

Article

RadCalNet 자료를 이용한 다목적실용위성 3A 영상 자료의 지표 반사도 성과 검증

이기원 ^{1)†} · 김광섭 ²⁾

Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data Using RadCalNet Data

Kiwon Lee ^{1)†} · Kwangseob Kim ²⁾

Abstract: KOMPSAT-3A images have been used in various kinds of applications, since its launch in 2015. However, there were limits to scientific analysis and application extensions of these data, such as vegetation index estimation, because no tool was developed to obtain the surface reflectance required for analysis of the actual land environment. The surface reflectance is a product of performing an absolute atmospheric correction or calibration. The objective of this study is to quantitatively verify the accuracy of top-of-atmosphere reflectance and surface reflectance of KOMPSAT-3A images produced from the OTB open-source extension program, performing the cross-validation with those provided by a site measurement data of RadCalNet, an international Calibration/Validation (Cal/Val) portal. Besides, surface reflectance was obtained from Landsat-8 OLI images in the same site and applied together to the cross-validation process. According to the experiment, it is proven that the top-of-atmosphere reflectance of KOMPSAT-3A images differs by up to ± 0.02 in the range of 0.00 to 1.00 compared to the mean value of the RadCalNet data corresponding to the same spectral band. Surface reflectance in KOMPSAT-3A images also showed a high degree of consistency with RadCalNet data representing the difference of 0.02 to 0.04. These results are expected to be applicable to generate the value-added products of KOMPSAT-3A images as analysis ready data (ARD). The tools applied in this study and the research scheme can be extended as the new implementation of each sensor model to new types of multispectral images of compact advanced satellites (CAS) for land, agriculture, and forestry and the verification method, respectively.

Key Words: AERONET, Atmospheric Correction, KOMPSAT-3A, RadCalNet, Surface Reflectance

Received April 3, 2020; Revised April 13, 2020; Accepted April 16, 2020; Published online April 22, 2020

¹⁾ 한성대학교 전자정보공학과 정교수 (Professor, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

²⁾ 한성대학교 전자정보공학과 시간강사 (Part-time Lecturer, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

[†] 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 (<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.

요약: 2015년 발사된 이후 KOMPSAT-3A 영상정보가 여러 분야에서 활용되고 있다. 그러나 실제 육상 환경의 분석에 필요한 지표 반사도를 얻을 수 있는 도구 개발이 이루어지지 않아서 식생 지수 산정 등과 같이 이러한 자료를 적용하는 과학적 분석과 응용 분야의 확산에는 한계가 있었다. 지표 반사도는 절대 대기 보정 처리 과정을 수행하여 얻어지는 성과물이다. 이 연구에서는 OTB 오픈 소스 확장 프로그램으로부터 KOMPSAT-3A 영상정보의 대기 반사도와 지표 반사도를 구하고, 국제 검보정 포털 RadCalNet에서 제공하는 대기 반사도와 지표 반사도 현장 측정 자료를 이용하여 정확도를 비교 검증하고자 한다. 또한 같은 지역의 Landsat-8 OLI 영상으로부터 지표 반사도를 구하고 비교 검증 실험에 같이 적용하였다. 검증 실험 결과로 KOMPSAT-3A 영상의 대기 반사도는 같은 분광대역에 해당하는 RadCalNet 자료의 평균값과 비교했을 때 0.00에서 1.00까지의 범위에서 최대 ± 0.02 차이가 보이는 것을 확인할 수 있었다. KOMPSAT-3A 영상의 지표 반사도 산출 결과는 RadCalNet 자료와 0.02에서 0.04까지의 차이 값을 갖는 높은 일치도를 보이는 것으로 나타났다. 이 결과들은 KOMPSAT-3A 영상의 분석대기자료(Analysis Ready Data)로서의 활용 가능성을 증가시키는 기본 자료로 사용할 수 있다. 또한 이 연구에서 개발된 도구와 연구 방법은 향후 국토, 농업, 산림 활용을 위한 차세대 중형 위성 영상자료의 각 센서 모델에 맞는 확장 프로그램 개발과 검증에도 적용이 가능할 것으로 생각한다.

1. 서론

최근 고해상도 광학 지구관측 위성의 활용을 증대시키기 위하여 픽셀 단위의 영상자료에서 과학 자료로서의 위성 영상정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 중저해상도 Landsat 위성 영상정보의 경우 1970년대부터 현재까지 다중 분광 영상자료로부터 얻을 수 있는 지표 반사도나 지표 온도도 성과물 제작 등을 위한 수많은 기초연구와 응용연구가 전 세계에서 이루어지고 있다. 이러한 동향에 따라 Badawi *et al.*(2019)는 지구관측 위성에 의한 지표 반사도 결과 검증을 위한 방법에 대한 연구를 수행하였다. 우리나라에서도 KOMPSAT 광학 영상의 검정과 품질 관리 측면에서 복사 대기 보정에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있고(Kim *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2016; Yeom *et al.*, 2018), 최근 절대 대기 보정 기술에 대한 현황을 정리하는 조사 연구(Lee and Yum, 2019; Lee, 2019) 등이 수행되고 있는 바와 같이 대기 보정에 대한 전반적인 관심이 증가하고 있다.

Landsat 위성 영상자료의 경우 2010년대 이후 사용자가 전처리 작업을 하지 않고도 바로 활용할 수 있는 과학 정보로 위성자료를 제공하는 분석 대기 자료인 ARD 단계로 성과 수준을 향상하고 있다(Dwyer *et al.*, 2018; U.S. Geological Survey, 2018). 코페르니쿠스 프로그램(Copernicus Program)의 Sentinel-2 위성의 경우도 2015년부터 이러한 동향을 따르고 있다. 이러한 지표 반사도 성과물은 주요 국가들이 시계열 위성 영상정보 구축을 포함하는 데이터 큐브(Data Cube)에서 수집하는 중요

정보로 간주하고 있다(CEOS, 2018; Lee *et al.*, 2019). 그러나 무상으로 사용 가능한 중저 해상도 위성 영상정보와 달리 WorldView이나 KOMPSAT-3A 영상정보와 같은 고해상도 광학 상업 영상의 경우 작은 관측 폭(Swath width)에서 서브 미터 급(< 1 m) 공간 해상도의 특징이 강조되면서 이러한 위성에서 얻어지는 분광 영상자료의 과학 분야 활용은 제한적인 경우가 많다. 한편 Landsat이나 Sentinel-2와 같은 경우에도 위성 영상자료로부터 도출한 지표 반사도 성과의 결과 정확도를 현장 측정 분광 반사 자료를 기준으로 하여 비교하는 실험이 최근 중요한 연구 주제로 부각되고 있다(Gorrone *et al.*, 2019; Jing *et al.*, 2019; Sterckx *et al.*, 2019).

이 연구에서 이러한 동향을 반영하여 KOMPSAT-3A 영상으로부터 생성한 대기 반사도와 지표 반사도를 현장 측정 자료와 직접 비교하는 실험을 수행하고 그 결과를 분석하고자 하였다. KOMPSAT-3A 영상으로 대기/지표 반사도 성과를 얻기 위하여 Lee and Kim(2019)에서 구현한 오픈 소스 OTB 기반 도구를 적용하였으며 현장 자료는 RadCalNet 자료를 기준 값으로 이용하였다. 따라서 이 연구의 또 다른 목적은 개발한 도구의 정확도 검증이라는 측면도 포함한다. 또한 처리 결과와 도구의 검증을 위한 비교 연구를 위하여 Landsat-8 OLI 영상도 동시에 실험에 이용하였다. Landsat-8 OLI 영상은 오픈 소스와 상업 도구에 의한 지표 반사도와 USGS Landsat-8 ARD에서 제공하는 지표 반사도 성과물을 동시에 적용하였다.

2. RadCalNet 개요

RadCalNet(www.radcalnet.org)은 광학 지구 관측 위성의 복사 보정과 모니터링을 지원하기 위한 목적으로 전 세계에서 4곳의 기준 측정 지점을 선정하여 현장에서 설치한 계기를 통하여 기준이 될 수 있는 분광 반사도 측정값을 제공하는 포털이다(Bouvet *et al.*, 2019). 이 포털에서는 현장 시간 기준으로 9 am에서 3 pm까지 30분 간격으로 측정된 현장 측정(in-situ) 지표 반사도 자료와 이 자료를 이용하여 계산한 대기 반사도 자료를 제공하지만 제공되는 자료에 포함된 실제 측정 시간은 사이트 별로 차이가 있다. 지표 반사도는 연직 방향을 기준으로 하여 400 nm에서 1,000 nm(측정 점에 따라 2,500 nm) 까지 분광 자료를 10 nm 간격의 분광 분해능으로 측정된 것이다. 또한 각 측정 지점에서는 에어로졸 광학 두께, 지표 압력, 지표 온도, 수증기량, 오존 등의 측정값을 제공한다. RadCalNet에서 제공하는 대기 반사도는 이러한 측정값과 RadCalNet의 복사전달 알고리즘을 이용하여 현장 측정 지표 반사도를 입력 자료로 처리한 산출물이다.

네 곳의 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), 아프리카 Namibia Gobabeb 지역의 ESA/CNES 사이트(GONA)이다. RVUS 사이트는 2013년부터 현재까지의 자료를 제공하고 있고, LCFR, BTCN, GONA 사이트는 각각 2015, 2016, 2017년부터

측정한 자료를 제공하고 있다. 이 중에서 RVUS 자료는 Alonso *et al.*(2019)와 Bruegge *et al.*(2019)과 같이 다양한 지표 반사도 관련 실험이 이루어지고 있다.

이 연구에서 대기 반사도는 Top-of-Atmosphere(TOA) Reflectance로 나타내고, 지표 반사도는 Surface Reflectance, Bottom-of-Atmosphere(BOA) Reflectance, Top-of-Canopy (TOC) Reflectance와 같은 여러 표기 방식 중에서 주로 TOC Reflectance로 기술하였다.

3. KOMPSAT-3A 영상정보 대기/지표 반사도 결과 검증

KOMPSAT-3A는 1 m 이하의 전 정색 영상(Panchromatic image)과 다중 분광 영상정보를 제공하는 고해상도 광학 상업 위성이다. 이 연구에서는 이러한 고해상도 영상정보의 대기 반사도와 지표 반사도 성과물에 대한 결과 검증을 목적으로 하므로 가시 파장 범위(visible wavelength range)를 기록하는 전 정색 영상은 검증 자료로 사용하지 않았다. Table 1은 3 m 이하의 해상도를 갖는 분광 영상을 제공하는 고해상도 광학 위성을 정리한 것이다. 프랑스 CNES의 Pleiades 영상은 같은 CNES에서 개발한 오픈 소스 도구인 Orfeo Toolbox(OTB)에서 TOA/TOC Reflectance 성과 산출 모듈을 제공하고 있다. Vanhellemont and Ruddick(2018)은 이 도구를 적용한 식생 분석 연구를 수행하였다. 인도의 CartoSat 위성의 경우 최근 이 분야에 대한 연구와 결과 검증을 시도하고

Table 1. High resolution multi-spectral images (spatial resolution < 3 m)

Satellite	Sensor	No. of Bands	Spatial Resolution [m]	Launch Year	Operator
WorldView-4	MS	4	1.24	2017	Maxar (ex Digital Globe)
WorldView-3	MS	8	1.24	2014	
WorldView-2	MS	8	1.84	2009	
CartoSat-2F	HRMX	4	2.00	2018	Indian Space Research Organisation (ISRO)
CartoSat-2D	HRMX	4	2.00	2017	
CartoSat-2E	HRMX	4	2.00	2017	
CartoSat-2C	HRMX	4	2.00	2016	
KOMPSAT-3A	AEISS-A MS	4	2.20	2015	Korea Aerospace Research Institute (KARI)
KOMPSAT-3	MS	4	2.80	2012	
Pleiades 1B	MS -HiRI	4	2.80	2013	The National Centre for Space Studies (CNES)
Pleiades 1A		4	2.80	2012	

있다(Pathak, 2019). Manakos *et al.* (2011)은 몇 가지 상용 도수를 이용하여 WorldView-2 영상의 절대 대기 보정에 의한 지표 반사도와 현장 측정 반사도를 비교한 연구를 수행한 바 있다. 미국 Maxar사에서 제공하는 WorldView 영상의 경우 DigitalGlobe에서 자체 절대 대기보정 도구인 DACOMP(Atmosphere Compensation)를 개발하여 이 도구를 이용한 대기보정 영상을 부가서비스로 판매하고 있다(Maxar, 2017). KOMPSAT 위성의 경우 2019년 말 기준으로 이 위성의 센서 모델을 적용하여 절대 대기보정을 처리할 수 있는 기능을 제공하는 상업 도구는 없고 Lee and Kim(2019)이 CNES의 OTB에 KOMPSAT 센서 모델 정보를 적용하여 절대 대기보정 처리기능을 Add-on 모듈로 개발한 사례가 유일하며, 이 연구에서도 이 모듈을 소프트웨어 도구로 하여 직접 실험에 적용하였다. 이 도구는 이하 OTB extension for KOMPSAT-3A로 표기하고자 한다. 여기서 Extension은 기반 엔진 소프트웨어 하에서 구동하는 도구를 의미하는 것으로 OTB가 설치되고 이 소프트웨어의 사용 환경이 갖추어져야 개발 기능이 정상 작동한다.

Fig. 1은 이 연구의 전체적인 작업 공정과 실험 내용을 정리한 것이다. 우선 네 곳의 RadCalNet 사이트 중에서 가장 많은 자료를 제공하여 비교 대상이 되는 KOMPSAT-3A 영상의 선정이 유리한 RVUS 자료를 대상으로 하였다. 대상 영상은 RVUS 지점을 포함하면서 자료 일자와 기상 조건이 양호한 2018년 영상으로 하였고 이 영상에 대하여 OTB extension for KOMPSAT-3A를 이용하여 TOA Reflectance와 TOC Reflectance 성과물을 제작하였다. 또한 같은 조건에 해당하는 Landsat-8

OLI 영상에 대하여 오픈 소스 QGIS와 상업 도구인 ENVI를 이용하여 TOA Reflectance와 TOC Reflectance 성과물을 생성하였다. 오픈 소스 QGIS에서 사용한 모듈은 Semi-Automatic Classification Plug-in이고, ENVI에서는 FLASSH 모듈을 사용하였다. 결과 검증작업은 RadCalNet에서 제공하는 두 가지 반사도 자료를 모두 적용하여 KOMPSAT-3A와 RadCalNet의 TOA Reflectance를 비교하였고, TOC Reflectance 경우는 KOMPSAT-3A, Landsat-8 OLI, RadCalNet 자료를 모두 고려하였으며 USGS에서 제공하는 Landsat ARD에 포함된 해당 지역의 지표 반사도 자료도 비교 대상에 포함하였다.

Fig. 2는 이 연구에서 사용한 RadCalNet 자료를 예시한 것이다. RadCalNet은 각 반사도에 대하여 이 자료를 해석하는데 도움이 되도록 불확실도 자료를 별도로 제공한다. Fig. 2(a)와 (b)는 각각 현장에서 측정한 지표 반사도(400 nm ~ 2,500 nm)와 이 측정값의 불확실도(uncertainty)를 나타낸 것이다. Fig. 2(c)와 (d)는 각각 RadCalNet에서 산출한 대기 반사도(400 nm ~ 1,100 nm)와 이 자료의 불확실도(uncertainty)를 나타낸 것이다. 지표 반사도는 측정 자료이고, 대기 반사도는 알고리즘에 의한 산정자료이므로 측정 자료에 오류가 있는 경우에는 별도로 표기하여 사용하지 않도록 한다. 이 연구에서 사용한 RadCalNet 자료의 경우도 1,100 nm 이상의 범위에서 오류 값들이 있으나 KOMPSAT-3A 영상의 분광대역을 포함 범위(Fig. 2에서 k로 표기한 범위)에서는 오류 값이 없기 때문에 KOMPSAT-3A 영상 등과의 비교 검증에 문제가 없었다.

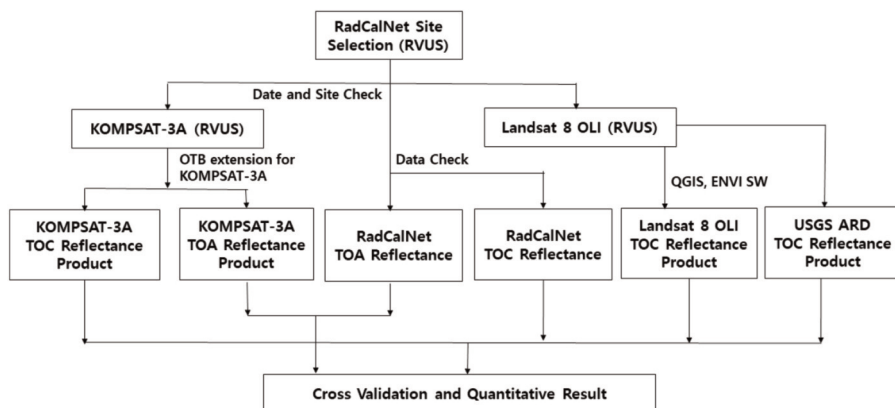


Fig. 1. Work flow in this study.

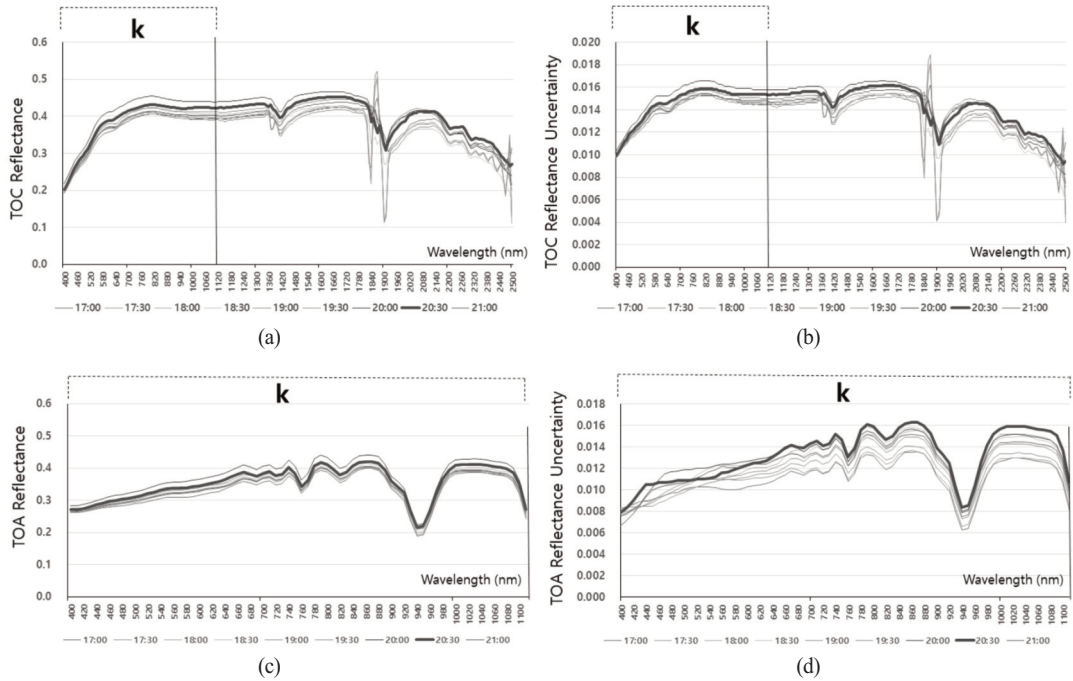


Fig. 2. In situ TOC measured and TOA data sets computed during every 30 minute from 17:00 UTC at the RadCalNet RVUS site: (a) TOC reflectance, (b) uncertainty of TOC reflectance, (c) TOA reflectance, and (d) uncertainty of TOA reflectance. Note: **k** zone is error-free data.

1) 처리 자료

Landsat이나 Sentinel 광학 영상을 이용하여 지표 반사도를 구할 수 있는 도구는 많이 있고 각 도구 별로 처리 결과를 상호 비교하는 연구도 최근 주요 연구 주제이다. 그러나 고해상도 영상정보에 대한 절대 대기 보정 연구는 WorldView 영상에 대하여 적용된 사례를 제외하고는 그리 많지 않은 실정이다. 처리 알고리즘이나 도구를 개발하더라도 처리 결과 검증이 필요하며 이러한 검증은 정확도가 보장될 수준의 현장 측정 자료가 필요하기 때문에 쉽지 않다. 따라서 이번 연구에서는 반사도 성과물의 결과 검증을 위해 RadCalNet 자료를 활용하였다. RadCalNet의 4개의 사이트 중에서 KOMPSAT-3A 촬영 지역 및 시간이 적합한 자료를 조사한 결과 GONA 사이트를 제외한 세 사이트에 처리 가능한 영상 정보가 있었으나 이번 연구에서는 RVUS 사이트를 대상으로 하였다. RVUS 사이트에 대한 데이터 수집 시간은 UTC(Coordinated Universal Time) 기준으로 17:00 ~ 23:00로 정해져 있으며, 30분 간격으로 수집한다. KOMPSAT-3A 영상은 RVUS 사이트 지역을 지나가는

시간이 주로 20:30 ~ 21:00이므로 측정 시간에 겹친다.

이 연구에서 적용한 OTB extension for KOMPSAT-3A는 KOMPSAT-3A에 대한 지표 반사도 생성을 위하여 AERONET(AERosol RoBotic NETwork) 데이터를 사용한다. NASA와 PHOTONS(PHOTometric pour le Traitement Operationnel de Normalization Satellitaire)가 설립한 지상 기반 원격 감지 에어로졸 네트워크 연합에서 제공하는 AERONET 데이터는 지상 측정소에서 여러 가지 대기 관련 물리값을 측정한 자료이다. 측정소는 전 세계에 걸쳐 있는데, 이번 연구 지역인 RadCalNet RVUS 사이트 인근에 총 네 곳의 측정소가 있었고 이 중에서 가장 직선거리가 짧은 곳에 위치한 자료를 사용하였다. 비교 검증실험에 AERONET 자료와 RadCalNet 자료를 이용할 수 있는 KOMPSAT-3A 영상의 날짜 및 시간은 2018년 5월 4일 20시 40분 12초이며, 처리영상은 각 밴드 영상을 별도로 처리해야 하므로 Level 1G 기하보정 번들 영상을 사용하였다.

Fig. 3은 RadCalNet 위치(R 표기 지점, 위도 38.497, 경도 -115.69), AERONET 측정소(A 표기 지점, 위도

38.504, 경도 -115.96), KOMPSAT-3A 영상 자료 범위를 나타내고, 이 영상을 대상으로 OTB extension for KOMPSAT-3A에 의하여 생성한 각 밴드 영상을 이용하여 생성된 대기 반사도와 지표 반사도 영상으로 RGB 합성한 결과를 나타낸다. Fig. 3(a), (b), (c)는 차례대로 대기 보정을 적용하지 않은 원본 영상, 대기 반사도 영상, 지표 반사도 영상의 RGB 합성 영상이다. Fig. 3(b)와 (c)에 표기된 R 지점이 RadCalNet 사이트이므로 이 위치의 반사도 값을 직접 비교 검증하고자 하는 대상 값으로 하였다.

이번 연구에서는 RadCalNet 사이트를 포함하는 Landsat-8 OLI 영상도 역시 비교 대상으로 하였는데, 촬영 시간은 KOMPSAT-3A와는 달리 18:00 ~ 18:30이며, RadCalNet 측정 시간에 포함되므로 지표 반사도를 비교할 수 있다. Landsat-8 OLI 영상은 오픈 소스 QGIS에서

제공하고 있는 지표 반사도 생성 모듈을 사용하였으며, 상용 소프트웨어인 ENVI에 포함된 FLAASH 모듈을 적용한 결과를 비교하였다. 또한 비교 값으로 USGS에서 자체 대기 보정 프로그램인 Land Surface Reflectance Code(LaSRC)를 적용하여 구축한 미국 전역의 Landsat-8에 기반한 지표 반사도 영상(U.S. Geological Survey, 2019)도 비교 대상으로 하였다.

2) 처리 방법

광학 위성은 위성 영상센서 모델에 따라 대기/지표 반사도를 처리하는 센서 변수가 다르기 때문에 대기 보정 모듈 기능을 제공하는 대부분의 원격 탐사 소프트웨어는 Landsat이나 Sentinel-2와 같이 무상으로 제공되고 사용자가 많은 위성의 센서 모델을 탑재하고 있다. 즉, Landsat, MODIS, Sentinel 위성 영상의 경우 상용 도구뿐

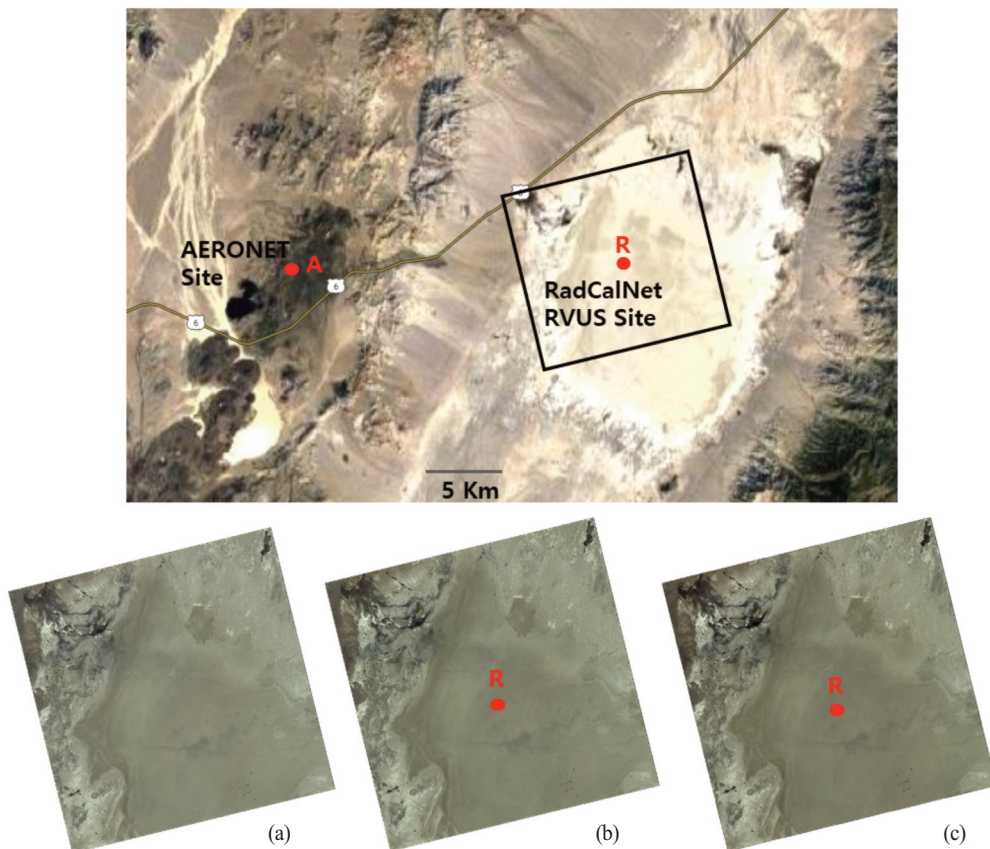


Fig. 3. Test area of validation for TOC reflectance of KOMPSAT-3A. Point R and A mean RadCalNet site named RVUS and AERONET measurement station, respectively. (a) RGB composite image, (b) RGB composite image using TOA reflectance, and (c) RGB composite image using TOC reflectance using OTB extension for KOMPSAT-3A.

Table 2. Parameters producing TOC reflectance: (a) OTB-based SW of Hansung Univ., (b) QGIS, and (c) ENVI FLAASH

OTB extension (KOMPSAT-3A)	QGIS (Landsat 8)	ENVI FLAASH (Landsat 8)
Time: 2018/05/04 20:40	Time: 2018/05/04 18:20	
Sun angles Elevation: 63.539893194 Azimuth: 216.252466066 Viewing angles Elevation: 7.654360150 Azimuth: 79.930947697 Gain (B/G/N/R) 27.6243093, 40.1606425, 43.6681222, 76.9230769 Biases (B/G/N/R) -22.1416, -14.021, -13.0457, -10.2834 Solar illuminations (B/G/N/R): 2001, 1875, 1525, 1027 Aerosol Model noaerosol	Sun elevation 61.42108424 Earth sun distance 1.0083731 Radiance Multi (B/G/N/R) 1.2645E-02, 1.1652E-02, 9.8255E-03, 6.0127E-03 Radiance Add (B/G/N/R) 63.22306, -58.25951, -49.12770, -30.06370 Reflectance Multi, Add 2.0000E-05, -0.100000 Radiance Maximum 765.44159, 705.34790, 594.78906, 363.98126 Reflectance Maximum 1.210700	Scene Center Location Lat: 38.90071944, Lon: -115.50965000 Sensor Type Landsat-8 OLI Sensor Altitude (km) 705 Ground Elevation (km) 0 Pixel Size (m) 30 Atmospheric Model U.S. Standard Aerosol Model Rural Aerosol Retrieval 2-Band (K-T)
Aeronet File	MTL File	-

만 아니라 오픈 소스에서도 반사도 생성 모듈을 제공하고 있다. 그러나 KOMPSAT-3A의 경우 공식으로 절대 대기 보정 기능을 지원하는 도구가 없기 때문에 이러한 자료가 필요한 경우에는 상대 대기 보정을 수행하는 경우가 일반적이다. 이번 연구에서 사용한 오픈 소스 OTB에서는 TOA/TOC를 처리할 수 있는 Optical Calibration 기능을 제공한다. 이 도구는 Pleiades 센서 모델 외에 SPOT, QuickBird, IKONOS 등의 고 해상도 위성 처리 모듈을 제공하고 있으나 대기 보정 모듈은 2010년 중반 이후 새로 추가된 경우가 없고 Landsat 영상을 위한 대기 보정 모듈은 제공하지 않는다(OTB, 2020).

이 연구에서 적용한 도구인 OTB extension for KOMPSAT-3A는 KOMPSAT-3A 센서 모델을 탑재하고 영상의 메타 데이터를 자동으로 읽을 수 있는 기능을 OTB 내부 소스에 추가한 것이다. 이 연구를 통하여 이 도구를 통하여 얻은 반사도 성과물의 정확도를 다른 결과와 비교 검증하고자 하였다. 한편 비교 대상이 되는 Landsat-8의 경우는 오픈 소스인 QGIS와 상용 소프트웨어인 ENVI와 같은 두 가지 도구를 이용하여 반사도를 생성하였다. 따라서 같은 입력 물리 값인 경우에도 도구에 따라 다른 변수명으로 나타나는 경우도 있고 일부 변수값은 도구에 따라 요구되는 방식이 직접 입력 방식이나 자동 처리 방식 등으로 다른 경우도 있다. 각 도구에서 요구하는 입력 변수값은 Table 2에 정리하였다.

반사도는 일자와 시간에 따라 결과가 달라지기 때문에 모든 도구에서는 공통적으로 시간 값을 필수 입력 자료로 하고 있다. OTB는 지표 반사도 생성을 위한 입력 값으로 Sun angles, Viewing Angles, 밴드별 Gain/Biases 값, Solar Illuminations, Aerosol Model이 필요하다. 이러한 값들은 대부분 KOMPSAT-3A 영상에 부속된 XML 형식의 메타데이터에 포함되어 있다. 한편 Gain/Biases와 Solar Illuminations 값은 영상 제공 사이트에 공개된 매뉴얼 1.5(SI Imaging Services, 2019)에 제시된 자료를 적용하였다. 이 도구에서는 에어로졸 자료를 적용하기 위한 AERONET 파일을 선택 사항으로 입력하도록 하는데, 이는 주로 위성 영상자료를 포함하는 지역에 AERONET 파일이 없는 경우에는 적용할 수 없기 때문이다. 따라서 이 파일이 없으면 OTB에서 설정한 기본 값이 입력된다. 이번 연구에서는 AERONET 파일을 적용하였다. Landsat-8 지표 반사도를 처리한 오픈 소스 소프트웨어인 QGIS는 플러그인 추가 설치 기능인 Semi-Automatic Classification Plug-in(SCP)으로 처리를 수행하였다. 이는 내부적으로는 일종의 상대 대기 보정 방식인 Dark Object Subtraction(DOS) 알고리즘이 적용된 알고리즘이며 Sun elevation, Earth sun distance, Radiance 등의 입력값을 요구한다. 이는 Landsat 영상 자체에 포함된 헤더 및 메타데이터 파일인 MTL 파일을 통해 자동 입력되도록 되어 있다. 여러 가지 유형의 결과물을 비

교하고자 이에 추가하여 상용 소프트웨어지 ENVI의 내부에 탑재된 FLAASH 모듈을 이용하여 지표 반사도를 생성하였다. FLAASH 기능에 대한 입력 값은 영상 원본 값이 아닌 표면에서 복사된 에너지양인 radiance를 입력한다. 이 값은 같은 도구에 포함된 Radiometric Calibration 기능을 통해 처리하여 입력한다. 입력 값으로는 Scene Center Location, Sensor Type, Altitude, Ground Elevation, Pixel Size, Atmospheric Model, Aerosol Model, Aerosol Retrieval이 있다. Atmospheric Model은 열대지방, 북극, 중위도, 미국 표준으로 나뉘어 있으며 이는 해당 지역에 대한 온도별로 선택하면 된다. U.S. Standard의 경우 지표 기온 값이 15℃에 해당한다. ENVI에서 지표 반사도 처리를 수행하는 경우 Landsat 영상 불러오는 방식이 메타데이터를 읽어 불러오기 때문에 QGIS와는 다르게 메타데이터 파일인 MTL 파일을 따로 입력이 필요하다.

3) 처리 결과: 비교 검증

RadCalNet 데이터는 ASCII 텍스트 형태로 제공되며 같은 일자의 자료는 Input과 Output의 두 가지 파일로 제공한다. Input 파일은 현장에서 측정한 대기 물리량과 분광 범위 400 nm부터 2,500 nm까지 10 nm 단위로 저장된 TOC reflectance를 포함하고, Output 값은 이러한 Input 값을 이용하여 자체 알고리즘으로 처리된 TOA reflectance이다. 이 연구에서는 이 두 파일을 모두 사용하여 비교 검증을 수행하였다. KOMPSAT-3A 영상의 파장 대역은 450~520 nm(Blue), 530~600 nm(Green), 630~690 nm(Red), 760~900 nm(NIR) 이기 때문에 RadCalNet 데이터에서 제공하는 범위에 모두 포함된다. 또한, 이 연구에 적용한 자료는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 TOC reflectance에서 1,100 nm 이상 범위에서 잡음이 나타나기 때문에 TOA reflectance의 경우도 이 파장 이상이 되는 자료는 이용할 수 없으나 KOMPSAT-3A NIR 이상 파장이기 때문에 검증 작업에 영향이 없다.

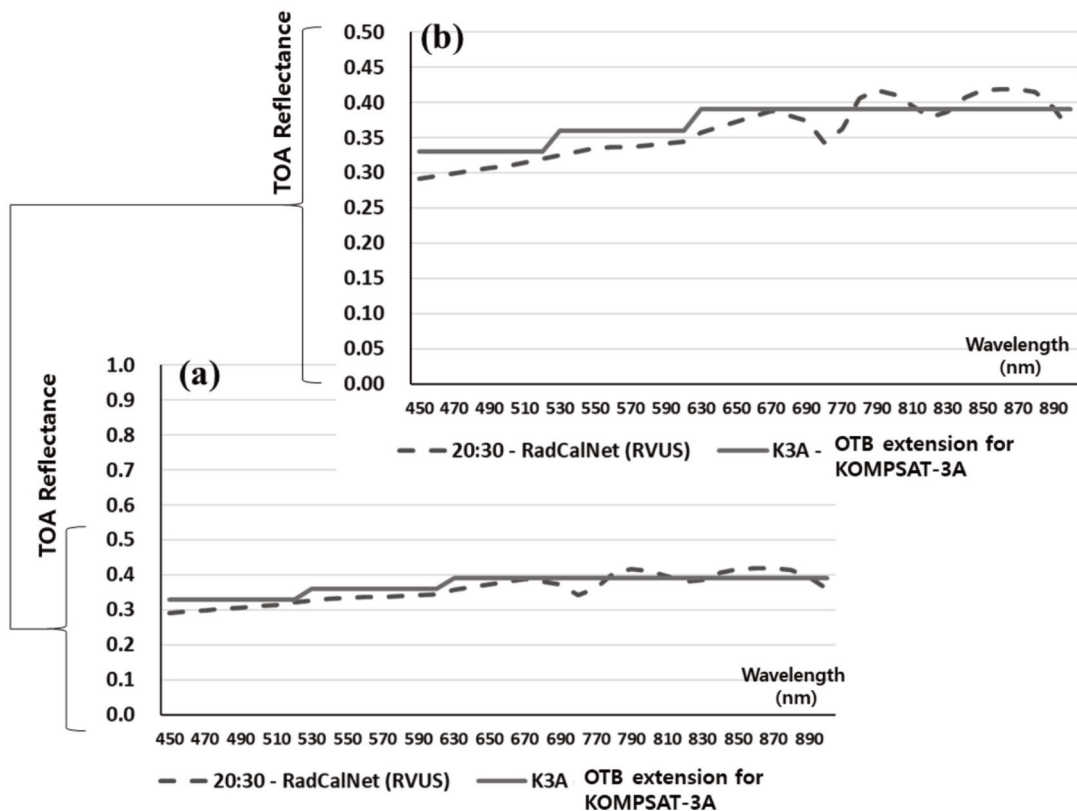


Fig. 4. Validation result for TOA reflectance with RadCalNet RVUS data: (a) Reflectance scale in [0.0, 1.0] and (b) Reflectance scale in [0.0, 0.5].

Fig. 4는 KOMPSAT-3A에 대한 TOA reflectance 성과와 RadCalNet에서 제공하는 반사도 값을 비교한 것이다. RadCalNet 데이터의 측정 시간은 KOMPSAT-3A 영상촬영 시간인 20h 40 m에 가장 근사한 20h 30 m에 측정된 자료를 대상으로 하였다. Fig. 4(a)는 TOA reflectance를 0.0 ~ 1.0 범위로 나타낸 것이고, Fig. 4(b)에서는 데이터를 좀 더 자세히 확인할 수 있도록 0.0 ~ 0.5 범위로 확대한 것이다. KOMPSAT-3A 값은 RVUS 측정 지점에 대한 값이므로 각 밴드는 각각 값으로 나타냈다. Fig. 4에서 표현한 RadCalNet 값에 대한 평균값을 계산하여 차이를 계산해보았다. Blue 파장 대역 KOMPSAT-3A 값은 0.33, RadCalNet 값은 0.31(0.3052)로 계산되었다. Green 파장 대역 KOMPSAT-3A 값은 0.36, RadCalNet 값은 0.34(0.3364)로, Red 파장 대역 KOMPSAT-3A 값

은 0.39, RadCalNet 값은 0.37(0.3740)로 계산되었다. 마지막으로 NIR 파장 대역의 KOMPSAT-3A 값은 0.39, RadCalNet 값은 0.40(0.3955)로 계산되었다. 전반적으로 KOMPSAT-3A 값이 0.02 정도 높고 NIR 파장 대역은 거의 동일한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 OTB extension for KOMPSAT-3A에서 의하여 얻는 TOA reflectance는 다른 응용 분야에 적용되어도 문제가 없을 수준으로 정확도가 높다는 것으로 의미한다.

Fig. 5는 현장 측정 자료인 RadCalNet TOC reflectance를 이용한 비교 검증 결과를 나타낸 것이다. 이 경우에는 KOMPSAT-3A에 대한 비교 검증과 동시에 Landsat-8 OLI 영상에 대한 처리 값도 같이 비교하였다. Fig. 5(a)는 TOC reflectance를 0.0 ~ 1.0 범위로 나타낸 것이고, Fig. 5(b)에서는 데이터를 좀 더 자세히 확인할 수 있도

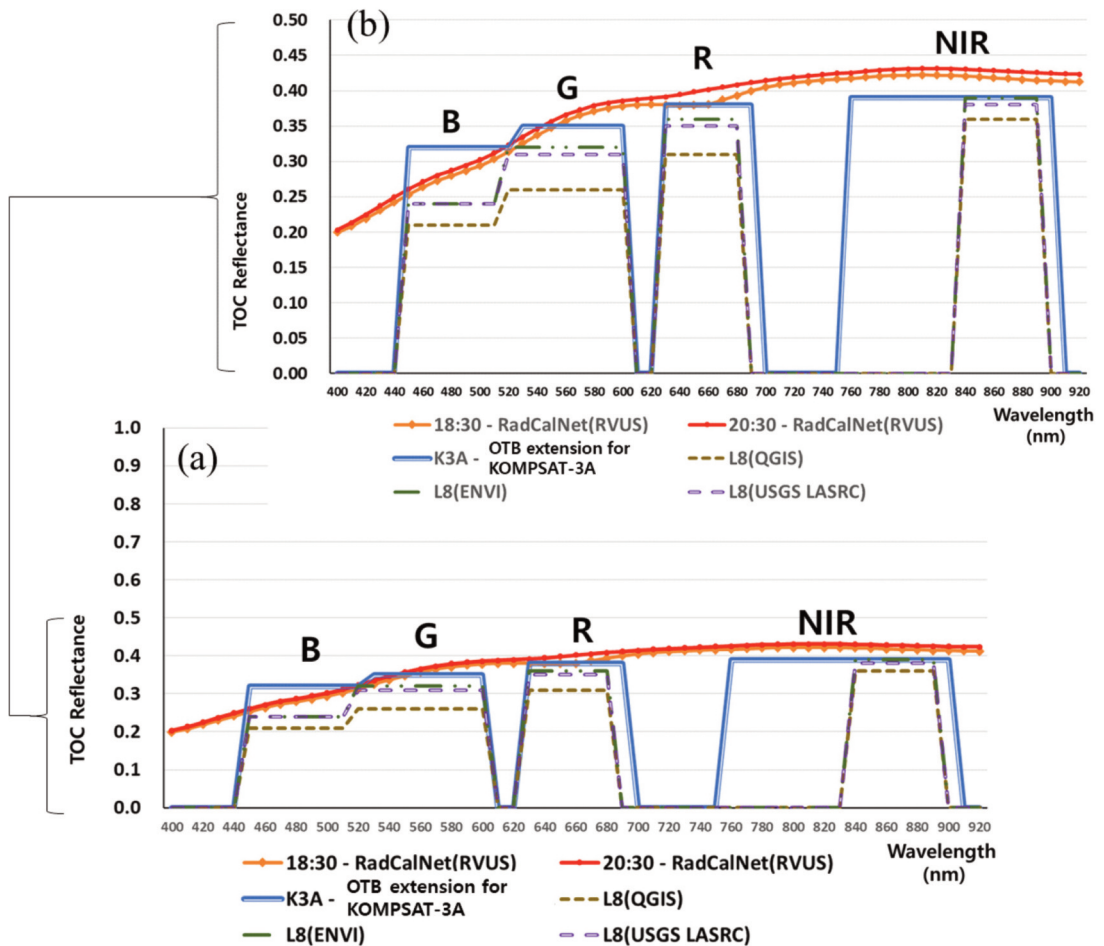


Fig. 5. Validation result for TOC reflectance with RadCalNet RVUS data, QGIS product (Landsat-8), ENVI FLAASH (Landsat-8), USGS surface reflectance ARD of Landsat-8: scale in (A) [0.0, 1.0], and (B) [0.0, 0.5].

록 0.0 ~ 0.5 범위로 확대한 것이다. KOMPSAT-3A 영상은 20h 40 m이나 Landsat-8 OLI 영상은 촬영 시간이 18h 20 m이기 때문에 RadCalNet 자료는 각각 20h 30 m, 18h 30 m을 동시에 나타냈다. KOMPSAT-3A는 OTB extension for KOMPSAT-3A 도구를 이용한 결과를 나타내지만, Landsat-8 OLI 영상의 경우 QGIS-SCP 도구를 적용한 결과, ENVI-FLASSH 도구에 의한 결과, USGS에서 자체 LASRC 알고리즘을 적용하여 Landsat ARD에서 제공하는 결과를 같이 나타냈다. 전체적으로 모든 경우에 파장 대역이 증가하면서 반사도 또한 증가하는 경향을 보인다. 이러한 경향으로 보면 KOMPSAT-3A 값이 RadCalNet 데이터와 가장 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. KOMPSAT-3A와 RadCalNet 값에 대한 차이를 비교한 결과로 KOMPSAT-3A의 경우 Blue 파장 대역은 0.32, RadCalNet은 평균값이 0.30으로 KOMPSAT-3A 영상이 0.02 높게 나타나기는 하였지만 RadCalNet은 평균값이므로 거의 일치하는 것으로 볼 수 있다. 한편 다른 파장 대역은 RadCalNet 값이 미세하게 큰 값을 보이는 것을 확인하였다. Green 파장 대역은 0.35(KOMPSAT 3A), 0.37(0.3655, RadCalNet)으로 0.02 높았으며, Red 파장 대역은 0.38(KOMPSAT 3A), 0.40(0.4014, RadCalNet)으로 0.02 높았다. 마지막으로 NIR 파장 대역은 0.39(KOMPSAT 3A), 0.43(0.4287, RadCalNet)으로 0.04 정도로 가장 차이가 크게 나는 것을 확인하였다. 이렇게 KOMPSAT 3A의 경우 RadCalNet 값과의 차이가 최소 0.02에서 0.04까지 차이가 나는 것을 알 수 있지만 RadCalNet 값은 평균값이므로 실제로는 KOMPSAT-3A 영상에 얻는 반사도 값은 최대 5% 범위에서 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 이 실험에 적용한 Landsat-8 OLI 값의 경우 KOMPSAT 3A보다 값 차이가 크게 나는 것을 확인할 수 있으며, 모두 RadCalNet 값 보다 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.

RadCalNet의 평균값으로 Landsat-8 OLI 영상자료를 비교한 결과 QGIS로 처리한 값의 경우 최소 0.06, 최대 0.14, ENVI로 처리한 값은 최소 0.02, 최대 0.11 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. USGS에서 직접 제공하는 반사도 값은 ENVI FLASSH 알고리즘에서 처리한 값과 비슷하였으며 최소 0.03, 최대 0.11 까지 차이를 보인다. 이 결과는 TOA reflectance의 경우와 마찬가지로 OTB extension for KOMPSAT-3A에 의하여 얻는 KOMPSAT-

3A TOC reflectance는 Landsat-8 OLI 영상이나 Landsat ARD에서 나타나는 TOC reflectance보다 실제 현장 자료에 가장 가까운 값을 나타낸다는 것을 입증하는 것이라고 볼 수 있다. 또한 이 결과는 Landsat-8 OLI 영상을 가지고 도구를 이용하여 절대 대기 보정을 거친 지표 반사도를 이용하고자 하는 경우 QGIS의 결과가 정확도가 낮고 상업 도구를 적용하는 경우도 정확도가 낮을 수 있다는 것을 나타낸 것이다. 특히 Landsat-8 OLI ARD 지표 반사도 성과물도 실제 현장 측정자료와 차이가 있음을 보이는 것을 알 수 있다. 현재 USGS나 ESA에서도 각각 Landsat ARD와 Sentinel-2 ARD 구축에 따른 산출 성과의 정확도를 현장 측정 분광 자료와의 비교 검증하는 것을 목적으로 하는 다양한 연구 프로그램이 계속 진행되고 있다.

4. 결론

2015년 발사된 이후 KOMPSAT-3A 영상정보가 여러 분야에서 활용되고 있다. 그러나 실제 육상 환경의 분석에 필요한 지표 반사도를 얻을 수 있는 도구 개발이 이루어지지 않아서 식생 지수 산정 등과 같이 이러한 자료를 적용하는 과학적 분석과 응용 분야의 확산에는 한계가 있었다. 지표 반사도는 절대 대기 보정 처리 과정을 수행하여 얻어지는 성과물이다. 이 연구에서는 OTB 오픈 소스 확장 프로그램으로부터 KOMPSAT-3A 영상정보의 대기 반사도와 지표 반사도를 구하고, RadCalNet RVUS 사이트에서 제공하는 대기 반사도와 지표 반사도 현장 측정 자료를 이용하여 정확도를 비교 검증한 결과를 제시하였다. 또한 같은 지역의 Landsat-8 OLI 영상으로부터 지표 반사도를 구하고 비교 검증 실험에 같이 적용하였다. 검증을 목적으로 수행된 실험 결과로 KOMPSAT-3A 영상으로부터 얻은 대기 반사도는 국제 검보정 사이트인 RadCalNet에서 제공하는 대기 반사도 자료와 ± 0.02 까지 차이 값을 갖는 일치도를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 이 연구에서는 KOMPSAT-3A 영상자료로부터 산출한 지표 반사도의 경우도 현장 측정 자료인 RadCalNet 자료와 최대 0.04 차이 값으로 Landsat-8 OLI 영상자료로부터 얻은 몇 가지 유형의 결과인 0.08, 0.09 차이 값과 비교하여 RadCalNet 자료의

지표 반사도 측정값과 더 높은 일치도를 보이는 것으로 나타났다. 이 결과는 현장 자료를 배제하고 Landsat-8 OLI 영상정보를 기준으로 하여 KOMPSAT-3A 영상정보의 상태 검보정을 수행하는 경우에는 오류를 포함할 수 있다는 점을 일부 시사한다. 그러나 이 실험 결과는 KOMPSAT-3A 지표 반사도를 산출한 뒤 이를 검증한 최초의 연구 성과이고, 가능한 실험 환경을 일치시키는 하였으나 한 시점에 대한 것이므로 통계적으로 유의미한 결과로 일반화하기 위해서는 RadCalNet의 4개 사이트에서 여러 시기의 KOMPSAT-3A 영상자료를 이용한 실험과 비교 상호 검증 연구를 계속 수행할 필요가 있다. 이처럼 지속해서 실험 결과를 누적하고 유의미한 범위로 정확도를 입증하고 일반화할 수 있게 되면 KOMPSAT-3A 영상의 분석 대기 자료(Analysis Ready Data)로서의 활용 가능성을 증가시키는 기본 자료로 사용할 수 있다. 또한 이 연구에서 개발된 도구는 향후 국토, 농업, 산림 활용을 위한 차세대 중형 위성 영상자료(CAS-500-1, 2, CAS-500-4)에도 각 센서 모델에 맞는 확장 프로그램 형식으로 개발이 가능할 것으로 생각한다. 또한 RadCalNet 자료를 이용한 검증 방법도 이러한 위성자료의 검보정이나 지표 반사도 등과 같은 산출물 검증에 적용할 수 있을 것으로 생각한다.

사 사

본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

References

- Alonso, K., M. Bachmann, K. Burch, E. Carmona, D. Cerra, R. de los Reyes, D. Dietrich, U. Heiden, A. Holderlin, J. Ickes, U. Knodt, D. Krutz, H. Lester, R. Muller, M. Pagnutti, P. Reinartz, R. Richter, R. Ryan, I. Sebastian, and M. Tegler, 2019. Data Products, Quality and Validation of the DLR Earth Sensing Imaging Spectrometer (DESIS), *Sensors*, 19(20): 4471.
- Badawi, M., D. Helder, L. Leigh, and X. Jing, 2019. Methods for Earth-Observing Satellite Surface Reflectance Validation, *Remote Sensing*, 11(13): 1543.
- Bouvet, M., K. Thome, B. Berthelot, A. Bialek, J. Czaplá-Myers, N. P. Fox, P. Goryl, P. Henry, L. Ma, S. Marcq, A. Meygret, B. N. Wenny, and E. R. Woolliams, 2019. RadCalNet: A Radiometric Calibration Network for Earth Observing Imagers Operating in the Visible to Shortwave Infrared Spectral Range, *Remote Sensing*, 11(20): 2401.
- Bruegge, C. J., C. Coburn, A. Elmes, M. C. Helmlinger, F. Kataoka, M. Kuester, A. Kuze, T. Ochoa, C. Schaaf, K. Shiomi, and F. M. Schwandner, 2019. Bi-Directional Reflectance Factor Determination of the Railroad Valley Playa, *Remote Sensing*, 11(22): 2601.
- CEOS, 2018. Analysis Ready Data For Land: Optical Surface Reflectance (CARD4L-OSR), <https://ceos.org/ard>, Accessed on May 26, 2019.
- Maxar, 2017. DigitalGlobe Atmospheric Compensation, http://digitalglobe-marketing.s3.amazonaws.com/files/documents/DataSheet_ACComp_DS.pdf, Accessed on Jan. 26, 2020.
- Dwyer, J. L., D. P. Roy, B. Sauer, C. B. Jenkerson, H. K. Zhang, and L. Lymburner, 2018. Analysis Ready Data: Enabling Analysis of the Landsat Archive, *Remote Sensing*, 10(9): 1363.
- Gorroño, J., S. Hunt, T. Scanlon, A. Banks, N. Fox, E. Woolliams, C. Underwood, F. Gascon, M. Peters, N. Fomferra, Y. Govaerts, N. Lamquin, and V. Bruniquel, 2018. Providing uncertainty estimates of the Sentinel-2 top-of-atmosphere measurements for radiometric validation activities, *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 650-666.
- Grizonnet, M., J. Michel, V. Poughon, J. Inglada, M. Savinaud, and R. Cresson, 2017. Orfeo ToolBox: open source processing of remote sensing images, *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2(1): 1-8.
- Jing, X., L. Leigh, C. T. Pinto, and D. Helder, 2019.

- Evaluation of RadCalNet Output Data Using Landsat 7, Landsat 8, Sentinel 2A, and Sentinel 2B Sensors, *Remote Sensing*, 11(5): 541.
- Kim, J., C. Jin, C. Choi, and H. Ahn, 2015. Radiometric characterization and validation for the KOMPSAT-3 sensor, *Remote Sensing Letters*, 6(7): 529-538.
- Lee, K.-W., K.-S. Kim, S.-G. Lee, and Y.-S. Kim, 2019. Consideration Points for application of KOMPSAT Data to Open Data Cube, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 22(1): 62-77 (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, 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).
- Lee, K.-S., 2019. Atmospheric Correction Issues of Optical Imagery in Land Remote Sensing, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6-3): 1299-1312 (in Korean with English abstract).
- Manakos, I., K. Manevski, C. Kalaitzidis, and D. Edler, 2011. Comparison between Atmospheric Correction Modules on the Basis of Worldview-2 Imagery and In Situ Spectroradiometric Measurements, *Proc. of the 7th EARSeL SIG Imaging Spectroscopy Workshop*, Edinburgh, Apr. 11-13.
- OTB, 2020. The OTB CookBook (Optical Calibration), https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_OpticalCalibration, Accessed on Mar. 10, 2020.
- Pathak, V. N., 2019. Development of A Scheme For Atmospheric Correction of CARTOSAT-2E Data, *Proc. of 4th ISSE National Conference-2019, Systems for Transforming India: Challenges and Opportunities*, Space Application Center, Ahmedabad, India, Sep. 26-27.
- RadCalNet Data Format Specification, QA4EO-WGCV-RadCalNet-R2, https://www.radcalnet.org/resources/RadCalNetQuickstartGuide_20180702.pdf, Accessed on Mar.10, 2020.
- Shin, D. Y., H. Y. Ahn, S. G. Lee, C. U. Choi, and J. S. Kim, 2016. Radiometric Cross-calibration of KOMPSAT-3A with Landsat-8, *Proc. of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress*, Prague, Czech Republic, Jul. 12-19, vol. XLI-B1.
- Sterckx, S. and E. Wolters, 2019. Radiometric Top-of-Atmosphere Reflectance Consistency Assessment for Landsat 8/OLI, Sentinel-2/MSI, PROBA-V, and DEIMOS-1 over Libya-4 and RadCalNet Calibration Sites, *Remote Sensing*, 11(19): 2253.
- SI Imaging Services, 2019. KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.5, <http://www.si-imaging.com/resources/?uid=337&mod=document>, Accessed on Mar. 10, 2020.
- U.S. Geological Survey, 2018. U.S. Landsat Analysis Ready Data: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2018-3053, <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20183053>, Accessed on Jun. 2, 2019.
- U.S. Geological Survey, 2019. Landsat 8 Surface Reflectance Code (LASRC) Product Guide LSDS-1368 Version 2.0, <https://www.usgs.gov/media/files/land-surface-reflectance-code-lasrc-product-guide>, Accessed on Mar. 10, 2020.
- Vanhellemont, Q. and K. Ruddick, 2018. Atmospheric correction of metre-scale optical satellite data for inland and coastal water applications, *Remote Sensing of Environment*, 216: 586-597.
- Yeom, J.-M., J. Ko, J. Hwang, C.-S. Lee, C.-U. Choi, and S. Jeong, 2018. Updating Absolute Radiometric Characteristics for KOMPSAT-3 and KOMPSAT-3A Multispectral Imaging Sensors Using Well-Characterized Pseudo-Invariant Tarps and Microtops II, *Remote Sensing*, 10(5): 697.