

Letter

## Landsat-8을 활용한 Sentinel-2A Near Infrared 채널의 Spectral Band Adjustment Factor 적용성 평가

김나연 <sup>(ID 1)</sup> · 성노훈 <sup>(ID 2)</sup> · 정대성 <sup>(ID 2)</sup> · 심수영 <sup>(ID 2)</sup> ·  
우종호 <sup>(ID 3)</sup> · 최성원 <sup>(ID 4)</sup> · 박성우 <sup>(ID 1)</sup> · 한경수 <sup>(ID 5)\*</sup>

### Evaluation of Spectral Band Adjustment Factor Applicability for Near Infrared Channel of Sentinel-2A Using Landsat-8

Nayeon Kim <sup>(ID 1)</sup> · Noh-hun Seong <sup>(ID 2)</sup> · Daeseong Jung <sup>(ID 2)</sup> · Suyoung Sim <sup>(ID 2)</sup> ·  
Jongho Woo <sup>(ID 3)</sup> · Sungwon Choi <sup>(ID 4)</sup> · Sungwoo Park <sup>(ID 1)</sup> · Kyung-Soo Han <sup>(ID 5)\*</sup>

**Abstract:** Various earth observation satellites need to provide accurate and high-quality data after launch. To maintain and enhance the quality of satellite data, it is crucial to employ a cross-calibration process that accounts for differences in sensor characteristics, such as the spectral band adjustment factor (SBAF). In this study, we utilized Landsat-8 and Sentinel-2A satellite imagery collected from desert sites in Libya4, Algeria3, and Mauritania2 among pseudo-invariant calibration sites to calculate and apply SBAF, thereby compensating the uncertainties arising from variations in bandwidths. We quantitatively compared the reflectance differences based on the similarity of bandwidths, including Blue, Green, Red, and both the near-infrared (NIR) narrow, and NIR bands of Sentinel-2A. Following the application of SBAF, significant results with reflectance differences of approximately 1% or less were observed for all bands except NIR. In the case of the Sentinel-2A NIR band, it exhibited a significantly larger bandwidth difference compared to the NIR narrow band. However, after applying SBAF, the reflectance difference fell within the acceptable error range (5%) of 1–2%. It indicates that

Received May 31, 2023; Revised June 12, 2023; Accepted June 14, 2023; Published online June 30, 2023

<sup>1)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 석사과정생(Master Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>2)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 박사수료생(PhD Candidate, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>3)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 석/박사통합과정생(Combined MS/PhD Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>4)</sup> 부경대학교 4단계 BK21사업 i-SEED 지구환경교육연구단 박사후연구원(Postdoctoral Researcher, BK21 FOUR Project of the School of Integrated Science for Sustainable Earth & Environmental Disaster, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

<sup>5)</sup> 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 교수(Professor, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

\* Corresponding author: Kyung-Soo Han (kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. 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.

SBAF can be applied even when there is a substantial difference in the bandwidths of the two sensors, particularly in situations where satellite utilization is limited. Therefore, it was determined that SBAF could be applied even when the bandwidth difference between the two sensors is large in a situation where satellite utilization is limited. It is expected to be helpful in research utilizing the quality and continuity of satellite data.

**Keywords:** SBAF, Cross-calibration, Sentinel-2A, Landsat-8

**요약:** 다양한 지구관측위성은 발사 후 정확한 고품질의 자료를 제공하는 것이 중요하다. 위성 자료 품질을 유지 및 보완하기 위해서는 서로 다른 센서 차이를 고려하는 spectral band adjustment factor (SBAF)를 활용한 교차검보정 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 pseudo-invariant calibration sites 중 Libya4, Algeria3, Mauritania2에서 수집한 Landsat-8, Sentinel-2A 위성 영상을 활용하여 SBAF 산출 및 적용을 통해 밴드 대역폭 차이로 인해 발생하는 불확실성을 조정하였다. 두 위성 모두 Blue, Green, Red를 포함하고 Sentinel-2A의 경우 near-infrared (NIR) narrow와 NIR 두 가지 밴드 모두에 SBAF를 적용하여 밴드대역폭 유사도에 따른 반사도 차이를 정량적으로 비교하였다. SBAF 적용 후, NIR을 제외한 모든 밴드(Blue, Green, Red, NIR narrow)에서 1% 내외의 반사도 차이로 유의미한 결과가 나타났다. Sentinel-2A NIR 밴드의 경우 밴드대역폭 차이가 NIR narrow에 비해 크게 나타났지만, SBAF 적용 후에 반사도 차이가 허용 오차범위인 5%와 1-2% 차이로 SBAF 적용이 가능한 것으로 나타났다. 따라서, 위성 활용이 제한적인 상황에서 두 센서의 밴드대역폭 차이가 큰 경우에도 SBAF를 적용할 수 있다고 판단하였고 위성 자료의 품질 및 연속성을 활용하는 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

**주요어:** SBAF, 교차검보정, Sentinel-2A, Landsat-8

## 1. 서론

지구의 대기, 해양, 기후 및 환경 등을 모니터링 하기 위해 Terra, Aqua, Landsat, Sentinel 등의 지구관측위성들이 운영 중이다. 이러한 지구관측위성은 발사 후 지속적으로 자료 품질과 정확성을 보장하여 제공하는 것이 중요하며, 위성 센서의 품질 보증을 위해서는 다른 센서의 자료간 교차검보정이 사용된다(Chander et al., 2012). 교차검보정은 위성 자료의 검보정계수가 품질 기준에 맞는지 표준 측정값으로 확인하고, 필요 시 정확한 검보정계수를 뽑는 과정을 의미한다. 교차검보정은 지구관측 위성 자료의 품질 및 정확성을 보정하기 위해 활용되며, spectral band adjustment factor (SBAF)가 가장 일반적으로 사용된다(Chander et al., 2012). 교차검보정은 절대복사보정에 비해 시간과 비용면에서 특히 유용하여 많은 연구에서 활용되고 있다(Helder et al., 2020). 또한, 서로 다른 센서의 상대분광응답반응(relative spectral response, RSR) 차이로 인해 발생하는 불확실성을 조정하여 위성 간의 융합 자료 및 상호 운용성에 중요한 역할을 제공한다(Chander et al., 2012).

다양한 지구 관측 위성들의 자료를 고품질로 유지 및

보완하기 위해 많은 연구가 진행되었다. Chander et al. (2012)은 교차검보정 시 센서들의 RSR 차이를 조정하는 SBAF 개념 및 필요성을 제시하였고, Landsat-7과 Terra 위성을 활용하여 연구를 수행하였다. Mishra et al. (2014)의 연구에서는 Landsat-7과 Landsat-8 위성의 SBAF 적용을 통해 Landsat 위성 자료의 일관성을 평가하였으며, 정확한 위성 자료를 제공하고자 하였다. Barsi et al. (2018)은 Sentinel-2A와 Landsat-8 위성 자료를 융합하여 활용하기 위해 SBAF를 활용한 교차검보정을 수행하였고, Blue, Green, Red를 포함한 Landsat-8 near-infrared (NIR)과 유사한 밴드 대역폭을 가지는 Sentinel-2A NIR narrow를 활용하여 교차검보정을 수행하였다.

하지만 Sentinel-2A와 Landsat-8 위성 교차검보정 시 동일한 지역 및 날짜에서 Sentinel-2A 넓은 대역폭을 가진 NIR과 NIR narrow의 밴드대역폭 차이에 따른 SBAF 적용 후 정량적인 결과를 제시한 연구는 현재 존재하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 Landsat-8과 Sentinel-2A 위성을 활용하여 사막 사이트 3개에 대한 Blue, Green, Red, NIR narrow를 포함하여 Sentinel-2A NIR에 대한 SBAF 산출 및 적용성을 평가하였다.

## 2. 연구지역 및 자료

### 2.1. 연구지역

지구관측그룹(Committee on Earth Observation Satellites, CEOS)에서 검보정을 위해 안정적인 대기 특성을 가지는 의사불변검보정사이트(pseudo-invariant calibration sites, PICS)를 운영하고 있으며, PICS의 사막 사이트는 다른 지역보다 공간 및 분광적으로 균질하며 안정적인 광학적 특성을 가져 위성 교차검보정 시 많이 활용되고 있다(Barsi et al., 2018; Mishra et al., 2014). Fig. 1과 같이 PICS는 총 6개 사막 사이트(Algeria3, Algeria5, Libya1, Libya4, Mauritania1, Mauritania2)로 이루어져 있다.

이는 공간 균일성과 시간적 안정성 기준을 충족하는 사이트이며 공간적 변동성은 3%, 시간적 가변성은 2% 내외로 안정적인 특성을 가진다(Cosnefroy et al., 1996). 특히, PICS 중 Libya4의 경우 가장 높은 반사율을 가지며, 안정적인 특성을 가져 교차검보정 연구에 대표적으로 활용된다(Chander et al., 2012). 또한 Algeria3와 Mauritania2의 경우에도 공간 및 시간적으로 안정적인 특성을 가지고 있다(Mishra et al., 2014). 따라서 본 연구는 2015년부터

2017년까지 연구기간으로 설정하여 PICS 중 3개 사이트(Libya4, Algeria3, Mauritania2)를 연구지역으로 선정하여 수행하였다.

### 2.2. 연구자료

유럽 우주국(European Space Agency)에서 운영하는 Sentinel-2A는 2015년 6월에 발사된 위성이다. 10 m, 20 m 및 60 m의 공간해상도로 데이터를 제공하며 동일한 지역을 약 5일마다 재방문하여 촬영한다. 본 연구에서는 Sentinel-2A multi spectral instrument (MSI) 센서의 Level-1C (L1C) 자료를 기반으로 SBAF 산출 및 적용을 수행하였다. United states geological survey에서 제공하는 Landsat-8은 2013년 2월에 발사된 지구 관측 위성으로 공간해상도가 30 m이며 16일 주기로 촬영한다. 본 연구는 Landsat-8 operational land imager (OLI) 센서의 Level-1TP (L1TP) 자료를 사용하여 SBAF 산출 및 적용성을 평가하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 Landsat-8과 Sentinel-2A 분광 대역 및 정보를 나타낸다.

일반적으로 SBAF 산출을 위해서는 초분광 위성 자료를 이용하여 서로 다른 다중분광위성의 반사도 차이

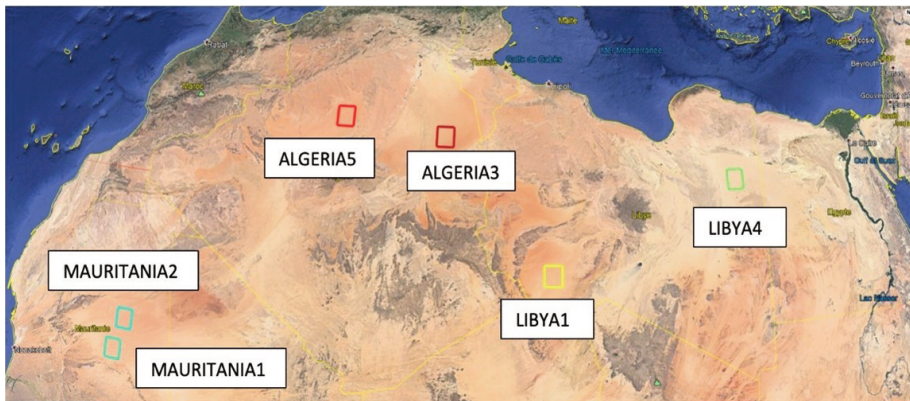


Fig. 1. PICS sites used for calibration (Committee on Earth Observation Satellites, 2019).

Table 1. Landsat-8/OLI and Sentinel-2A/MSI spectral band and spatial resolution

Band	Spectral bands (nm)				Spatial resolution (m)	
	Landsat-8		Sentinel-2A		Landsat-8	Sentinel-2A
Blue	Band 2	450–510	Band 2	458–523	30	10
Green	Band 3	530–590	Band 3	543–578		
Red	Band 4	640–370	Band 4	650–680		
NIR	Band 5	850–880	Band 8 (NIR)	785–900		
			Band 8A (NIR narrow)	855–875	20	

**Table 2.** The coincident date and coordinates of two satellites for Libya4, Algeria3, and Mauritania2

Site	Coincident dates (YearMonthDay)	Latitude (°)	Longitude (°)
Libya4	20150812	28.55	23.39
	20160627		
	20160915		
	20161204		
	20170222		
	20170513		
	20170801		
Algeria3	20171020	30.32	7.66
	20150724		
	20151231		
	20160320		
	20160608		
	20160827		
Mauritania2	20170203	20.85	-8.78
	20160404		
	20160623		
	20160911		
	20170509		
	20171016		

를 조정한다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 초분광 센서 탑재 위성인 Earth Observing-1 (EO-1) Hyperion 자료를 활용하였다. EO-1은 30 m의 공간해상도를 가지며, 10 nm 간격으로 220개의 스펙트럼 대역을 감지하여 연

속적인 위성 영상을 제공하여 SBAF를 산출하는 다양한 연구에서 활용되고 있다(Chander et al., 2010). 본 연구에서는 450-880 nm 파장의 L1TP 자료를 이용하여 SBAF를 산출하였다.

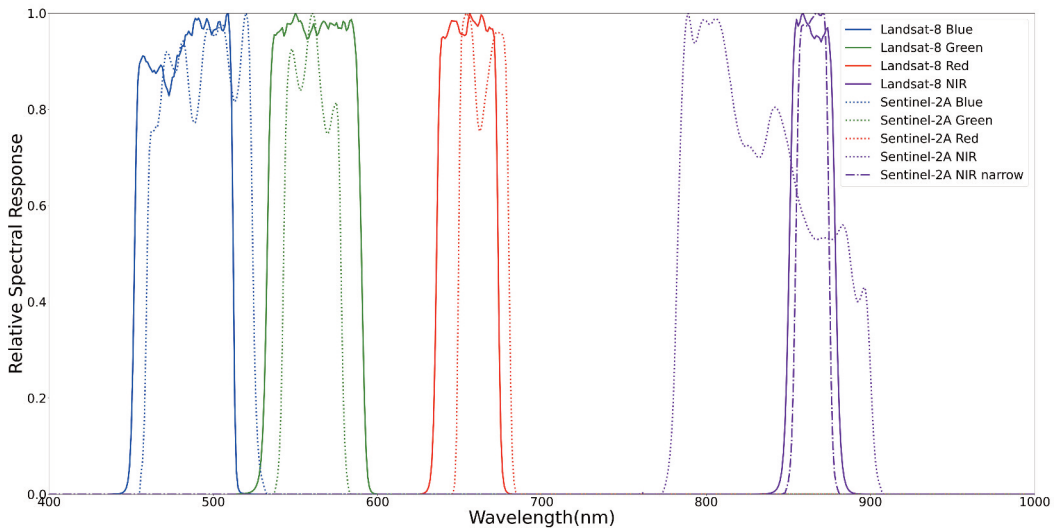
본 연구에서 활용한 각 사이트별 자료는 Table 2와 같으며, 연구기간 내의 Landsat-8 OLI와 Sentinel-2A MSI가 동일한 날짜에 촬영된 영상 중 그룹의 비율 15% 미만인 19개의 영상을 사용하였다.

### 3. 연구방법 및 결과

본 연구에서는 SBAF 산출에 필요한 Landsat-8과 Sentinel-2A의 RSR 분포 특성을 파악하였다. 두 위성의 RSR을 확인한 후 Libya4, Algeria3, Mauritania2의 SBAF를 사막 사이트별로 산출하였다. 산출한 SBAF를 Sentinel-2A Blue, Green, Red, NIR, NIR narrow 밴드의 대기상단 반사도(top-of-atmosphere [TOA] reflectance)에 적용하여 Landsat-8 TOA reflectance와 비교하여 SBAF 적용성을 평가하였다.

#### 3.1. Landsat-8과 Sentinel-2A의 RSR 분포 특성 분석

SBAF 산출 시 두 위성의 파장별 RSR이 사용된다. RSR은 특정 파장에서 광원으로부터 입사된 복사에너지



**Fig. 2.** Relative spectral response of Landsat-8 and Sentinel-2A.

지에 대한 반사된 에너지를 의미하고 위성에 탑재된 센서별로 다른 RSR 분포를 가진다. 이러한 RSR 차이는 촬영 지역 및 시간이 동일하여도 반사도 차이를 유발하며, 유사한 밴드 대역 폭을 가질 때 불확실도가 낮게 나타난다. 본 연구에서 Landsat-8과 Sentinel-2A의 RSR 분포 특성을 파악하기 위해 반사된 에너지의 양을 적분하였다. Fig. 2는 Landsat-8과 Sentinel-2A 두 위성의 RSR 분포를 나타낸 그림으로 Blue, Green, Red 밴드의 RSR 분포는 유사하게 나타났으며, NIR의 경우 Landsat-8 NIR 밴드와 Sentinel-2A NIR narrow 밴드가 유사하게 나타났다. Sentinel-2A NIR 밴드는 Landsat-8 NIR과 상이한 밴드 대역폭을 보였으며, Landsat-8 NIR 밴드의 경우 RSR 적분 값이 약 27.8, Sentinel-2A NIR은 약 81.3, NIR narrow는 약 17.7로 나타난 것을 확인하였다. Landsat-8 NIR과 비교 시, Sentinel-2A NIR의 경우 밴드 대역폭 차이가 약 3배, NIR narrow의 경우 약 1.5배로 NIR 밴드 대역폭의 차이가 더 크게 나타났다. NIR 밴드의 경우 RSR 분포는 상이하였지만, 밴드 대역폭 차이가 미치는 영향을 평가하고자 NIR 밴드에 대한 SBAF 산출 및 적용성을 평가하였다.

### 3.2. SBAF 산출

SBAF는 위성의 RSR 차이에 의한 TOA reflectance 차이를 초분광 위성 자료를 활용하여 두 센서의 TOA reflectance를 보정하는 계수이다. 본 연구에서는 SBAF를 산출하는 선행연구에서 적용하고 있는 기준을 참고하여 Landsat-8과 Sentinel-2A의 동일한 지역 및 20분 이내의 시간에 촬영된 영상의 TOA reflectance를 활용하였다(Barsi et al., 2018). TOA reflectance를 사용하여 서로 다른 센서의 영상을 비교하면 시간 차이에 의한 서로 다른 태양 천정각에 의한 효과가 제거되며, exo-atmospheric solar irradiance 값 차이 또한 고려할 수 있다(Chander et al., 2012). 따라서 각 위성에서 공식적으로 제공하는 TOA reflectance 계산 방법인 식(1), (2)로 계산하였다. 수식 내  $Q_{OLI}$ ,  $Q_{MSI}$ 는 각각의 센서 digital number (DN) 값을 의미하고 Landsat-8의 경우 M, A는 metadata에서 제공되는 계수이며,  $\theta_s$ 는 태양 천정각을 의미한다.

$$\rho_{OLI} = \frac{M \times Q_{OLI} + A}{\cos\theta_s} \quad (1)$$

$$\rho_{MSI} = \frac{Q_{MSI}}{QUANTIFICATION\_VALUE} \quad (2)$$

위성 간 다른 RSR에 대한 보정은 초분광 위성의 반사도를 기반으로 산출한 SBAF를 활용하여 두 위성의 RSR 차이를 조정하며 식(3)을 이용한다(Chander et al., 2012). SBAF는 각 위성의 RSR에 초분광 위성 반사율을 가중치로 주어 적분하여 계산되며, 최종적으로 두 센서의 모의된 반사율의 비율로 계수가 산출된다.

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_i(\text{Sensor}) &= \frac{\int \rho_i \cdot RSR_i d_i}{\int RSR_i d_i} \\ SBAF &= \frac{\bar{\rho}_i(A)}{\bar{\rho}_i(B)} \\ \bar{\rho}_i(A^*) &= \frac{\bar{\rho}_i(A^*)}{SBAF} \end{aligned} \quad (3)$$

$\rho_i$  = hyperspectral TOA Reflectance  
 $\bar{\rho}_i(A)$  = simulated TOA reflectance for sensor A  
 $\bar{\rho}_i(B)$  = simulated TOA reflectance for sensor B  
 $\bar{\rho}_i(A^*)$  = compensated TOA reflectance for sensor A using the SBAF to match sensor B TOA reflectance

연구지역별 초분광 위성 영상 기반의 SBAF 산출 결과는 동일한 사막 사이트의 SBAF를 밴드별로 평균하여 계산하였으며 Table 3과 같다. Libya4에서 밴드 별 SBAF 값을 살펴보면 Blue, Red는 약 0.96, Green과 NIR narrow는 약 0.99, NIR은 약 1.13으로 산출되었다. 특히, NIR에서 값이 다른 밴드보다 SBAF가 높게 산출되었는데, 이는 Landsat-8 NIR과 Sentinel-2A NIR의 밴드 대역폭 값의 차이가 영향을 준 것으로 나타난다. Algeria3와 Mauritania2에서 SBAF 산출 결과 Blue, Red, NIR narrow는 약 0.96-0.99, Green은 약 1.00, NIR은 약 1.13, 1.17로 산출되었으며 Algeria3, Mauritania2에서 Libya4와 동일하게 NIR에서 높은 값으로 산출되었다.

**Table 3.** The average SBAF from Landsat-8/OLI and Sentinel-2A/MSI for three PICS

Band	Libya4	Algeria3	Mauritania2
Blue	0.961	0.973	0.966
Green	0.999	1.007	1.009
Red	0.963	0.959	0.961
NIR	1.137	1.132	1.167
NIR narrow	0.999	0.999	0.998

### 3.3. SBAF 적용 및 평가

사막 사이트별 SBAF의 적용성을 평가하기 위하여 Sentinel-2A TOA reflectance에 SBAF 적용 전·후 TOA reflectance를 Landsat-8 TOA reflectance와 비교하여 계산하였다(Table 4-6). Chander et al. (2010)에 의하면 SBAF 적용성에 대한 정확도를 5%로 제시하여 본 연구에서도 SBAF 적용 허용 오차 범위를 동일하게 5%로 설정하였다. Libya4 (Table 4)의 경우 Blue, Green, Red, NIR narrow는 3% 내외의 값을 보였으며, SBAF 적용 후에는 모두 1% 내외의 오차로 반사도 차이가 크게 개선되었다. Algeria3 (Table 5)에서는 SBAF 적용 후 반사도 차이가 모두 1.1% 이하로 나타났고, Mauritania2 (Table 6)에서는 반사도 차이가 1.7% 이내의 값을 보였다. Libya4, Algeria3, Mauritania2 사이트 모두 SBAF 적용을 통해 반사도 차이

가 크게 개선되었으나, 대부분 밴드에서 반사도 차이가 Libya4 보다 크게 나타나는 특징을 보였다. 이러한 특징은 Libya4가 시·공간적인 균질성이 확보되어 있기 때문에 Algeria3, Mauritania2에 비해 반사도가 안정적이다 (Mishra et al., 2014).

NIR 밴드는 Libya4의 경우 -8.159%에서 4.388%로 반사도 차이가 감소하였으며, 반사도 차이가 5% 이내로 유의미한 결과가 나타났다. Algeria3의 경우 -6.191%에서 6.178%, Mauritania2의 경우 -8.278%에서 7.071%로 개선된 것으로 나타났으며, 두 사막 사이트의 NIR 밴드는 선행 연구에서 제시한 오차 허용 범위인 5%와 약 1.0%에서 2.0% 차이가 나타났다. 따라서 Landsat-8 NIR과 Sentinel-2A의 NIR은 밴드 대역폭의 차이가 약 3배로 다른 밴드 대역에 비해 크게 차이가 나타났지만, 3개의

**Table 4.** TOA reflectance with applied SBAF on Libya4

Libya4	<sup>a)</sup> TOA OLI	<sup>b)</sup> TOA MSI	<sup>c)</sup> TOA MSI (SBAF apply)	Before <sup>d)</sup> diff (%)	After diff (%)
Blue	0.246	0.255	0.245	3.673	-0.352
Green	0.337	0.337	0.336	-0.068	-0.190
Red	0.462	0.478	0.460	3.576	-0.233
NIR	0.583	0.535	0.608	-8.159	4.388
NIR narrow	0.583	0.590	0.589	1.247	1.144

<sup>a)</sup> Landsat-8 OLI TOA reflectance.

<sup>b)</sup> Sentinel-2A MSI TOA reflectance.

<sup>c)</sup> Sentinel-2A MSI SBAF apply TOA reflectance.

<sup>d)</sup>  $\{(\text{Sentinel-2A TOA reflectance} - \text{Landsat-8 TOA reflectance}) / \text{Landsat-8 TOA reflectance}\} \times 100$ .

**Table 5.** TOA reflectance with applied SBAF on Algeria3

Algeria3	Landsat-8 TOA ref	Sentinel-2A TOA ref	Sentinel-2A TOA ref (SBAF apply)	Before diff (%)	After diff (%)
Blue	0.176	0.179	0.174	1.896	-0.865
Green	0.256	0.253	0.255	-1.173	-0.504
Red	0.410	0.425	0.408	3.745	-0.523
NIR	0.524	0.491	0.556	-6.191	6.178
NIR narrow	0.524	0.528	0.528	0.898	0.778

**Table 6.** TOA reflectance with applied SBAF on Mauritania2

Mauritania2	Landsat-8 TOA ref	Sentinel-2A TOA ref	Sentinel-2A TOA ref (SBAF apply)	Before diff (%)	After diff (%)
Blue	0.183	0.191	0.185	4.543	0.966
Green	0.256	0.256	0.258	0.142	1.050
Red	0.407	0.426	0.409	4.684	0.561
NIR	0.525	0.482	0.562	-8.278	7.071
NIR narrow	0.525	0.535	0.534	1.937	1.733

모든 사막 사이트에서 SBAF 적용 이후 5% 내외(4~7%)의 오차를 보였다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 위성 발사 후 위성자료의 품질 및 정확성 보장에 필요한 SBAF 적용 및 평가를 수행하였으며, SBAF 적용을 통해 센서마다 다른 RSR 차이를 조정하였다. PICS 중 Libya4, Algeria3, Mauritania2에서 2015년 7월에서 2017년 10월까지 수집한 Landsat-8과 Sentinel-2A 영상 기반으로 Blue, Green, Red, NIR, NIR narrow 밴드 대역에 대한 SBAF 산출 및 적용을 수행하여 NIR 밴드의 SBAF 적용 가능성을 정량적으로 평가하였다.

Libya4, Algeria3, Mauritania2 사이트에서 SBAF 적용 후 결과를 살펴보면, NIR 밴드를 제외한 모든 밴드에서 SBAF 적용 후 반사도 차이가 4%에서 2% 이내로 크게 개선된 것을 확인하였다. 하지만 대부분의 밴드 대역에서 Libya4 사이트보다 반사도 차이가 크게 나타났으며, 이는 시간적으로 안정적이고 균질한 반사도를 가지는 사이트 선정 또한 중요하다는 것을 시사한다.

본 연구는 선행연구에서 수행하지 않았던 Landsat-8을 활용한 Sentinel-2A NIR 밴드의 SBAF 적용성을 평가한 것에 큰 의미가 있다. NIR 밴드의 경우 RSR 분포 특성을 파악하기 위해 반사된 에너지의 양을 적분하였을 때 약 3배의 차이가 나타났지만, SBAF를 적용 후 반사도 차이가 Libya4의 경우 4.388%, Algeria3은 6.178%, Mauritania2는 7.071%로 나타났다. Libya4는 반사도 차이가 허용 오차범위(5%)를 만족하는 결과가 나타났고, Algeria3와 Mauritania2는 허용 오차범위와 약 1~2% 차이가 보였다. 따라서 위성 활용이 제한적인 상황에서 두 센서의 밴드대역폭 차이가 큰 경우에도 SBAF를 적용할 수 있다고 판단하였다. 또한 위성 자료의 품질 및 연속성을 활용하는 연구와 더불어 위성 발사 전 교차검토 정을 통하여 상이한 RSR 분포를 가지고 있는 자료들을 이용 가능할 것으로 기대된다.

#### 사사

본 논문은 기상청의 기상관측장비 핵심기술 및 관측 자료 활용기법 개발 연구사업의 일환인 “항공기상 자동 관측 기술개발(과제번호: KMI2021-02710)”의 지원으로 수행되었습니다.

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

#### References

- Barsi, J. A., Alhammoud, B., Czaplá-Myers, J., Gascon, F., Haque, M. O., Kaewmanee, M. et al., 2018. Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI radiometric cross comparison over desert sites. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 822–837. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1507613>
- Chander, G., Mishra, N., Helder, D. L., Aaron, D., Choi, T., Angal, A. et al., 2010. Use of EO-1 Hyperion data to calculate spectral band adjustment factors (SBAF) between the L7 ETM+ and Terra MODIS sensors. In *Proceedings of the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Honolulu, HI, USA, July 25–30, pp. 1667–1670. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5652746>
- Chander, G., Mishra, N., Helder, D. L., Aaron, D. B., Angal, A., Choi, T. et al., 2012. Applications of spectral band adjustment factors (SBAF) for cross-calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(3), 1267–1281. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2228007>
- Committee on Earth Observation Satellites, 2019. CEOS Cal/Val portal. Available online: <http://calvalportal.ceos.org> (accessed on May 13, 2023).

- Cosnefroy, H., Leroy, M., and Briottet, X., 1996. Selection and characterization of Saharan and Arabian desert sites for the calibration of optical satellite sensors. *Remote Sensing of Environment*, 58(1), 101–114. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00211-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00211-1)
- Farhad, M. M., Kaewmanee, M., Leigh, L., and Helder, D., 2020. Radiometric cross calibration and validation using 4 angle BRDF model between Landsat 8 and Sentinel 2A. *Remote Sensing*, 12(5), 806. <https://doi.org/10.3390/rs12050806>
- Helder, D., Anderson, C., Beckett, K., Houborg, R., Zuleta, I., Boccia, V. et al., 2020. Observations and recommendations for coordinated calibration activities of government and commercial optical satellite systems. *Remote Sensing*, 12(15), 2468. <https://doi.org/10.3390/rs12152468>
- Markham, B. L. and Helder, D. L., 2012. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review. *Remote Sensing of Environment*, 122, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.026>
- Mishra, N., Haque, M. O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D., and Markham, B., 2014a. Radiometric cross calibration of Landsat 8 operational land imager (OLI) and Landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). *Remote Sensing*, 6(12), 12619–12638. <https://doi.org/10.3390/rs61212619>
- Mishra, N., Helder, D., Angal, A., Choi, J., and Xiong, X., 2014b. Absolute calibration of optical satellite sensors using Libya 4 pseudo invariant calibration site. *Remote Sensing*, 6(2), 1327–1346. <https://doi.org/10.3390/rs6021327>