전되어왔다. 기존보다 더 높은 해상도의 영상을 제공하게 되었으며, 더욱 높아진 분광해상도를 통해 위성에서 제공되는 다양한 물리 값들을 이용하여 보다 정확도 높은 지구환경 감시와 예측이 가능해졌다. 원격탐사 기술의 진화와 함께 인공지능 기술 또한 함께 발전하면서 위성영상 지구환경 모니터링에 다양한 인공지능 기술들이 활용되고 있다.

최근 3년동안 우리나라에서는 이와 같이 최신 원격탐사 기법을 이용한 다양한 지구환경 모니터링 및 예측 연구들이 수행되어 왔다: Google Earth Engine과 Sentinel-2 위성자료를 이용한 러시아 노릴스크(Norilsk) 지역의 기름 유출 모니터링(Kim and Hyun, 2023), 한반도 지역에서의 CO₂ 배출량과 OCO-2 XCO₂ 및 solar-induced fluorescence (SIF)의 관계성 분석(Hwang et al., 2023), 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 영상을 활용한 저수지 수표면적 탐지 알고리즘 비교(Jeong et al., 2022), Landsat 위성 영상에 Modified U-Net를 적용한 백두산 천지 얼음변화도 관측(Lee et al., 2022), 원격탐사자

료를 활용한 기상학적 가뭄 식생의 생태학적 가뭄 상태 모니터링(Won et al., 2022), 다중 위성자료와 기계학습을 이용한 고해상도 표층 염분 추정(Sung et al., 2022), Landsat 8/9 및 Sentinel-2 A/B를 이용한 울진 산불 피해 탐지(Kim et al., 2022), GOCI-II를 활용한 단기 연안지형 변화 모니터링 가능성 평가(Lee et al., 2021), U-Net 기반 딥러닝 모델을 이용한 다중시기 계절학적 토지피복 분류 정확도 분석(Kim et al., 2021), 기계학습을 활용한 동아시아 지역의 TROPOMI 기반 SO₂ 지상농도 추정(Choi et al., 2021) 등의 연구이다.

본 특별호에서는 최신 원격탐사를 이용한 지구환경 모니터링 및 예측을 주제로 총 12편의 논문이 제출되었다. 다음 장에서는 이 논문들에 대한 설명을 포함한다. 본 특별호에서 진행된 연구들을 통해 우리나라에서 수행되는 최신 원격탐사 기법 기반의 지구환경 분석에 대한 연구 및 기술개발 수준을 확인할 수 있다. 이는 추후 위성 센서 개발을 위한 기초자료가 될 수 있으며 앞으로 위성 원격탐사 분야에서 나아가야 할 방향을 확인할 수 있다.

2. 지구환경 모니터링 및 예측을 위한 최신 원격탐사 기법

최근에는 기존 임계 값 기반의 산불 탐지 알고리즘의 한계점을 보완하기 위하여 간단한 기계학습을 이용한 알고리즘(random forest, vanilla CNN, U-net)들이 제시되고 있다. Lee et al. (2023)은 정지궤도 위성인 Himawari-8 AHI를 이용하여 동아시아와 호주를 대상으로 EfficientNet과 lion optimizer를 적용하여 산불 탐지 알고리즘을 개발하였다. EfficientNet은 동아시아와 호주에서 0.88 및 0.83의 F1-score를 기록함으로써 vanilla CNN (동아시아: 0.83, 호주: 0.78)에 비해 뛰어난 성능을 입증하였다. EfficientNet에 불균형 문제 해결을 위한 weighted loss, equal sampling, image augmentation 기법 적용 시, 동아시아와 호주에서

각각 0.92와 0.84의 F1-score를 기록함으로써 적용 전에 비하여 성능이 향상되었음을 확인하였다.

Kang et al. (2023)은 추후 농림위성 활용을 위해 Sentinel-2를 대체 위성 영상으로 활용하여 복사전달모델 대기 보정을 모사하는 기계학습 기반 대기보정 알고리즘을 개발하고, 산림 지역을 위주로 검증을 수행하였다. Sentinel-2 및 GK-2A에서 추출된 대기보정 파라미터를 기반으로 light gradient boosting machine (LGBM)을 통하여 대기보정 알고리즘을 개발하고, 산림에 위치한 총 4개 지역에서의 현장 관측 자료를 이용하여 검증하였다. 1개 관측소를 제외하면 0.91 이상의 상관계수를 보이며 normalized difference vegetation index를 활용한 연간 식생 활력도의 시계열 변동을 잘 반영할 수 있음을 확인하였다.

Kim et al. (2023b)은 k-means clustering 기법을 활용하여 탄소 순환을 고려한 글로벌 해양 생태 권역(marine eco-province)을 분류·분석 하였다. 지난 20년 간(2001-2020) 위성 관측 및 재분석 자료를 활용하여 생산된 carbon-based productivity model (CbPM)의 순 일차 생산량, 입자성 유·무기 탄소, 해수면 염분 및 온도의 다섯 가지 입력 자료를 활용하였다. 총 9개의 생태 권역을 도출하였으며, 각 권역의 공간 분포와 특성을 분석하였다. 이 중 5개의 권역은 대양의 특성을, 4개의 권역은 연안 및 고위도 해역의 특성을 반영하는 것으로 나타났다. 또한, 기존에 널리 활용되는 해양 생태 권역과의 정성적 비교를 통하여 탄소 순환을 고려한 해양 생태 권역의 특징을 상세히 분석하였다. 마지막으로 과거 5년 단위의 생태 권역 변화를 분석하였으며, 연안 생태계의 빠른 변화 및 담수 유입으로 인해 생산량이 높은 생태적으로 중요한 권역의 감소를 확인하였다.

Park et al. (2023a)은 수중 촬영한 영상을 활용하여 우리나라 연안의 저서성 해양무척추동물물 대상을 You Only Look Once Version 7 (YOLOv7)과 detection transformer (DETR)를 비교평가 하였다. YOLOv7는 가장 널리 사용되는 실시간 객체탐지를 위한 딥러닝 모델이며, DETR은 트랜스포머 계열 모델이다. YOLOv7 (mAP@0.5=0.899)의 경우 DETR (mAP@0.5=0.862)보다 좋은 퍼포먼스를 보여주었다. YOLOv7의 바운딩 박스(bounding box)를 멀티스케일로 생성하는 구조이다. 따라서, 다양한 크기의 객체 탐지에서 좋은 성능을 보

여주었다. 두 모델 모두 30 frames per second (FPS) 이상의 처리속도를 보였기 때문에 수중드론 영상을 이용하였을 때, 실시간 객체탐지가 가능할 것으로 사료된다. 연구 결과는 연안어장 생태계 피해 방지 및 복원에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Lee (2023)는 분당 및 판교를 대상으로 Landsat 위성 영상을 활용하여 신도시 개발 전후의 토지피복 변화와 표면 도시열섬(surface urban heat island, SUHI) 현상을 함께 비교 및 분석하였다. 본 연구에서는 신도시 개발 진행에 따른 토지피복이 급격한 변화와 SUHI 현상의 심화를 확인하였다. 또한, 도시구조적 특징들 간의 상관 분석을 통해 각기 다른 도시계획에 의한 SUHI 현상의 차이를 확인하였다.

Song (2023)은 combined segmentation network (CSN)를 제안하고 검증하였다. CSN은 다양한 드론 데이터셋을 학습하여 의미론적 분할의 정확도를 향상시키기 위한 기법으로 데이터셋의 다양한 특성을 고려하기 위해 인코딩 영역에서 전체를 공유하며, 디코딩 영역은 독립적으로 학습된다. CSN은 학습 시 모든 데이터셋에 대한 손실 값을 고려하기 때문에 단일 데이터셋을 학습할 때 보다 학습 효율이 떨어졌으나, 국내 자율주행 드론 영상에 CSN을 적용한 결과 초기 학습 없이도 분류 성능이 일정 수준 이상인 것을 보여주었다.

대기 중 에어로졸을 모니터링하기 위해 에어로졸 광학 두께(aerosol optical depth, AOD)를 이용하여 에어로졸의 정량적인 관측을 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. AOD는 주로 위성 대기상한(top-of-atmosphere, TOA) 반사도로부터 복사 전달 모델 및 조건표를 통해 산출되는데, 이는 계산량이 많고 불확실성이 존재한다는 한계점이 있다. Yang et al. (2023)은 이러한 한계점을 극복하기 위해 정지궤도 천리안 위성 해양 탐재체(Geostationary Ocean Color Imager-II, GOCI-II)의 TOA 반사도와 각도 정보, 최소 반사도, 기상 변수 및 기타 보조 변수 등을 활용하여 직접 AOD를 추정하기 위한 기계학습 모델을 제안하였다.

기계학습 기법으로는 LGBM을 적용하였고, 지상 관측 자료인 Aerosol Robotic Network (AERONET) AOD를 활용하여 랜덤, 공간 및 시간별 N-fold 교차 검증을 통해 모델을 검증하였다. 여러 측면에서의 교차 검증 결과 R² 값이 0.70-0.81로 개발된 모델이 AOD 값을 안정

적으로 산출하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 물리 모델 기반으로 산출된 GOCI-II L2 AOD 대비 본 연구를 통해 개발된 LGBM 모델 추정 AOD 데이터 커버리지가 8.8% 가량 상승한 것을 통해 밝은 지표면에 대한 과도한 마스크 문제를 개선시키며 높은 커버리지의 고해상도(i.e., 250 m) AOD 산출이 가능함을 확인하였다.

Park et al. (2023b)은 Landsat 8 위성 영상을 활용하여 배추와 무의 수확량을 예측하는 딥러닝 모델을 제안하였다. 위성영상 기반의 식생지수 및 지표 인자들의 시계열 특성을 이용하여 효율적인 작물 수확량 예측이 가능하다. 연구에서는 Landsat 8의 다양한 자료를 활용하여 모델을 개발하고, 영상 시계열 데이터를 이용하여 CNN을 학습하여 수확량 예측을 수행했다. 연도별 교차 검증 및 조기 예측을 통해 모델의 성능을 평가하였다. 제안한 모델은 다른 모델과 비교하여 높은 수확량 예측 성능을 나타내었다. 이러한 연구 결과는 우리나라의 밭 작물 수확량 예측에 대한 기초 연구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

도시 수목은 탄소를 저장하고 불투수면적을 감소시키는 도시 생태계의 중요 요소이며, 탄소 저장량 및 순환량 선정 시 주요 정보로 활용될 수 있다. Bae et al. (2023)은 수원시를 대상으로 자료 취득이 용이한 고해상도 위성 영상인 Sentinel-2를 활용하여 기계학습 기반의 도시 내 수목 피복률(fractional tree canopy cover, FTC)을 추정하였다. Sentinel-2 시계열 영상으로부터 중앙값 합성을 수행하여 수원시 전역에 대한 단일 영상을 제작하여 활용하였다. 도시 내 토지 피복의 이질성을 반영하기 위하여, 30 m 격자내 10 m 해상도의 광학 지수의 평균 및 표준편차 값과 환경부 세분류 토지 피복 지도 기반 항목별 피복률을 계산하여 기계학습 모델의 입력 변수로 활용하였다. 광학 영상의 평균 정보만을 활용했을 때 보다 도시 내 이질적인 특성을 반영할 수 있는 표준 편차 및 피복률 정보를 모두 함께 고려했을 때 향상된 성능을 나타냈다. 검증용 자료에 대해 random forest (RF) 모델이 전체 기계학습 모델 중에서 가장 좋은 성능을 나타냈다. 본 연구의 FTC 추정 기법은 향후 다른 지역에 대한 적용성이 우수할 것으로 판단되며, 도시 생태계 탄소순환 파악의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Im et al. (2023)은 SAR 영상을 사용하여 효율적인 방법을 모색하였다. Sentinel-1 영상에 YOLOv5 모델을 적용하여 선박을 탐지하고, 편파별 개별 모델과 통합 모델의 성능 차이 및 편파별 정확도 특성을 분석하였다. YOLOv5s와 YOLOv5x 두 가지 모델에 대해 각각 편파별로 나누어 학습/검증/평가 실험과 모든 편파의 영상을 사용한 실험에서 모두 높은 정확도를 보였다. 현업에서는 가벼운 YOLO 모델을 사용하여 4개 편파를 통합한 모델이 실시간 선박 탐지에 효과적일 것으로 시사되었다. 추후 Sentinel-1 이외의 다른 SAR 영상을 추가로 활용한다면 더 유연하고 정확한 선박 탐지 모델을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

Kim et al. (2023a)은 차세대 중형위성 4호(농림위성)를 활용하기 위해 농림위성과 유사한 분광밴드를 갖는 Sentinel-2 위성영상에 대한 대기보정을 시뮬레이션 하였다. 6SV2.1 복사전달모델과 기계학습의 한 형태인 RF를 사용하여 6SV2.1을 모방한 RF 기반의 대기보정 모델을 개발한 결과, 6SV2.1로 얻은 반사도와 RF 모델로 산출된 반사도 간의 유사도가 매우 높게 나타났다.

Choi et al. (2023)은 Sentinel-1 SAR 영상을 이용하여 국내 농업용 저수지의 수표면적을 모니터링하였다. Google Earth Engine (GEE)을 활용하여 70만 톤, 90만 톤, 150만 톤급의 저수지 7군데에 대한 2017년부터 2021년까지의 데이터셋을 구축하였다. 저수지 4군데에 대한 1,283장의 영상에 대해 Swin Transformer Large (Swin-L) 모델을 5-fold 교차검증을 통해 평가하였다. Swin-L 모델은 뛰어난 의미론적 분할 성능을 나타냈다. 성능이 우수한 모델을 나머지 3개의 저수지 데이터셋에 적용하여 정확도 99% 및 mean intersection over union (mIoU) 94% 이상을 달성함을 확인하였다. 이러한 결과는 Swin Transformer 모델이 국내 농업용 저수지의 수표면적 감시에 효과적으로 활용될 수 있다는 것을 시사한다.

사사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

Conflict of Interest

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

References

- Bae, S., Son, B., Sung, T., Lee, Y., Im, J., and Kang, Y., 2023. Estimation of fractional urban tree canopy cover through machine learning using optical satellite images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 1009–1029. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.10>
- Choi, H., Kang, Y., and Im, J., 2021. Estimation of TROPOMI-derived ground-level SO₂ concentrations using machine learning over East Asia. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(2), 275–290. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.2.8>
- Choi, S., Youn, Y., Kang, J., Kim, S., Jeong, Y., Lee, Y. et al., 2023. Waterbody detection for the reservoirs in South Korea using Swin Transformer and Sentinel-1 images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 949–965. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.6>
- Hwang, Y., Kim, J., and Lee, Y., 2023. Analysis of the relationship between CO₂ emissions, OCO-2 XCO₂ and SIF in the Korean Peninsula. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(2), 169–181. <http://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.2.4>
- Im, Y., Youn, Y., Kang, J., Kim, S., Jeong, Y., Choi, S., Seo, Y., and Lee, Y., 2023. Ship detection from SAR images using YOLO: Model constructions and accuracy characteristics according to polarization. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 997–1008. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.9>
- Jeong, H., Park, J., Lee, D., and Lee, J., 2022. A comparative study of reservoir surface area detection algorithm using SAR image. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6–3), 1777–1788. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.3.3>
- Kang, Y., Kim, Y., Im, J., and Lim, J., 2023. Machine learning-based atmospheric correction based on radiative transfer modeling using Sentinel-2 MSI data and its validation focusing on forest. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 891–907. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.2>
- 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, J., Song, Y., and Lee, W., 2021. Accuracy analysis of multi-series phenological landcover classification using U-Net-based deep learning model - Focusing on the Seoul, Republic of Korea -. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(3), 409–418. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.3.4>
- 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, S., Youn, Y., Kang, J., Kim, S., Jeong, Y., Lee, Y. et al., 2023a. Machine learning-based atmospheric correction for Sentinel-2 images using 6SV2.1 and GK2A AOD. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 1061–1067. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.13>
- Kim, Y., Bae, D., Im, J., Jung, S., Choo, M., and Han, D., 2023b. Classification of carbon-based global marine eco-provinces using remote sensing data and K-means clustering. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 1043–1060. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.12>
- Lee, E., Lee, H., Park, S., and Jung, H., 2022. Observation of ice gradient in Cheonji, Baekdu Mountain using modified U-Net from Landsat -5/-7/-8 images.

- Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6–2), 1691–1707. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.2.10>
- Lee, J., Kim, K., and Ryu, J., 2021. A Study on the possibility of short-term monitoring of coastal topography changes using GOCI-II. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(5–2), 1329–1340. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.5.2.10>
- Lee, K., 2023. Analysis of the surface urban heat island changes according to new town development and correlation with urban morphology imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 921–932. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.4>
- Lee, S., Kang, Y., Sung, T., and Im, J., 2023. Efficient deep learning approaches for active fire detection using Himawari-8 geostationary satellite images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 979–995. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.8>
- Park, G., Bak, S., Jang, S., Gong, S., Kwak, J., and Lee, Y., 2023a. Realtime detection of benthic marine invertebrates from underwater images: A comparison between YOLO and transformer models. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 909–919. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.3>
- Park, H., Lee, Y., and Park, S., 2023b. Satellite-based cabbage and radish yield prediction using deep learning in Kangwon-do. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 1031–1042. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.11>
- Song, A., 2023. Semantic segmentation of drone images based on combined segmentation network using multiple open datasets. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 967–978. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.7>
- Sung, T., Sim, S., Jang, E., and Im, J., 2022. Estimation of high resolution sea surface salinity using multi satellite data and machine learning. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(5–2), 747–763. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.5.2.8>
- Won, J., Jung, H., Kang, S., and Kim, S., 2022. Monitoring the ecological drought condition of vegetation during meteorological drought using remote sensing data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(5–3), 887–899. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.5.3.7>
- Yang, S., Choi, H., and Im, J., 2023. Retrieval of hourly aerosol optical depth using top-of-atmosphere reflectance from GOCI-II and machine learning over South Korea. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(5–3), 933–948. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.5.3.5>