

Article

## 오픈소스 기반 다목적실용위성 3A호 영상자료의 지표면 반사도 영상 제작 실험

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

### An Experiment for Surface Reflectance Image Generation of KOMPSAT 3A Image Data by Open Source Implementation

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

**Abstract:** Surface reflectance obtained by absolute atmospheric correction from satellite images is useful for scientific land applications and analysis ready data (ARD). For Landsat and Sentinel-2 images, many types of radiometric processing methods have been developed, and these images are supported by most commercial and open-source software. However, in the case of KOMPSAT 3/3A images, there are currently no tools or open source resources for obtaining the reflectance at the top-of-atmosphere (TOA) and top-of-canopy (TOC). In this study, the atmospheric correction module of KOMPSAT 3/3A images is newly implemented to the optical calibration algorithm supported in the Orfeo ToolBox (OTB), a remote sensing open-source tool. This module contains the sensor model and spectral response data of KOMPSAT 3A. Aerosol measurement properties, such as AERONET data, can be used to generate TOC reflectance image. Using this module, an experiment was conducted, and the reflection products for TOA and TOC with and without AERONET data were obtained. This approach can be used for building the ARD database for surface reflection by absolute atmospheric correction derived from KOMPSAT 3/3A satellite images.

**Key Words:** AERONET, Atmospheric Correction, KOMPSAT, Open Source, Surface Reflectance

**요약:** 지구 관측 위성에 의한 광학 영상정보를 육상 분야에 활용하는 경우 지표면 반사도를 나타내는 영상은 중요한 기초 정보가 된다. 지표면 반사도는 광학 영상정보에 대하여 절대 대기 보정 처리 과정을 수행하여 얻어지는 성과물이다. Landsat이나 Sentinel-2의 경우 여러 가지 단계의 대기 보정 처리 방법이 개발되어 있고, 이미 많은 상업적 소프트웨어나 오픈소스들이 이러한 처리 알고리즘을 지원한다. 그러나 현재 KOMPSAT 3/3A 호 고해상도 분광 영상정보를 이용하여 지표면 반사도 영상 제작 기능을 제공하는 도구는 거의 없고 이러한 기

Received October 24, 2019; Revised November 18, 2019; Accepted November 20, 2019; Published online November 29, 2019

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

<sup>2)</sup> 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.

능을 제공하는 오픈소스가 개발되거나 발표된 경우도 없다. 이 연구에서 우분투(Ubuntu) 운영체제에서 Orfeo ToolBox(OTB) 원격탐사 오픈소스에 포함된 광학 보정(Optical Calibration) 모듈과 알고리즘을 기반으로 하여 KOMPSAT 3A호 영상에 대한 절대 대기 보정을 처리할 수 있는 모듈을 새로 구현하였다. 이 모듈은 KOMPSAT 영상의 센서 모델 변수와 분광 자료들을 포함하기 때문에 대기 보정 작업에 필요한 입력 변수의 자동 입력과 일괄처리가 가능하다. 이 모듈을 이용하여 상층대기(Top of Atmosphere: TOA)반사도와 지표면(Top of Canopy: TOC) 반사도를 구할 수 있다. 한편 TOC 반사도 산출과정에서는 AERONET 자료와 같은 대기 에어로졸 정보가 이용될 수 있다. 또한 이 연구에서 구현된 오픈소스 성과를 이용하여 KOMPSAT 영상을 적용한 실험을 수행하였다. 앞으로 이 오픈소스 모듈의 적용성과 무결성 검사를 수행하게 되면, 그동안 축적된 KOMPSAT 영상 정보를 대상으로 하는 분석 대기 자료(Analysis Ready Data) 데이터베이스 구축에 직접 적용될 수 있다.

## 1. 서론

빅 데이터 응용 분야의 활성화에 따라 데이터 과학(Data Science) 분야가 발전하고 있다. 최근 데이터 과학에서는 전처리(Pre-processing)의 중요성이 강조되고 있다. 이러한 동향을 전 지구 규모의 원격탐사 응용 분야에도 반영되어 있다. 지구관측위성 위원회(Committee on Earth Observation Satellites: CEOS) 주관으로 Open Data Cube(ODC) 플랫폼을 통하여 지구관측위성 영상을 제공하는 지구관측그룹(Group on Earth Observations: GEO)의 전 지구 관측시스템(Global Earth Observation System of Systems: GEOSS)에서는 사용자가 추가적인 영상정보의 보정을 하지 않아도 활용 분야에 직접 적용할 수 있는 전처리가 완료된 영상정보 또는 산출물을 제공하는 서비스 시스템을 구축하고 있다(CEOS, 2018; Lee *et al.*, 2019). 이와 관련하여 Young *et al.*(2017)은 Landsat 계열 영상정보의 활용도를 증진하는 데 전처리 과정의 중요성을 설명하면서 일관적이고 체계적인 대기 보정 처리 과정의 필요성을 강조하였다. 한편 U.S. Geological Survey(2018)에는 Landsat 영상자료를 이용하여 미국 전역에 대한 Landsat Analysis Ready Data(ARD) 데이터베이스를 구축하였고, Landsat 영상정보의 저장, 관리와 배포 서비스 시스템인 Earth Explorer에서 여러 수준(Level)의 ARD를 제공하고 있다. 여기서 ARD는 일관성이 있는 방식으로 처리된 고수준의 과학적 표준 자료를 의미하고 위성영상을 이용한 모니터링이나 시계열 경관분석 목적으로 위성영상정보를 사용하고자 하는 사용자들이 별도의 영상보정이나 전처리 등의 복잡한 작업을 하지 않고도 즉시 사용할 수 있도록 하기 위한 것이다. Landsat ARD 데이터베이스는 미국 전역을 동일

한 투영 좌표계에 따라 일정한 격자 구조로 나누고 격자마다 일정한 처리 과정을 거친 대기 반사 영상, 기하 보정과 대기 보정까지 처리한 지표면 반사도 영상을 제공하고 있다(Dwyer *et al.*, 2018). Sentinel-2 호의 경우에도 서비스 플랫폼의 개념으로 고부가정보로서 대기 보정 산출물을 공개 배포하는 프로젝트가 진행되고 있다(Vuolo *et al.*, 2016).

Egorov *et al.*(2018)은 여러 처리 단계에 따라 ARD를 제작하는 실험 연구를 통하여 처리 결과의 검증을 위한 훈련 자료에 따라 ARD에 다소 차이가 있을 수 있다고 하였다. Honeck *et al.*(2018)은 스위스 전역에서 산림 환경 정보를 이용한 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 계산할 수 있도록 Landsat ARD를 구축하였다. 이처럼 ARD에 대한 수요가 증가하면서 광학 영상정보에 대한 대기 보정에 대한 알고리즘이나 처리기법에 연구가 다시 부각되고 있고, 대기 보정 처리 도구에 대한 수요도 증가하고 있다. Lee *et al.*(2015)는 6S(Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum) 복사 전달모델(Radiative transfer model)을 적용한 대기 보정 알고리즘이 Landsat 모의 영상 제작에 정확도에 우수한 결과를 보인다는 결과를 제시한 바 있다. Seong *et al.*(2016)은 Advanced Himawari Imager (AHI)에 대한 지표 반사도 추정 연구를 수행하였다. Ahn *et al.*(2018)이나 Cho *et al.*(2019)의 경우와 같이 Landsat이나 Sentinel-2 영상의 대기 보정 영상정보를 제작하여 실제 응용 분야에 적용한 사례도 있다.

Kim *et al.*(2014)는 천리안위성 기상 탑재체의 가시 영역 영상자료를 이용하여 지표면 반사도 산출물을 발표한 적이 있지만, KOMPSAT 영상정보를 대상으로 하는 대기 보정 관련 연구는 영상 품질과 관련된 검, 보

정 목적으로 수행된 경우가 대부분이다. Kim *et al.*(2015)는 KOMPSAT 3호 영상정보의 방사 특성을 분석하고 Landsat 8 영상정보를 적용한 검증 실험을 수행하였다. 또한 상층대기 반사도를 의미하는 Reflectance at the Top of Atmosphere (이하 TOA 반사도) 계산을 위한 센서 변수를 제시하였다. Lee and Lee(2015)는 KOMPSAT 2호의 다중시기 분광 영상을 대상으로 기존에 알려진 몇 가지 대기보정 방법을 적용하고 결과를 비교하면서 대기보정이 여러 가지 변수에 의하여 영향을 받기 때문에 적용한 방법 간에 일관성 있는 산출물을 생성하는데 어려움이 있다고 하였다. 한편, Shin *et al.*(2016)은 KOMPSAT 3A호 영상정보와 Landsat 8 OLI 영상정보를 이용하여 시험 지역에서 TOA 복사를 계산하는 상호 검증 실험연구를 수행하고 KOMPSAT 3A호 영상의 품질이 일정하게 유지되고 있다고 하였다. Yeom *et al.*(2018)은 KOMPSAT 3호와 3A호 영상정보의 검, 보정을 위하여 시범 현장 실험에서 6S 복사 전달모델을 적용한 알고리즘을 사용한 TOA 복사 계산을 수행하면서 절대 방사 특성을 분석하였다. 한편, 국토 위성 정보의 수집 활용시스템 기본설계 연구([https://www.kaia.re.kr/portal/cmm/fms/FileDown.do?atchFileId=FILE\\_00000000020419&fileSn=4&bbsId=](https://www.kaia.re.kr/portal/cmm/fms/FileDown.do?atchFileId=FILE_00000000020419&fileSn=4&bbsId=))에서도 고해상도 분광 영상정보의 절대 대기 보정이 중요하지만 아직은 절대 대기 보정이 어려운 과제이기 때문에 별도의 입력자료 없이 영상에서 직접 대기 보정과 관련된 입력 인자 값을 추정하여 사용하는 상대 대기보정 기법이 적용되고 있다고 하였다. 이와 같은 현황 분석에 의하면 육상 활용을 위하여 KOMPSAT 3/3A호 위성 정보를 위한 절대 대기 보정 기능을 제공하는 도구는 거의 없고, 특히 이 기능을 제공하는 오픈소스는 아직 개발 성과가 발표된 경우가 없다. 따라서 그동안 축적되거나 새로 얻어질 KOMPSAT 영상정보의 국제적 활용도를 높이기 위해서는 이 위성정보를 위한 대기 보정 처리 방법과 도구의 개발이 시급하다.

이 연구는 KOMPSAT 영상정보의 ARD 데이터베이스 구축을 실무 절차의 첫 단계로 절대 대기 보정 처리 방법을 살펴보고, 실제 처리 도구를 오픈소스 Orfeo ToolBox(OTB) 환경에서 구현하고자 하였다. 구현 성과물에 대하여 KOMPSAT 영상정보를 적용한 실험을 수행하여 절대 대기 보정의 중요한 산출물인 TOA 반사도

와 지표면 반사도를 의미하는 Reflectance at the Top of the Canopy or the bottom of the atmosphere(이하 TOC 반사도) 영상을 시험적으로 제작하였다.

## 2. 절대 대기 보정과 오픈소스 도구

지표면에서 반사된 태양 복사에너지는 대기를 거쳐 위성 센서에 감지된다. 복사 에너지값은 시공간에 따라 많은 차이가 있고, 시공간에 상관없이 위성영상으로부터 정확한 측정값을 추출하는 것이 매우 중요하다. 이처럼 센서에 기록된 복사에너지 값과 영상에 기록되는 화소값 사이의 관계를 일반화하여 화소값을 복사에너지에 대한 물리량으로 변환시키는 보정 작업의 필요성이 부각되고 있다. 실제 자연재해나 농작물과 같은 대상들을 지속해서 모니터링하는 응용 분야에서 다양한 종류의 센서들이나 다른 시간과 계절에 촬영된 영상들을 비교하는 시계열 분석이 필요하다. 이때 각 센서에 기록된 물리적인 에너지의 양을 나타내는 센서의 보정 계수와 함께 영상 정보 촬영 일시의 지구대기 상태를 나타내는 변수들을 이용할 수 있다. 한편, 태양 복사에너지는 지표면에 분포하는 다양한 대상물과 구조물 등에 의해 반사되고 광학 위성의 센서에 감지되는 과정에서 지구 대기에 의해 흡수, 산란하는 대기 감쇄 효과를 거친 후에 센서에 도달하게 되고 이러한 과정은 영상의 화소값에 영향을 준다. 따라서 이 효과에 의하여 복사 에너지양을 정량적으로 계산하기 위해서는 복사 전달모델을 이용한다. 복사 전달모델은 영상이 얻어지는 시점의 위성의 자세, 지표면에 위치한 대상물의 반사 특성과 촬영 시점의 대기의 상태 등과 같은 여러 가지 물리값을 요구하며, 이러한 복사 전달모델은 원격탐사 응용 분야에서 광학 영상의 대기 보정에 이용된다. 반사도 계산을 위하여 절대 대기 보정을 수행하기 위해서는 크게 세 가지 자료원에서 공급하는 정보가 필요하다. 위성이 지나가는 시점과 동시에 지상에서 측정 및 수집되는 자료가 필요하며, 위성이 촬영한 영상의 화소값과 센서의 반응도를 나타내는 상대적 분광 반응 함수 곡선(Relative Spectral Response Function)이 필요하다. 마지막으로 복사 전달모델에 의해 센서에서 감지되는 에너지의 양을 대기조건 및 태양과 센서의 기하학적 위치에 따라 계산

된 복사에너지 값이 필요하다.

Jensen(2016)은 분광 위성영상을 토지 피복 분류 작업에 적용하는 경우에는 대기 보정이 필요하지 않지만, 환경 분야와 같이 토지 물성에 대한 물리적 분석 작업이나 변화 탐지를 위한 시계열 영상 분석에는 절대 대기 보정이 중요한 과정이라고 하면서 ACORN(Atmospheric CORrection Now), FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), ATREM(ATmospheric REMoval), ATCOR(ATmosphericCORrection) 등과 같은 몇 가지 대기 보정 알고리즘을 정리하였다. 이러한 대기 보정 알고리즘은 현재 MODTRAN(MODerate resolution atmospheric TRANsmission)이나 6S 등과 같은 복사 전달모델을 기반으로 한다. ENVI의 FLAASH, ERDAS IMAGINE과 PCI Geomatica의 ATCOR와 같이 상업 도구는 대기 보정 처리 기능을 추가 설치 모듈(Add-on) 형식으로 지원하고 있다. 한편 Bunting(2018)은 지구관측 영상의 대기 보정을 수행할 수 있도록 Python 환경에서 구동하는 명령어 입력 처리 방식의 Atmospheric and Radiometric Correction of Satellite Imagery(ARCSI) 도구를 개발하였다. 이 도구는 Landsat, SPOT, Sentinel-2, Rapideye, WorldView, Pleiades 영상정보를 지원하고 있으며 6S 모델을 적용하여 대기 보정 변수를 자동으로 처리하도록 하였다.

한편, Frantz *et al.*(2018)은 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상정보를 이용한 수증기량을 적용하여 Landsat ARD를 제작할 수 있는 FORCE(Framework for Operational Radiometric Correction for

Environmental monitoring)라고 하는 오픈소스 도구를 개발하였다. Leutner(2019)는 R 환경에서 사용할 수 있는 Landsat 위성영상 정보처리를 위한 오픈소스 패키지인 RSToolbox를 개발하고 발표하였다. 이 패키지에서는 DOS(Dark Object Subtraction) 알고리즘에 따른 상대 대기 보정 처리 기능을 제공한다.

현재 세계 규모에서 많은 사용자를 확보한 오픈소스 원격탐사 소프트웨어는 SNAP, SAGA(Conrad *et al.*, 2015), OTB(Grizonnet, 2017) 등과 같은 여러 가지 종류가 있다. SNAP Toolbox에서는 플러그인(Plug-in) 방식인 iCOR 대기 보정 도구(De Keukelaere *et al.*, 2018)를 통하여 주로 Sentinel 2와 Landsat 8 광학 영상정보에 대한 대기 보정을 할 수 있다. SAGA에 포함된 Top of Atmosphere Reflectance 도구는 GRASS 소프트웨어에 포함된 i.landsat.toar 라이브러리를 사용하고 있다. 이 함수는 DOS 알고리즘을 적용하며 Landsat 계열 영상만 지원하고 있다.

이 연구에서는 KOMPSAT 대기 보정 처리기능을 OTB에서 수행하였다. KOMPSAT 대기 보정 기능을 추가하기 위하여 수행된 과정은 Fig. 1에 제시하였다. 상업 도구와 달리 기존 대기 보정 알고리즘을 구현한 오픈소스 도구가 대기 보정 기능을 위주로 구현되어 추가적인 정보처리를 하기 위해서는 다른 도구를 호출하고 그에 따라서는 그 환경에 맞게 자료를 변환해야 하는 경우가 있다. OTB는 하나의 통합 환경에서 원격탐사 정보처리를 위한 알고리즘이나 기능이 제공되기 때문에 이 환경에서 대기 보정을 수행하게 되면 별도의 작업 없

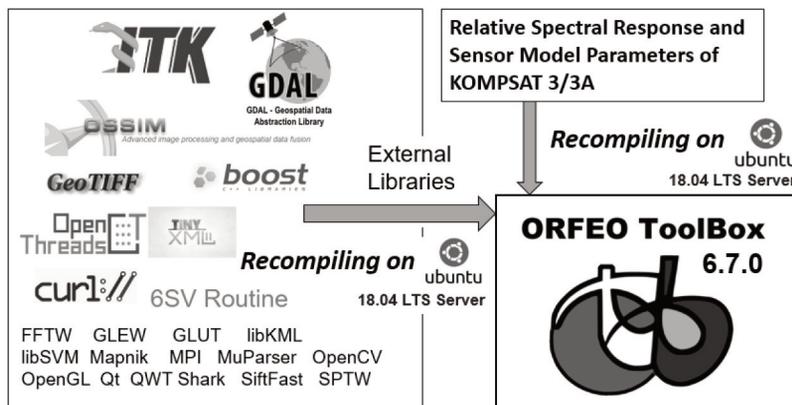


Fig. 1. Recompiling process of Orfeo ToolBox (OTB) and Its external libraries, and KOMPSAT modules.

이 이 성과물을 직접 이용한 다른 영상 분석이나 해석을 할 수 있다.

OTB는 프랑스 국가 원격탐사 연구기관인 CNES에서 자국의 Pleiades 위성영상정보가 다양하게 활용될 수 있도록 2006년부터 시작하여 2010년 중반까지 재정 지원을 하여 개발한 오픈소스 소프트웨어 개발 프로젝트의 성과물이다. 민간으로 기술개발이 이관된 2015년부터는 프로젝트 운영위원회를 구성하고 지형 공간 정보 처리 기술과 오픈 데이터의 공동 활용을 지원하는 비영리, 비정부 단체인 Open Source GeoSpatial(OSGeo) 재단에 포함되어 전 세계 십여 명의 개발자들에 의하여 지속적인 프로젝트 관리와 모듈 개발 작업이 진행되고 있다. OTB 오픈소스는 Insight Toolkit(ITK), Geospatial Data Abstraction Library(GDAL), OSSIM, libSVM, OpenCV, Shark, MuParser 등과 같은 외부의 오픈소스를 사용하였고, 아파치 2.0 라이선스를 적용하고 있다(Grizonnet, 2017). OTB는 Monteverdi라는 사용자 인터페이스를 포함한 영상 시각화 도구를 제공하며, 이 도구를 통하여 일반 사용자가 쉽게 영상정보를 다룰 수 있도록 한다. 영상정보처리기능은 이러한 통합 인터페이스 외에도 처리 기능이 개별적으로 구성되어 있으며 이러한 개별 기능은 명령어 입력(cmd.exe)를 통하여 수행할 수 있으며, 6.7.0 버전을 기준으로 100개 이상의 기능이 제공되고 있다. 또한, GIS 분야에서 가장 많은 사용자를 확보한 오픈소스인 QGIS와도 직접 플러그인 형태로 설치되기 때문에 여러 기능을 시나리오에 맞춰 연계 처리하는 것이 가능하다.

6S 모델은 광범위한 대기, 스펙트럼 및 기하학적 조건에 대해 결합한 대기-표면 시스템에 의한 태양 복사에 대한 반사를 시뮬레이션 하도록 설계한 복사 전달 모델이며, 고도, 대기압, 온도, 수분 밀도, 오존 밀도와 수분 함유량, 오존 농도를 입력값으로 한다. 그러나 이러한 6S 복사 전달 모델을 사용하는 OTB의 대기 보정 처리 모듈은 QuickBird, IKONOS, WorldView2, Formosat, Pleiades, Spot5, Spot6, Spot7 등을 포함하는 광학 센서 영상을 지원하고 있으나 KOMPSAT은 지원하지 않는다. 따라서 KOMPSAT 등과 같이 지원하지 않은 위성 정보를 다루고자 하는 경우 센서의 모델 변수나 대기 보정에 이용되는 물리 값을 처리하는 별도의 소스코드나 스크립트를 개발하여 OTB 엔진과 함께 새로 컴파일을 해

야 한다.

아래 식 (1), (2), (3)은 KOMPSAT 3호나 3A호 영상정보를 대상으로 하는 대기 보정에 따른 TOA 반사도와 TOC 반사도를 구하는 공식을 나타낸다.

$$L_{\lambda} = Gain \times (DN) + Offset \quad (1)$$

여기서  $L_{\lambda}$ 는 파장  $\lambda$ 에 대한 센서 복사, Gain과 Offset은 각각 센서의 이득과 편이를 나타낸다. 여기서 KOMPSAT 3A호 밴드 파장대 별 센서 복사 값은 TOA Radiance Reflectance Conversion of KOMPSAT 1.5 (2018)에 제시된 자료를 적용할 수 있다.

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

여기서  $\rho_{\lambda TOA}$ 는 위성영상 밴드 파장  $\lambda$ 에 대한 TOA 반사도를 나타내고,  $ESUN_{\lambda}$ 는 외기권에서의 평균 태양복사조도( $Wm^2\mu m^{-1}$ ),  $\theta_s$ 는 태양 천정각,  $d$ 는 영상 촬영 일자의 지구와 태양간 거리를 나타낸다(KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.4, 2017).

$$\rho_{TOC} = \frac{\frac{\rho_{TOA} - \rho_{am}}{T(\mu_s)T(\mu_v)t_g}}{1 + S \frac{\rho_{TOA} - \rho_{am}}{T(\mu_s)T(\mu_v)t_g}} \quad (3)$$

여기서  $\rho_{TOC}$ 는 동질 환경을 가정한 난반사 지표면에서의 TOC 반사도,  $\rho_{TOA}$ 는 TOA 반사도,  $\rho_{am}$ 은 실제 대기반사도(Intrinsic atmospheric reflectance), S는 대기 보정 계수,  $T(\mu_s)$ ,  $T(\mu_v)$ 는 각각 하향 투과도(Downward transmittance)와 상향 투과도(Upward transmittance),  $t_g$ 는 대기 구면 반사율(Spheric albedo of the atmosphere)을 나타낸다.

TOA 반사도는 센서 이득, 태양 복사 조도, 분광 반응수치 등을 고려하여 산출물이 만들어지고, TOC 반사도는 TOA 반사도 계산에 이용된 자료에 추가하여 대기의 광학 두께, 대기 압력, 수증기량, 오존량, 에어로졸 가스의 구성과 양 등과 같은 값들이 추가로 이용된다. Fig 2는 KOMPSAT 3A호 대기 보정에 적용되는 범위의 태양 복사 조도와 KOMPSAT 3A호 밴드별 상대 분광 반응 자료를 나타낸 것이다. 태양 복사 조도는 American Society for Testing and Materials (ASTM)에서 배포한 ASTM G-173(<https://redc.nrel.gov/solar//spectra/am1.5/ASTMG173/ASTMG173.html>) 자료를 기반으로 하였다.

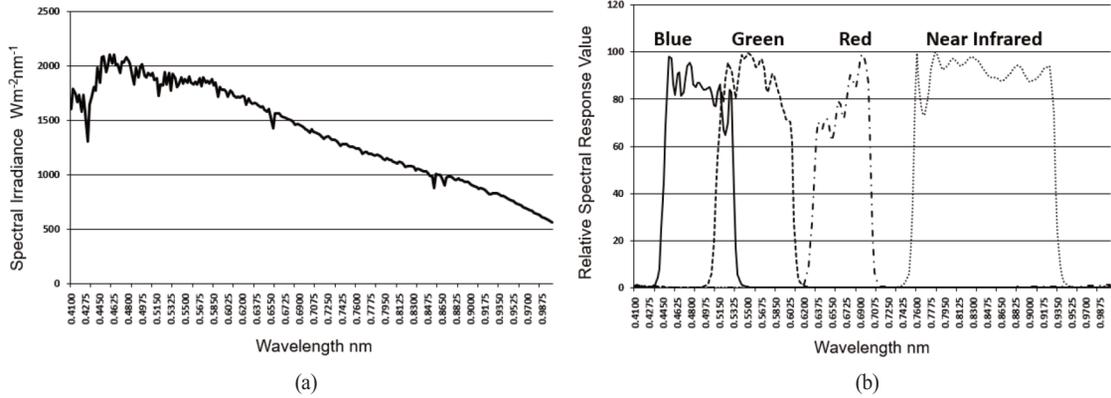


Fig. 2. (a) Solor spectral irradiance based on reference Solar Spectral Irradiance, ASTM G-173, (b) Relative spectral response of KOMPSAT 3A.

한편 TOC 계산을 위한 대기 환경 관측값은 AERONET 파일([https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type\\_piece\\_of\\_map\\_cloud](https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type_piece_of_map_cloud))을 이용할 수 있다. AERONET은 NASA의 Goddard Space Flight Center(GSFC)에서 운영하는 전 세계적인 에어로졸 네트워크를 구성하는 웹 사이트이다. AERONET은 전 세계에 분포하는 1,038 곳의 지상 관측소에서 태양 광도계 관측과 위성영상을 이용하여 분석한 각종 에어로졸 자료들을 공개하고 있다. 우리나라에서는 서울, 안면도, 광주, 진해, 고산(제주)에 있는 5개의 관측소에 자료를 제공하고 있다. AERONET 파일은 자료의 처리 수준에 따라 Level 1, Level 1.5, Level 2의 세 가지 단계의 자료를 제공하고 있다. Level 1은 원시자료이며, Level 1.5는 구름의 영향을 제거한 자료, Level 2는 보정 과정을 거쳐 품질이 보장된 가장 정확한 자료이다. Fig. 2에 제시한 두 가지 물리량은 OTB 컴파일 작업에 포함된 것이다.

### 3. KOMPSAT 3A호 지표면 반사도 산출물 제작 실험

이번 연구에서 OTB 오픈소스에 KOMPSAT 3A호의 센서 정보와 대기 보정에 필요한 6S 모델에 적용되는 태양 복사 조도 자료와 밴드별 상대 분광 반응 자료 등을 포함하여 새로 컴파일한 실행 파일의 적용성을 살펴보기 위하여 2016년 2월 20일에 촬영된 KOMPSAT 3A호 영상자료를 이용하여 TOA와 TOC 반사도 영상 산출물

제작 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 실험에 적용한 영상 촬영 지역으로 베트남 메콩강 인근 지역이다. 이 영상을 포함하는 지역 내에 AERONET 자료를 제공하는 AERONET 관측소가 없었고 이 연구에서 사용된 지점이 가장 가까운 곳이 위치한 관측소이다. Fig. 4(a)는 KOMPSAT 3A호 OTB GEOM 파일에 포함된 센서 정보이며, Fig. 4(b)는 TOC 반사도 산출물 제작을 위한 명령어이다. Fig. 4(a)와 같은 GEOM 파일의 일부는 지형 및 벡터 데이터를 처리하는 데 사용되고 있는 오픈소스 공간정보 라이브러리 및 응용 프로그램인 OSSIM에서 사용하고 있는 메타정보이다. OTB는 OSSIM-info라는 도구와 연계하여 자료에 적용되는 투영법을 포함하는 영상의 기하 정보, 방사선 측정 정보와 일반 파일 메타 데이터를 추출하여 파일 형태로 생성한다. 물론 Fig. 4(a)에서 보이는 11개의 값은 자동 추출과는 별개로 TOA 및 TOC 반사도 산출물을 제작하기 위한 값들이다. 그리고 GEOM 파일을 사용하기 위해서는 OTB에 KOMPSAT 메타정보가 포함되어야 한다. 그렇기 때문에 기존 OTB가 아닌 KOMPSAT 메타정보가 포함되어 실행 파일로 컴파일된 OTB가 필요하다. TOC 반사도에 대한 처리 변수 값은 많은 것이 필요하기 때문에 복잡하다. 하지만 Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 계산에 필요한 대부분의 센서 정보는 GEOM 파일에서 이미 입력이 되어 있고, 태양복사 조도나 상대 분광 반응 자료는 별도 변수 값으로 입력되므로 파일 형태로 제공되어 입력하기만 하면 이를 통해 간단히 수행할 수 있다.

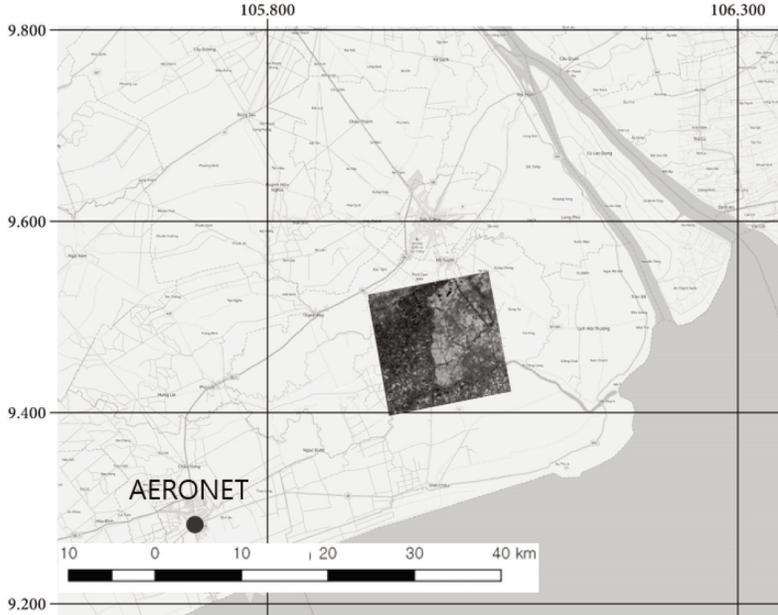


Fig. 3. Test area of KOMPSAT 3A image for TOA and TOC reflectance generation experiments with OTB implementation. The filled circle indicates the measurement location of the AERONET data.

```

sensor: Kompsat
support_data.image_date: 2016-02-20T06:24:32.00000 support_data.incident_angle: 11.393194850
support_data.number_bands: 1 support_data.solar_irradiance: 2001.28
support_data.physical_bias: 0 support_data.azimuth_angle: 221.240344096
support_data.physical_gain: 40.22526146419952 support_data.elevation_angle: 62.964105724
support_data.sat_azimuth_angle: 262.518131646 support_data.software_version: 2
    
```

(a)

```

otbcli_OpticalCalibration -in K3A_20160220062432_05007_00049791_L1G_B.tif -level toc -out
TOC/K3A_20160220062432_05007_00049791_L1G_B_TOC_wo_aeronet.tif
uint16 -milli true -atmo.rsr ../kompsat3_3A_res6S.dat -atmo.pixsize 2.2
    
```

(b)

Fig. 4. (a) Sensor specification in OTB GEOM file, (b) Command line execution of OTB optical calibration for atmospheric correction.

```

Date Time Julian Day AOT_1640 AOT_1020 AOT_870 AOT_675 AOT_667 AOT_555 AOT_551 AOT_532 AOT_531 AOT_500
AOT_490 AOT_443 AOT_440 AOT_412 AOT_380 AOT_340 AOT_340 AOT_340 AOT_340 AOT_340 AOT_340 AOT_340 AOT_340
TripletVar_555 TripletVar_551 TripletVar_532 TripletVar_531 TripletVar_500 TripletVar_490 TripletVar_443 TripletVar_440 TripletVar_412 TripletVar_380 TripletVar_340 WaterError
440-870Angstrom 380-500Angstrom 440-675Angstrom 440-675Angstrom 500-870Angstrom 340-440Angstrom 340-440Angstrom(Polar) 440-675Angstrom(Polar)
Date Processing_Site(dd/mm/yyyy) Solar_Zenith_Angle SunphotometerNumber AOT_1640-ExactWavelength(nm) AOT_1020-ExactWavelength(nm) AOT_870-ExactWavelength(nm) AOT_675-ExactWavelength(nm) AOT_667-ExactWavelength(nm) AOT_555-ExactWavelength(nm) AOT_551-ExactWavelength(nm) AOT_532-ExactWavelength(nm) AOT_531-ExactWavelength(nm) AOT_500-ExactWavelength(nm) AOT_490-ExactWavelength(nm) AOT_443-ExactWavelength(nm) AOT_440-ExactWavelength(nm) AOT_412-ExactWavelength(nm)
AOT_380-ExactWavelength(nm) AOT_340-ExactWavelength(nm) Water(cm)-ExactWavelength(nm)
    
```

(a)

20:02:2016	06:12:09	51.258437	0.064477	0.095583	0.143260	0.197598	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.304407
N/A	N/A	0.360087	N/A	0.429352	0.467543	2.366063	0.132258	0.092599	0.135918	0.328395	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
N/A	N/A	N/A	N/A	0.219390	N/A	N/A	0.288285	N/A	0.278010	0.566157	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
1369126		1.260364	25.442364	1.413269	130	1.369462		1.021122			1020.100000							
78/01/2016																		
868.300000		674.400000	N/A	N/A	N/A	N/A	1639.600000	N/A	440.100000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
N/A		500.300000	N/A	N/A	N/A	N/A												
380.900000		340.000000	935.900000															

(b)

Fig. 5. (a) An example of level 2 AERONET file, on image acquisition date, (b) Circle values mean physical parameters for OTB optical calibration. They are automatically read and processed in this implementation.

Fig. 5(a)는 실제 AERONET 자료의 일부이고, Fig. 5(a)에서 원으로 표시된 내용은 Fig. 5(b)와 같이 이 자료 중에서 산출물 제작에 적용된 변수 값이다. 총 7개의 값을 이용하여 필요한 값을 계산하여 실제 처리 계산에 사용한다. AERONET 자료는 일, 월, 연 단위로 내려받기가 가능하다. 정확한 데이터를 사용하기 위해 Date와 Time 검색을 통해 영상에 대한 촬영 날짜 및 시간 데이터를 사용한다.

Fig. 6은 R 밴드에 대하여 대기 보정 처리 결과를 예시한 것으로, Fig. 6(a)는 보정 전의 원래 자료, Fig. 6(b)는 TOA 반사도 계산 결과, Fig. 6(c)는 AERONET 자료를 적용하지 않은 상태에서 TOC 반사도 계산 결과, 그리고 Fig. 6(d)는 AERONET 자료를 적용한 상태에서 TOC 반사도 계산 결과를 나타낸 것이다. KOMPSAT 3A호

번들(Bundle) 영상에 포함된 나머지 밴드에 대해서도 같은 작업이 수행되었다. 여기서 AERONET 자료를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교한 이유는 AERONET 자료가 없거나 멀리 떨어진 경우와 처리 영상 주변에 이러한 측정 자료가 있는 경우를 나타내기 위한 것이다. OTB에서는 AERONET 자료 입력을 선택사항으로 하고 있으며 이러한 자료가 없거나 별도로 입력하지 않는 경우는 오존량, 수증기량, 대기압, 에어로졸 광학 두께 등을 각각 0, 2.5, 1030, 0.2 등과 같은 기본 설정 값으로 처리한다. 또한 에어로졸 모델은 No Aerosol Model, Continental, Maritime, Urban, Desert와 같은 5 가지 유형을 제공한다.

Fig. 7은 Fig. 6의 결과를 비교하기 위하여 차 연산 결과를 제시한 것이다. Fig. 7(a)와 (b)는 각각 TOA 반사도

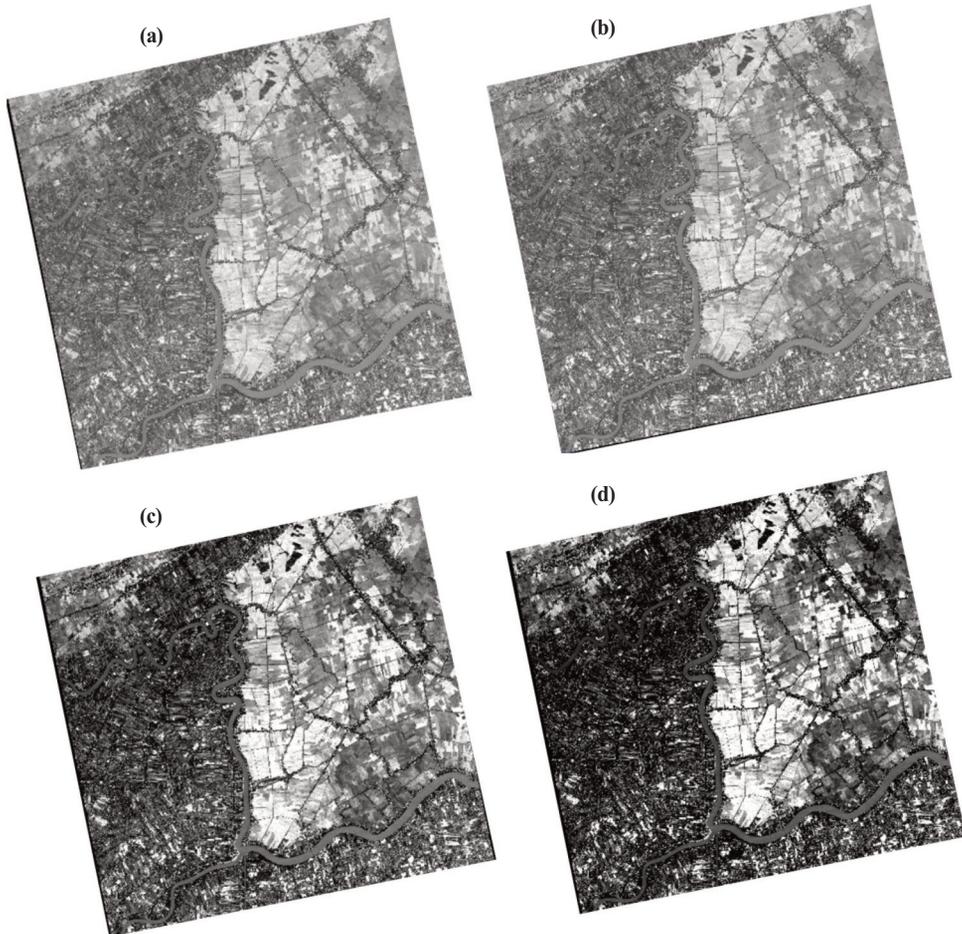


Fig. 6. (a) Original band R, (b) TOA reflectance of R band, (c) TOC reflectance of R band without AERONET data, (d) TOC reflectance of R band with AERONET data.

영상과 보정 전 밴드 영상의 차이, TOC 반사도 영상과 보정 전 밴드 영상의 차이를 나타낸 것이다. Fig. 7(c)는 AERONET 자료를 적용한 TOC 반사도와 AERONET 자료를 적용하지 않은 TOC 반사도의 차 연산 결과이다. 수치상으로 보았을 때 원본 데이터랑 비교가 된 Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)를 보면 두 결과가 차이가 많이 보이는 것을 알 수 있다. 물론 TOA 반사도 값인 Fig. 7(a)는 Fig. 7(b)와 비교했을 때 상대적으로 Fig. 7(b)가 원본보다 차이가 많은 것을 확인할 수 있다. AERONET 여부에 대한 차이를 나타내는 Fig. 7(c)의 결과 또한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 대기 보정 처리 과정을 통하여 얻은 반사도 산출물을 이용하여 작성한 컬러 합성 영상이다. 실제 반사도는 화소 값을 물리량으로 변환한 것이기 때문에 반

사도 밴드를 이용한 컬러 합성 영상은 대상 지역의 반사도와 관련된 주요한 특징을 시각적으로 해석할 수 있는 산출물로 적용될 수 있지만, 이 연구에서 각 TOA와 TOC 반사도 뿐만 아니라 AERONET 자료 적용에 따른 결과를 비교하기 위하여 컬러 합성 결과를 제시하였다. 또한 TOA와 TOC 반사도 산출물은 [0, 1] 범위의 결과를 보이지만 여기서는 결과를 비교하기 위하여 16비트 자료로 변환한 값을 이용하였다. Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)는 각각 보정 전 R, G, B 밴드 영상을 합성한 결과와 각 밴드에 대한 TOA 반사도를 구한 뒤에 TOA 반사도 영상을 합성한 결과이다. Fig. 8(c)와 Fig. 8(d)는 각각 각 밴드에 대하여 AERONET 자료를 적용하지 않은 TOC 반사도를 구한 뒤에 각 밴드에 대한 반사도 영상을 합성한 결과와 AERONET 자료를 적용한 밴드별 TOC 반사도

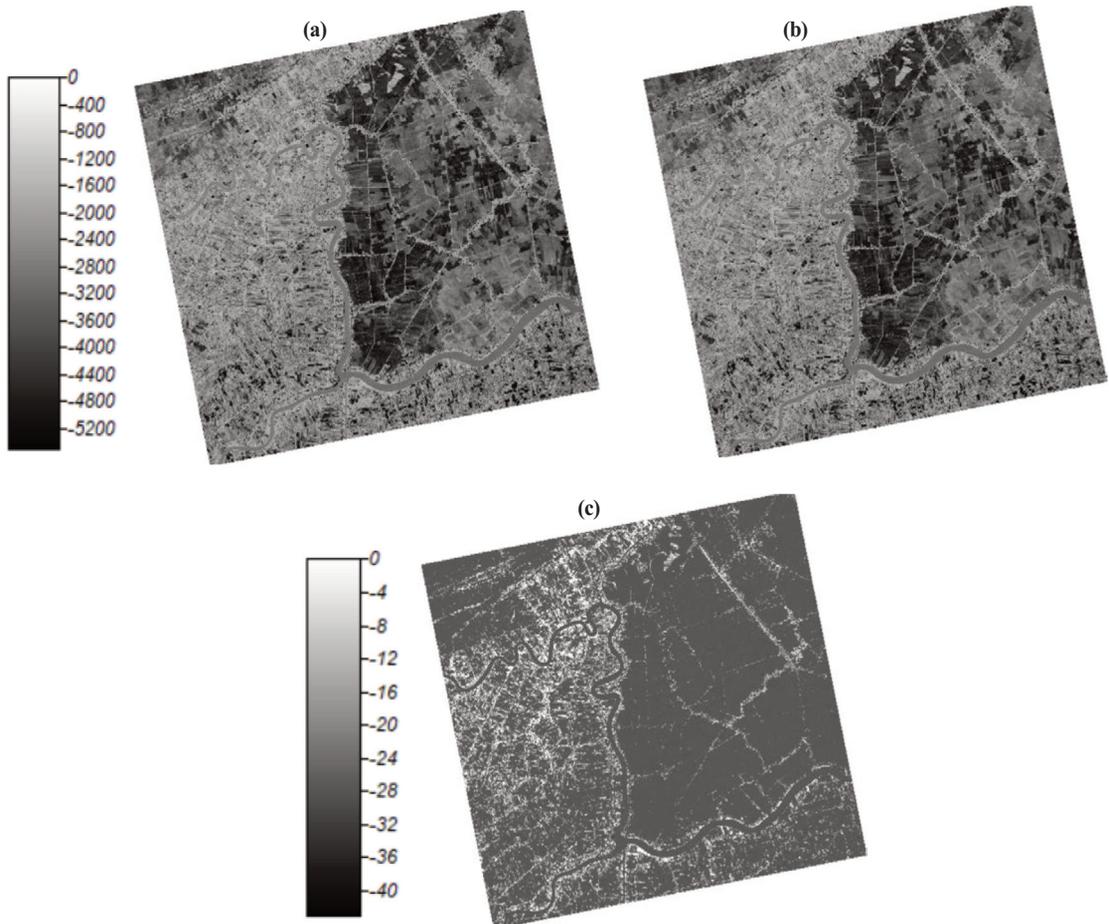


Fig. 7. (a) Difference image with TOA reflectance and raw R band, (b) Difference between TOC reflectance and raw R band, (c) Difference between TOC reflectances with AERONET data and without AERONET data.

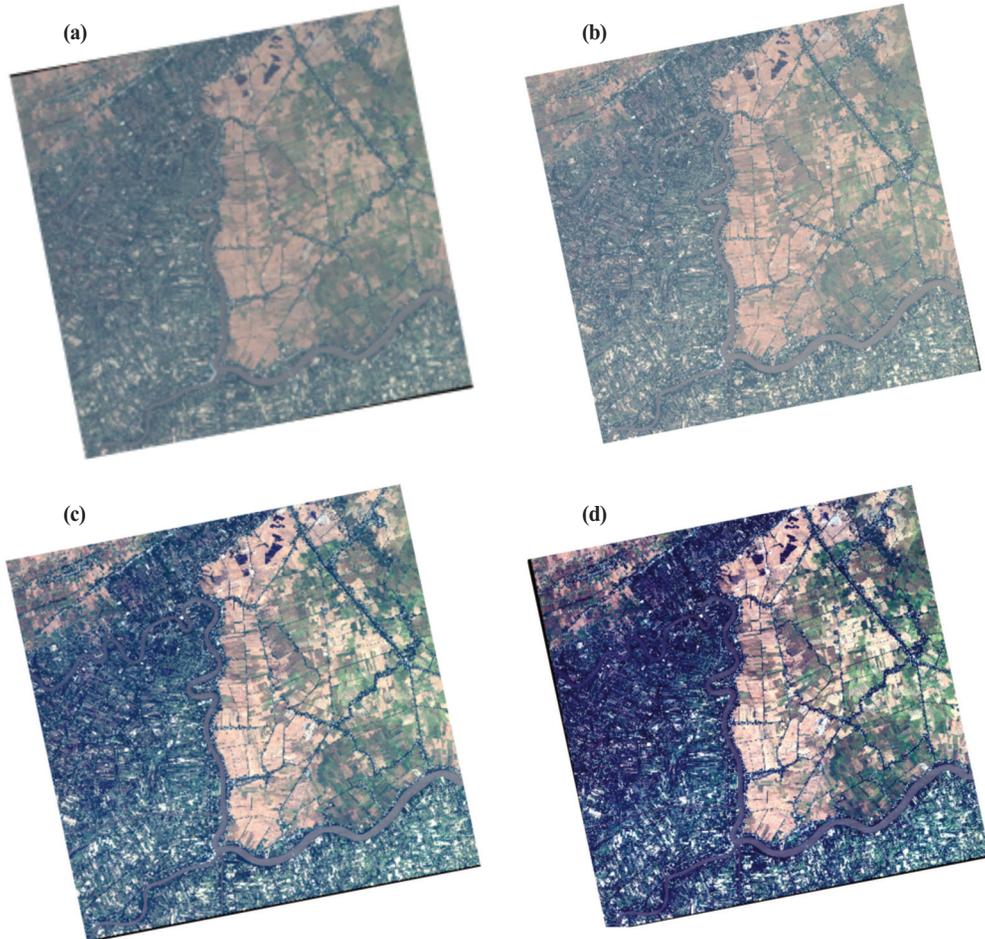


Fig. 8. RGB color composite image (a) original R, G, B bands, (b) R, G, B bands by TOA reflectance generation processing, (c) R, G, B bands TOC reflectance generation processing without AERONET file, (d) R, G, B bands TOC reflectance generation processing with AERONET file.

를 합성한 결과이다. RGB 합성 결과를 단순 시각적 단순 분석해보았을 때에는 원본 데이터와 TOA 반사도 결과에 대한 변화 양상이 시각적으로는 차이가 많은 것으로 보이지 않지만, 수치로 확인해보았을 경우 큰 변화가 있는 것을 확인할 수 있었다. 원본 데이터와 TOC 반사도의 결과는 시각적 단순 분석으로도 변화가 있는 것을 확인할 수 있었으며, AERONET 자료의 적용 여부 결과 또한 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 한편 이와 같은 KOMPSAT 3A호에 대한 처리 결과는 체계적으로 정립된 Landsat과 같은 중 규모 해상도 영상을 사용한 대기 보정 처리 결과와 비교 연구도 가능하지만, 기본적으로 해상도의 차이가 크기 때문에 직접 비교는 의미 있는 결과를 기대하기 어렵다.

#### 4. 결론

지표면 반사도 또는 TOC 반사도는 광학 영상정보에 대하여 절대 대기 보정 처리 과정을 수행하여 얻어지는 성과물이며, ARD 데이터베이스 구축에 필요한 중요한 산출물이다. 그러나 KOMPSAT 3/3A호 영상정보의 경우는 TOC 반사도 영상 생성기능을 제공하는 도구가 거의 없고 이러한 기능을 제공하는 오픈소스 도구의 경우도 아직 개발되거나 발표된 경우가 없다. 이 연구에서는 OTB 오픈소스에 포함된 광학 영상보정 모듈에 KOMPSAT 영상의 대기 보정을 위한 모듈을 추가로 구현하여 우분투 운영체제 환경에서 구동이 가능한 실행 파일을 개발하였다. 이 연구에서 구현된 도구는

KOMPSAT 3/3A호 영상정보의 TOA와 TOC 반사도 영상 제작을 위한 최초의 오픈소스 도구이다. 이 연구에서 개발된 KOMPSAT 3A호 영상을 처리하는 오픈소스는 KOMPSAT 3호 영상정보와 절대대기 보정에 적용되는 센서 모델이 동일하고 촬영 위치와 시기 등에 대한 자료는 번들로 제공되는 부속파일에 모두 포함되어 있기 때문에 KOMPSAT 3호 영상에도 그대로 적용할 수 있다. 작성된 실행 파일 실제 적용한 결과를 제시하기 위하여 베트남 메콩 지역 주변 지역의 KOMPSAT 3A호 영상에 대한 TOA와 TOC 반사도를 제작하였다. 특히 TOC 계산 과정에는 대기광학 두께와 에어로졸 관측값을 포함한 AERONET 파일을 사용할 수 있도록 하였다. 실험 결과로는 AERONET 파일은 TOC 반사도 영상 산출물 제작에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 이 연구는 대기 보정 알고리즘을 개발하거나 검증하는 것이 주목적이 아니고 기존 오픈소스 개발환경에 KOMPSAT 3/3A호 영상정보를 전용으로 처리할 수 있는 추가 모듈로 구현한 것이기 때문에 이 연구에서 개발된 대기 보정 모듈은 실행 파일의 정상 작동과 별도로 처리 결과인 성과물에 대한 무결성 확인 검사가 필요하다. 이 연구에서는 실험에 적용한 영상 정보가 포함된 지역을 위한 현장 분광 측정 자료가 없기 때문에 직접 비교는 수행하지 못했고 향후 이러한 자료가 있는 지역의 KOMPSAT 영상을 처리하고 결과를 분석하는 추가 연구를 수행할 계획이다. 이 연구에서 구현된 KOMPSAT 3/3A호 영상의 절대 대기 보정 자동화 처리도구 차세대 중형 국토 위성 정보를 이용한 지표면 반사도 산출물 제작 도구로도 활용될 것으로 기대한다.

## 사사

본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임. Bac Lieu 측정소 AERONET 자료의 사용에 대하여 Nguyen Xuan Anh에게 감사의 말씀을 전함(For the AERONET data, we thank the Nguyen Xuan Anh for its effort in establishing and maintaining Bac Lieu sites.).

## References

- Ahn, H.-Y., S.-I. Na, C.-W. Park, K.-H. So, and K.-D. Lee, 2018. Atmospheric Correction Effectiveness Analysis of Reflectance and NDVI Using Multispectral Satellite Image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(6-1): 981-996 (in Korean with English abstract).
- Bunting, P., 2018. Atmospheric and Radiometric Correction of Satellite Imagery (ARCSI), <https://arcsi.remotesensing.info/>, Accessed on Jun. 26, 2019.
- CEOS, 2018. Analysis Ready Data for Land: Optical Surface Reflectance (CARD4L-OSR), [http://ceos.org/ard/files/PFS/v4.1/CARD4L\\_Product\\_Family\\_Specification-Land\\_Surface\\_Reflectance-v4.1.pdf](http://ceos.org/ard/files/PFS/v4.1/CARD4L_Product_Family_Specification-Land_Surface_Reflectance-v4.1.pdf), Accessed on May 26, 2019.
- Cho, K. and Y. Kim, 2019. Simulation of Sentinel-2 Product Using Airborne Hyperspectral Image and Analysis of TOA and BOA Reflectance for Evaluation of Sen2cor Atmosphere Correction: Focused on Agricultural Land, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(2): 251-263 (in Korean with English abstract).
- Conrad, O., B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, J. Wehberg, V. Wichmann, and J. Böhner, 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geoscientific Model Development*, 8(7): 1991-2007.
- De Keukelaere, L., S. Sterckx, S. Adriaensen, E. Knaeps, I. Reusen, C. Giardino, M. Bresciani, P. Hunter, C. Neil, D. Van der Zande, and D. Vaiciute, 2018. Atmospheric Correction of Landsat-8/OLI and Sentinel-2/MSI Data using iCOR Algorithm: Validation for Coastal and Inland Waters, *European Journal of Remote Sensing*, 5(1): 525-542.
- 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.

- Egorov, A. V., D. P. Roy, H. K. Zhang, M. C. Hansen, and A. Kommareddy, 2018. Demonstration of Percent Tree Cover Mapping Using Landsat Analysis Ready Data (ARD) and Sensitivity with Respect to Landsat ARD Processing Level, *Remote Sensing*, 10(2): 209.
- Egorov, A. V., D. P. Roy, H. K. Zhang, Z. Li, L. Yan, and H. Huang, 2019. Landsat 4, 5 and 7 (1982 to 2017) Analysis Ready Data (ARD) Observation Coverage over the Conterminous United States and Implications for Terrestrial Monitoring, *Remote Sensing*, 11(4): 447.
- Frantz, D., M. Stellmes, and P. Hostert, 2019. A Global MODIS Water Vapor Database for the Operational Atmospheric Correction of Historic and Recent Landsat Imagery, *Remote Sensing*, 11(3): 257.
- Grizonnet, M., 2017. ORFEO ToolBox License Change from CeCILL to Apache: Diary of a Long Journey, <https://www.orfeo-toolbox.org/packages/doc/FOSS4G2017/foss4g-2017.pdf>, Accessed on Jun. 2, 2019.
- 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): 15.
- Honeck, E., R. Castello, B. Chatenoux, J.-P. Richard, A. Lehmann, and G. Giuliani, 2018. From a Vegetation Index to a Sustainable Development Goal Indicator: Forest Trend Monitoring Using Three Decades of Earth Observations across Switzerland, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12): 455.
- Jensen, J. R., 2016. *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective 4th Ed.*, Pearson, New York, NY, USA.
- 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.
- Kim, M., J. Kim, and J. Yoon, 2014. Estimation of Surface Reflectance by Utilizing Single Visible Reflectance from COMS Meteorological Imager - Analysis of BAOD Correction Effect, *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(5): 627-639 (in Korean with English abstract).
- KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.4, 2017. <http://www.si-imaging.com/resources/?pageid=4&uid=234&mod=document>, Accessed on May 2, 2019.
- Lee, H.-S. and K.-S. Lee, 2015. Atmospheric Correction Problems with Multi-Temporal High Spatial Resolution Images from Different Satellite Sensors, *Korean Journal of Remote Sensing*, 31(4): 321-330.
- 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.
- Lee, S. B., P. H. La, Y. D. Eo, and M. W. Pyeon, 2015. Generation of Simulated Image from Atmospheric Corrected Landsat TM Images, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 33(1): 1-9.
- Leutner, B., 2019. Package 'RStoolbox' <https://cran.r-project.org/web/packages/RStoolbox/RStoolbox.pdf>, Accessed on Jun. 2, 2019.
- Li, F., D.L.B. Jupp, M. Thankappan, L. Lymburner, N. Mueller, A. Lewis, and A. Held, 2012. A Physics-based Atmospheric and BRDF Correction for Landsat Data over Mountainous Terrain, *Remote Sensing of Environment*, 124(9): 756-770.
- Seong, N.-H., C. S. Lee, S. Choi, M. Seo, K.-S. Lee, and K.-S. Han, 2016. An Estimation of Surface Reflectance for Advanced Himawari Imager (AHI) Data using 6SV, *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(1): 67-71.
- 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 2016 The International Archives of the Photogrammetry*,

- Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, Czech Republic, Jul. 12-19, vol. XLI-B1, pp. 379-382
- Stefan, E., L. Lymburner, and J. Sixsmith, 2018. Implications of Pixel Quality Flags on the Observation Density of a Continental Landsat Archive, *Remote Sensing*, 10(10): 1570.
- TOA Radiance Reflectance Conversion of KOMPSAT 1.5, 2018. <http://www.si-imaging.com/resources/?pageid=2&uid=284&mod=document>, Accessed on May 2, 2019.
- 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.
- Vuolo, F., M. Zoltak, C. Pipitone, L. Zappa, H. Wenng, M. Immitzer, M. Weiss, F. Baret, and C. Atzberger, 2016. Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples, *Remote Sensing*, 8(11): 938.
- 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.
- Young, N. E., R. S. Anderson, S. M. Chignell, A. G. Vorster, R. Lawrence, and P. H. Evangelista, 2017. A Survival Guide to Landsat Preprocessing, *Ecology*, 98(4): 920-932.