

Editorial

## 다목적실용위성 영상 활용

이광재 <sup>1)†</sup> · 오관영 <sup>2)</sup> · 이원진 <sup>3)</sup> · 이선구 <sup>1)</sup>

### KOMPSAT Imagery Applications

Kwang-Jae Lee <sup>1)†</sup> · Kwan-Young Oh <sup>2)</sup> · Won-Jin Lee <sup>3)</sup> · Sun-Gu Lee <sup>1)</sup>

**Abstract:** Earth observation satellites are being used in various field and are being developed in many countries due to their high utility and marketability. Korea is developing various Earth observation satellites according to National Space Development Plan. Among them, the Korea Multi-Purpose Satellite(KOMPSAT) series is the most representative low-orbit satellite. So far, a total of five KOMPSAT have been launched to meet the national image demand and have been used in various fields, including national institutions. This special issue introduces research related to data processing, analysis, and utilization using various image data from the KOMPSAT series. Meanwhile, for the uninterrupted utilization of the subsequent KOMPSAT image data, data processing and utilization research suitable for high-resolution images must be continued, and related research contents will be continuously shared through a special issue.

**Key Words:** KOMPSAT, Classification, Fusion, SAR, Orthorectification, Atmosphere Correction, Machine Learning

**요약:** 지구관측위성은 다양한 분야에서 활용되고 있으며 높은 활용성과 시장성으로 인해 많은 국가에서 개발하고 있다. 우리나라는 국가 우주개발 계획에 따라 다양한 지구관측위성을 개발하고 있으며, 그 중에서 다목적 실용위성 시리즈는 가장 대표적인 저궤도 위성이다. 지금까지 총 5기의 다목적실용위성이 발사되어 국가 영상 수요를 충족하고 있으며, 국가기관을 비롯하여 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 특별호에서는 다목적실용 위성 시리즈의 다양한 영상자료를 이용한 자료처리, 분석 및 활용과 관련된 연구에 대해서 소개하고자 한다. 한편 후속 다목적실용위성 영상자료의 차질 없는 활용을 위해서는 고해상도 영상에 적합한 자료처리 및 활용 연구가 계속되어야 하며, 특별호를 통해서 관련 연구 내용이 지속적으로 공유될 수 있도록 할 예정이다.

Received December 16, 2021; Revised December 16, 2021; Accepted December 17, 2021; Published online December 21, 2021

<sup>1)</sup> 한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터 책임연구원 (Principal Researcher, National Satellite Operation & Application Center, Korea Aerospace Research Institute)

<sup>2)</sup> 한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터 선임연구원 (Senior Researcher, National Satellite Operation & Application Center, Korea Aerospace Research Institute)

<sup>3)</sup> 국립환경과학원 환경위성센터 연구관 (Senior Researcher, Environmental Satellite Center, National Institute of Environmental Research)

† Corresponding Author: Kwang-Jae Lee (kjlee@kari.re.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

오늘날 지구관측위성은 기존 우주개발 선진국뿐만 아니라 아시아, 아프리카, 중동지역의 많은 국가들도 개발을 추진하고 있다. 과거 냉전시대 군사목적으로 개발되기 시작한 인공위성은 오늘날 과학 및 상업 목적으로 다양한 분야에서 활용되고 있다. 2000년대 초에 1 m급의 고해상도 위성영상이 등장하면서 세계 위성영상 시장의 규모는 급격하게 증가하게 되었다. 또한 고해상도 위성영상은 직접적인 접근이 어려운 지역에서 기존 항공사진을 대신하여 활용할 수 있다는 장점으로 각종 지도 제작과 지형정보 추출 등에 많이 이용되어 왔다. 최근 전 세계적으로 위성의 크기는 줄이고 관측 성능을 향상시킨 군집 형태의 초소형위성을 많이 개발하고 있는 추세이다. 광학 및 전자부품의 비약적인 발전으로 인해 위성의 전체 크기는 많이 축소되었으나, 공간해상도 및 촬영폭 등이 과거에 비해 향상되고 개발비용이 저렴하다는 장점으로 인해 위성영상 시장에서 활발하게 거래되고 있으며 과거 고해상도 대형 위성이 주로 담당하였던 정밀 지도 제작 분야 등에서도 많이 활용되고 있다.

우리나라는 약 30여년 전인 1992년에 우리별 1호를 발사하였으며, 최초의 실용급 위성인 다목적실용위성(아리랑위성) 1호는 1999년 12월에 발사하였다. 해외 선진국에 비해 위성 개발은 상대적으로 늦게 시작하였으나, 국가 차원의 체계적인 우주개발진흥 기본계획에 따라 다양한 형태의 지구관측위성 개발 계획이 수립되고 차질 없이 개발 및 발사되어 왔다. 우선 정지궤도 위성인 천리안 위성은 1호(2010)를 시작으로 2A호(2018), 2B호(2020)가 차질 없이 발사되어 다양한 연구에 이용되고 있다(Shin *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021; Kim and Park, 2021). 한편 국가 저궤도 위성 중에서 가장 대표적인 위성은 아리랑위성으로 현재까지 1호부터 3A호까지 총 5기가 발사되었으며, 현재 3기(3호, 5호, 3A호)가 정상운영 중에 있다. 아리랑위성 2호는 2015년에 공식적으로 임무는 종료하였으나, 위성의 기능이 정상적이고 잔여 연료량이 충분하여 현재도 운영 중에 있다. 아리랑위성 시리즈는 1호를 시작으로 지금까지 약 20여년 이상 국가의 다양한 영상 수요를 충족시켜 왔으며, 국내 공공 및 학술 분야 등에서 활발히 이용되어 왔다(Jang *et al.*, 2019; Kang, 2020; Lee and Jeong,

2020; Yun *et al.*, 2021; Park *et al.*, 2021).

본 특별호에서는 아리랑위성 시리즈 위성영상을 이용하여 수행된 다양한 연구를 소개하고자 하며, 이를 통해 향후 국내 고해상도 위성영상의 자료처리, 분석 및 활용기술 발전에 기여하고자 한다.

일반적으로 저궤도 위성은 정해진 궤도를 따라 비행하면서 촬영하기 때문에 일정한 재방문 주기를 가진다. 위성원격탐사의 장점 중에 하나는 시계열적인 변화 모니터링에 유용하게 활용될 수 있다는 점이지만 대부분의 저궤도 위성은 재방문 주기가 길기 때문에 빠른 주기를 필요로 하는 연속적인 모니터링에 있어서는 한계가 존재한다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 위성영상의 시간해상도와 공간해상도를 결합하여 보다 높은 시공간 영상을 생성하기 위한 다양한 융합 연구가 수행되고 있다(Yang *et al.*, 2020; Meng *et al.*, 2021). 기존에는 중저해상도 위성영상 위주로 시공간 융합 연구가 많이 수행되었기 때문에 고해상도 위성영상에 적용할 경우 기존 기술에 대한 적용성 평가가 필요하다. 본 특별호에서 Kim *et al.* (2021)은 기존 시공간 융합 알고리즘을 아리랑위성 3A호 영상과 Sentinel-2 영상에 적용 후 결과를 분석하였다. Zhu *et al.* (2010)과 Kim *et al.* (2020)이 제안한 ESTARFM(Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model)과 STGDFM(Spatial Time-series Geostatistical Deconvolution/Fusion Model)이 적용되었으며, 실험 결과를 통해 고해상도 위성영상의 낮은 재방문 주기가 가지는 한계를 시공간 융합 방법을 통해 보완할 수 있는 것으로 확인하였다.

아리랑위성 시리즈가 증가하면서 한국항공우주연구원에서는 중앙부처 등 공공부문의 위성영상 활용 편의성 향상 등의 목적으로 아리랑위성 광학영상을 이용하여 한반도 모자이크영상을 생성하고 있다. 여러 아리랑위성의 다중시기 영상을 이용한 모자이크영상 생성을 위해서는 인접 간의 컬러 밸런싱 과정을 거쳐야 하기 때문에 분광 정보의 왜곡이 발생할 수 밖에 없다. 또한 모자이크영상은 주로 가시적인 성과물로 활용되기 때문에 RGB 밴드만을 사용하여 생성하는 것이 일반적이다. 그러나 매년 생성되는 모자이크영상의 활용도를 높이기 위해서는 모자이크영상 기반의 영상 분류 등을 통한 시계열 변화 분석 등이 가능하여야 한다. Moon and Lee (2021)은 RGB 밴드만 제공하는 모자이크영상

의 분류 정확도 향상을 위한 연구를 수행하였다. 연구에서는 2019년 모자이크영상 중 일부 샘플 지역에 대해서 객체 기반 영상 분류를 수행하였는데, RGB 기반의 지수(식생, 수계 등) 추출은 Upadhyay *et al.* (2016)가 제시한 방법을 적용하였다. 그 결과 모자이크 단일 영상을 분류하였을 때보다 영상과 지수를 함께 활용한 분류 결과에서 보다 높은 정확도가 확인 되었는데, 실험에서는 약 7% 정도 향상되는 것으로 나타났다. 이와 같은 연구를 지속적으로 수행한다면 매년 생성되는 모자이크영상 기반으로 국토 변화 등을 보다 효과적으로 분석할 수 있을 것으로 예상된다.

영상 분류 기법은 위성영상의 지표정보를 정량적으로 산출하여 분석할 수 있기 때문에 중저해상도를 비롯하여 고해상도 위성영상에 이르기까지 다양하게 활용되고 있다. 본 특별호에서 Ye (2021)은 아리랑위성 고해상도 영상 분류를 위해 HSV(Hue Saturation Value)의 색상 채널을 분류하고 다중 클래스 결합을 이용한 객체 기반의 분류 방법을 제안하였다. 위성영상의 공간해상도와 분광해상도가 높아지면서 지표면의 동일 객체가 다양한 형태로 세분화 될 수 있기 때문에 영상 분류 측면에서는 어려움이 발생하게 된다. 따라서 분류 대상 영상을 색상 기준으로 분류 전 단계에서 각 색상 채널 영상으로 분할하고 이후 객체 기반의 분류를 수행하는 방법을 통해 분류 정확도가 향상 될 수 있음을 보여주었다. 또한 기존 상용 영상처리 SW와의 비교를 통해 영상 내에서 다양한 색상을 가지는 건물에 대한 분류 정확도가 크게 향상되는 것을 확인하였다.

우리나라는 국토의 약 63%가 산림으로 구성되어 있다. 최근 탄소배출권 등과 연계되어 산림의 중요성은 지속적으로 높아지고 있으나, 도시 확장 및 개발 등으로 인해 매년 산림 면적은 줄어들고 있다. 산림지역에 대한 모니터링 및 각종 산림관련 주제도 제작에 항공사진이 많이 활용되고 있으나, 항공 촬영이 불가능한 접경지역 등에 대한 산림훼손 분석 등에 있어서는 고해상도 위성영상이 주로 이용되고 있다. 특히 최근에는 머신러닝 기술을 이용한 산림정보 추출 및 분석과 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2021; Lee and Lee, 2020). Baek *et al.* (2021)은 머신러닝 기법을 이용하여 아리랑위성 영상에서 자연림과 인공림을 분류하는 연구를 진행하였다. 기존 인공신경망 모델의 구조적 한계와 단일 모

델의 한계를 고려하여 심층 신경망 모델을 설계하여 분류를 수행하였으며, 그 결과 기존 단일 신경망 모델을 적용하였을 때 보다 자연림과 인공림을 보다 효과적으로 분류할 수 있음을 보여주었다. 향후 지속적인 연구를 통해 모델이 보다 안정화 된다면 후속 위성 등에 적용되어 국가 산림자원을 보다 효과적으로 관리하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

도시의 급격한 확장은 산림 등 주변 자연환경을 변화시키고 동시에 여러가지 사회적, 환경적 문제를 초래하게 된다. 도시 재개발을 통해 도시를 재정비할 수도 있지만 오늘날 도시는 지속적으로 확장하고 있으며, 이는 수도권 지역을 비롯하여 전 국토에서 발생하고 있는 현상이다. 도심 재개발이나 도시 팽창은 산림과 같은 자연환경이 축소되는 대신 인공 건축물이 증가하게 되는데, 이 경우 인공 건축물 증가로 인해 도시열섬 등이 더욱 증가할 수 밖에 없다. 도시의 고층빌딩 등은 도시 바람장을 변화시키고 여름이면 도시열섬 효과를 더욱 가속화 시킨다. Kim (2021)은 서울특별시를 대상으로 토지피복별 객체와 지표면 온도와와의 관계를 파악하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과 정규식생지수는 지표면 온도와 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 다중회귀분석에서도 지표면 온도 예측에 있어 정규식생지수가 다른 계수보다는 영향력이 높은 것으로 분석되었다. 향후 아리랑위성 고해상도 중적외선 영상을 활용한다면 보다 효과적으로 토지피복 유형별 지표면 온도를 예측할 수 있을 것으로 예상되며, 이와 같은 결과는 도시계획 수립에 있어 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편 Lee *et al.* (2021)은 도시열섬 효과를 저감시키기 위한 다양한 방법에 대한 실질적인 효과를 분석하였다. 열섬 저감기법으로는 옥상녹화, 쿨루프 등이 사용되는데, 연구에서는 저감기법이 적용된 토지피복 객체들이 주변의 일반 객체와의 온도 차이를 비교하는 방식으로 이뤄졌으며, 비교적 개방감이 높은 지점에 설치된 옥상녹화 및 쿨루프 기법이 지표면 녹화 방식에 비해 열섬 저감 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 비록 실험이 국소지역에 대해서 수행된 관계로 위성영상이 직접적으로 사용되지는 않았지만, 향후 아리랑위성 중적외선 영상을 이용한다면 도시 단위의 열섬효과를 분석하고 저감 대책을 마련하는데 효율적인 방법으로 활용될 수 있

을 것으로 예상된다.

아리랑위성과 같은 고해상도 위성영상은 정밀하게 위치 보정이 수행되어야 각종 주제 정보와 중첩하여 활용할 수 있다. 일반적으로 표준영상은 지상기준점을 사용하지 않고 처리하기 때문에 최소 수 미터에서 최대 수십, 수백미터까지 위치 오차를 가질 수 밖에 없다. 따라서 고해상도 위성영상이 가지는 지형 왜곡을 보정하기 위해서는 정사보정 과정이 요구된다. 정사보정은 다양한 방식으로 이뤄질 수 있으나, 영상과 함께 제공되는 RPC(Rational Polynomial Coefficients)를 이용하는 것이 일반적이며 가장 많이 활용되는 방법은 지상기준점을 이용하여 RPC를 갱신하여 사용하는 것이다. 그러나 이러한 정사보정 과정은 많은 처리시간을 필요로 하기 때문에 다량의 영상을 빠르게 처리하기 위해서는 다양한 방법이 적용되어야 한다. 최근 컴퓨팅 기술의 발달로 하드웨어 기반의 가속화 처리방식이 많이 사용되고 있으나, 이는 많은 예산을 요구하는 단점이 있다. 또한 하드웨어 기반의 처리 가속화를 수행하더라도 자료처리 알고리즘 자체가 최적화되어 있지 않다면 효과는 미비하게 나타날 수 밖에 없다. Zhao *et al.* (2020)과 French (2014)는 정사보정 처리속도 향상을 위한 다양한 방법을 제기하였다. 본 특별호에서 Oh *et al.* (2021)은 Zhao *et al.* (2020)이 제안한 LUT (Look Up Table)를 이용하는 방법을 아리랑위성 3호 영상에 적용하여 실험을 수행하였다. LUT 방식은 지상공간을 영상공간으로 투영하는데 많은 처리시간이 소요되는데, 고차다항식을 사전 계산이 가능한 LUT 형태로 재구성하여 연산 시간을 최소화 하는 것이다. 실험결과 전통적인 보정 방식과 비교하여 위치정확도의 저하없이 빠른 자료 처리가 가능함을 확인할 수 있었다. 그러나 많은 LUT를 생성해야되는 문제점과 영상의 지형학적 특성에 따라라도 결과가 달라질 수 있다는 문제점이 있기 때문에 자료처리 일반화 및 표준화를 위해서는 지속적인 연구가 요구되며, 이러한 문제점이 보완된다면 다량의 자료를 보다 효과적으로 처리할 수 있을 것으로 기대된다.

위성영상으로부터 정량적인 물리 정보를 추출하기 위해서는 지구 대기에 의해 산란, 흡수 및 반사되는 신호를 보정하여야 한다. 일반적으로 대기는 시공간적인 변동성이 매우 크고 보정에 요구되는 파라미터가 많기 때문에 정확한 대기의 영향을 보정하기에는 많은 어려

움이 있다. 그러나 지표면에서 반사되는 에너지를 정확하게 측정하여 식생의 활력도 등과 같은 정량적인 정보를 추출하기 위해서는 반드시 대기보정 과정이 요구된다. Ahn *et al.* (2021)은 아리랑위성 3호 영상을 이용한 대기보정을 통해 주요 보정 인자에 따른 민감도 분석을 수행하고 위성 상호간의 대기보정 결과를 비교하였다. 그 결과 주요 인자 별로 영향을 미치는 밴드가 존재함을 확인하였으며, 식생 및 비식생에 따라서도 차이가 존재하는 것을 확인하였다. 또한 지상관측자료와 비교한 결과 아리랑위성 3호와 Sentinel-2 위성 모두 식생지수에서 대기 보정 후 일치율이 향상된 것으로 나타났다. 향후 촬영 각에 따른 영향과 대기보정 인자별 민감도를 개선한다면 정량화된 분광정보 기반의 다양한 활용이 가능할 것으로 예상된다. 한편 Lee *et al.* (2021)은 Lee and Kim (2019)이 개발한 Orfeo ToolBox (OTB)의 아리랑위성 3호, 3A호 지표반사도 모듈을 이용하여 지표반사도를 산출한 후 정규식생지수를 계산하여 후쿠시마 제 1 원전 주변지역에 대한 식생 변화를 분석하였다. 2014년부터 2021년까지 총 4 시기의 영상을 이용한 분석에서 2011년 사고 발생 후인 2014년 영상에서는 식생지수가 낮게 나타났으나, 2021년까지 식생 지수가 지속적으로 높아지고 있는 것으로 확인되었다.

현재 운영되고 있는 아리랑위성 시리즈 중에서 5호는 유일한 SAR (Synthetic Aperture Radar) 위성이다. 해외에서는 지진 및 화산 활동과 빙하를 비롯한 극지방 연구에 있어 SAR 영상을 중요한 기초자료로 활용하고 있다. 최근 한반도 지역에서도 크고 작은 지진이 발생하고 백두산 화산 및 싱크홀 등이 사회적인 이슈로 부상함에 따라 SAR 영상에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 국내의 경우 광학영상과 비교하여 상대적으로 SAR 영상에 대한 자료처리 및 분석 기술에 대한 연구가 많이 수행되지 않았다. 본 특별호에서 Chae *et al.* (2021)은 SAR 오프셋트래킹(offset tracking) 기법을 이용하여 동남극 테라노바 만에 위치한 Campbell Glacier에 대한 2차원 이동속도를 관측하였는데, 선행연구(Chae *et al.*, 2019)의 오프셋트래킹 기법을 보완한 coarse-to-fine SAR 오프셋트래킹 기법을 제안하여 아리랑위성 5호 영상에 적용하였다. 실험결과 기존 연구(Frezzotti, 1993; Han *et al.*, 2013) 결과와 비교하여 Campbell Glacier의 이동속도 변화를 확인할 수 있었다. 그러나 향후 보다 정확한 비

교를 위해서는 보다 많은 시계열 영상을 사용하여 연간 속도를 측정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

지금까지 본 특별호에서는 아리랑위성 시리즈의 다양한 영상자료를 이용한 자료처리, 분석 및 활용과 관련된 연구에 대해서 소개하였다. 아리랑위성은 국가 우주개발 계획에 따라 지속적으로 개발되고 운영될 예정이기 때문에 고해상도의 다양한 광학, SAR, 중적외선 영상자료를 활용하기 위한 연구가 끊임 없이 수행되어야 하며, 향후 이러한 연구의 결과가 많은 연구자들에게 공유될 수 있도록 지속적으로 특별호를 발간하고자 한다.

## 사사

이 논문은 한국항공우주연구원 “정부 위성정보활용 협의체 지원(FR21K00)” 사업의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다. 또한 본 특별호 발간을 위해 노력해 주신 연구자분들과 심사위원분들을 비롯하여 대한원격탐사학회 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

## References

- Ahn, H.-Y., J.-H. Ryu, S.-I. Na, K.-H. So, and K.-D. Lee, 2021. Application of Atmospheric Correction to KOMPSAT for Agriculture Monitoring, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1951-1963 (in Korean with English abstract).
- Baek, W.-K., Y.-S. Lee, S.-H. Park, and H.-S. Jung, 2021. Classification of Natural and Artificial Forests from KOMPSAT-3/3A/5 Images Using Deep Neural Network, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1965-1974 (in Korean with English abstract).
- Chae, S.-H., K.-J. Lee, and S. Lee, 2021. Two-dimensional Velocity Measurements of Campbell Glacier in East Antarctica Using Coarse-to-fine SAR Offset Tracking Approach of KOMPSAT-5 Satellite Image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 2035-2046 (in Korean with English abstract).
- Chae, S.-H., W.-J. Lee, W.-K. Baek, and H.-S. Jung, 2019. An Improvement of the Performance of SAR Offset Tracking Approach to Measure Optimal Surface Displacements, *IEEE ACCESS*, 7: 131637.
- Cho, Y., D. Yoon, J. Shin, and M.-J. Lee, 2021. Comparative Analysis of the Effects of Heat Island Reduction Techniques in Urban Heatwave Areas Using Drones, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1985-1999 (in Korean with English abstract).
- Choi, J.-K., J.-H. Ahn, Y.-B. Son, D.-J. Hwang, and S.-J. Lee, 2020. Application of GOCI to the Estimates of Primary Productivity in the Coastal Waters of the East Sea, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(2-2): 237-247 (in Korean with English abstract).
- French, J.-C. and E.-J. Balster, 2013. A Fast and Accurate Orthorectification Algorithm of Aerial Imagery Using Integer Arithmetic, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(5): 1826-1834.
- Frezzotti, M., 1993. Glaciological Study in Terra Nova Bay, Antarctica, Inferred from Remote Sensing Analysis, *Annals of Glaciology*, 17: 63-71.
- Han, H., Y. Ji, and H. Lee, 2013. Estimation of Annual Variation of Ice Extent and Flow Velocity of Campbell Glacier in East Antarctica Using COSMO-SkyMed SAR Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1): 45-55 (in Korean with English abstract).
- Jang, J.-C., K.-A. Park, D. Yang, and S.-G. Lee, 2019. Improvement of KOMPSAT-5 Sea Surface Wind with Correction Equation Retrieval and Application of Backscattering Coefficient, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6-4): 1373-1389 (in Korean with English abstract).
- Kang, H., 2020. Automatic Registration between EO and IR Images of KOMPSAT-3A Using Block-based Image Matching, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(2-2): 237-247 (in Korean with English abstract).

- Sensing*, 36(4): 545-555.
- Kim, G., 2021. Prediction of Land Surface Temperature by Land Cover Type in Urban Area, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1975-1984 (in Korean with English abstract).
- Kim, J., C.-H. Lim, H.-W. Jo, and W.-K. Lee, 2021. Phenological Classification Using Deep Learning and the Sentinel-2 Satellite to Identify Priority Afforestation Sites in North Korea, *Remote Sensing*, 13(15): 2946.
- Kim, M. and M.-S. Park, 2021. The GOCI-II Early Mission Marine Fog Detection Products: Optical Characteristics and Verification, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(5): 1317-1328 (in Korean with English abstract).
- Kim, W., T. Lim, J.-H. Ahn, and J.-K. Choi, 2021. A Preliminary Analysis on the Radiometric Difference Across the Level 1B Slot Images of GOCI-II, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(5): 1269-1279 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., K.-J. Lee, and S.-G. Lee, 2021. Applicability Evaluation of Spatio-Temporal Data Fusion Using Fine-scale Optical Satellite Image: A Study on Fusion of KOMPSAT-3A and Sentinel-2 Satellite Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1931-1942 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., P.-C. Kyriakidis, and N.-W. Park, 2020. A Cross-Resolution, Spatiotemporal Geostatistical Fusion Model for Combining Satellite Image Time-Series of Different Spatial and Temporal Resolutions, *Remote Sensing*, 12(10): 1553.
- Lee, J., J. Lee, K. Kim, and K. Lee, 2021. Change of NDVI by Surface Reflectance Based on KOMPSAT-3/3A Images at a Zone Around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 2027-2034 (in Korean with English abstract).
- Lee, K. and K. Kim, 2019. An Experiment for Surface Reflectance Image Generation of KOMPSAT 3A Image Data by Open Source Implementation, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6-4): 1327-1339 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.-H. and M. Lee, 2020. A Study on Deep Learning Optimization by Land Cover Classification Item Using Satellite Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6-2): 1591-1604 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.-M. and J.-C. Jeong, 2020. Accuracy Assessment of Unsupervised Change Detection Using Automated Threshold Selection Algorithms and KOMPSAT-3A, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(5-2): 975-988 (in Korean with English abstract).
- Meng, L., H. Liu, S.-L. Ustin, and X. Zhang, 2021. Assessment of FSDAF Accuracy on Cotton Yield Estimation Using Difference MODIS Products and Landsat Based on the Mixed Degree Index with Different Surroundings, *Sensors*, 21(15): 5184.
- Moon, J. and K.-J. Lee, 2021. A Study to Improve the Accuracy of Segmentation and Classification of Mosaic Images over the Korean Peninsula, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 1943-1949 (in Korean with English abstract).
- Oh, K., K.-J. Lee, J.-I. Hwang, and Y.-S. Kim, 2021. A Study on the Efficient Orthorectification of KOMPSAT Image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 2001-2010 (in Korean with English abstract).
- Park J., T. Kim, C. Lee, and Y. Han, 2021. RPC Correction of KOMPSAT-3A Satellite Image through Automatic Matching Point Extraction Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(5): 1135-1147 (in Korean with English abstract).
- Shin, J., K. Kim, J.-E. Min, and J.-H. Ryu, 2018. Red Tide Detection through Image Fusion of GOCI and Landsat OLI, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(2-2): 377-391 (in Korean with English abstract).
- Sun, J., W.-J. Lee, S.-C. Park, and D.-K. Lee, 2018.

- Detection for Region of Volcanic Ash Fall Deposits Using NIR Channels of the GOCL, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-4): 1519-1529 (in Korean with English abstract).
- Upadhyay, P., S. Mahadik, and A. Kamble, 2016. Image Classification Using Visible RGB Bands, *Proc. Of 2016 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, IND, Mar. 16-18, pp. 2660-2663.
- Yang, L., J. Song, L. Han, X. Wang, and J. Wang, 2020. Reconstruction of High-Temporal- and High-Spatial-Resolution Reflectance Datasets Using Difference Construction and Bayesian Unmixing, *Remote Sensing*, 12(23): 3952.
- Ye, C.-S., 2021. Object-Based Image Classification by Integrating Multiple Classes in Hue Channel Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3): 2011-2025 (in Korean with English abstract).
- Yun, Y., T. Kim, J. Oh, and Y. Han, 2021. Analysis of Co-registration Performance According to Geometric Processing Level of KOMPSAT-3/3A Reference Image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(2): 221-232 (in Korean with English abstract).
- Zhao, W., L. Yan, and Y. Zhang, 2020. An Efficient Orthorectification Method for Satellite Images, *Frontiers in Computer Technology and Applications*, 1(1): 1-8.
- Zhu, X., J. Chen, F. Gao, X. Chen, and J.-G. Masek, 2010. An Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model for Complex Heterogeneous Regions, *Remote Sensing of Environment*, 114(11): 2610-2623.