

Article

다목적실용위성 3A 영상 자료의 지표 반사도 성과 검증: RadCalNet Baotou(BTCN) 자료 적용 사례

김광섭 ¹⁾ · 이기원 ^{2)†}

Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data: Application of RadCalNet Baotou (BTCN) Data

Kwangseob Kim ¹⁾ · Kiwon Lee ^{2)†}

Abstract: Experiments for validation of surface reflectance produced by Korea Multi-Purpose Satellite (KOMPSAT-3A) were conducted using Chinese Baotou (BTCN) data among four sites of the Radical Calibration Network (RadCalNet), a portal that provides spectrophotometric reflectance measurements. The atmosphere reflectance and surface reflectance products were generated using an extension program of an open-source Orfeo ToolBox (OTB), which was redesigned and implemented to extract those reflectance products in batches. Three image data sets of 2016, 2017, and 2018 were taken into account of the two sensor model variability, ver. 1.4 released in 2017 and ver. 1.5 in 2019, such as gain and offset applied to the absolute atmospheric correction. The results of applying these sensor model variables showed that the reflectance products by ver. 1.4 were relatively well-matched with RadCalNet BTCN data, compared to ones by ver. 1.5. On the other hand, the reflectance products obtained from the Landsat-8 by the USGS LaSRC algorithm and Sentinel-2B images using the SNAP Sen2Cor program were used to quantitatively verify the differences in those of KOMPSAT-3A. Based on the RadCalNet BTCN data, the differences between the surface reflectance of KOMPSAT-3A image were shown to be highly consistent with B band as -0.031 to 0.034, G band as -0.001 to 0.055, R band as -0.072 to 0.037, and NIR band as -0.060 to 0.022. The surface reflectance of KOMPSAT-3A also indicated the accuracy level for further applications, compared to those of Landsat-8 and Sentinel-2B images. The results of this study are meaningful in confirming the applicability of Analysis Ready Data (ARD) to the surface reflectance on high-resolution satellites.

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

Received September 4, 2020; Revised September 17, 2020; Accepted September 18, 2020; Published online September 25, 2020

¹⁾ 한성대학교 전자정보공학과 시간강사 (Part-time Lecturer, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

²⁾ 한성대학교 전자정보공학과 정교수 (Professor, 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: 다목적실용위성(KOMPSAT-3A: Korea Multi-Purpose Satellite 3A)으로부터 산출된 지표 반사도 성과의 검정 작업을 위하여 분광 반사도 측정값을 제공하고 있는 포털인 Radiometric Calibration Network(RadCalNet)에서 제공하는 4 개의 사이트 자료 중에서 중국 바오투우(Baotou: BTCN) 데이터를 이용한 실험을 수행하였다. 실험을 위한 반사도 성과는 대기 반사도와 지표 반사도를 일괄적으로 처리할 수 있도록 재설계하고 구현한 오픈소스 Orfeo ToolBox(OTB)의 확장 프로그램(Extension)을 이용하여 생성하였다. 절대 대기 보정에 적용되는 두 가지의 센서 모델 변수를 고려하여 2016년, 2017년, 2018년 자료 1개씩 총 3개의 영상 자료를 실험에 적용하였다. 한편 각각 USGS LaSRC 알고리즘과 SNAP Sen2Cor 프로그램을 이용하여 Landsat-8과 Sentinel-2B 영상 정보로부터 산출한 반사도 성과와의 비교 검정 작업을 수행하여 센서 별 차이를 확인하고자 하였다. 대기 반사도와 지표 반사도를 대상으로 절대 대기 보정을 위한 필수 입력 값인 Gain과 Offset에 대한 센서 모델 변수 값을 적용한 결과로, 2019년에 발표된 변수 값을 사용한 성과에 비하여 2017년 변수 값을 사용한 성과가 RadCalNet BTCN 자료에 비교적 잘 부합되는 것으로 나타났다. RadCalNet BTCN 자료를 기준으로 KOMPSAT-3A 영상 정보의 지표 반사도 성과와의 차이는 밴드 별로 B 밴드(-0.031 ~ 0.034), G 밴드(-0.001 ~ 0.055), R 밴드(-0.072 ~ 0.037), NIR 밴드(-0.060 ~ 0.022)로 일치도가 높은 것으로 나타났고, Landsat-8 영상과 Sentinel-2B 영상의 지표 반사도의 경우도 KOMPSAT-3A 영상의 지표 반사도 성과의 정확도와 유사한 수준인 것으로 나타났다. 이번 연구 결과는 고해상도 위성에서 지표 반사도 값에 대한 분석 대기 데이터(Analysis Ready Data: ARD) 적용 가능성을 확인한 것에 의미가 있다.

1. 서론

광학 위성영상 정보 아카이브(Archive) 구축과 활용이 주요 위성 선진국에서 위성 정보 서비스의 주요 동향으로 부각되고 있다. 이에 따라 사용자가 추가적인 전처리(Pre-processing)나 보정 작업을 수행하지 않아도 즉시 활용 목적에 맞게 위성영상 정보를 사용할 수 있도록 하는 분석 대기 자료(ARD)에 대한 관심이 증가하고 있다. 관련하여 민간 부문에서 지구관측 프로그램의 국제 협력을 도모하는 Committee on Earth Observation Satellites(CEOS)에서 CEOS ARD for Land(CARD4L)라는 프레임워크를 개발하였고, 이에 기반하는 Landsat과 Sentinel 위성 정보의 ARD 구축 사례가 공개, 발표되고 있다(Gascon *et al.*, 2017; Dwyer *et al.*, 2018; Zhu, 2019). Landsat 영상정보 제공 포털인 EarthExplorer(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 제공하는 Landsat ARD정보도 이에 해당한다(Kuhn, 2019). 광학 위성 영상정보의 ARD 중에서 가장 활용 목적의 우선순위가 높은 성과물은 지표 반사도(Surface Reflectance) 영상정보이다. 이러한 지표 반사도는 Top-of-Canopy(TOC) reflectance와 Bottom-of-Atmosphere(BOA) reflectance로 표현하기도 하며, 대기 반사도는 Top-of-Atmosphere(TOA) reflectance로 나타내기도 한다. 한편, 광학 위성영상을 위한 대기 보정에 관한

전반적인 알고리즘 기법, 기술 현황 또는 처리 도구 등은 Lee and Yum (2019)와 Lee (2019)에서 정리한 바 있다.

지표 반사도 성과를 생성하기 위해서는 위성 센서에 대한 절대 대기 보정이 필수 과정이 되며, Landsat이나 Sentinel 영상과 같이 세계적인 활용도가 높은 무상의 중, 저 해상도 영상 정보의 경우에는 공개된 소프트웨어를 통하여 이러한 보정을 용이하게 수행할 수 있다. 그러나 다중 분광 고해상도 영상 정보에 대한 절대 대기 보정 알고리즘이나 도구 개발과 이로부터 얻어진 성과 산출물 검정(Product Validation)은 현재 공개되지 않고 있거나 연구 단계인 경우가 많기 때문에 고해상도 영상 정보의 지표 반사도 ARD 구축도 역시 초기 단계라고 할 수 있다. 한편, KOMPSAT-3A 영상정보를 위한 대기 및 지표 반사도 추출 연구가 수행되고 있으며(Jin *et al.*, 2020), Lee and Kim (2020)은 KOMPSAT-3A 영상정보를 위한 대기 및 지표 반사도 성과 산출을 위한 오픈소스 Orfeo ToolBox(OTB)의 확장 프로그램(OTB extension for KOMPSAT-3A)을 개발하였고, Lee *et al.* (2020)은 이 도구를 이용한 지표 반사도 기반의 식생 지수 산출 연구를 수행하였다. OTB는 2020년 3월에 발표된 7.1.0 버전을 기준으로 Pleiades나 QuickBird와 같은 고 해상도 위성 정보의 지표 반사도 생성 기능을 제공하고 있는 반면에 Landsat이나 Sentinel-2 영상을 위한 대기 보정 함수

와 지표 반사도 생성 기능은 제공하고 있지 않다. 또한 4개의 분광 밴드에 대하여 3.2 m의 공간 해상도를 갖는 중국의 Gaofen-2 위성의 경우도 절대 대기 보정을 위한 실험과 처리 시스템 개발 연구를 진행하고 있다(She *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2019). 한편, 고 해상도 영상정보를 판매하는 Digital Globe(현재 Maxar)는 Radiometric Calibration Network(RadCalNet) 관측 자료를 이용하여 WorldView 시리즈 영상 정보에 대한 절대 대기 보정과 검, 보정 연구를 지속해서 수행하고 있다(Kuester and Ochoa, 2019; Kuester and Ochoa, 2020). 여기서 RadCalNet(<https://www.orfeo-toolbox.org/>)은 광학 지구 관측 위성의 복사 보정과 모니터링을 지원하기 위한 목적으로 하여, 전 세계 4곳의 기준 측정 지점을 선정하여 광학 위성 영상 검 보정 작업의 기준이 될 수 있는 분광 반사도 측정값을 제공하는 포털이다(Bouvet *et al.*, 2019). 네 개의 RadCalNet 사이트 중에서 미국 네바다 Railroad Valley(RVUS)와 프랑스 La Crau(LCFR) 사이트는 각각 2013년과 2015년부터 현재까지의 측정 자료를 제공하고 있으며, 중국 Baotou(BTCN)와 아프리카 Namibia Gobabeb(GONA) 사이트는 2016년부터 현재까지 측정된 자료를 공개하고 있다. 이 연구에서는 이 중에서 BTCN 자료를 사용하였다. BTCN 자료는 이미 Landsat 영상 정보와 Sentinel 영상정보를 위한 대기 반사도와 지표 반사도 정확도 평가를 위한 검증 자료로 사용되고 있다(Jing *et al.*, 2019; Lamquin *et al.*, 2019).

한편, KOMPSAT-3A 영상 정보는 절대 대기 보정에 필요한 입력 값인 Gain이나 Offset과 같은 센서 모델 변수가 2017년과 2019년에 각각 별도의 보정 계수 값으로 공개되었기 때문에, 이 연구에서도 우선 이 두 가지 버전에서 제시한 변수 값 차이에 따른 반사도 성과물을 비교하였다. 실험에 적용한 영상은 2016년, 2017년과 2018년의 영상을 각각 한 개씩 적용하였다. 또 다른 측면으로 이 연구는 KOMPSAT-3A 영상 정보의 ARD 아카이브 구축을 위한 기초 연구로 절대 대기 보정 도구와 정확도 검증 실험 결과를 제시하고자 하였다. 이와 관련하여 각각 USGS Land Surface Reflectance Code(LaSRC) 알고리즘과 Sentinel Application Platform(SNAP) Sen2Cor 프로그램을 이용하여 산출한 Landsat-8과 Sentinel-2B 영상 정보의 반사도 성과물과의 비교 검증 작업을 수행하여 센서 별 차이를 정량적으로 나타내고자 하였다.

2. 대기/지표 반사도 성과 검증 실험 개요

위성영상 정보에 대한 대기 반사도와 지표 반사도 성과물을 생성하기 위해서는 대기 환경 자료와 함께 위성 영상 메타 정보가 필요하다. Landsat Collection 1 영상자료의 경우 MTL 파일에 위성 메타데이터가 포함되어 있고, 대부분의 원격탐사 소프트웨어에서는 주요 광학 영상 정보에 대하여 태양 고도와 거리, Radiance 값 등과 같은 대기 보정에 필요한 값을 자동으로 읽어서 대기 보정 계산 과정에 이용하고 반사도 성과물을 생성하는 기능을 제공한다. 한편, 미국지질조사소(United State Geological Survey: USGS)에서는 자체적으로 개발한 절대 대기 보정 알고리즘으로 처리한 대기/지표 반사도 성과물을 EarthExplorer 사이트에서 제공하고 있는데, 원하는 지역의 성과물을 즉시 내려 받는 방식은 아니고 성과물 요청을 하면 약간의 시일이 지난 후에 처리된 자료를 제공한다. Sentinel 위성 영상의 경우 오픈소스 소프트웨어인 SNAP의 Sen2Cor 플러그인(Plug-in)을 이용하면 지표 반사도 산출물을 생성할 수 있다. 이 도구는 영상에 대한 메타데이터를 포함한 Product 파일에서 대기 보정에 필요한 입력 값을 바로 처리할 수 있도록 한다.

KOMPSAT-3A L1G 번들 영상을 대상으로 하는 경우 다른 영상 정보와 마찬가지로 XML 파일에 밴드 별 메타데이터뿐만 아니라 대기/지표 반사도 성과물 생성에 필요한 모든 위성 관련 입력 값을 포함하고 있다. 그러나 2020년 8월을 기준으로 하여 KOMPSAT 영상을 위한 절대 대기 보정과 대기/지표 반사도 성과 생성 기능을 제공하는 상용 소프트웨어는 없고, 오픈소스의 경우도 OTB extension for KOMPSAT-3A(Lee and Kim, 2019; 2020) 이외에는 아직까지 발표된 개발 도구는 없는 실정이다. 절대 대기 보정에 필요한 태양 각도, 위성 각도, 밴드 별 센서 특성 값 등 XML 메타데이터 파일에 포함된 입력 값을 자동으로 읽어서 처리 과정에 적용하도록 한다.

이번 연구에서는 밴드 별 특성 값 중에서 Gain과 Offset 값에 대한 비교 실험을 수행하였다. 이 변수 값은 각각 2017년 12월과 2019년 7월에 발표된 1.4버전(SI Imaging Services, 2017)과 1.5버전(SI Imaging Service, 2019)이 있다. 두 버전에서 제공하고 각 밴드 별 해당 값

Table 1. Gain and biases presented in the KOMPSAT-3A manuals (SI Imaging Service, 2017; 2019)

Version	Band	Gain ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) (TDI HIGH: 64/32/32/8)	Offset (biases)
1.4 (2017. 12)	Blue	0.024860	No provided
	Green	0.017997	
	Red	0.017881	
	NIR	0.010677	
1.5 (2019. 07)	Blue	0.036200	-22.1416
	Green	0.024900	-14.0210
	Red	0.022900	-13.0457
	NIR	0.013000	-10.2834

은 Table 1에 정리하였다. 절대 대기 보정 처리에 필요한 입력 값 중에서 센서 모델 변수는 위성 임무 경과에 따라 값이 변하게 된다. 그러나 영상배포기관에서는 촬영 날짜와 관계없이 KOMPSAT-3A 번들 영상으로 제공되는 메타데이터 파일에는 1.5버전으로 제공하고 있다. 절대 대기 보정 결과는 과거 영상정보라고 하더라도 영상 촬영 날짜에 대한 입력 값을 사용하는 것이 바람직하다. 위성 자세, 태양 거리 등 입력 값은 모두 촬영 날짜에 맞춰 단일 값으로 제공되는 것을 확인했지만 센서 모델 값을 그렇지 않은 것을 확인했기 때문에 두 센서 모델 변수 값이 대기/지표 반사도 성과에 어떠한 영향을 주는지 살펴볼 필요가 있다. 특히, 대기/지표 반사도 성과를 ARD 아카이브로 구축하는 경우 과거 영상 정보의 정확한 보정이 필수 조건이기 때문이다. 이 연구에서는 두

가지 버전 중에서 영상 촬영 일자에 가까운 버전의 센서 모델 값을 해당되는 영상 자료 처리에 적용하였다.

이번 연구에서는 크게 두 가지 방향으로 비교 검증 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 RadCalNet BTCN 사이트에서 제공되는 자료 측정 일시와 KOMPSAT-3A에 대한 영상정보 촬영 일시가 가능한 일치한 자료를 대상으로 하여 두 가지 버전을 적용한 대기/지표 반사도 성과물들을 생성한 뒤에 RadCalNet 현장 측정 자료와 비교한 것이다. 두 번째는 KOMPSAT-3A에서 산출한 대기/지표 반사도 성과와 Landsat-8과 Sentinel-2B 영상 정보에 대한 대기/지표 반사도 성과들을 정량적으로 비교하는 것이다. Fig. 1은 실험 내용과 적용한 자료를 정리한 것이다.

여기서 KOMPSAT-3A 영상 정보는 OTB extension for KOMPSAT-3A 소프트웨어 도구를 이용하며, Landsat-8에 대한 지표 반사도 성과는 USGS EarthExplorer ARD 포털에서 제공하는 영상정보를 이용하였고, Sentinel-2B 지표 반사도 영상은 L1C 영상을 SNAP Sen2Cor 오픈소스 도구를 사용하여 처리한 성과를 대상으로 하였다. 이 세 가지 영상 정보에 대하여 가능한 동일한 촬영 일시를 갖는 자료를 대상으로 하고자 하였으나 정확하게 일치하는 조건의 자료가 없어서 KOMPSAT-3A 영상정보 촬영 일시를 기준으로 다른 두 영상 정보는 최대한 근접된 일시 자료를 실험에 사용하였다.

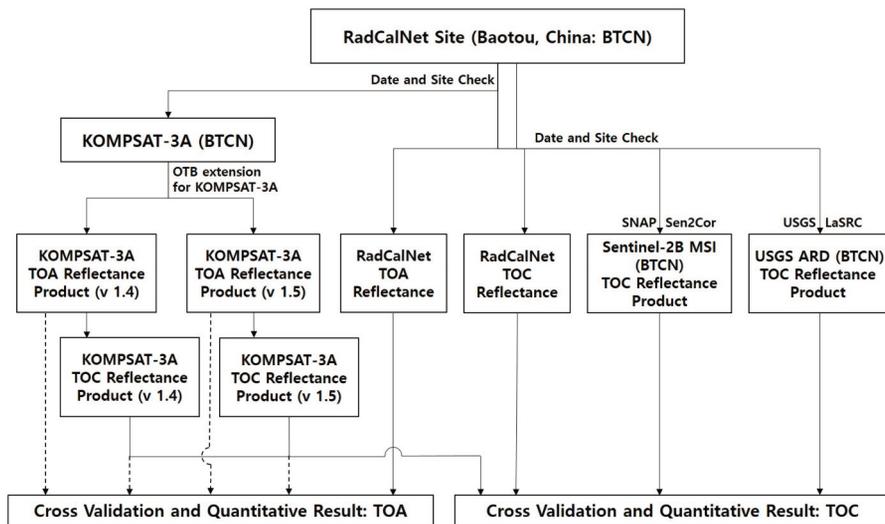


Fig. 1. Flow and target for cross validation experiments in this study.

3. 실험 자료와 방법

1) 실험 자료

KOMPSAT-3A 영상 대기/지표 반사도 성과 생성 및 비교 검증 실험에 사용한 위성 정보의 촬영 일시는 Table 2에 정리하였다. 자료는 촬영 연도 간의 차이도 중요하기 때문에 2016년, 2017년, 2018년을 기준 시기로 하여 가능한 구름이 없고, 같은 해의 영상정보 간의 촬영 일자가 2016년의 경우 가을, 2017년 경우는 여름 영상과 같이 최대 10일 이내에 있는 자료를 대상으로 하였다. 실험 자료 중에서 2016년 자료의 경우 Landsat과 Sentinel 위성 영상에 대한 촬영 일자는 같지만 KOMPSAT-3A는 8일 전에 촬영된 영상을 사용하였고, 2017년도 자료는 Landsat-8 영상의 경우 6일 차이가 있다. 2018년 영상은 모두 동일한 일자의 영상이다. 여기서 촬영 시간은 Coordinated Universal Time(UTC)에 따른다. 실험 대상 지역인 중국 바오터우 지역의 경우 KOMPSAT-3A 영상 정보는 05:30에서 06:00 사이 영상이며, Landsat-8과 Sentinel-2B는 03:00에서 03:30 사이 영상이다. RadCalNet Baotou(BTCN) 사이트는 UTC 기준으로 01:00에서 07:00 사이 30분 간격으로 측정, 처리한 자료를 제공하고 있다. 상호 비교 실험을 위해 RadCalNet에서 제공되고 있는 30분 단위 자료 중 가장 근접한 자료를 사용할 필요가 있어서 KOMPSAT-3A 영상은 RadCalNet 06:00 자료를 비교하였고 Landsat-8과 Sentinel-2B 영상은 03:30 자료를 사용하였다. 그러나 KOMPSAT-3A 영상정보 중에서 2016년 10월 31일 RadCalNet 06:00 자료는 반사율 처리가 된 자료가 없기 때문에 30분 이후 데이터인 06:30

자료를 사용하였다(참고: 코드 9998, not processed to TOA reflectance).

KOMPSAT-3A 대기/지표 반사도 성과 생성에 필요한 입력 값은 위성영상 정보에 대한 메타데이터 정보와 촬영 일자에 대한 처리 대상 지역 대기 환경 물리 값이 필요하다. 이러한 값을 현장에서 바로 얻기가 쉽지 않고, 과거 영상 정보의 경우는 해당 일자의 데이터가 필요하기 때문에 Aerosol Robotic Network(AERONET) 자료를 이용하는 것이 바람직하다. AERONET은 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration: NASA)와 PHOTONS(PHOTometric pour le Traitement Operationnel de Normalization Satellitaire)가 설립한 지상 기반 원격 감지 에어로졸 네트워크 연합으로, Cimel Electronique Sun-sky 복사계를 사용하여 에어로졸 광학 깊이(Aerosol of Depth: AOD)와 여러 대기 환경 값을 제공하고 있다(Giles *et al.*, 2019). Landsat 위성영상정보의 대기 보정 작업에도 AERONET 자료를 이용하고 있다(Xu *et al.*, 2020). OTB extension for KOMPSAT-3A 도구는 AERONET 버전 2 자료를 직접 읽고 영상 정보의 촬영 일시와 일치하는 해당 일자와 시간을 검색하여 절대 대기 보정에서 요구하는 AOD, 수증기 값 등을 자동으로 사용하도록 한다.

RadCalNet 사이트에서는 현장에서 측정한 지표 반사도와 대기 정보를 수집하고 이를 자체 알고리즘으로 처리하여 대기 반사도와 과학 연구를 위한 대기 물리 환경 값을 제공한다. 측정, 처리된 파일은 사용자에게 ASCII 텍스트 파일로 제공되며 Input 파일과 Output 파일 두 개로 구성되어 있다. Input 파일에는 대기 정보,

Table 2. Date and time of satellite images used in this study

Year	Satellite	Date		Acquisition Time	RadCalNet Measurement Time
		Month	Day		
2016	KOMPSAT-3A	10	31	06:00	06:30
	Landsat-8	11	08	03:13	03:30
	Sentinel-2B	11	08	03:39	03:30
2017	KOMPSAT-3A	08	05	05:54	06:00
	Landsat-8	07	29	03:24	03:30
	Sentinel-2B	08	05	03:35	03:30
2018	KOMPSAT-3A	11	30	05:41	06:00
	Landsat-8	11	30	03:18	03:30
	Sentinel-2B	11	30	03:31	03:30

현장 측정 여부, 기후, 지표 반사도 데이터가 포함되어 있다. 대기 데이터는 표면 대기압(단위: mb), 표면 온도(단위: Kelvin), 수증기(단위: g/cm), 오존(단위: Dobsons), AOD와 에어로졸 타입을 포함하고 있으며, 지표 반사도 측정값은 지역 시간 기준 09:00부터 15:00까지 30분 단위로 400-2,500 nm 스펙트럼 범위에서 기록한 정보를 수집한다. Output 파일은 Input 파일을 통해 처리된 대기 반사도 값으로 Input 파일과 동일한 포맷으로 제공한다. 이러한 Output 파일과 Input 파일을 각각 KOMPSAT-3A 영상정보에서 산출된 대기 및 지표 반사도 값과 비교할 수 있는 자료이다.

2) RadCalNet BTCN 사이트

이번 연구에서는 네 개의 RadCalNet 사이트 중에서 중국 바오투우(Baotou) BTCN 사이트에서 제공한 자료를 이용하였다. 이 사이트는 AERONET과 RadCalNet 자료를 모두 제공하는데, 이 두 자료 측정 지점이 멀리 떨어져 있는 경우는 반사도 성과에도 영향을 줄 수 있기 때문에 이 점은 중요한 장점이라고 할 수 있다. Fig. 2는 BTCN 사이트의 위치와 내부 상태를 나타낸 것이다. 실제 RadCalNet BTCN 측정 사이트와 AERONET 측정소는 약 500 m 이내에 위치하고 있다. AERONET에서 제공하는 자료에는 약 3분 간격으로 AOD와 대기 환경 값이 저장되어 있으며 이는 지표 반사도 처리를 위한 입

력 값을 사용된다. RadCalNet 자료는 지상에서의 대기/지표 반사도 값을 제공하므로 검증 실험에 직접 사용된다. RadCalNet 자료에도 대기 환경 측정값을 제공하고 있지만 이번 연구에서는 AERONET 자료만을 입력 값으로 사용하였다.

RadCalNet BTCN 자료는 네 개의 지상 Tarp 중 회색 영역(Gray Tarp)에 대한 측정 결과를 제공한다. 전체 Tarp 한 변의 길이는 약 100 m이며 회색 Tarp 영역은 약 48 m × 48 m 넓이의 정사각형 영역이 된다(RadCalNet, 2018). RadCalNet의 다른 사이트들이 측정 지점(Measurement point)의 값을 제공하지만, Baotou 사이트는 Tarp에 대한 측정값을 제공하고 있다. 고해상도 영상 정보의 경우는 직접 Tarp 영역에 대한 반사도 성과를 뚜렷하게 비교할 수 있어 이 또한 이 사이트의 중요한 장점이라고 할 수 있다. 따라서 2.2 m 해상도를 갖는 KOMPSAT-3A의 경우 Tarp를 포함하고 있는 영역에 대한 값을 추출하여 해당 값(약 48개 픽셀에 해당하는 반사도 성과 값)들을 모두 검증에 활용하였다. Sentinel-2B 영상의 경우 해상도가 10 m급이기 때문에 KOMPSAT-3A와 같은 방식으로 영역에 대한 평균값(약 23개 반사도 성과 값)을 계산하였다. 그러나 Landsat-8의 경우 30 m급으로 Tarp 범위보다 크기 때문에 단일 지점에 대해 값을 추출하였다.

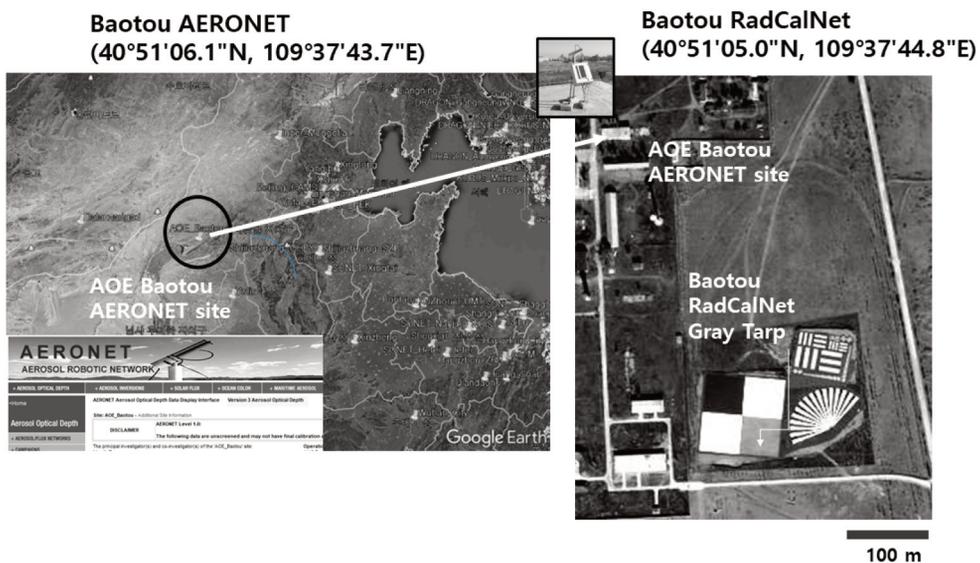


Fig. 2. RadCalNet BTCN site with AERONET station: Location and state.

3) 대기/지표 반사도 성과 생성 도구 개선 사항

OTB는 Radiometric Calibration 모듈에서 대기 보정 관련 함수를 제공하는데, 2020년 기준 7.1 버전(<https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/recipes/optpreproc.html>)은 Pleiades, SPOT, Quickbird, WorldView-1, WorldView-2 등과 같은 몇 개의 위성 정보로 한정되어 있으며 Landsat 이나 Sentinel 영상의 센서 모델은 지원하지 않는다. 또한 Windows 운영체제에서는 대기 보정 모듈에 버그가 있는데 2010년대 중반 이후 OTB가 OSGeo 프로젝트에 포함되면서 OTB에서는 이에 대한 추가 작업이나 기술 지원을 하고 있지 않다. 그러나 OTB 대기 보정 모듈은 Multi-temporal Atmospheric Correction and Cloud Screening (MACCS)와 같은 프로젝트에 적용되고 있다 (Grizonnet *et al.*, 2017).

이 연구에서 KOMPSAT-3A 영상 정보의 절대 대기 보정에 의한 대기/지표 반사도 성과물은 OTB extension for KOMPSAT-3A 도구를 이용하여 생성하였으며, 이 도구의 세부 사항은 Lee and Kim (2019, 2020)과 Lee *et al.* (2010)에서 설명한 바 있다. 이번 연구에서는 이 도구에 대하여 몇 가지 사항을 개선하였다. 절대 대기 보정 과정

에 필요한 입력 값들은 OTB에서 Open Source Software Image Map(OSSIM) 메타데이터 파일을 자동으로 읽은 뒤에 바로 처리 과정에 이용하도록 하였다. 또한 OTB 소프트웨어는 입력 자료들을 단일 파일로 통합하여 한번에 읽기 때문에 번들(bundle)에서 각 밴드 파일 형태로 제공되는 KOMPSAT-3A 영상정보를 OTB에서 사용하기 위해서는 한 개의 파일로 합치는 과정이 우선 필요하다. OTB extension은 기본적으로 OTB의 내부 자료 구조를 따르게 되며 절대 대기 보정 등과 같은 개별 기능을 수행한 후에 다시 밴드 별 파일로 분리하여 저장한다. 이와 같은 과정을 자동으로 처리하도록 도구를 개선하였다.

Fig. 3은 이번 연구에서 수행된 KOMPSAT-3A 영상 정보의 대기 및 지표 반사도 성과 생성 과정을 정리한 것이다. OTB extension for KOMPSAT-3A 도구는 Ubuntu 18.04 LTS 운영체제에서 구동되며 한 개의 번들 영상을 OTB 도구에서 읽은 뒤에 절대 대기 보정과 대기/지표 반사도 성과를 생성하는 데 소요되는 시간은 평균적으로 대기 반사도와 지표 반사도 성과 생성에 각각 18초와 22초로 전체 처리 과정에 약 40초 정도가 소요된다.

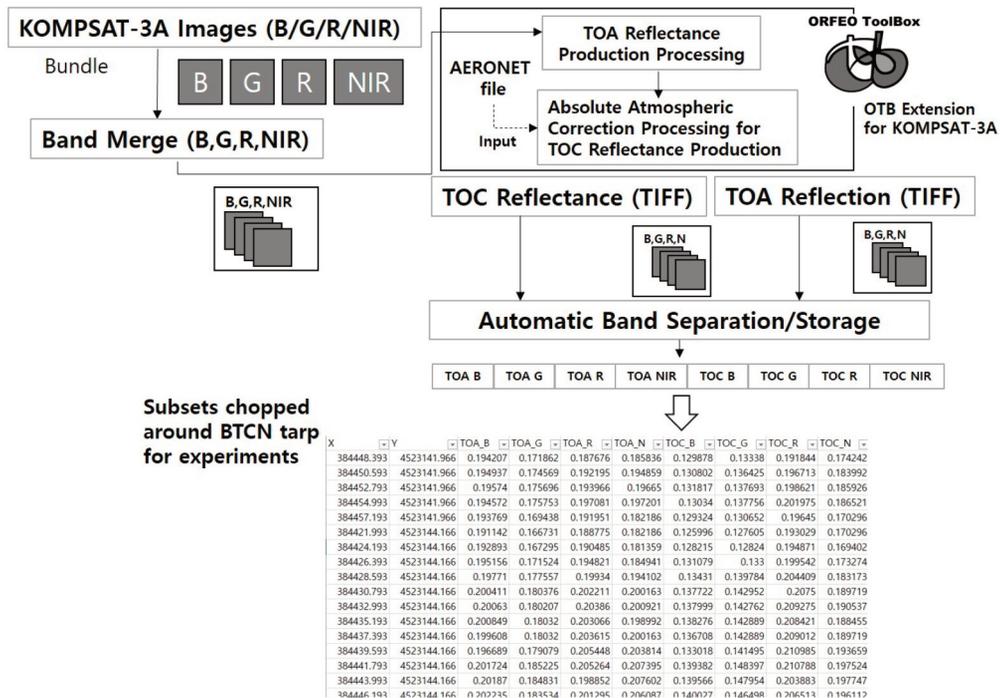


Fig. 3. Integrated processing of the OTB extension for KOMPSAT-3A to produce TOA/TOC reflectance.

4. 실험 결과와 분석

1) KOMPSAT-3A 대기/지표 반사도 결과와 분석

KOMPSAT-3A 영상 정보의 대기 반사도와 지표 반사도를 1.4 버전(2017)과 1.5 버전(2019)의 센서 변수 값을 사용하여 구한 뒤, 이 결과를 RadCalNet 자료와 비교하였다(Fig. 4). 이 비교 실험에서는 앞에 언급한 것과 같이 Gain/Offset 값에 대해 메타 데이터에 있는 값인 1.5 버전을 바로 입력 자료로 사용하지 않고, 촬영 일자를 고려하여 근접한 연도의 해당 값을 입력 값으로 사용하였다. 이는 2019년에 발표된 1.5 버전은 2019년 이후 영상에는 적합하겠지만 2018년 이전의 영상은 이전 버전

(1.4 버전)에서 제공하는 변수 값이 시기적으로는 부족되기 때문이다. 따라서 이 연구에서 사용하는 영상 정보는 모두 2018년 이전 자료이므로 1.4 버전에 공지된 값을 사용하는 것을 기준으로 하였다.

Fig. 4(a)와 (b)는 각각 2016-10-31 일자 KOMPSAT-3A 영상 정보에 대한 대기 반사도와 지표 반사도 값을 각 밴드 별로 구분하여 정리한 것이다. 또한 Fig. 4(c)와 (d)는 각각 2017-08-05 일자 KOMPSAT-3A 영상 정보에 대한 대기 반사도와 지표 반사도 값을, Fig. 4(e)와 (f)는 각각 2018-11-30 일자 대기 반사도와 지표 반사도 값을 나타낸 것이다. 1.4 버전을 적용한 경우는 BTCN Tap 영역에 대한 값을 나타내기 위하여 Box plot으로 제시

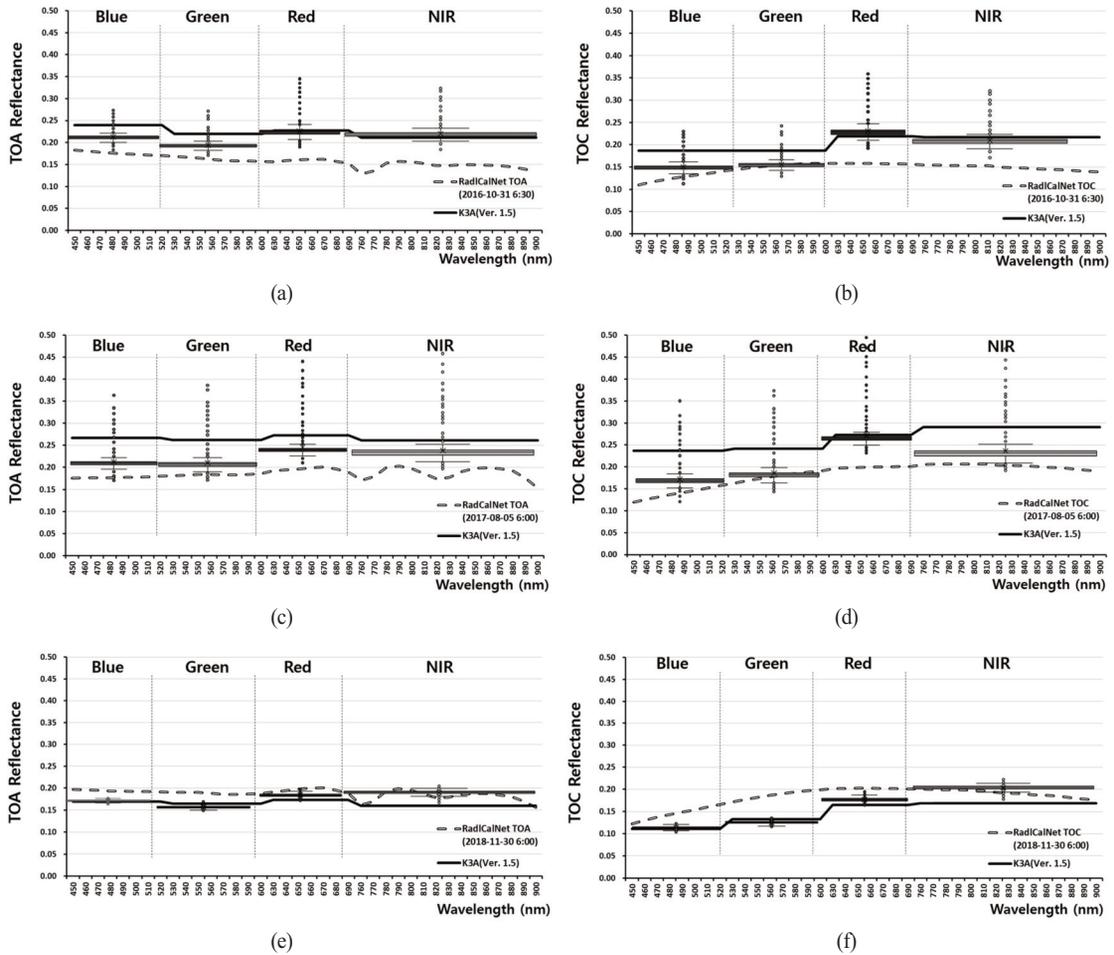


Fig. 4. Comparison with RadCalNet BTCN data and reflectance products of KOMPSAT-3A by two sensor model parameters as box plot for ver. 1.4(2017) and line plot for ver. 1.5(2019): (a) TOA reflectance for 2016-10-31, (b) TOC reflectance for 2016-10-31, (c) TOA reflectance for 2017-08-05, (d) TOC reflectance for 2017-08-05, (e) TOA reflectance for 2018-11-30, and (f) TOC reflectance for 2018-11-30.

Table 3. Quantitative summary of TOA/TOC reflectance with respect to RadCalNet BTCN data. The lower value is bolded

Year/Band		RadCalNet Ver. 1.5		RadCalNet Ver. 1.4	
		TOA Reflectance	TOC Reflectance	TOA Reflectance	TOC Reflectance
2016	Blue	-0.064	-0.060	-0.033	-0.022
	Green	-0.058	-0.033	-0.029	-0.001
	Red	-0.069	-0.061	-0.063	-0.071
	NIR	-0.065	-0.069	-0.071	-0.060
2017	Blue	-0.090	-0.098	-0.034	-0.031
	Green	-0.079	-0.063	-0.026	-0.005
	Red	-0.077	-0.071	-0.049	-0.072
	NIR	-0.075	-0.089	-0.051	-0.033
2018	Blue	0.024	0.034	0.024	0.033
	Green	0.024	0.055	0.031	0.063
	Red	0.022	0.037	0.012	0.026
	NIR	0.022	0.022	-0.008	-0.011

하였고, 1.5 버전 처리 결과는 평균값을 제시하였다. RadCalNet 자료의 경우도 Tarp의 평균값으로 제공되기 때문에 단일 값으로 표시하였다. 1.4 버전을 이용한 Box plot의 사분위수(Quartile) 분포는 집중도가 높게 나타나지만, 상위 경계 값을 벗어나는 오차(Outlier)도 나타난다. 이는 흰색 Tarp 주변이 색상 차이가 있는 흰색 Tarp로 되어 있고, Tarp보다 약간 넓은 범위로 채택했기 때문에 발생한 것이다. Fig. 4(e)와 (f)에 제시된 2018년 영상 정보의 경우에는 Tarp보다 작은 범위로 대상 영역을 추출한 경우로 Outlier가 나타나지 않는 균일한 분포를 보인다. 이러한 오차는 비교 실험을 위한 평균값에는 크게 영향을 주지 않는다. 각 결과의 정량적인 차이는 Table 3에 별도로 제시하였다. Table 3은 RadCalNet 대기/지표 반사도 자료와 KOMPSAT-3A 대기/지표 반사도 값을 모두 각 밴드 영역에 해당하는 데이터에 대한 평균값을 적용한 결과이다. 이 결과를 보면 1.4 버전의 입력 값을 적용한 성과물이 RadCalNet 자료와 차이가 확실히 적은 것을 확인할 수 있다. 특히, Blue 밴드와 Green 밴드의 결과가 Red 밴드와 NIR 밴드의 결과에 비하여 RadCalNet 자료와 일치도가 높은 것으로 나타났다.

2) 비교 검증 결과와 분석

KOMPSAT-3A 영상정보로부터 구한 지표 반사도를 Landsat-8과 Sentinel-2B 지표 반사도 영상 정보와 비교한 결과는 Fig. 5에 나타났다. Fig. 5(a)는 2016년 자료에 대한 결과이며, Fig. 5(b)와 (c)는 각각 2017년, 2018년 지표 반

사도 처리 결과를 나타낸 것이다. 2016년 자료의 경우 촬영 일자가 Landsat-8과 Sentinel-2B 영상은 11월 8일로 동일하고 KOMPSAT-3A 영상은 10월 31일이다. Blue와 Green 밴드의 경우 KOMPSAT-3A 값이 RadCalNet에 좀 더 가까운 것을 확인할 수 있었으며, Red와 NIR 밴드에서는 Sentinel-2B 값이 RadCalNet과 가까운 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 같은 날짜에 대한 Landsat-8과 Sentinel-2B를 비교해보았을 경우 Sentinel-2B가 좀 더 RadCalNet 측정 결과와 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 2017년 자료에 대한 결과로 Sentinel-2B와 KOMPSAT-3A 영상 정보의 촬영 날짜가 동일하다. 이 둘에 대한 RadCalNet 비교 시간은 각각 3:30과 6:00로 차이가 있지만, 측정 값은 크게 차이가 나지 않을 것을 확인할 수 있으며, 실험 결과를 확인해보았을 때 Sentinel-2B보다 KOMPSAT-3A의 성과물이 RadCalNet 결과에 보다 근접하는 것으로 나타났다. RadCalNet 값과 가장 많이 차이는 Red 밴드에 대한 KOMPSAT-3A 평균값은 0.27, Sentinel-2B 평균값은 0.13으로 RadCalNet 평균값의 0.20와 비교해보았을 때 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 2018년 자료를 나타내고 있으며 세 영상 모두 동일한 날짜에 대한 비교를 수행할 수 있었다. RadCalNet 데이터 시간은 약 2시간 30분 정도 차이가 나지만 값 차이가 크지 않았고, Blue와 Green 밴드의 경우는 상대적으로 Landsat-8 지표 반사도 값이 보다 정확한 것을 확인할 수 있었다. Sentinel-2B와 KOMPSAT-3A 지표 반사도 값은 거의 비슷한 것을 확인할 수 있었다. Red 밴드도

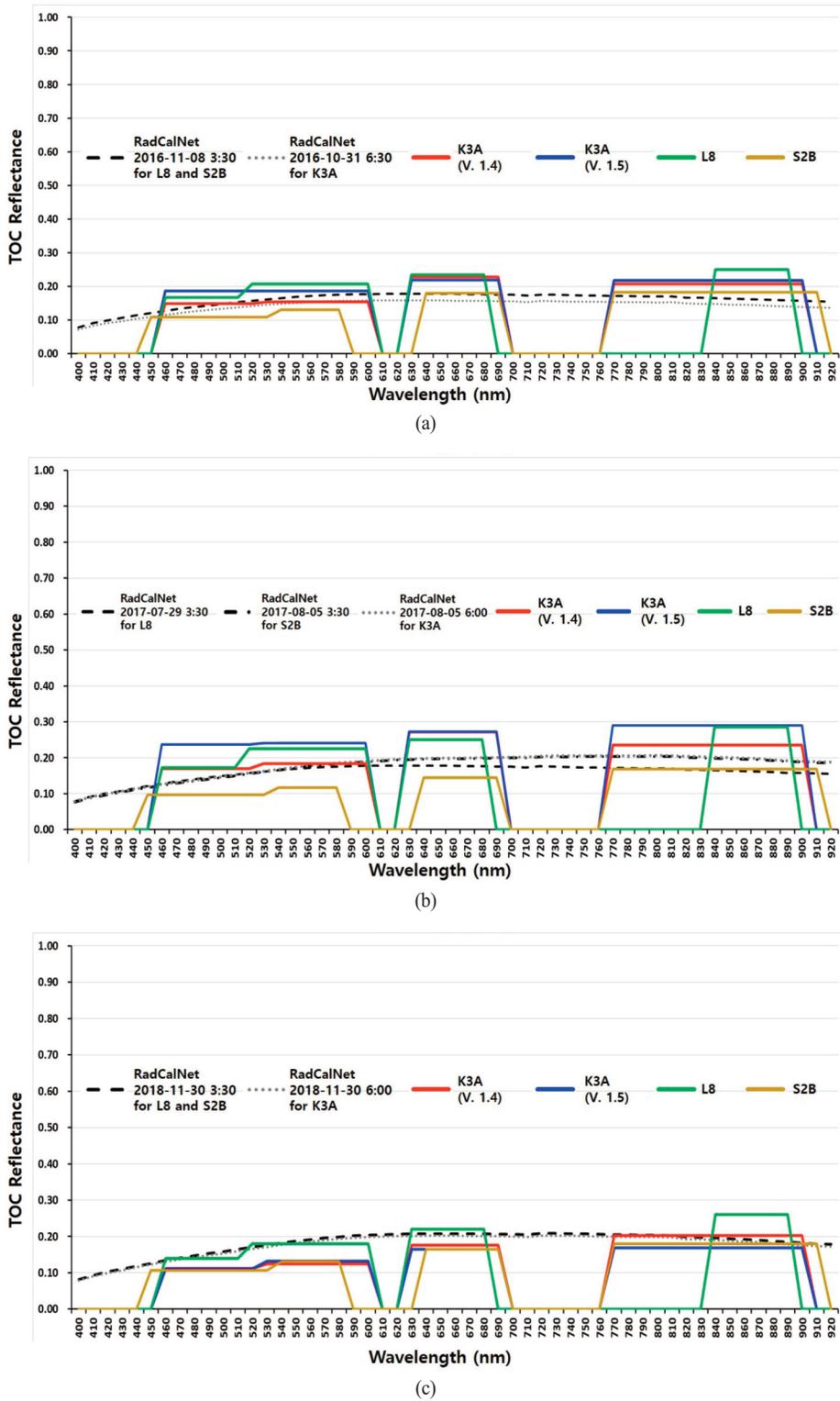


Fig. 5. Cross validation of TOC reflectance products of KOMPSAT-3A (K3A), with those of Landsat-8 (L8) and Sentinel-2B (S2B), with respect to RadCalNet BTCN data: (a) 2016, (b) 2017, and (c) 2018.

Table 4. Quantitative summary of TOC reflectance of KOMPSAT-3A, Landsat-8, and Sentinel-2B, with respect to RadCalNet BTCN data. The best value is bolded

Year/Band		KOMPSAT-3A			Landsat-8			Sentinel-2B		
		RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.	RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.	RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.
2016	Blue	0.127	0.148	-0.021	0.138	0.168	-0.030	0.140	0.109	0.031
	Green	0.153	0.154	-0.001	0.170	0.208	-0.038	0.171	0.130	0.041
	Red	0.158	0.229	-0.071	0.177	0.235	-0.058	0.177	0.180	-0.003
	NIR	0.148	0.208	-0.060	0.162	0.250	-0.088	0.165	0.183	-0.018
2017	Blue	0.139	0.170	-0.031	0.138	0.173	-0.034	0.137	0.090	0.047
	Green	0.179	0.184	-0.005	0.170	0.225	-0.055	0.175	0.109	0.067
	Red	0.199	0.271	-0.072	0.177	0.250	-0.073	0.198	0.137	0.061
	NIR	0.201	0.235	-0.034	0.162	0.285	-0.123	0.197	0.168	0.029
2018	Blue	0.145	0.112	0.033	0.146	0.158	-0.011	0.149	0.106	0.043
	Green	0.187	0.124	0.063	0.190	0.200	-0.010	0.191	0.131	0.060
	Red	0.202	0.175	0.026	0.207	0.235	-0.028	0.207	0.165	0.042
	NIR	0.191	0.202	-0.011	0.191	0.253	-0.062	0.195	0.180	0.015

Landsat-8 지표 반사도 값이 RadCalNet 값과 근사한 결과를 보였고 KOMPSAT-3A 지표 반사도 값도 마찬가지로 근접한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 NIR 밴드의 경우 KOMPSAT-3A 영상이 RadCalNet 값에 가장 근접한 것을 확인할 수 있었다.

Table 4는 각 영상에 대한 지표 반사도 값을 밴드 별로 평균값을 계산하고 이를 RadCalNet 평균값과 차이를 계산한 결과이다. KOMPSAT-3A 영상 정보의 성과물 1.4 버전에서 제시된 센서 모델 값을 적용한 결과를 기준으로 하였다. RadCalNet BTCN 자료를 기준으로 KOMPSAT-3A 영상 정보의 지표 반사도 성과와의 차이는 각 Blue, Green, Red, NIR 밴드 별로 -0.031 ~ 0.033, -0.005 ~ 0.063, -0.072 ~ 0.026, -0.060 ~ -0.011로 높은 일치도를 보이는 것으로 나타났다. Landsat-8 영상으로부터 산출한 지표 반사도의 경우 RadCalNet BTCN 자료를 기준으로, 밴드 별로 각각 -0.034 ~ -0.011, -0.055 ~ -0.010, -0.073 ~ -0.028, -0.123 ~ -0.062와 같은 범위의 차이를 보이는 것으로 나타났고, Sentinel-2B 영상의 경우는 같은 조건에서 0.031 ~ 0.047, 0.041 ~ 0.067, -0.003 ~ 0.061, -0.018 ~ 0.029와 같은 차이를 보였다. 절대 대기 보정에 의한 지표 반사도의 범위를 0.0에서 1.0으로 했을 때, 현장 실측 분광 자료와 ±5% 이내(-0.050~0.000, 0.000 ~ 0.050)의 오차율을 기준 범위로 하는 경우, 일부 범위를 벗어나는 경우는 있기는 하나 전반적으로는

KOMPSAT-3A 영상의 지표 반사도 성과와 다른 영상 정보의 정확도는 유사한 수준인 것으로 나타났다.

5. 결론

RadCalNet에서 제공하는 현장 측정 자료는 광학 위성 영상정보에서 산출한 대기/지표 반사도의 정확도를 검증하기 위한 중요한 자료이다. 그러나 과거 영상정보를 대상으로 하는 경우 위성영상 정보의 촬영 조건을 반영하면서 지구 대기 환경 조건을 지상 검증 사이트와 일치시키기는 쉽지 않기 때문에 이러한 상황을 고려하여 정확도를 설정할 필요가 있다. RadCalNet BTCN는 Tarp에 대한 측정값을 제공하기 때문에 여러 개의 화소 값을 이용할 수 있었다.

이 연구는 OTB의 확장 프로그램을 이용하여 KOMPSAT-3A 위성영상의 대기/지표 반사도의 정확도 분석을 위한 실험을 수행하였다. 대기 반사도와 지표 반사도를 대상으로 Gain/Offset의 위성 센서 모델 값을 제공하는 1.4 버전과 1.5 버전에서 제공하는 두 가지 센서 모델 변수 값을 적용 결과는 1.4 버전이 RadCalNet BTCN 자료에 비교적 잘 부합되는 것으로 나타났다. 이는 영상 촬영 날짜에 근접한 값을 입력해야 한다는 것을 의미한다. RadCalNet BTCN 자료를 기준으로

KOMPSAT-3A 영상 정보의 지표 반사도 성과와의 차이는 밴드 별로 95%의 정확도를 기준으로 하여 이에 근접하는 결과를 보였고, Landsat-8 영상과 Sentinel-2B 영상의 지표 반사도의 경우도 KOMPSAT-3A 영상의 지표 반사도 성과의 정확도와 유사한 수준인 것으로 나타났다. 하지만 센서 모델 변수 값뿐만 아니라 절대 대기 보정에 의한 지표 반사도 성과는 적용되는 복사 전달 모델과 사용하는 소프트웨어에 따라서 성과에 차이를 보일 수도 있으며, 입력 값으로 이용되는 대기 환경 변수의 정확성도 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이러한 검증 연구는 실험 결과의 축적을 위하여 지속할 필요가 있다. 이러한 결과는 향후 ARD 구축에 필수적인 자료로 직접 적용될 수 있다. 한편, 이번 연구에서 사용하지 않은 RadCalNet LCFR과 CONA 사이트 자료를 이용하여 그 동안 축적된 KOMPSAT-3와 KOMPSAT-3A 영상 정보의 대기/지표 반사도의 결과 검증 연구를 계속 수행할 예정이다. 이와 동시에 클라우드(Cloud) 환경에서 확장 프로그램의 사용자 인터페이스를 재설계하여 개발된 처리 모듈을 사용하고, 처리 성과물을 관리할 수 있는 시스템을 설계, 구축하고자 한다.

사사

본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

References

Bouvet, M., K. Thome, B. Berthelot, A. Bialek, J. Czapla-Myers, M. 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.

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.

Gascon, F., C. Bouzinac, O. Thepaut, M. Jung, B. Francesconi, J. Louis, V. Longou, B. Lafrance, S. Massera, A. Gaudel-Vacaresse, F. Languille, B. Alhammoud, F. Viallefont, B. Pflug, J. Bieniarz, S. Clerc, L. Pessiot, T. Tremas, E. Cadau, R. D. Bonis, C. Isola, P. Martimort, and V. Fernandez, 2017. Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status, *Remote Sensing*, 9(6): 584.

Giles, D. M., A. Sinyuk, M. G. Sorokin, J. S. Schafer, A. Smirnov, H. Slutsker, T. F. Eck, B. N. Holben, J. R. Lewis, J. R. Campbell, E. J. Welton, S. V. Korkin, and A. I. Lyapustin, 2018. Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 Database – Automated Near-real-time Quality Control Algorithm with Improved Cloud Screening for Sun Photometer Aerosol Optical Depth (AOD) Measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(1): 169-209.

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.

Jin, C., H. Ahn, D. Seo, and C. Choi, 2020. Radiometric Calibration and Uncertainty Analysis of KOMPSAT-3A using the Reflectance-based Method, *Sensors*, 20(9): 2564.

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.

Kuester, M. and T. Ochoa, 2019. Improvements in Calibration, and Validation of the Absolute Radiometric Response of MAXAR Earth-Observing Sensors, *Presentation Material of Joint Agency Commercial Imagery Evaluation (JACIE) Workshop*, Reston, VA, USA, Sep. 24-26, pp. 1-18.

Kuester, M. and T. Ochoa, 2020. Absolute Radiometric

- Calibration is an Essential Tool to Imagery Science, But What is it?, <https://blog.maxar.com/earth-intelligence/2020/absolute-radiometric-calibration-is-an-essential-tool-to-imagery-science-but-what-is-it>, Accessed on Aug. 3, 2020.
- Kuhn, C., A. M. Valerio, N. Ward, L. Loken, H. O. Sawakuchi, M. Kampel, J. Richey, P. Stadler, J. Crawford, R. Striegl, E. Vermote, N. Pahlevan, and D. Butman, 2019. Performance of Landsat-8 and Sentinel-2 Surface Reflectance Products for River Remote Sensing Retrievals of Chlorophyll-a and Turbidity, *Remote Sensing of Environment*, 224: 104-118.
- Lamquin, N., E. Woolliams, V. Bruniuel, F. Gascon, J. Gorrone, Y. Govaerts, V. Leroy, V. Lonjou, B. Alhammoud, J. A. Barsi, J. S. Czaplá-Myers, J. McCorkel, D. Helder, B. Lafrance, S. Clerc, and B. N. Holben, 2019. An Inter-comparison Exercise of Sentinel-2 Radiometric Validations Assessed by Independent Expert Groups, *Remote Sensing of Environment*, 233: 111369.
- 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. 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).
- Lee, K., K. Kim, S. 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, *International Journal of Geo-Information*, 9(4): 257.
- 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).
- RadCalNet, 2018. RadCalNet Quick Start Guide, https://www.radcalnet.org/resources/RadCalNetQuickstartGuide_20180702.pdf, Accessed on Aug. 3, 2020.
- She, L., L. Mei, Y. Xue, Y. Che, and J. Guang, 2017. SAHARA: A Simplified Atmospheric Correction Algorithm for Chinese gAofen Data: 1. Aerosol Algorithm, *Remote Sensing*, 9: 253.
- SI Imaging Services, 2017. KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.4, <http://www.si-imaging.com/resources/?uid=337&mod=document>, Accessed on Aug. 10, 2020.
- SI Imaging Services, 2019. KOMPSAT-3A Image Data Manual v1.5, <http://www.si-imaging.com/resources/?pageid=5&uid=234&mod=document>, Accessed on Aug. 10, 2020.
- Xu, J., Z. Chen, H. Zhang, B. Zhang, and T. Liu, 2019. Preliminary validation of GF-1/GF-2 surface reflectance products over land using VNIR atmospheric correction method, *Proc. of SPIE Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXIV*, Strasbourg, FRA, Oct. 9, vol. 11152.
- Xu, Y., L. Feng, D. Zhao, and J. Lu, 2020. Assessment of Landsat Atmospheric Correction Methods for Water Color Applications using Global AERONET-OC Data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 93: 102192.
- Zhu, Z., 2019. Science of Landsat Analysis Ready Data, *Remote Sensing*, 11(18): 2166.