

Article

## RapidEye 영상정보의 지표반사도 생성을 위한 OTB Extension 개발과 정확도 검증 실험

김광섭 <sup>1)</sup> · 이기원 <sup>2)†</sup>

### An Implementation of the OTB Extension to Produce RapidEye Surface Reflectance and Its Accuracy Validation Experiment

Kwangseob Kim <sup>1)</sup> · Kiwon Lee <sup>2)†</sup>

**Abstract:** This study is for the software implementation to generate atmospheric and surface reflectance products from RapidEye satellite imagery. The software is an extension based on Orfeo Toolbox (OTB) and an open-source remote sensing software including calibration modules which use an absolute atmospheric correction algorithm. In order to verify the performance of the program, the accuracy of the product was validated by a test image on the Radiometric Calibration Network (RadCalNet) site. In addition, the accuracy of the surface reflectance product generated from the KOMPSAT-3A image, the surface reflectance of Landsat Analysis Ready Data (ARD) of the same site, and near acquisition date were compared with RapidEye-based one. At the same time, a comparative study was carried out with the processing results using QUick Atmospheric Correction (QUAC) and Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) tool supported by a commercial tool for the same image. Similar to the KOMPSAT-3A-based surface reflectance product, the results obtained from RapidEye Extension showed accuracy of agreement level within 5%, compared with RadCalNet data. They also showed better accuracy in all band images than the results using QUAC or FLAASH tool. As the importance of the Red-Edge band in agriculture, forests, and the environment applications is being emphasized, it is expected that the utilization of the surface reflectance products of RapidEye images produced using this program will also increase.

**Key Words:** Surface reflectance, Open-source, OTB extension, RadCalNet, RapidEye satellite imagery

**요약:** 이 연구에서 RapidEye 위성영상 대기 및 지표반사도 산출물을 생성하는 소프트웨어를 구현하였다. 이 소프트웨어는 절대대기보정 알고리즘을 채택하고 있는 오픈소스 원격탐사 소프트웨어 Orfeo Toolbox (OTB)

Received June 13, 2022; Revised June 24, 2022; Accepted July 4, 2022; Published online October 12, 2022

<sup>1)</sup> 한성대학교 기계전자공학부 시간강사(Part-time Lecturer, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University, Seoul, Republic of Korea)

<sup>2)</sup> 한성대학교 기계전자공학부 교수(Professor, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University, Seoul, Republic of Korea)

† Corresponding Author: Kiwon Lee (kilee@hansung.ac.kr)

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.

기반 Extension이다. 소프트웨어 성능을 확인하기 위하여 구현 결과인 산출물 정확도는 Radiometric Calibration Network (RadCalNet) 사이트의 데이터와 해당 위치에 촬영된 RapidEye 영상을 사용하여 검증하고자 하였다. 또한 거의 같은 일자에 같은 지역을 촬영한 KOMPSAT-3A 영상으로부터 생성한 지표반사도와 Landsat Analysis Ready Data (ARD) 제품 중 하나인 지표반사도 자료도 함께 비교하였다. 이 외에도 같은 영상에 대하여 상업 도구에서 지원하는 QUick Atmospheric Correction (QUAC)와 Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) 도구를 적용한 처리 결과와 직접 비교 연구를 수행하였다. RadCalNet 자료에 대비하여 KOMPSAT 지표반사도와 마찬가지로 이 Extension에서 얻은 결과는 5% 이내 일치 수준의 정확도를 나타내었고 QUAC와 FLAASH를 이용한 결과에 비하여 모든 밴드 영상에서 상대적으로 우수한 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 농업, 산림이나 환경 분야에서 Red-Edge 밴드의 중요성이 강조되고 있기 때문에 이 소프트웨어를 이용하여 산출되는 RapidEye 영상의 지표반사도 활용도 증가할 것으로 기대한다.

## 1. 서론

전 지구적으로 또는 국지적으로 기후 변화와 육상 생태 환경 변화 등을 지속적으로 관찰하기 위하여 지구 관측(earth observation, EO) 위성정보에 대한 중요성이 증가하고 있다. 이에 따라 위성정보 배포와 분석 등을 위한 다양한 시스템 구축과 서비스 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 대표적인 사례로 Landsat 및 Sentinel 영상 정보에 대한 자유로운 접근 권한과 함께 위성 영상분석 기능까지 제공하는 Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>)이다. 또한 위성정보의 배포방식도 사용자가 직접 United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)나 Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>)에서 내려받기 하는 방식이 아닌 클라우드 컴퓨팅 서비스인 Amazon Simple Storage Service를 통하여 대규모 영상정보의 저장(Stored), 축적(Archived)과 함께 온라인 상에서의 즉시 접근이 가능한 단계로 발전하고 있다 (<https://registry.opendata.aws/sentinel-2/>, <https://registry.opendata.aws/usgs-landsat/>).

지구 관측 위성 자료를 시계열 분석에 적용하기 위해서는 한 가지 위성에서 얻는 자료보다 여러 가지 위성의 센서에서 얻는 정보가 유용하게 이용될 수 있고, 축적되어 있는 과거 영상으로 생성되는 지표반사도 (Surface Reflectance or Top-of-Canopy [TOC] Reflectance)와 같은 산출물은 위성정보 활용을 위한 중요한 기초 자료가 된다. 여러 위성영상 정보 중에서 상업 지구 관측 위성으로 2008년 발사되어 운영되고 2020년 3월에 임무 종료된 RapidEye는 적색경계(Red-Edge) 밴드를 제공하

는 장점 등으로 육상 식생 분석을 위한 중요한 위성정보라고 할 수 있다. 그러나 RapidEye 영상의 배포를 주관하고 있는 상업 위성정보 회사에서는 RapidEye 영상정보의 지표반사도 자료를 Application Programming Interface (API) 방식과 Analytic Surface Reflectance Ortho Tile Product와 같은 기본 제품의 부가 사양으로 제공하고 있다(Planet Labs, 2022). 사용자는 이러한 상업 제품을 활용할 수 있지만, 추가로 RapidEye 지표반사도 자료를 활용하기 위해서는 별도 지표반사도 생성 도구가 필요하다.

이와 관련하여 RapidEye 영상정보를 활용한 사례 연구는 다음과 같다. Main-Knorn and Pflug (2014)는 토지이용 피복변화(land use cover change, LUCC) 연구를 위하여 RapidEye 영상정보를 사용하면서 MODerate resolution atmospheric TRANsmission (MODTRAN) 복사전달모델 기반 소프트웨어의 ATmospheric CORrection and haze Reduction (ATCOR) 도구를 사용하여 지표반사도를 추출하였고 해당 결과를 Landsat 영상 결과와 비교하였다. Chang *et al.* (2015)은 대리복사보정(vicarious radiometric calibration) 방법이 ATCOR 도구를 적용한 것보다 우수한 결과를 보일 수 있는 사례를 제시하였다. 이와 같이 국내외에서 RapidEye 영상정보를 활용하는 연구는 대부분 Dark Object Subtraction나 QUAC와 같은 상대 대기 보정 방법이나 FLAASH와 같은 도구를 이용하여 생성한 RapidEye 영상정보의 지표반사도를 적용하고 있다 (Kim *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2016; Cahalane *et al.*, 2019; Coffey *et al.*, 2020; Seong *et al.*, 2020; Kwon *et al.*, 2021). 현재까지 센서 모델 변수, 복사전달모델, 대기환경 입력자료 등을 요구하는 절대 대기보정 알고리즘을 적

용하여 RapidEye 영상정보로부터 지표반사도를 생성하는 오픈소스 도구를 개발한 경우는 발표된 사례를 찾기가 쉽지 않다. 여기서 절대 대기보정은 위성영상 정보에 포함되어 있는 대기에 의한 영향을 제거하는 과정을 통하여 센서에서 감지한 복사휘도(Radiance)를 지표 반사도로 변환한 산출물을 생성하는 처리 방법을 의미한다.

분광 밴드의 공간 해상도가 3 m 이하인 고해상도 광학 위성정보로부터 지표반사도를 생성하는 오픈소스 도구개발 연구로, KOMPSAT-3/3A의 지표반사도를 생성하는 OTB (<https://www.orfeo-toolbox.org>)에 기반한 Extension이 개발된 바 있다(Lee and Kim, 2019). 이 Extension 도구에 의하여 얻어지는 대기 및 지표반사도 산출물의 정확도를 검증하기 위한 실험 연구가 RadCalNet 검보정 포털(<https://www.radcalnet.org>)에서 제공하는 다양한 자료를 이용하여 계속 수행되고 있다(Lee *et al.*, 2020; Lee and Kim, 2020; Kim and Lee, 2020a; Kim and Lee 2020b). 현재 OTB는 SPOT, Pleiades, WorldView-2, FORMOSAT 등 총 8개의 센서만을 지원하고 있으며, 그 외의 영상 정보를 처리하기 위해서는 개별적으로 해당되는 센서 모델과 기타 반사도 계산에 필요한 센서 자료를 이 도구에 추가하여 새로 빌드해야 한다. 이는 OTB가 수정 및 배포가 자유로운 오픈소스 Apache License 2.0을 채택하고 있으므로 가능하다. OTB Extension은 이와 같이 OTB가 지원하는 센서 외에도 다른 센서에 대하여 대기반사도와 지표반사도 생성이 가능하도록 소스 코드를 새롭게 빌드된 결과와 이에 대한 처리 수행을 자동화한 것이다. Kim and Lee (2021a)는 KOMPSAT-3/3A 영상 정보에 추가하여 Landsat-8 OLI 위성정보도 적용이 가능하도록 OTB Extension의 기능을 개선하였다. 또한, 절대대기보정 처리 연구에 있어 정보통신 기술 동향에 맞춰 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing) 형태로 지표반사도를 사용자가 직접 처리하고 결과를 제공할 수 있는 공유 플랫폼 연구로 Kim and Lee (2021b)는 OTB 도구를 사용하지 않고 복사전달 모델인 Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S)를 활용하여 KOMPSAT-3/3A 위성정보 지표반사도를 생성할 수 있는 서비스형 소프트웨어인 Software-as-a-Service (SaaS)를 설계하고 구축한 바 있다.

이 연구는 이러한 사전 연구 성과를 바탕으로 하여 RapidEye 위성영상의 지표반사도 생성 도구를 OTB

Extension에 추가 개발하고자 하였다. 개발된 OTB Extension의 처리 후 정확도를 검증하기 위해 RadCalNet 포털에서 제공하는 자료 중에서 BTCN (Baotou, China)의 대기반사도(Top-of-Atmosphere [TOA] Reflectance)와 지표반사도 자료를 이용하였다. 이와 같은 정확도 검증 실험에서 같은 OTB Extension에서 생성한 KOMPSAT-3A의 지표반사도와 USGS에서 제공되는 Landsat-8기반 지표반사도와 같이 비교하였다. 이와 함께 같은 RapidEye 영상을 사용하여 QUAC과 FLAASH 방법을 적용한 비교 실험을 수행하였고 결론에서는 이 연구 성과의 향후 활용 방안을 제시하였다.

## 2. RapidEye 지표반사도 생성 OTB Extension

RapidEye는 총 5개의 위성으로 이루어진 위성군으로, 각 위성이 77 km의 관측 폭과 6.5 m의 공간해상도로 지표면을 촬영하며 Red, Green, Blue, Near Infra-Red (NIR) 밴드 외에 Red-Edge 밴드를 가지고 있어서 식생 지수에 기반하여 다양한 분야에 적용되고 있다. 이와 관련연구로 Ustuner *et al.* (2014)는 RapidEye 위성정보의 Red-Edge 밴드를 활용하여 식생지수 분석을 통하여 작물 유형 분류를 하였으며, Lee and Lee (2017)는 RapidEye 영상정보를 포함하여 여러 가지 광학 위성에서 제공하는 Red-Edge 밴드의 모의 반사율 생성을 통하여 분광 지수와 엽면적 지수와의 관계를 분석하였다.

Fig. 1은 RapidEye 위성의 상대 분광 반응 자료(relative spectral response, RSR)를 나타낸 것이다. Planet사에서 제공하는 RapidEye 제품은 복사 보정과 센서 보정을 처리한 기본 영상 제품(basic scene product)인 Level 1B (6.5 m; ground sample distance, GSD)와 이 기본 영상에 정사 보정을 추가한 Level 3A (5 m, GSD) 제품이 있다(Planet Labs, 2022). Fig. 2는 RapidEye 영상정보를 OTB에서 처리하기 위한 과정을 나타낸 것이다. 2022년 4월 27일에 발표된 OTB 8.0.1 버전을 기반으로 처리할 수 있도록 재빌드(re-build)하였으며, 대기 및 지표반사도 처리하는 알고리즘은 식(1)과 같이 광학 영상정보로부터 지표반사도 산출을 위하여 적용하는 공식을 따른다(Lee and Kim, 2019).

$$L_\lambda = Gain \times (DN) + Offset$$

$$\rho_{\lambda TOA} = \frac{\pi L_\lambda d^2}{(ESUN_\lambda) \cos \theta_s} \quad (1)$$

$$\rho_{TOC} = \frac{\rho_{TOA} - \rho_{atm}}{T(\mu_s)T(\mu_r)t_g(1 + S \frac{\rho_{TOA} - \rho_{atm}}{T(\mu_s)T(\mu_r)t_g})}$$

여기서  $L_\lambda$ 는 파장  $\lambda$ 에 대한 센서 복사, Gain과 Offset은 센서의 이득과 편이이다. ESUN은 외기권에서의 평균 태양 복사조도,  $\theta_s$ 는 태양 천정각,  $d$ 는 영상 촬영 일자의 지구와 태양간 거리이다. 지표반사도 처리 값( $\rho_{TOC}$ )은 대기반사도  $\rho_{atm}$ , 대기보정계수인 S, 하향 및 상향 투과

도( $T(\mu_s)$ 와  $T(\mu_r)$ ) 대기 구면 반사율  $t_g$  값으로 처리한다.

지표반사도 처리에 필요한 값은 6S 복사전달모델을 통해 추출된 결과 값으로 위성정보 처리 오픈소스인 OTB의 광학 보정(optical calibration) 기능에 구현되어 있다. OTB Extension은 Ubuntu 운영체제에서 RapidEye 센서 모델에 대한 메타 정보와 기타 입력 정보를 처리 하는 소스 코드를 추가하여 개발하였다. 처리 과정에서 Landsat-8 지표반사도 생성 Extension 개발(Kim and Lee, 2021a)과 같은 방식으로 RapidEye 센서 모델을 적용하여 지표반사도 처리에 필요한 보조자료(auxiliary data) 값은 입력 영상정보에 맞게 일괄 처리할 수 있도록 4단

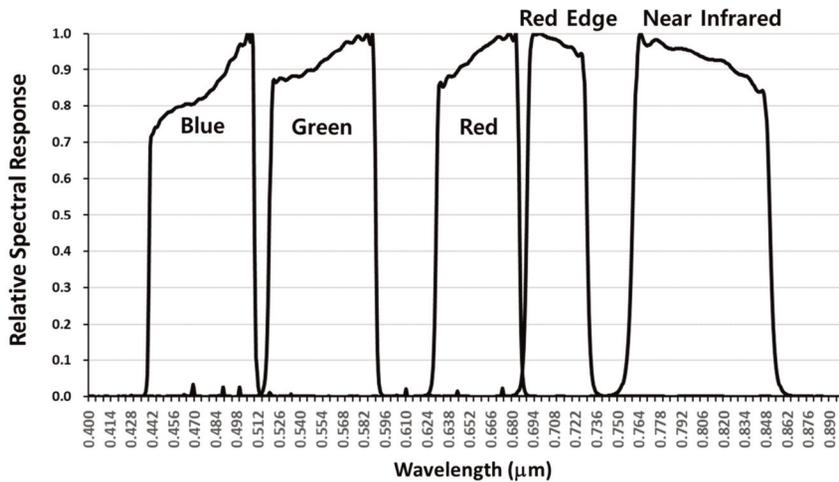


Fig. 1. Relative spectral response of RapidEye (Planet Surface Reflectance Version 2.0).

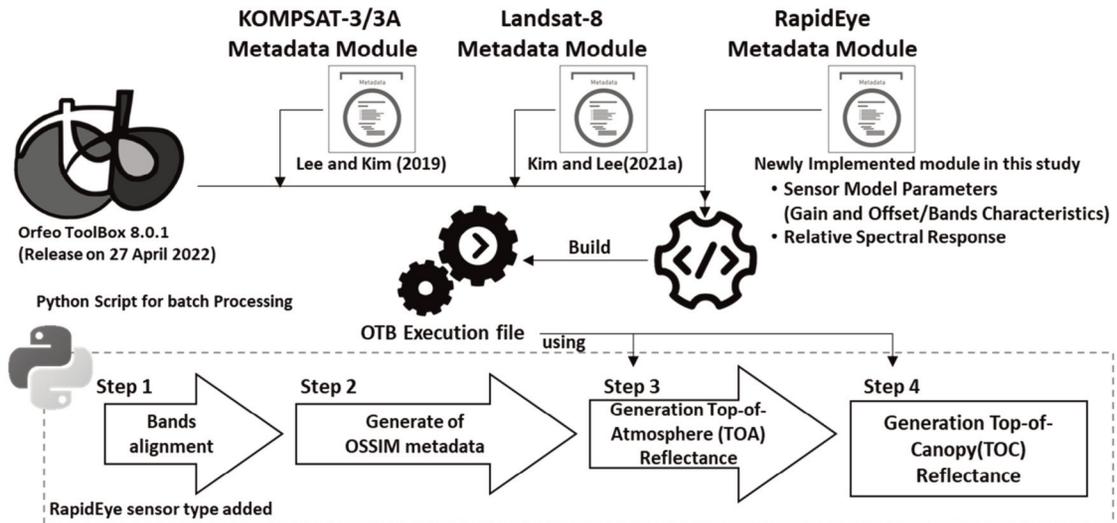


Fig. 2. Calibration procedure to produce surface reflectance in the OTB extension for RapidEye imagery.

계로 구분하여 자동화 할 수 있는 외부 Python 스크립트 시스템으로 구성하였다. 여기서 1단계는 밴드 별로 구분되어 입력 자료들을 한 번에 하나의 통합 자료로 시스템 내부로 읽어 들이는 과정이며, 2단계는 절대 대기보정 처리과정에 필요한 값을 입력하기 위해 Open Source Software Image Map (OSSIM) 메타데이터 파일을 생성하는 단계이다. 이 과정을 거쳐 3단계에서는 우선 대기반사도를 생성하고, 4단계에서 절대대기보정 알고리즘에 의한 지표반사도를 생성하도록 한다. 3단계와 4단계에서 생성되는 대기반사도와 지표반사도 산출물은 다시 분광 밴드 별 파일로 분리하여 저장하도록 설계하고 구현하였다.

### 3. 정확도 검증 자료와 방법

OTB Extension에서 얻은 RapidEye 지표반사도 처리 값의 정확도 검증은 RadCalNet 데이터를 사용하여 수행하였으며, 정확도 검증 대상인 RapidEye 영상정보를 기준으로 같은 날짜의 RadCalNet 데이터를 이용하였다. RadCalNet은 광학 지구 관측 위성의 검보정 자료 제공을 목적으로 전 세계 4곳에서 5개 사이트의 측정 지점을 선정하여 현장에서 측정된 분광 반사도 측정 값을 제공하는 포털이다. 이 포털에서는 현장 시간 기준으로 오전 9시부터 오후 3시까지 30분 간격으로 측정된 지표 반사도 자료와 이 자료를 이용하여 산출한 대기반사도

자료를 제공하고 있다. 지표반사도는 400 nm에서 1,000 nm (또는 2,500 nm)까지 분광 자료를 10 nm 간격으로 측정한다. 또한 각 측정 지점에서는 에어로졸 광학 두께, 지표 압력, 지표 온도, 수증기량, 오존 등과 같은 대기 환경자료를 제공한다. RadCalNet에서 제공하는 대기 반사도는 이러한 측정값과 RadCalNet의 복사전달 알고리즘을 이용하여 계산한 산출물이다. 4곳의 기준 측정 지점은 미국 네바다 Railroad Playa 지역의 University of Arizona 사이트(RVUS), 프랑스 La Crau 지역의 CNES 사이트(LCFR), 중국 Baotou 지역의 AoE 사이트(BTCN, BSCN), 아프리카 Namibia Gobabeb 지역의 ESA/CNES 사이트(GONA)이다. BTCN사이트는 2016년부터 현재까지의 자료를 제공하고 있고, RVUS는 2013년, LCFR는 2015년, BSCN, GONA는 2017년부터 측정된 자료를 제공하고 있다.

Fig. 3은 정확도 검증 실험 과정을 정리한 것이다. RapidEye 영상정보로부터 얻은 지표반사도 정확도는 같은 도구를 이용하여 얻은 KOMPSAT-3A 영상정보의 지표반사도와 Landsat-8 기반 지표반사도 제품(USGS ARD Collection 2 Level-2)과 같이 비교하였다. 한편 같은 RapidEye 영상정보를 가지고 Harris Geospatial사의 ENVI 소프트웨어에서 제공하는 QUAC과 FLAASH 도구(Harris Geospatial Solution, 2022)를 통하여 얻는 지표 반사도 산출물의 결과에 대해서도 비교하였다. QUAC는 대기 조건에 대한 입력 자료를 요구하지 않고 대기 보정을 위한 매개 변수가 영상 자체의 픽셀로부터 직접

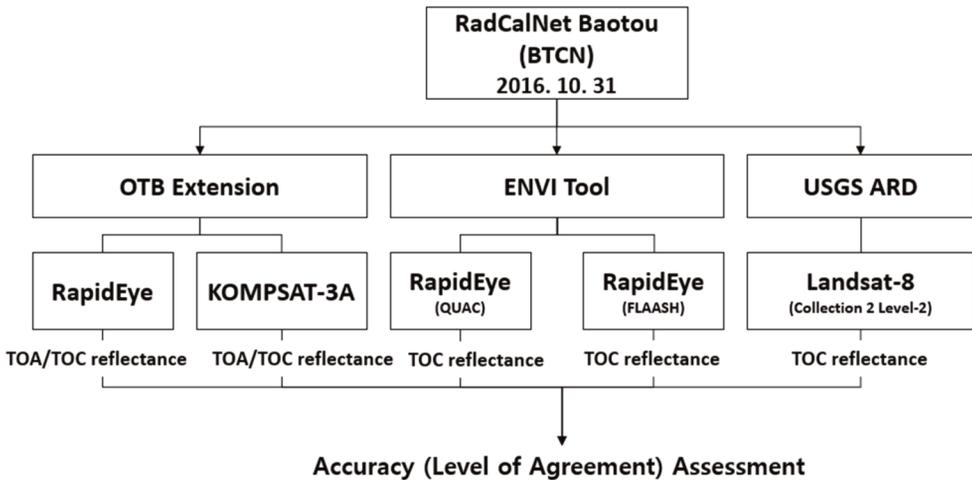


Fig. 3. Work flow for accuracy validation.

**Table 1.** RadCalNet data and satellite data for accuracy validation

RadCalNet								
Site	Day of year	Date	Time	Location (Lat, Long)	Pressure (mb)	Water vapor (g/cm)	O <sub>3</sub> (Dobsons)	AOD (at 550 nm)
Baotou of China	288	2016. 10. 31	06:00	40.8514, 109.6291	872	0.7847	280	0.299

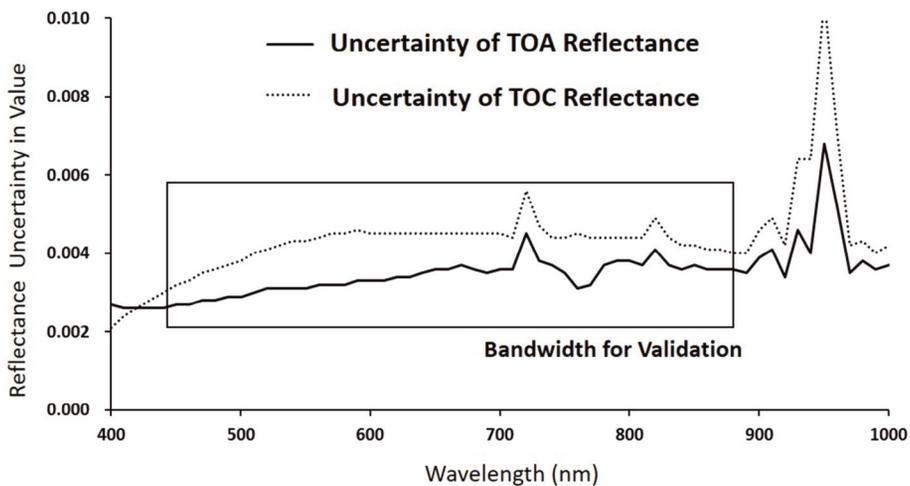
  

Remote Sensing Data								
Satellite	Day of year	Date	Time	Applied wavelength (nm)				
				Blue	Green	Red	RE	NIR
KOMPSAT-3A	288	2016. 10. 31.	06:00	450-510	530-580	630-690	-	770-900
RapidEye	288	2016. 10. 31	04:07	450-510	520-590	630-680	690-730	760-850
Landsat-8	287	2016. 10. 30	03:24	450-510	530-590	640-670	-	850-880

결정되므로 모든 위성정보에 적용할 수 있지만 반사도 산출물의 정확도가 높지 않은 단점이 있다. FLAASH는 Lee and Yum (2019)에서 MODTRAN 복사전달 코드를 이용하여 수치 해석적으로 다중 산란 효과가 고려된 지표반사도를 산출하지만 대기 조건에 관한 입력 자료에 따라 정확도에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. OTB Extension은 태양 및 위성 각도 에어로졸 모델 등이 입력 변수로 필요하고 FLAASH 도구의 입력 변수는 중심 값, 센서 타입, 고도 값, 대기 모델 등이 필요하다. 입력 변수에 대한 값은 Lee and Kim (2020)에서 예시한 바 있다.

Table 1은 검증 실험에 사용된 데이터와 영상정보에 대한 날짜와 시간 정보와 함께 RadCalNet 사이트의 회색 방수포(Tarp)가 위치한 좌표 값, 각 위성정보의 실험에 적용한 분광 밴드를 정리한 것이다. 실험 결과는

RadCalNet 회색 방수포가 위치한 좌표 값으로 각 영상에서 한 픽셀 값을 추출하여 비교를 수행하였다. Landsat-8 영상을 제외하고는 모두 2016년 10월 31일 날짜로 동일하다. Landsat-8 영상은 하루 전인 2016년 10월 30일 날짜로 실험을 수행하였다. 촬영 및 센서 수집 시간은 Coordinated Universal Time (UTC) 시각 03:00-06:00 사이이다. 모든 영상은 Blue, Green, Red와 NIR 밴드를 실험 값으로 도출하였으며 RapidEye Red-Edge 밴드가 추가된다. 각 위성들의 분광범위는 Table 1에서 확인할 수 있다. RadCalNet 데이터의 경우는 데이터와 같이 제공되는 측정 값에 대한 불확실도(uncertainty)를 확인할 필요가 있다. 불확실도 값이 높거나 오류가 있는 것으로 표기되는 경우에는 검증 작업에 사용하지 않는다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 이번 실험에 적용한 분광 대역인 440



**Fig. 4.** Reflectance uncertainty data of the RadCalNet BTCN site on the RapidEye imagery acquisition date.

**Table 2.** Parameters of KOMPSAT-3A and RapidEye for surface reflectance generation process

Parameter	KOMPSAT-3A	RapidEye
Solar irradiance ( $W m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ )	B: 2001.28, G: 1875.46, R: 1525.52, NIR: 1027.38	B: 1997.8, G: 1863.5, R: 1560.4, RE: 1395.0, NIR: 1124.4
Satellite azimuth angle (o)	261.77	280.00
Satellite elevation angle (o)	64.87	83.95
Sun azimuth angle (o)	204.19	174.49
Sun elevation angle (o)	31.81	34.96

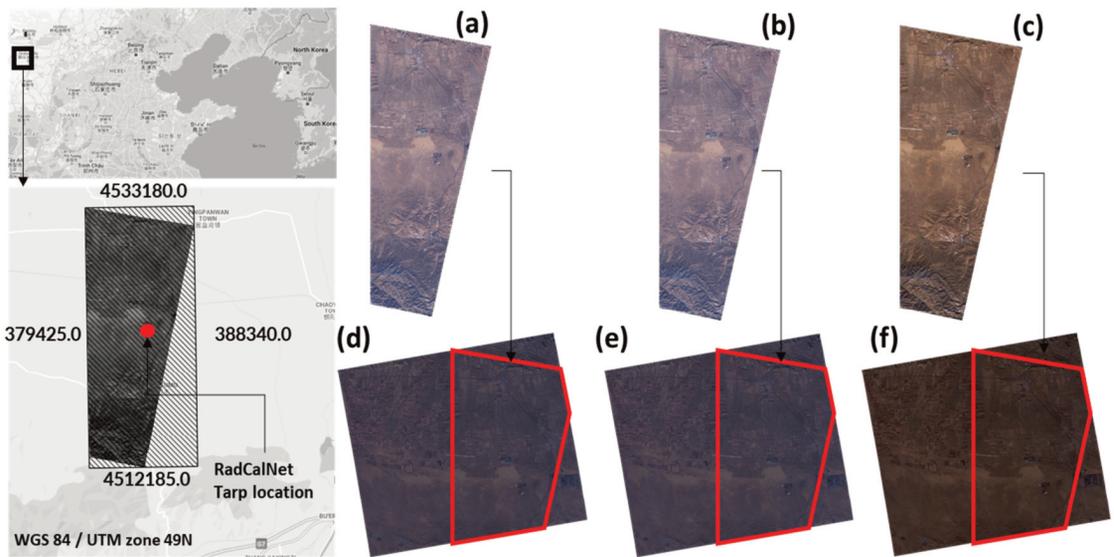
nm-850 nm 범위의 불확실도 값을 확인했을 때 실험에 적용하는 데 문제가 없는 것으로 나타났다.

Table 2는 OTB Extension을 이용하여 지표반사도를 생성하기 위한 보조 자료를 정리한 것이다. KOMPSAT-3A는 Level-1G 영상을 사용하였다. 처리 입력에 필요한 Gain과 Offset 그리고 태양 복사조도(solar irradiance) 값은 KOMPSAT-3A 사용자 매뉴얼(SI Imaging Service, 2017) 값을 참고하였고, 위성 자세각과 태양 자세각은 보조자료 파일 값을 참고하였다. RapidEye 영상은 Ortho Tile Product인 Level 3A 영상을 사용하였다. RapidEye L3A 제품은 복사휘도 값으로 보정된 위성정보가 제공되기 때문에 별도의 Gain과 Offset 값을 적용하지 않았다. 복사휘도 값은 Scale Factor가 적용되어 있기 때문에 대기

반사도와 지표반사도 생성 처리를 위해서는 보조 자료에서 제공하는 Scale Factor 값(\*0.01) 적용이 필요하다.

#### 4. 정확도 검증 실험 결과

OTB Extension을 통하여 얻은 대기 및 지표반사도 영상 결과는 Fig. 5이다. 실험 지역에 대한 정보와 KOMPSAT-3A, RapidEye의 대기 및 지표반사도 생성 처리 결과를 RGB 밴드로 시각화한 것으로 Fig. 5(a)-(c)는 RapidEye, Fig. 5(d)-(f)는 KOMPSAT-3A 시각화 결과이다. 원본 영상과 대기반사도의 RGB 합성 결과는 크게 변화가 없지만 지표반사도 결과는 확연히 차이 나는 것을 확인할 수



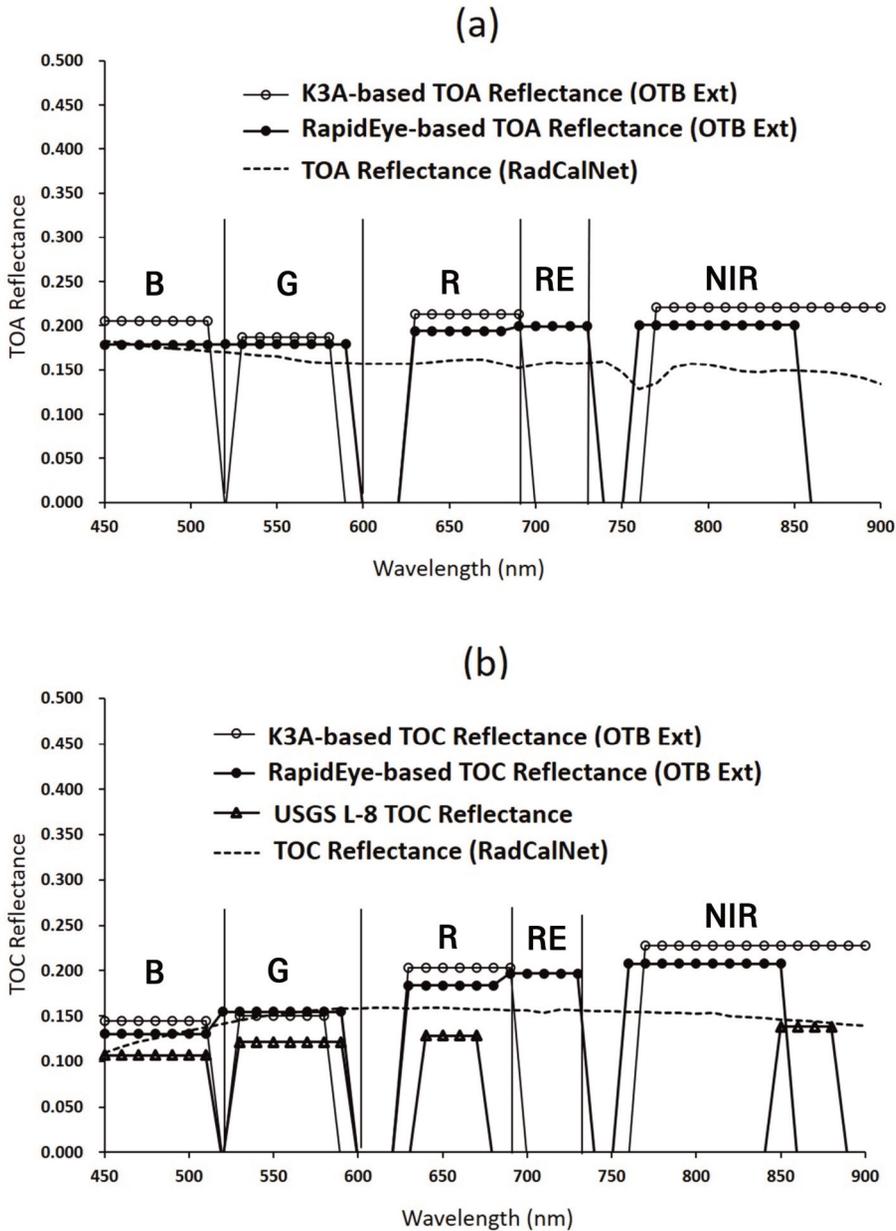
**Fig. 5.** RGB composite images of TOA/TOC reflectance of RapidEye and KOMPSAT-3A images around the RadCalNet-BTCN site: (a) RapidEye image without atmospheric correction, (b) RapidEye-based TOA reflectance, (c) RapidEye-based TOC reflectance, (d) KOMPSAT-3A image without atmospheric correction, (e) KOMPSAT-3A TOA reflectance, and (f) KOMPSAT-3A TOC reflectance.

있다. 반사도 값 비교는 회색 방수포 위치의 단일 픽셀 값으로 비교하였다.

지표반사도 산출물의 정확도 실험 결과는 Fig. 6과 Fig. 7에서 제시하였다. Fig. 6은 OTB Extension 처리 결과에 대한 검증으로 KOMPSAT-3A와 RapidEye 영상정보의 대기 및 지표반사도 결과를 나타낸다. 지표반사도

결과에는 Landsat-8 결과도 같이 포함하였다. 정확도는 RadCalNet 반사도 자료를 기준 값(ground truth)으로 하여 RadCalNet 측정 좌표 값에 위치하는 위성정보의 지표반사도 값이 얼마나 차이가 나는가를 나타내는 방식으로 일종의 일치도 검사(agreement test)라고 할 수 있다.

Fig. 6(a)와 같이 KOMPSAT-3A 위성영상과 RapidEye



**Fig. 6.** Validation of the experiment result against the RadCalNet BTCN site: (a) TOA reflectance of RapidEye and KOMPSAT-3A by the OTB extension, (b) TOC reflectance of RapidEye and KOMPSAT-3A by the OTB extension and surface reflectance in Landsat-8 ARD.

영상정보로부터 얻은 대기반사도 값을 비교하면 두 영상의 대기반사도 Green 밴드 값은 차이가 0.008정도로 거의 동일한 값을 보여주고 있으며, Blue 밴드 값 차이가 0.027로 가장 큰 차이가 나는 것으로 나타났다. 한편 기준 값인 RadCalNet 값과 비교 검증했을 때 상대적으로 공간해상도가 낮은 RapidEye 반사도 결과가 KOMPAT-

3A 결과에 비하여 일치도가 높은 것으로 나타났다. 두 영상 모두 NIR 값에 대한 차이가 가장 많이 나지만 모두 임의 오차 허용 범위인 5% 이내에 포함되는 것을 알 수 있다.

지표반사도 비교 결과인 Fig. 6(b)에서는 RapidEye와 KOMPAT-3A의 Blue와 Green 밴드에서 RadCalNet 데

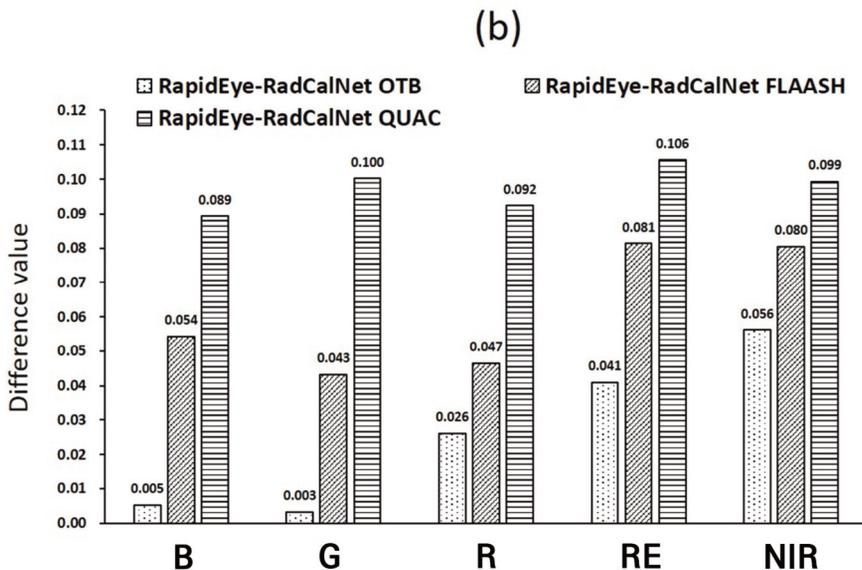
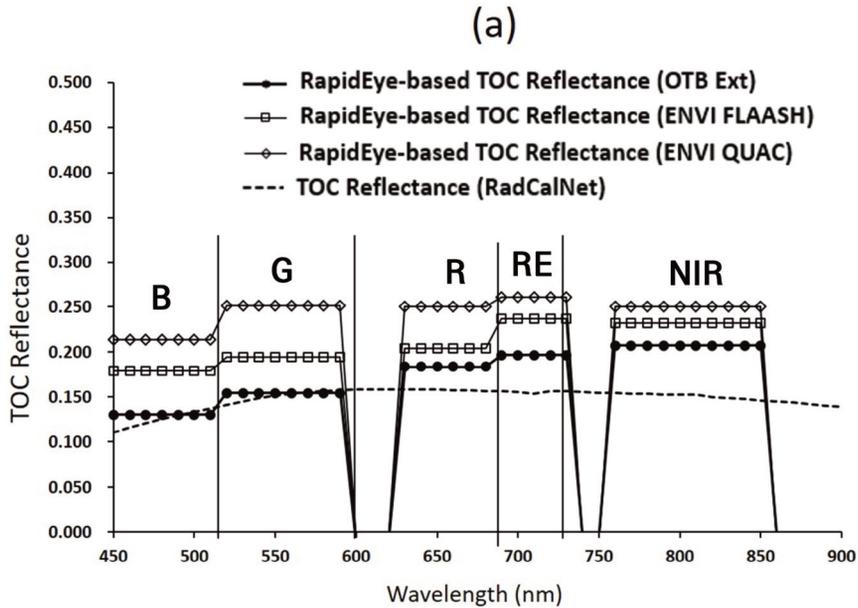


Fig. 7. Validation of the experiment result by three different schemes against the BTCN RadCalNet site: (a) TOC reflectance of RapidEye by the OTB extension, QUICK, and FLAASH, (b) Discrepancy level of three schemes with the RadCalNet data for each band.

이터와 값이 거의 일치하는 것을 확인하였으며, Red와 NIR 값은 임의 허용오차 5%를 근사 값으로 상회하는 불일치도를 보이는 것으로 나타났다. 특히 Landsat-8 지표반사도 값은 임의 허용 오차 범위내에서 RadCalNet 자료보다 낮은 값을 보여주고 있다. 하지만 NIR 밴드에서는 KOMPSAT-3A와 RapidEye 지표반사도 값이 모두 RadCalNet 자료에 대비하여 비교적 일치도가 낮게 나타내는 것과 달리 RadCalNet 자료와 거의 일치하는 결과를 보이고 있다.

Fig. 7은 OTB Extension과 ENVI에서 제공하는 도구를 사용하여 얻은 RapidEye 지표반사도결과를 RadCalNet 기준 값과 함께 시각화한 것이다. Fig. 7(a)와 같이 OTB Extension을 통하여 얻은 결과가 RadCalNet 기준 값과 비교하여 모든 밴드에서 5% 정보의 범위에서 일치도를 보이는 데 반하여, QUAC와 FLAASH 도구에 의한 결과는 비교적 일치도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 이를 정량적인 차이 값으로 나타낸 것이다. OTB Extension으로 얻은 지표반사도 값은 NIR 밴드에서 0.056의 가장 큰 차이 값을 보였고, FLAASH 도구에 의한 결과는 Red-Edge 밴드 값이 0.081로 가장 큰 차이를 나타낸다. 한편 QUAC를 적용한 지표반사도는 거의 모든 밴드에서 기준 값 대비 8% 이상 차이를 보였다. 물론 이 실험은 한 개의 위성정보를 대상으로 한 사례 연구로서 다른 시기의 위성영상정보를 다루는 경우에는 이 실험과는 차이가 있는 결과가 나올 수도 있지만, 안정적인 촬영조건에서 얻어진 위성정보를 다루게 되면 그 차이는 대부분 임의 허용 오차 범위내에 포함될 것으로 예상된다. 따라서 일반화된 결과를 얻기 위해서는 이 연구에 사용한 검증 방법을 RadCalNet 포털의 다른 자료를 대상으로 적용하는 추가적인 연구가 필요하다.

## 5. 결론

이 연구에서 절대대기보정 알고리즘을 적용하여 RapidEye 영상정보로부터 대기 및 지표반사도 산출물을 생성하는 OTB Extension 도구를 구현하고, 이를 이용하여 얻은 산출물에 대한 정확도 검증 실험을 수행하였다. RadCalNet BTCN 자료를 기준 값으로 하여 처리 결과와의 일치도를 검사하면서 KOMPSAT-3A 지표반

사도와 Landsat 지표반사도 ARD 자료와의 비교 연구를 수행한 결과 모든 밴드에서 5% 범위 내의 일치도를 보이는 것으로 나타났고, NIR 밴드에서는 Landsat-8 지표반사도가 특히 RadCalNet 자료와 높은 일치도를 보였다. 한편 QUAC과 FLAASH 도구를 적용한 처리 결과와 직접 비교한 결과는 QUAC와 FLAASH를 이용한 결과에 비하여 OTB Extension을 이용하여 얻은 모든 밴드의 지표반사도가 상대적으로 우수한 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 물론 일반화된 결과를 얻기 위해서는 RadCalNet 포털의 다른 자료를 대상으로 이 연구에 사용한 검증 방법을 적용하는 추가적인 연구가 필요하다. 이 연구는 RapidEye 영상정보에 대하여 센서 보정치, 대기 환경 변수 등이 종합적으로 적용된 실제 반사도 산출 결과의 신뢰도를 비교한 연구이다. 따라서 이러한 개별 영향 요소들이 반사도 산출물의 품질과 정확도에 미치는 영향을 파악하기 위한 별도의 연구가 필요하다.

한편 과거 영상을 포함하는 장기 주기 시계열 분석(Long-term Time-Series Analysis)에 RapidEye 영상정보를 융합하여 적용할 수 있기 때문에 이 연구에서 개발한 지표반사도 생성 도구와 비교 실험 결과는 차세대 중형 위성 4호(농림위성)의 활용 서비스 개발에도 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

## 사사

본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임(이기원). 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021R1F1A1045923)(김광섭).

## References

- Cahalane, C., A. Magee, X. Monteys, G. Casal, J. Hanafin, and P. Harris, 2019. A comparison of Landsat 8, RapidEye and Pleiades products for improving empirical predictions of satellite-derived bathymetry, *Remote Sensing of Environment*, 233: 111414. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111414>

- Chang, A.J., J.-W. Choi, A.-R. Song, Y.J. Kim, and J.H. Jung, 2015. Vicarious Radiometric Calibration of RapidEye Satellite Image Using CASI Hyperspectral Data, *Journal of The Korean Society for Geospatial Information Science*, 23(3): 3-10 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7319/kogsis.2015.23.3.003>
- Coffer, M.M., B.A. Schaeffer, R.C. Zimmerman, V. Hill, J. Li, K.A. Islam, and P.J. Whitman, 2020. Performance across WorldView-2 and RapidEye for reproducible seagrass mapping, *Remote Sensing of Environment*, 250: 112036. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112036>
- Harris Geospatial Solution, 2022. FLAASH Background, <https://www.13harrisgeospatial.com/docs/backgroundflaash.html>, Accessed on Feb. 20, 2022.
- Kim, K. and K. Lee, 2020a. Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data: Application of RadCalNet Baotou (BTCN) Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6-2): 1509-1521 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2020.36.6.2.3>
- Kim, K. and K. Lee, 2020b. A Validation Experiment of the Reflectance Products of KOMPSAT-3A Based on RadCalNet Data and Its Applicability to Vegetation Indexing, *Remote Sensing*, 12(23): 3971. <https://doi.org/10.3390/rs12233971>
- Kim, K. and K. Lee, 2021a. An Implementation of OTB Extension to Produce TOA and TOC Reflectance of LANDSAT-8 OLI Images and Its Product Verification Using RadCalNet RVUS Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(3): 449-461 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.3.7>
- Kim, K. and K. Lee, 2021b. An Implementation of Open Source-Based Software as a Service (SaaS) to Produce TOA and TOC Reflectance of High-Resolution KOMPSAT-3/3A Satellite Image, *Remote Sensing*, 13(22): 4550. <https://doi.org/10.3390/rs13224550>
- Kim, H.O., J.M. Yeom, and Y.S. Kim, 2011. The multi-temporal characteristics of spectral vegetation indices for agricultural land use on RapidEye satellite imagery, *Aerospace Engineering and Technology*, 10(1): 149-155.
- Kim, M., S. Jeong, J.M. Yeom, H.O. Kim, and J. Ko, 2016. Determination of rice canopy growth based on high resolution satellite images: a case study using RapidEye imagery in Korea, *AIMS Environmental Science*, 3(4): 631-645. <https://doi.org/10.3934/envirosci.2016.4.631>
- Kwon, S.K., K.M. Kim, and J. Lim, 2021. A Study on Pre-evaluation of Tree Species Classification Possibility of CAS500-4 Using RapidEye Satellite Imageries, *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(2): 291-304 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.2.9>
- Lee, H.S. and K.S. Lee, 2017. Effect of Red-edge Band to Estimate Leaf Area Index in Close Canopy Forest, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33 (5-1): 571-585 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2017.33.5.1.10>
- 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). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.4.3>
- Lee, K. and K. Kim, 2020. Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data Using RadCalNet Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(2-1): 167-178 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2020.36.2.1.6>
- Lee, K., K. Kim, S.G. Lee, and Y. Kim, 2020. Determination of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with Top-of-Canopy (TOC) reflectance from a KOMPSAT-3A image using Orfeo ToolBox (OTB) extension, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4):

257. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040257>
- Lee, K.H. and J.M. Yum, 2019. A Review on Atmospheric Correction Technique Using Satellite Remote Sensing, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35 (6-1): 1011-1030 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.1.11>
- Main-Knorn, M. and B. Pflug, 2014. Comparative analysis of the atmospheric correction results for inter- and cross-sensor application in LUCC studies, *Proc. of the 5th Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Land Use and Land Cover*, Berlin, Germany, Mar. 17-18.
- Park, H.L., J.W. Choi, and S.K. Choi, 2014. Impervious Surface Mapping of Cheongju by Using RapidEye Satellite Imagery, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, 22(1): 71-79 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7319/kogsis.2014.22.1.071>
- Planet, 2022. Planet Surface Reflectance Version 2.0, [https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet\\_Surface\\_Reflectance\\_Technical\\_White\\_Paper.pdf](https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf), Accessed on Feb. 20, 2022.
- Planet Labs, 2022. Planet Imagery Product Specifications, [https://assets.planet.com/docs/Planet\\_Combined\\_Imagery\\_Product\\_Specs\\_letter\\_screen.pdf](https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf), Accessed on May 23, 2022.
- Seong, S.-K., S.-I. Na, and J.-W. Choi, 2020. Assessment of the FC-DenseNet for Crop Cultivation Area Extraction by Using RapidEye Satellite Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(5-1): 823-833 (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.7780/kjrs.2020.36.5.1.14>
- SI Imaging Services, 2017. KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.4, <http://www.si-imaging.com/resources/?uid=337&mod=document>, Accessed on Jul. 22, 2022.
- Ustuner, M., F.B. Sanli, S. Abdikan, and M.T. Esetlili, 2014. Crop Type Classification using Vegetation Indices of Rapideye Imagery, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7): 195-198. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-195-2014>