

고해상도 위성영상의 화소기반 태양 천정각 및 촬영각 추출 및 평가 Evaluation on extraction of pixel-based solar zenith and offnadir angle for high spatial resolution satellite imagery

성선경¹⁾ · 서두천²⁾ · 최재완³⁾

Seong, Seon Kyeong · Seo, Doo Chun · Choi, Jae Wan

Abstract

With the launch of Compact Advanced Satellite 500 series of various characteristics and the operation of KOMPSAT-3/3A, uses of high-resolution satellite images have been continuously increased. Especially, in order to provide satellite images in the form of ARD (Analysis Ready Data), various pre-processing such as geometric correction and radiometric correction have been developed. For pre-processing of high spatial satellite imagery, auxiliary information, such as solar zenith, solar azimuth and offnadir angle, should be required. However, most of the high-resolution satellite images provide the solar zenith and nadir angle for the entire image as a single variable. In this paper, the solar zenith and offnadir angle corresponding to each pixel of the image were calculated using RFM (Rational Function Model) and auxiliary information of the image, and the quality of extracted information were evaluated. In particular, for the utilization of pixel-based solar zenith and offnadir angle, pixel-based auxiliary data were applied in calculating the top of atmospheric reflectance, and comparative evaluation with a single constant-based top of atmospheric reflectance was performed. In the experiments using various satellite imagery, the pixel-based solar zenith and offnadir angle information showed a similar tendency to the auxiliary information of satellite sensor, and it was confirmed that the distortion was reduced in the calculated reflectance in the top of atmospheric reflectance.

Keywords : Auxiliary Information, Offnadir Angle, Satellite Imagery, Solar Zenith Angle

초 록

KOMPSAT-3, 3A호의 운용 및 다양한 특성을 가지는 차세대중형위성의 발사에 따라서, 고해상도 위성영상의 활용이 지속적으로 증대되고 있다. 특히, ARD (Analysis Ready Data) 형태로의 위성영상 제공을 위하여 기하보정 및 방사보정 등의 다양한 전처리에 대한 연구가 이루어지고 있다. 위성영상의 전처리를 위해서는 촬영 영상에 관한 보조정보가 필요하며, 태양 천정각, 태양 방위각, 촬영각 등이 대표적인 자료이다. 그러나, 대부분의 고해상도 위성영상은 영상 전체에 대한 태양 천정각 및 촬영각을 단일 변수로 제공하고 있다. 본 연구에서는 RFM (Rational Function Model) 및 영상의 보조정보들을 이용하여 영상의 각 화소에 대응되는 태양 천정각 및 촬영각을 산출해 보고, 이에 따른 품질을 평가해보고자 하였다. 특히, 화소 기반의 태양 천정각 및 촬영각의 활용을 위하여, 대기상부 반사율(top of atmospheric reflectance)을 산출함에 있어서, 화소 기반의 보조 자료를 적용하고, 단일 상수 기반의 대기상부 반사율과의 비교평가를 수행하였다. 실험 결과, 화소 기반의 태양 천정각 및 촬영각 정보는 보조정보와 유사한 경향을 보였으며, 이를 이용하여 계산된 대기상부 반사율은 왜곡이 감소되었음을 확인하였다.

핵심어 : 보조정보, 촬영각, 위성영상, 태양 천정각

Received 2021. 12. 17, Revised 2021. 12. 21, Accepted 2021. 12. 24

1) Dept. of Civil Engineering, Ph.D. student, Chungbuk National University (E-mail: skseong@chungbuk.ac.kr)

2) Image Data System Development Division, Satellite Information Center, Senior Research Engineer, Korea Aerospace Research Institute (KARI) (E-mail: dcivil@kari.re.kr)

3) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University (E-mail: jaewanchoi@chungbuk.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.

1. 서론

최초의 상업위성센서인 IKONOS가 발사된 이래로, Geoeye-1, Worldview-1/2/3 등과 같은 1 m 내외의 공간해상도를 가지는 초고해상도(Very High Resolution, VHR) 위성영상을 공급하는 위성센서들과 동일 사양을 가지는 다수의 초소형위성(cubesat) 등 다양한 위성센서들이 운용되고 있다. 최근에는 대기보정 및 기하보정 처리를 통하여 다양한 분석에 직접적으로 활용할 수 있는 기하/분광 정확도를 가지는 ARD (Analysis Ready Data) 형태의 위성영상을 공급함에 따라, 위성영상, 수치지도(digital map) 및 다양한 공간자료들을 통합하여 사용할 수 있게 되었다. 한편, 국내의 경우에도 KOMPSAT-2/3/3A호의 성공적인 발사와 함께, 초고해상도 위성영상에 대한 기술개발이 이루어지고 있다. 2021년도에는 국토관측을 목적으로 하는 차세대중형위성 1호(국토관측위성)이 성공적으로 발사되었으며, 2022년도에는 약 0.3 m의 공간해상도를 지니는 전정색 영상(panchromatic image), 1.2 m의 공간해상도를 가지는 4밴드(B, G, R, NIR)의 다중분광 영상(multispectral image), 4.5 m의 공간해상도인 적외 영상(infrared image)을 제공할 수 있는 광학위성인 다목적실용위성 7호가 발사될 예정이다. 또한, 농업, 산림, 수자원, 재난, 재해 등에 활용할 수 있는 다양한 차세대중형위성 및 국내 지형을 주기적으로 관측하기 위한 초소형위성들도 개발을 준비하고 있다.

위성센서를 통하여 취득된 다중분광 영상을 효과적으로 활용하기 위해서는 지형의 기복으로 인한 왜곡을 제거하고 실제 지상좌표로의 변환을 수행하는 기하보정 및 정사보정과 더불어, DN (Digital Number) 값으로 이루어진 초기 위성자료의 정보를 반사율 정보(reflectance)로 변환하고 대기 및 지형에 대한 영향을 제거하는 방사보정 및 대기보정의 과정이 필수적으로 적용되어야 한다. 특히, 다중분광 영상의 반사율 정보는 촬영 당시의 태양 천정각(sun zenith angle), 센서의 촬영각(offnadir angle), 지형 특성 등에 영향을 받기 때문에, 이에 대한 보정이 필요하다. Lee and Kim(2019)은 KOMPSAT 영상정보의 ARD 데이터베이스 구축을 위한 대기보정 처리 방법을 정의하기 위하여, 오픈소스 OTB (Orfeo ToolBox) 환경으로 절대 대기 보정 기법을 적용하고, 이에 따른 지표면 반사율(surface reflectance)의 품질을 평가하였으며, Jung *et al.* (2020)은 동일한 대기-기하조건으로 KOMPSAT-3/3A의 채널별 조건표를 구축하고, 이에 따른 지표반사도의 품질을 정량적으로 평가하였다. Park and Jung(2019)은 위성영상에 지형효과 보정 기법을 적용함에 있어서 지형효과 보정 기법

들이 취득된 영상의 특징에 따른 성능 변화를 파악하기 위하여 Histogram Structural SIMilarity(HSSIM) 지수를 활용한 기법 선정의 방법론을 제시하기도 하였다. USGS (United States Geological Survey)는 Landsat 위성영상의 검보정을 위하여 태양 천정각 및 촬영각을 화소 단위로 계산하기 위한 알고리즘을 개발하고, 이를 방사보정 및 대기보정 등에 활용하기 위한 기반을 마련하였다(USGS, 2021). Wu *et al.* (2005)는 미네소타 지역 내의 곡물지대에의 위성영상 활용을 위하여 DOS (Dark Object Subtraction technique), COST (cosine approximation model), AR (Apparent Reflectance) 모델을 개념적으로 정의하고, 이를 이용하여 영상 기반 QuickBird 영상의 대기 보정을 수행하였다. Franch *et al.* (2019)는 Landsat 및 Sentinel 2 영상에 대한 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) 정규화에 대한 실험을 수행하였다.

방사보정 및 대기보정과 관련된 대부분의 연구에서 확인할 수 있는 것과 같이, 방사보정 및 대기보정에 대한 연구들은 활발하게 이루어지고 있으나, 위성센서를 통하여 제공되는 보조정보에 포함되어 있는 상수값으로 표현된 태양 천정각 및 촬영각 정보를 이용하여 방사보정 및 대기보정을 수행하고 있다. 그러나, 해당 보조자료를 사용할 경우에는 태양 천정각 및 촬영각에 대한 영향은 영상 내의 모든 화소에 일괄적으로 적용되기 때문에, 영상의 촬영폭(swath)에 대한 영향을 고려할 수 없는 단점을 가진다. 따라서, 효과적인 방사보정을 수행하기 위해서는 입력자료로 들어가는 태양 천정각 및 촬영각 정보를 포함한 모든 변수들이 화소 기반으로 구성되어야 한다. 위성영상을 활용하여 추출된 화소기반의 태양 천정각과 촬영각은 위성영상의 보조자료의 정확도를 검증하는 것과 더불어 영상보정의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 논문에서는 태양 천정각과 촬영각을 화소 기반의 영상으로 추출하고, 이를 영상 취득시의 보조자료와 비교하여 계산된 결과를 분석하고자 하였다. 추가적으로, 생성된 대기 상부 반사율을 의미하는 TOA (Top of Atmospheric) reflectance를 추출시 해당 자료들을 반영하였을 경우의 영향을 분석하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 위성영상 취득시의 보조정보들을 이용하여 화소 단위의 태양 천정각 및 촬영각 정보를 추정하고, 이의 품질을 검증하고자 하였다. 이를 위하여, 추출된 태양 천정각 및 촬영각 정보의 정량적인 검증과 함께, TOA reflectance 값 변환에 해당 정보를 사용하여 활용가능성을 분석하였다. 늘

은 공간해상도를 가지는 고해상도 위성영상은 영상 범위 전체에 대하여 태양 천정각 및 촬영각의 절대적인 값은 유사한 특성을 나타내게 된다. 촬영각 추정과정에서 사용되는 DEM (Digital Elevation Model)은 위성영상과 비교하여 낮은 공간 해상도를 가지고 있기 때문에, 본 연구에서 추출한 태양 천정각 및 촬영각 자료는 원 위성영상의 다중분광 영상 및 SRTM 자료와의 공간해상도 차이를 고려하여 약 1/15의 공간해상도의 자료로 생성하였다.

2.1 위성영상의 태양 천정각 추정

본 연구에서는 NREL (National Renewable Energy Laboratory)에서 개발된 태양 복사 응용을 위한 SPA (Solar Position Algorithm)를 이용하여 화소 기반의 태양 천정각을 산출하였다(Reda and Andreas, 2004). SPA는 -2000년~6000년 사이의 기간에 대한 태양 천정각 및 방위각을 $\pm 0.003^\circ$ 의 불확실성으로 추정할 수 있다. SPA를 이용하여 태양 천정각을 산출하기 위하여 필요한 변수는 위성영상의 시간, 화소의 위치, 촬영시기의 기상정보이다. 시간 관련 변수의 경우에는 위성영상의 보조자료(auxiliary data)에 포함되어 있으며, 위치 관련 변수는 입력 위성영상 내의 화소별 경위도 좌표를 입력자료로 직접 활용하였다. 기상관련 변수는 처리의 자동화를 위하여 모델에 반영하지 않았다.

2.2 위성영상의 촬영각 추정

고해상도 위성영상의 보조자료 내에 포함되어 있는 촬영각(offnadir angle)은 일반적으로 위성영상 취득시에 촬영각을 대표할 수 있는 단일 상수로 제공된다. 그러나, 화소의 위치에 따라서 촬영각은 달라지게 되며, 앞서 언급한 바와 같이, Landsat 등과 같은 위성센서들은 화소 단위의 촬영각 정보를 사용자들에게 제공하고 있다. 촬영각은 위성으로부터 지구 중심으로 향하는 직하 방향을 기준으로 취득된 화소의 위치의 각도를 의미하는데, RFM은 센서를 중심으로 하는 중심투영을 기본으로 하므로 영상좌표와 대응하는 지상좌표 및 두 개의 높이값을 이용하여 촬영각을 추정할 수 있다. 특히, Xu *et al.* (2018)은 촬영중심과 영상, 임의의 높이 값을 가지는 지상좌표에 대한 4개의 점은 직선 상에 위치해야 한다는 가정을 이용하여, 임의의 높이 값 H_1 , H_2 에 대응되는 동일 공간좌표에 RFM을 적용하여 높이에 따른 지상좌표를 추출하고, 해당 2개 좌표에 대한 방향벡터를 구하여 촬영각을 계산할 수 있음을 증명한다. 따라서, 본 연구에서도 Xu *et al.* (2018)의 촬영각 계산 방법을 적용하여 고해상도 위성영상에 대한 화소별 촬영각 정보를 생성하였다. 이에 대한 세부적인 처리 과정은 다음과 같다.

2.2.1 RFM의 적용

첫 번째로, 특정 화소의 촬영각 산출을 위하여 경위도 좌표로 이루어진 원 위성영상 및 DEM 자료를 이용하여 (lon, lat, H)로 이루어진 지상좌표를 정의한다. 여기서, lon은 경도, lat은 위도, H는 DEM에서 추출한 표고값을 의미한다. 해당 지상좌표에 RPCs (Rational Polynomial Coefficients)로 이루어진 RFM을 적용하여, 지상좌표에 대응되는 영상좌표 (col, row)를 추출한다(Dial and Grodecki, 2005). 여기서, col은 영상좌표의 열정보, row는 영상좌표의 행정보를 의미한다. RFM 모델을 통하여 경위도 좌표로 이루어진 영상좌표는 표고값을 고려하여 변환된 영상좌표로 변환되게 되며, 표고값에 따라서 2차원 영상좌표의 차이가 발생할 수 있다.

2.2.2 Inverse RFM의 적용

동일 영상좌표 (col, row)를 가지고 있는 위치가 지상의 기복면위 및 높이 차이를 포함할 경우에는 동일 영상좌표에 대해서도 다른 지상좌표값을 가질 수 있다. 따라서, 추출된 영상좌표에 대하여 서로 다른 임의의 2개의 높이를 가지고 있다고 가정하였다. 추출된 영상좌표를 (col, row)라고 할 때, 높이를 포함한 임의의 영상좌표 (col, row, H_1), (col, row, H_2)를 가정한다. 여기서, H_1 은 원 지상좌표에 대응되는 DEM의 표고값, H_2 는 RFM 모델 적용을 위하여 H_1 을 정규화할 경우에 대응되는 정규화된 값 1로 가정한다. 영상좌표 (col, row, H_1), (col, row, H_2)에 대하여 RFM의 역변환 모델을 적용하면, 각각의 영상좌표는 높이값에 따라서 다른 지상좌표 값을 가지는 (lon_1, lat_1, H_1), (lon_2, lat_2, H_2)를 결정할 수 있다.

2.2.3 촬영각 추출

RFM의 역변환 모델을 위하여 추출된 (lon_1, lat_1, H_1), (lon_2, lat_2, H_2)는 촬영중심을 기준으로 한 방향벡터에 위치해 있는 두 개의 지점으로 해석할 수 있다. 따라서, 2개의 지상좌표 위치를 토대로 하여 촬영각을 계산할 수 있다. 이를 위하여, 추출된 지상좌표를 UTM 좌표계로 변환한 후, 해당 좌표를 이용하여 영상 촬영당시의 방향각(azimuth angle)과 연직각(zenith angle)을 추정한다. 영상의 촬영각은 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$\theta_o = \sin^{-1}\left(\frac{R \cos(90 - \theta_z)}{R + h}\right) \quad (1)$$

where, θ_o represents the offnadir angle, R is the radius of the earth, h means the orbital altitude, and θ_z is the sensor zenith angle.

한편, 원 위성영상은 영상의 기하적인 특성이 보정되지 않

은 자료이기 때문에, DEM 자료와의 공간불일치 문제를 포함하고 있다. 특히, 촬영각을 계산하기 위해서는 RPCs를 활용하여야 하고, DEM 및 RPC 정보를 이용하여 생성된 촬영각 정보는 영상좌표 기반으로 존재할 수 밖에 없다. 촬영각 정보를 경위도 기반의 지상좌표로 정의할 경우, 자료의 역변환 문제가 발생하기 때문에, 촬영각 정보에 대한 영상은 영상좌표 기반으로 구성해야만 한다. 따라서, 본 연구에서는 RFM을 통한 촬영각 정보는 원 위성영상 공간해상도의 1/15의 크기로 계산하되, RFM 모델이 적용된 영상좌표의 형태로 추출하였다.

2.3 위성영상의 TOA reflectance 변환

일반적으로 위성센서에서 촬영되어 수집되는 위성영상은 DN의 형태로 저장되며, DN은 단위가 없는 상대적인 측정치이다. 위성영상에서 물리적인 관측치를 추정하기 위해서는 영상의 DN을 센서에서 바로 취득된 대기 최상부에서의 반사율 값인 TOA reflectance)로 변환하여야 한다. TOA reflectance를 기반으로 대기보정(atmospheric correction) 과정을 거쳐 지표 반사율(surface reflectance)을 계산할 수도 있다. 원 위성영상의 DN값은 위성영상의 밴드별 gain과 offset에 대한 값을 이용하여 복사휘도(radiance) L_{λ} 로 변환할 수 있으며, 변환된 복사휘도는 영상 취득시기의 센서에 대한 보조정보를 이용하여 TOA reflectance 값으로 변환할 수 있으며, 이는 식 (2)과 같다.

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

where, d represents the julian day, θ_s means the solar zenith angle, E_{λ}^o is the extraterrestrial solar spectral irradiance for wavelength λ , and ρ_{λ} is the TOA reflectance.

한편, 하늘에 대한 복사조도(sky irradiance)를 등방성으로 가정하고, 영상취득시의 대기의 영향이 산란 및 흡수만 발생한다고 가정하면, 대기보정모델을 통하여 복사휘도값은 지상의 표면반사율(surface reflectance)로 변환할 수 있으며, 이는 식 (3)과 같다.

$$\rho_{\lambda,n} = \frac{\pi(L_{\lambda,s} - L_{\lambda,p})}{T_{\lambda}^w T_{\lambda}^s D E_{\lambda}^o \cos \theta_s + E_{\lambda}^d} \quad (3)$$

where, E_{λ}^d means the downwelling atmosphere-scattered solar spectral irradiance, $L_{\lambda,s}$ means total spectral radiance received at-sensor within the sensor's FOV, $L_{\lambda,p}$ represents

the path radiance, T_{λ}^s and T_{λ}^w means the atmospheric spectral transmittances at λ in solar path with a solar zenith angle and satellite viewing angle. E_{λ}^d , $L_{\lambda,p}$ 를 0으로 가정하고, T_{λ}^s , T_{λ}^w 는 1의 값을 가진다고 가정하면, 식 (3)은 식 (2)의 TOA reflectance와 동일한 계산결과를 가지게 되며, 대기보정 과정에서는 이를 AR 모델로 정의한다. COST 모델은 T_{λ}^w , T_{λ}^s 을 반영하여 영상 내 화소의 반사율을 활용한 모델로써 대기에 의한 산란 및 흡수에 대한 영향을 제외하고, 이에 따른 복사휘도의 반사율을 추정된 모델이다. 따라서, COST 모델은 식 (2)의 TOA reflectance 변환 모델에 T_{λ}^s , T_{λ}^w 의 값을 추가한 모델로 해석될 수 있으며, T_{λ}^s , T_{λ}^w 는 위성영상 취득시에 추출가능한 태양 천정각 및 촬영각을 통하여 계산할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 영상의 반사율 값을 다음의 식 (4)을 이용하여 산출하였다.

$$\rho_{\lambda,n} = \frac{\pi L_{\lambda,n} d^2}{T_{\lambda}^s T_{\lambda}^w E_{\lambda}^o \cos \theta_s} \quad (4)$$

where, $T_{\lambda}^w = \cos(\theta_v)$, $T_{\lambda}^s = \cos(\theta_s)$, θ_s means the solar zenith angle, and θ_v means offnadir angle. θ_s 와 θ_v 는 앞서 계산된 화소 기반 태양 천정각 및 촬영각으로 정의할 수 있기 때문에, 식 (4)을 화소기반의 모델로 가정하여 영상에 적용하였다.

3. 실험 수행 및 평가

3.1 실험자료

화소기반으로 추정된 태양 천정각 및 촬영각의 품질을 평가하기 위하여 본 연구에서는 KOMPSAT-3A 영상과 Planet사의 RapidEye 위성영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 영상들의 제원은 Table 1과 같다. 촬영각 추정에 사용되는 DEM은 국토지리정보원에서 제공되는 공간해상도 5m의 수치지도를 기반으로 제작한 DEM으로 실험을 수행하였다.

Table . Specifications of experimental datasets

satellite	location	acquisition date	product level	spatial resolution (multispectral)
KOMPSAT-3A	Taebaeksan	2020/11/09	1R	2.2 m
		2017/11/19		
	Songnisan	2019/01/11		
		2018/12/26		
RapidEye	Taebaeksan	2018/04/03	1B	5 m
		2018/07/15		
	Songnisan	2018/11/12		

3.2 태양 천정각 자료의 비교

SPA를 이용하여 산출된 태양 천정각을 보조자료와 비교하기 위하여 Table 1의 KOMPSAT-3A 위성영상 및 RapidEye 위성영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 추출된 화소단위의 태양 천정각의 참값은 존재하지 않기 때문에, 위성영상의 보조자료에 포함된 영상의 태양 천정각과 본 연구에서 추출된 영상 전체의 태양 천정각의 중심 화소값을 비교하였다. 이에 대한 결과는 Table 2와 같으며, Table 2에서 확인할 수 있는 것과 같이, 0.005~1.05도의 차이를 가지는 것으로 확인되었다. 그러나, 위성영상의 보조자료에 포함된 영상의 태양 천정각이 정확히 본 연구에서 추출된 중심 화소의 값을 의미하지는 않기 때문에, 전체적인 경향을 고려하면, 본 연구에서 추출된 태양 천정각은 높은 정밀도를 가지고 있다고 판단된다.

Table 2. Comparative evaluation of solar zenith angles by SPA algorithm

satellite	acquisition date	solar zenith angle (degree)		
		median value by auxiliary data	result by SPA algorithm	difference
KOMPSAT-3A	2020/11/09	57.0520	57.0600	-0.008
	2017/11/19	58.6846	58.6800	0.0046
	2019/01/11	59.9972	60.0100	-0.0128
	2018/12/26	60.8850	60.8800	0.005
RapidEye	2018/04/03	35.0361	34.6500	0.3861
	2018/07/15	23.5631	23.1100	0.4531
	2018/11/12	56.4170	55.3700	1.0470

3.3 촬영각 자료의 비교

촬영각 산출 결과를 정량적으로 평가하기 위하여, 태양 천정각과 마찬가지로, KOMPSAT-3A 및 RapidEye 위성센서를 통하여 촬영된 태백산 및 속리산 지역의 위성영상에 대하여 RFM을 이용한 화소 기반 촬영각 정보를 추출하고, 이를 보조자료와 비교하였다. 위성영상 내 보조자료에는 촬영각에 대한 1개의 대푯값을 제공하기 때문에 계산된 촬영각 영상에서 중앙에 위치한 값을 이용하여 비교평가를 수행하였다. Table 3은 각각의 위성영상에 대하여 보조자료의 촬영각과 영상에서 취득된 중앙 화소의 촬영각을 비교평가한 결과이다. 중앙값의 차이는 -0.35477~0.3587로 나타났다. 영상 내에서 실제 촬영각은 일정 범위로 표현되며, 실제 촬영각 대비 1도 이하의 값은 RFM의 적용과정에서 발생하는 오차로 추정할 수 있기 때문에, RFM 모델을 기반으로 생성된 촬영각 정보를 직접적

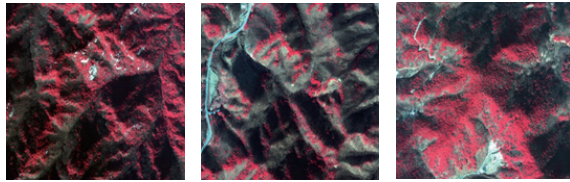
으로 활용할 수 있음을 검증하였다.

Table 3. Comparative evaluation of offnadir angles by inverse RFM

satellite	acquisition date	offnadir angle (degree)		
		median value by auxiliary data	result by SPA algorithm	difference
KOMPSAT-3A	2020/11/09	34.1201	34.2834	-0.1633
	2017/11/19	27.4047	27.5101	-0.1054
	2019/01/11	26.9709	27.1421	-0.1712
	2018/12/26	30.6748	30.6783	-0.0035
RapidEye	2018/04/03	3.6299	3.9776	-0.3477
	2018/07/15	20.1241	19.7654	0.3587
	2018/11/12	10.4628	10.1570	0.3058

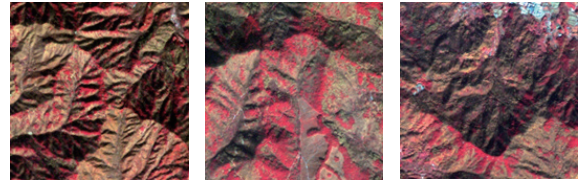
3.4 TOA reflectance 변환에 따른 결과 분석

본 연구에서 추출한 태양 천정각 및 촬영각 정보의 활용성을 분석하기 위하여, 식 (4)의 COST 모델을 실제 고해상도 위성영상에 적용하여 생성된 TOA reflectance 영상의 생성결과를 분석하였다. KOMPSAT-3A 위성영상의 경우에는 실제 다목적실용위성에의 적용성을 분석하기 위하여 사용하였으며, RapidEye 위성영상은 넓은 촬영범위를 가지는 위성영상에 식 (4)를 적용하였을 경우의 결과를 분석하기 위하여 적용하였다. 결과를 비교평가하기 위하여 촬영각 및 태양 천정각이 고려되지 않은 식 (2)에 의하여 생성된 TOA reflectance와의 비교평가를 수행하였다. 촬영각 및 태양 천정각에 의한 영향은 영상 내 중앙부, 좌측, 우측 지역에 따라서 차이가 크게 발생할 수 있기 때문에, 이에 대한 정량/정성적 평가를 수행하였다. Fig. 1은 KOMPSAT-3A 위성영상 내 좌측(site 1), 중앙(site 2), 우측(site 3)지역에 대하여 TOA reflectance를 산출한 결과를 나타내며, Table 4는 태양 천정각과 위성 촬영각을 픽셀별로 계산하여 산출한 결과(case 1)과 태양 천정각과 촬영각을 단일 상수로 가정하여 적용한 결과(case 2)이다. KOMPSAT-3A의 촬영범위에 따른 태양 천정각 및 촬영각 값들의 범위가 상대적으로 작기 때문에, Fig. 1에서는 화소기반 태양 천정각 및 촬영각의 차이를 명확하게 확인하기 어려우나, Table 4와 같이, case 2에 의한 결과는 좌측에서 우측으로 이동할수록 반사율값의 편차가 크게 발생하지만, case 1에 의한 결과는 이러한 반사율값의 편차가 감소되는 것을 확인할 수 있었다.



(a) site 1 (b) site 2 (c) site 3

Fig. 1. Example of Pixel-based TOA reflectance results by KOMPSAT-3A imagery



(a) site 1 (b) site 2 (c) site 3

Fig. 2. Example of Pixel-based TOA reflectance results by RapidEye imagery

넓은 촬영범위를 가지는 RapidEye 위성영상에 대한 실험 결과는 Fig. 2 및 Table 5와 같다. 실험에 사용된 RapidEye 영상의 경우, 방사보정과정이 적용되지 않는 L1B product를 이용하여 실험을 수행하였다. 전체적으로 KOMPSAT-3A의 TOA reflectance 변환 결과와 유사한 영향이 도출되었으며, RapidEye가 가지는 넓은 촬영범위의 영향으로 case 2의 경우에는 영상의 위치에 따른 편차가 크게 발생하였으나, case 1에 의한 결과는 편차가 더욱 감소하였음을 확인할 수 있었다. 따라서 화소 단위의 촬영각과 태양 천정각을 활용하는 것이 촬영범위에 따른 영향을 제거할 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 위성영상의 방사보정 등 전처리 분야에서의 활용을 위하여 화소 단위의 태양 천정각 및 촬영각 산출 기법을 KOMPSAT-3A 및 RapidEye 위성영상에 적용해보고, 이의 활용성을 분석하였다. 실험결과, 위성영상 제공시에 포함되어 있는 보조자료와 비교하여 화소 단위로 추출된 태양 천정각 및 촬영각 정보들이 유사한 것을 확인하였다. 또한, 추출된 태양 천정각 및 촬영각을 이용하여 위성영상의 DN값을 TOA reflectance로 변환한 결과, 위성영상의 보조자료 내에

Table 4. Difference of TOA reflectance according to solar zenith and offnadir angle of KOMPSAT-3A imagery

		Minimum value		Maximum value		Mean value		Standard deviation	
		TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference
site 1	case 1	1277.50	8.00	9376.50	54.75	2190.00	12.69	2190.00	3.78
	case 2	1269.50		9321.75		2177.31		2177.31	
site 2	case 1	1228.50	-1.00	9234.50	-4.75	2596.47	-1.61	2596.47	-0.46
	case 2	1229.50		9239.25		2598.08		2598.08	
site 3	case 1	1352.50	-7.75	23390.00	-136.25	2650.62	-15.01	2650.62	-4.45
	case 2	1360.25		23526.25		2665.63		2665.63	

Table 5. Difference of TOA reflectance according to solar zenith and offnadir angle of RapidEye imagery

		Minimum value		Maximum value		Mean value		Standard deviation	
		TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference	TOA reflectance	Difference
site 1	case 1	739.60	19.2	3618.60	95.60	3618.60	46.12	487.13	12.83
	case 2	720.40		3523.00		3523.00		474.31	
site 2	case 1	915.40	0.80	3611.20	0.60	3611.20	0.22	399.93	-0.16
	case 2	914.60		3610.60		3610.60		400.09	
site 3	case 1	988.80	-32.4	7188.80	-232.40	7188.80	-59.50	433.94	-14.14
	case 2	1021.20		7421.20		7421.20		448.09	

포함된 단일 상수 값을 이용하여 변환한 결과와 비교하여, 화소단위로 산출한 보조자료에 의하여 생성된 TOA reflectance가 영상 내 위치에 따른 변위를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 통하여 도출된 태양 천정각 및 촬영각 정보들은 운용중인 위성영상의 보조자료의 품질을 검증하는데에 사용할 수 있을 것으로 판단되며, 추가적으로 ARD 형태의 위성영상 제작에 있어서 필수적인 전처리 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 위성영상의 지형효과를 보정함에 있어서도 사용될 수 있기 때문에, 향후 지형효과 보정에 해당 변수들을 적용하고, 이에 대한 영향 및 위치에 따른 변위 크기에 대한 정량적 분석을 수행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 항공우주연구원의 “고해상도 다중분광 영상자료의 지형효과 보정 알고리즘 개발” 과제로부터 지원받아 수행하였으며, 2020년도 정부(교육부)의 제원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF-2020R111A3A04037483).

References

- Dial, G. and Grodecki, J. (2005), RPC replacement camera models, *In Proceeding of ASPRS Annual Conference*, Baltimore, Maryland, USA, pp. 7-11.
- Franch, B., Vermote, E., Skakun, S., Roger, J.C., Masek, J., Ju, J., Villaescusa-Nadal, J.L., and Santamaria-Artigas, A. (2019), A method for Landsat and SEntinel 2 (HLS) BRDF normalization. *Remote Sensing*, Vol. 11, No. 6, p.632.
- Jung, D., Jin, D., Seong, N., Lee, K., Seo, M., Choi, S., Sim, S., Han, K., and Kim, B. (2020), Sensitivity analysis of surface reflectance retrieved from 6SV LUT for each channel of KOMPSAT-3/3A. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 36, No. 5-1, pp.785-791. (in Korean with English abstract)
- Lee, K. and Kim, K. (2019), An Experiment for surface reflectance image generation of KOMPSAT 3A image Data by Open Source Implementation. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 35, No. 6-4, pp.1327-1339. (in Korean with English abstract)
- Park, S. and Jung, H. (2019), Band-based best model selection for topographic normalization of normalized difference vegetation index map. *IEEE Access*, Vol. 8, pp.4408-4417.
- Reda, I. and Andreas, A. (2004), Solar position algorithm for solar radiation applications, *Solar Energy*, Vol. 76, No. 5, pp.577-589.
- USGS. (2021), Solar illumination and sensor viewing angle coefficient files, https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/solar-illumination-and-sensor-viewing-angle-coefficient-files?qt-science_support_page_related_con=1#qt-science_support_page_related_con.
- Wu, J., Wang, D., and Bauer, M.E. (2005), Image-based atmospheric correction of QuickBird imagery of Minnesota cropland. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 99, pp.315-325.
- Xu, K., Zhang, G., Zhang, Q., and Li, D. (2018), Calculating viewing angles pixel by pixel in optical remote sensing satellite imagery using the Rational Function Model, *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 3, p.478.