

CASI 초분광 영상을 이용한 RapidEye 위성영상의 대리복사보정 Vicarious Radiometric Calibration of RapidEye Satellite Image Using CASI Hyperspectral Data

장안진* · 최재완** · 송아람*** · 김예지**** · 정진하*****

Chang, An Jin · Choi, Jae Wan · Song, Ah Ram · Kim, Ye Ji · Jung, Jin Ha

要 旨

지상의 모든 물체는 고유의 분광 반사율을 갖고 있으며, 이러한 특성을 이용하여 지상 물체의 분류와 목표물 탐지 등이 가능하다. 정확한 분석을 위해서는 취득된 원격탐사 자료를 분광 반사율로 변환해야 한다. 이를 위한 절대복사보정 기법으로는 자료 제공 기관에서 명시한 변환 수식을 이용하는 방법, 지상에서 측정된 분광 반사율만으로 단순 경험적 회귀 분석을 이용하는 방법, ATCOR/FLAASH 같은 수학적 모델을 이용하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 CASI 초분광 영상의 분광 반사율 자료를 이용하여 RapidEye 위성영상의 대리복사보정을 수행하고, 그 결과를 다른 복사보정 기법 결과 및 지상 자료와 비교하였다. 실험 결과 제안 기법이 ATCOR 및 New Kurucz 2005 기법보다 높은 유사성을 보였으며, 일반적으로 활용되는 ELM 기법과 유사한 결과를 도출하였다.

핵심용어 : 복사보정, 대리보정, 교차보정

Abstract

All kinds of objects on the ground have inherent spectral reflectance curves, which can be used to classify the ground objects and to detect the target. Remotely sensed data have to be transferred to spectral reflectance for accurate analysis. There are formula methods provided by the institution, mathematical model method and ground-data-based method. In this study, RapidEye satellite image was converted to reflectance data using spectral reflectance of a CASI hyperspectral image by using vicarious radiometric calibration. The results were compared with those of the other calibration methods and ground data. The proposed method was closer to the ground data than ATCOR and New Kurucz 2005 method and equal with ELM method.

Keywords : Radiometric Calibration, Vicarious Calibration, Cross Calibration

1. 서 론

다양한 분야에 활용되는 원격탐사 기법은 지상의 물체가 방출하는 에너지를 관측하고, 그 특성을 분석하는 방법이다. 모든 물체는 파장 영역에 따라 에너지를 방출하는 비율이 다르며, 각 물체 고유의 분광 반사율(spectral reflectance)을 갖고 있다. 이러한 특성을 이용

하여 지상 물체의 분류(classification)와 목표물 탐지(target detection) 등이 가능하다 (Choi, et al., 2006; Choi, et al., 2014; Cho et al., 2014). 인공위성, 항공기, 지상에 탑재된 센서를 통하여 취득된 원격탐사 자료는 기본적으로 영상의 형태로 제공되며, 해당 화소값은 Digital Number (DN) 또는 특정 수식을 통하여 계산된 분광복사량 값으로 제공된다(Chang et al., 2013).

Received: 2015.05.18, revised: 2015.06.20, accepted: 2015.08.04

- * Texas A&M University Corpus Christi 박사후 연구원(Postdoctoral Researcher, Texas A&M University-Corpus Christi, Anjin.Chang@tamucc.edu)
** 교신저자 · 정회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 조교수(Corresponding Author, Member, Assistant Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)
*** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정(Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, aram200@snu.ac.kr)
**** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정(Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, yjkimjl@snu.ac.kr)
***** Texas A&M University Corpus Christi 조교수(Assistant Professor, Texas A&M University-Corpus Christi Jinha.Jung@tamucc.edu)

정확한 분석을 위해서는 이러한 자료를 분광 반사율로 변환해야 한다.

일반적으로 위성영상의 화소값을 분광 반사율로 변환하는 과정을 복사보정이라 하며, 일반적으로 빛 에너지와 관련된 모든 요인을 고려한 보정을 의미한다. 또한 화소의 분광 복사량(radiance)을 추정하고 이를 다시 분광 반사율로 변환하는 단계도 포함된다. 이러한 과정을 위해서 자료를 제공하는 기관에서 제공하는 수식, 대기 상태를 표현하는 수학적 모델을 이용하는 방법, 지상에서 측정된 분광 반사율을 이용하는 기법 등이 연구되어 왔으며, 기법에 따라 대기권 상층부(TOA, Top Of Atmosphere) 또는 지상에서의 분광반사율 값을 계산한다. 특히, 지상에서 특정 물체의 분광 반사율 측정이 가능할 경우, 이를 이용하여 대기모델링으로 대기 상단에서의 값을 추정하고 위성영상의 DN과 분석하여 원격탐사 자료의 화소값을 분광 반사율로 보정하는 방법을 대리복사보정(vicarious radiometric calibration)이라 한다.

가장 대표적인 대리복사보정 기법은 경험적 선형 기법(Empirical Line Method, ELM)으로 알려져 있으며, 영상 내에 알려져 있는 분광복사량과 지상에서 취득한 반사율(reflectance) 사이의 선형식을 구성하고, 이를 이용하여 영상 전체의 분광 복사량을 반사율로 변환시키는 방법이다(Brook and Dor, 2011). 대리복사보정의 경우 복잡한 단계를 거쳐 진행되는데, Chang et al.(2013)은 ELM 기법을 기반으로 화소값(DN)과 분광 반사율 사이의 선형식을 이용하여 직접 변환한 분광 반사율과 분광 복사량과 분광 반사율 사이의 선형식을 이용하여 추정된 분광 반사율을 비교하였다. 지상에서 다양한 물질의 분광 반사율을 사용할 경우 화소값과 분광 반사율 사이의 선형식을 이용한 결과가 충분히 우수함을 증명하였고, 보다 간단한 대리복사보정이 가능함을 보였다.

기관에서 제공하는 수식이나 수학적 모델을 이용하여 화소값을 분광반사율로 변환하는 경우 경기조건 등을 완벽히 고려할 수 없기 때문에 파장 영역에 따라 오차가 발생한다(Kim and Lee, 2005; Chi, 2013). 한편, 지상에서 취득된 특정 물체의 분광 반사율 자료를 활용하는 경우 현장 조사가 필수적으로 포함되며, 이는 추가적인 시간 및 경제적, 인적 자원의 투입을 의미한다(Chang et al., 2011). 원격탐사 자료와 지상 자료를 동시에 취득하는데 한계가 존재하기 때문에, 본 연구에서는 분광 반사율로 변환된 초분광 영상을 이용하여 위성영상의 대리복사 보정을 수행하고, 그에 대한 분석을 통해 지상 획득 자료의 대체 가능성을 확인하고자 한

다. 이를 위하여 CASI 초분광 영상의 분광 반사율 자료를 이용하여 RapidEye 위성영상의 대리복사 보정을 수행하고, 그 결과를 일반적으로 사용되는 분광반사율 변환 기법 결과 및 지상 자료와 비교하였다.

2. 연구 지역 및 자료

본 연구에서는 세종시 세종보 인근을 대상지역으로 선정하였고, 항공기 기반의 CASI 센서로 취득한 초분광 영상과 RapidEye 위성영상을 이용하였다. 연구지역의 RapidEye 위성영상은 2014년 5월 1일에 취득되었다. RapidEye 위성영상의 공간해상도는 6.5m이며 5개의 밴드(blue, green, red, rededge, NIR)를 제공한다. 화소값은 방사보정이 수행된 분광 복사량(radiance) 값을 나타낸다. CASI 초분광 영상의 경우 2014년 5월 2일 취득되었고, 공간해상도는 1m이며, 380~1050nm의 파장 영역을 48개의 밴드로 측정하였다. 자료취득 후 복사보정, 대기보정을 수행하여 분광 복사율 자료로 변환하였다. 이를 위하여 현장에서 분광 복사계(spectrometer)를 이용하여 취득한 지상 물체의 분광 복사율 자료를 이용하였다. 또한, 초분광 자료는 지상 기준점과 DEM을 이용하여 정사보정을 수행하였다. 본 연구의 참조 자료 및 CASI 초분광 영상의 대기보정을 위하여 2014년 5월 13일에 현장조사를 수행하였으며, 지상 분광 반사율 자료를 취득하였다. 지상 자료를 취득하기 위해 사용된 분광 복사계는 ASD사의 FieldSpec4이며, 350~1050nm 파장 영역의 분광 복사율을 측정할 수 있다. 아스팔트(asphalt), 시멘트(cement), 풀(grass), 모래(sand), 인공잔디(tartan turf), 수계(water) 등 6개의 상 물체에 대한 분광 반사율을 측정하였다(Fig. 1). 대리복사보정을 수행하기 위해서는 CASI 초분광 영상과 RapidEye 위성영상에서 동일한 피복을 나타내는 화소를 선택해야 하며, 해당 화소는 순수하게 단일 물질로 이루어져 있어야 한다. 만약 지상에 존재하는 물체의 크기가 작은 경우 두 영상의 공간해상도의 차이로 인하여 공간해상도가 낮은 RapidEye 영상에서 순수한 물질로 이루어진 화소를 찾기 어렵다. 따라서 충분히 넓은 면적에 존재하는 8가지의 지상 물체(아스팔트, 파란 지붕, 시멘트, 산림, 풀, 모래, 인공잔디, 수계)를 선택하고, 순수 화소를 선택하였다. Table 1은 순수 화소를 선택한 지역의 CASI 초분광 영상과 RapidEye 위성영상을 나타낸다. 본 연구에 사용된 CASI 초분광 영상과 RapidEye 위성영상의 공간해상도의 차이가 존재하기 때문에 이를 고려해야 한다. RapidEye 영상의 공간해상도는 6.5m, CASI 초

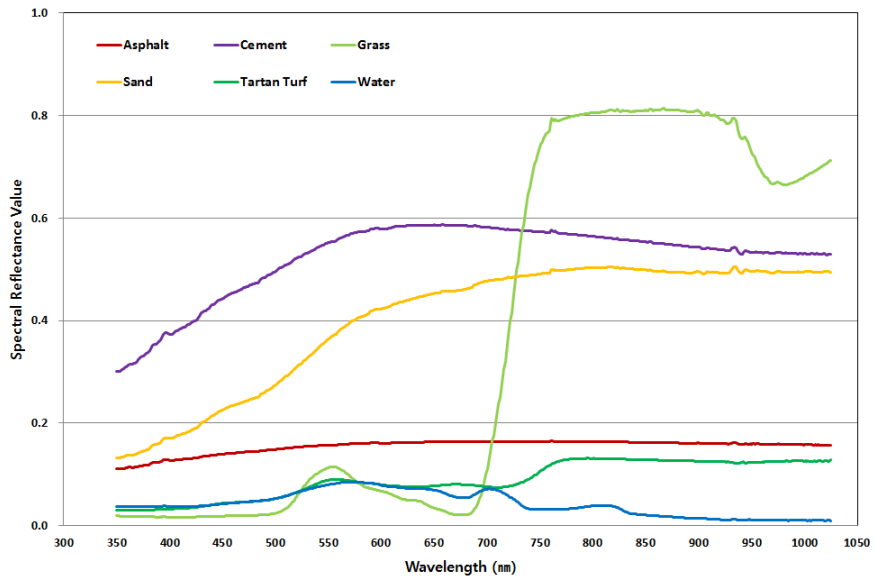


Figure 1. Spectral library of six materials acquired by FieldSpec4

분광 영상의 공간해상도는 1m 이고, RapidEye에 존재하는 1개의 화소 내에 42.25개의 CASI 초분광 영상의 화소가 존재하는 것을 의미한다. 따라서 동일한 지역의 지상 피복에 대하여 RapidEye 위성영상에 존재하는

1개의 화소에 대하여 CASI 초분광 영상에서 49개의 화소를 선택하였으며, CASI 초분광 영상에서 선택된 모든 화소의 평균값을 이용하였다.

Table 1. Subset images of each materials in CASI and RapidEye images for vicarious radiometric calibration

Materials	CASI	RapidEye	Materials	CASI	RapidEye
Asphalt			Grass		
Blue Roof			Sand		
Cement			Tartan Turf		
Forest			Water		

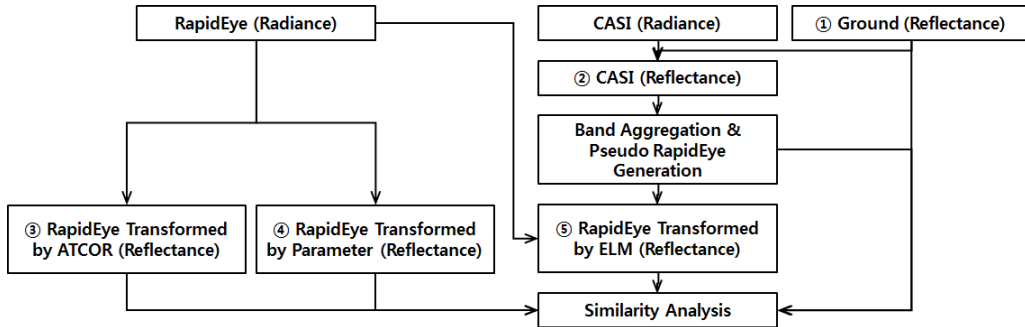


Figure 2. Flowchart of the proposed method

3. 연구 방법

본 연구의 목적은 항공기 초분광 센서로부터 취득된 자료를 이용하여 위성영상의 대리복사보정을 수행하고, 지상 분광 반사율 자료의 대체 가능성을 확인하는 것이다. 이를 위하여 CASI 초분광 영상(②)을 이용하여 RapidEye 위성영상의 분광 복사량 자료를 분광 반사율 자료로 변환하고(⑤), 이를 지상 자료(①) 및 다른 기법들을 적용한 결과(③, ④)와 비교하여 유사도 분석을 수행하였다(Fig. 2).

3.1 밴드 적합 (Band Aggregation) 및 의사 RapidEye 영상 생성

CASI 초분광 영상 자료와 RapidEye 위성영상은 밴드 수가 다르기 때문에, 대리복사보정을 수행하기 위해서는 초분광 영상을 RapidEye 영상과 동일한 밴드 영상으로 변환해야 한다. CASI 초분광 영상을 이용하여 의사(pseudo) RapidEye 영상을 생성하기 위하여, 분광반응곡선(spectral response curves)를 이용하였다. 분광반응곡선 해당 센서에서 특정 밴드의 자료를 취득

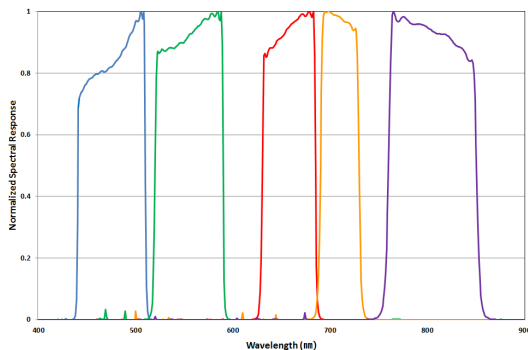


Figure 3. Normalized Spectral Response of RapidEye (BlackBridge, 2012)

할 때 각 파장 영역에서 흡수하는 에너지에 대한 정보를 나타낸다. RapidEye의 분광반응곡선은 영상을 취득하여 판매하는 BlackBridge 사에서 제공하고 있으며, 각 밴드의 상대적 분광반응곡선을 420~900nm 영역에 대하여 1nm 단위로 나타내고 있다(BlackBridge, 2012)(Fig. 3).

RapidEye의 분광반응곡선을 가중치와 동일한 개념으로 CASI 초분광 영상에 적용하여 의사 RapidEye 영상을 생성할 수 있다. 하지만, Rapideye의 분광반응곡선은 상대적 비율로 제공되기 때문에, 상대적 분광반응곡선을 정규화해야 한다. 분광반응곡선의 가중치 변환 및 의사 RapidEye 생성은 다음 수식 (1)과 (2)로 표현할 수 있다(Chi, 2013; Pahlevan and Schott, 2013; Kim, 2014).

$$w_{ik} = \frac{\text{Spectral Response of RapidEye}_{ik}}{\sum_{k=\lambda_1}^{\lambda_2} \text{Spectral Response of RapidEye}_{ik}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} i\text{-th Pseudo RapidEye Reflectance} \\ = \sum_{k=\lambda_1}^{\lambda_2} (w_{ik} \times \text{CASI Reflectance}_k) \end{aligned} \quad (2)$$

수식 (1)은 RapidEye의 상대적 분광반응곡선을 정규화된 가중치로 변환하기 위한 것으로, i 는 밴드 (blue, green, red, rededge, NIR)를 나타내며, k 는 파장 영역을 나타낸다. λ_1 과 λ_2 는 제공되는 분광반응곡선의 처음과 마지막 파장 영역이다. 정규화된 가중치 w 는 각 파장영역의 상대적 분광반응곡선 값을 분광반응곡선의 넓이로 나눈 것이며, 이는 특정 밴드에서 취득하는 전체 에너지에 대한 특정 파장 영역에서 취득하는 에너지의 비율을 의미한다. 수식 (2)는 정규화된 가중치 값을 해당 파장 영역을 포함하는 CASI 초분광

영상의 밴드에 곱하고, 그 합을 계산하여 의사 RapidEye 영상을 계산한다. CASI 초분광 영상이 포함하는 파장 영역과 RapidEye 분광반응곡선의 파장 영역이 일치하지 않는 영역은 0으로 계산된다. 이러한 방식으로 지상에서 취득된 자료도 RapidEye 위성영상의 특성에 맞게 변환이 가능하다. 수식 (1)과 (2)를 통하여 생성된 의사 RapidEye 영상은 RapidEye 분광 복사량 자료의 대리복사보정의 기준자료로 사용되며, 동일한 방식으로 변환된 지상 자료는 다른 기법들과의 유사성 분석에 이용된다.

3.2 대리복사보정(Vicarious Radiometric Calibration)

일반적으로 제공되는 원격탐사 자료의 화소값은 DN (Digital Number) 또는 분광 복사량으로 취득되며, 이 자료를 분광 반사율로 변환하기 위해서는 지상 분광반사율 자료 및 대리복사보정이 수행되어야 한다. 대리복사보정 기법에는 수학적 모델을 이용한 방법, 지상의 특정 물체의 분광 반사율과 해당 화소값 간의 관계식을 이용하는 방법, 영상 내의 화소값을 이용하는 방법 등이 존재한다(Change et al., 2013; Jung et al., 2009; Bernstein et al., 2012). 수학적 모델을 이용한 방법은 ATCOR(ATMospheric CORrection and haze Reduction) 보정기법과 BlackBridge사에서 제공하는 모델이 있으며, 지상 자료를 이용하는 방법은 경험적 선형 기법이 대표적이다.

ATCOR(ATMospheric CORrection and haze Reduction) 보정 기법은 FLAASH와 함께 가장 널리 사용되는 대기보정 모듈로서 상용 소프트웨어에 탑재되어 있으며(Jung et al., 2009), 항공기 CASI 초분광 영상을 취득한 후 사용자에게 제공되기 전에 수행되는 영상의 기하학적 왜곡 보정과 더불어 기본적인 전처리 작업으로 알려져 있다. RapidEye를 제공하는 BlackBrid사에서 식 (3)과 같이 분광 복사량을 분광 반사율로 변환하는 수학적 모델을 제공하고 있다. 이때 변환된 분광 반사율은 대기보정 과정을 수행되지 않은 대기권 상층부(TOA)에서 측정되는 분광 반사율을 의미한다.

$$\begin{aligned} Reflectance(i) & \\ = Radiance(i) & \frac{\pi \times SunDist^2}{EAI(i) \times \cos(SolarZenith)} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, i 는 밴드 번호, $SunDist$ 는 태양과 지구 사이의 거리, EAI 는 대기 바깥에서의 방사 조도(irradiance), $SolarZenit$ 는 태양의 천정각을 의미한

다. BlackBird 사에서는 밴드별 EAI 값으로 6가지 변수(parameter)를 제공하고 있으며, 본 연구에서는 가장 최신 연구결과인 'New Kurucz 2005' 변수를 사용하였다(BlackBridge, 2015).

경험적 선형 방법(ELM)은 영상 내에 알려져 있는 분광 복사량과 지상에서 분광 복사계(Spectroradiometer)를 이용하여 해당 물질로부터 취득한 분광 반사율 사이의 관계를 선형 회귀방정식으로 구성하고, 이를 이용하여 영상의 분광 복사량을 분광 반사율로 변환시키는 방법으로, 가장 일반적인 대리복사보정 기법이다(Brook and Dor, 2011). 본 연구에서는 지상 분광 복사계 대신 CASI 초분광 영상을 기준 자료로 이용하고 RapidEye 위성영상에서 동일한 피복을 나타내는 화소를 선택하여 경험적 선형 방법으로 복사보정을 수행하였다(Chang et al., 2013).¹⁾ 또한 지상 자료를 이용하여 RapidEye 영상을 ELM 기법으로 대리복사보정을 수행하고, 참조자료로 활용하였다.

3.3 유사도 분석(Similarity Analysis)

CASI 초분광 자료로부터 생성한 의사 RapidEye 분광 반사율 자료와 ATCOR, New Kurucz 2005, ELM 기법으로 보정된 분광 반사율 자료를 지상 자료와 비교하고 분석하기 위하여 피복별로 유사도를 측정하였다. 참조 자료로 사용된 지상 자료 또한 앞서 언급된 분광반응곡선을 적용하여 RapidEye 영상에 대응되는 분광 반사율 자료로 변환하여 사용하였다. 지상 스펙트럼 자료와 영상의 화소 사이의 유사도는 상관도(Correlation), 화소간 거리(Euclidean Distance), 평균 제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), Average Sum of Deviations Squared (ASDS)을 측정하였다. 각 유사도에 대한 수식은 식 (4)~(7)과 같다(Ben-Dor et al., 2004; Chang et al., 2013).

$$Correlation(X, Y) = \frac{COV(X, Y)}{\sqrt{Var(X) \cdot Var(Y)}} \quad (4)$$

$$Euclidean Distance = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad (5)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (6)$$

$$ASDS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_i}{Y_i} - 1 \right)^2 \quad (7)$$

1) 이하 보정 기법에 따라 ATCOR 보정 기법은 'ATCOR', BlackBridge에서 제공하는 수식을 사용하는 기법은 'New Kurucz 2005', 경험적 선형 방법은 'ELM'으로 표시한다.

여기서, X_i , Y_i 는 각각 복사보정 기법 및 참조자료의 i 번째 밴드에 대한 분광반사율, N 은 밴드수를 의미한다. 보정된 분광 반사율과 지상의 분광 반사율의 형태와 경향성이 유사할수록 상관도는 1에 가까우며, 두 자료 사이의 절대적인 값의 차이가 작을수록 ED, RMSE, ASDS는 낮은 값을 보인다.

4. 결과 및 분석

본 연구의 실험 결과는 지상에서 취득한 분광 반사율 자료를 참조자료로 하여, 다양한 기법으로 대리복사보정된 RapidEye 분광 반사율 자료의 유사성을 측정하였다. ATCOR, New Kurucz 2005, CASI 초분광 영상 기준의 ELM, 지상 자료 기준의 ELM 방법의 유사성을 비교하였다. Table 2는 4가지 대리복사보정 결과를 지상 자료와 비교하여 물질에 따른 유사도 값을 계산한 결과이며, 각 행에서 가장 높은 유사도를 보이는 값을 음영처리 하여 나타내었다.

아스팔트, 시멘트, 풀을 제외한 피복에서 CASI 초분광 영상과 지상자료를 이용한 ELM 방법을 이용한 대

리복사보정 결과가 가장 높은 유사도를 보였다. ATCOR 변환 결과는 시멘트에서 가장 높은 유사도를 보였는데, 상관도를 제외한 다른 유사성이 높게 측정되었다. 시멘트의 경우 상대적으로 균일한 성분으로 구성되어 있기 때문에 다른 물질들에 비해 분광 정보의 변화가 적고, 이로 인하여 수학적 모델링 기법의 비교적 정확한 결과를 보인 것으로 판단된다. 하지만 인공잔디에서는 다른 기법들과 큰 차이를 보였으며, 물질에 따라 안정적이지 않은 유사도가 측정되었다. New Kurucz 2005 변환 결과는 아스팔트와 풀에서 가장 높은 유사도를 보이는 경우가 존재하였다. BlackBridge 사에서 제공하는 수식은 변화 결과가 대기권상층부(Top of Atmosphere, TOA)에서 측정되는 분광 반사율을 의미한다. 아스팔트와 풀은 전체 파장영역에서 분광 반사율이 굉장히 낮은 값을 보이고 있기 때문에, 대기의 효과가 적게 작용하여 높은 유사도를 보인 경우가 존재하는 것으로 판단된다. 하지만, 풀의 경우 다른 측정 방법과의 수치적 차이가 굉장히 작고, 아스팔트의 경우 상관도에서 다른 방법들과 부호와 수치적으로 큰 차이가 발생하였다. 이는 New Kurucz 2005 방법으로

Table 2. Similarity index between calibrated results and ground reference according to materials

Materials	Similarity Measure	ATCOR	New Kurucz 2005	ELM CASI	ELM Ground
Asphalt	Correlation	0.599	-0.450	0.993	0.777
	ED	0.207	0.033	0.097	0.104
	RMSE	0.093	0.015	0.043	0.046
	ASDS	0.343	0.009	0.077	0.086
Cement	Correlation	0.852	0.071	0.943	0.514
	ED	0.284	0.563	0.620	0.368
	RMSE	0.127	0.252	0.277	0.164
	ASDS	0.085	0.328	0.408	0.138
Grass	Correlation	0.994	0.948	0.992	0.996
	ED	0.267	0.120	0.123	0.141
	RMSE	0.119	0.054	0.055	0.063
	ASDS	0.432	0.085	0.042	0.143
Sand	Correlation	0.983	0.924	0.989	0.991
	ED	0.187	0.184	0.190	0.102
	RMSE	0.084	0.082	0.085	0.045
	ASDS	0.093	0.065	0.091	0.036
Tartan Turf	Correlation	0.688	0.075	0.962	0.928
	ED	0.197	0.112	0.059	0.074
	RMSE	0.088	0.050	0.026	0.033
	ASDS	1.876	0.896	0.070	0.164
Water	Correlation	0.354	0.156	0.738	0.226
	ED	0.078	0.094	0.106	0.070
	RMSE	0.035	0.042	0.048	0.031
	ASDS	0.590	0.881	0.742	0.360

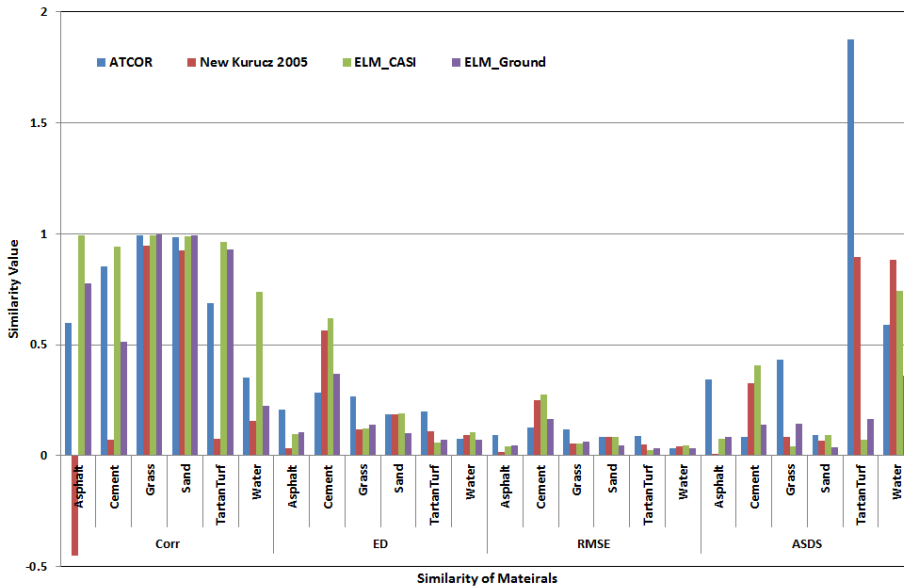


Figure 4. Similarity between calibrated results and ground reference according to materials and calibration methods

변환된 분광 반사율의 형태와 경향이 지상 자료와 유사하지 않음을 의미한다.

Fig. 4는 복사보정 기법 및 물질에 따라 유사도를 그래프로 도시한 것이다. 상관도의 경우 ELM 방식이 전체적으로 우수한 결과를 보였으며, New Kurucz 2005 복사보정 방식은 아스팔트, 시멘트, 인공잔디에서 유사성이 존재하지 않는 정도의 낮은 값을 보였다. 지상 피복이 시멘트일 경우 다른 물질에 비하여 전체적으로 유사도가 낮게 측정되었다. 또한 수체의 경우 모든 복사보정 방법에서 다른 물질들에 비해 낮은 유사도가 계산되었다. 이는 지상에서 취득되는 자료는 수심이 얇은 지역에서 분광 정보를 취득하였으나, 영상에서는 수심이 깊은 지역의 화소를 선택하였기 때문에 발생하는 차이로 판단된다. 일반적으로 수학적 모델을 이용한 ATCOR와 New Kurucz 2005 기법보다 지상 자료를 이용한 ELM 방식이 우수한 결과를 도출하지만 (Chang et al., 2013), 본 연구에서는 CASI 초분광 영상을 기준으로 하여 ELM 보정 기법을 적용한 분광 반사율 변환 결과가 지상자료를 이용한 ELM 방식보다 높은 유사성을 보이는 경우가 존재하였다. 이는 CASI 초분광 영상과 RapidEye 위성영상의 취득 시기와 지상 자료의 취득시기의 차이로 인하여 발생하는 것으로 판단되며, 특히 CASI 초분광 영상의 경우 전처리 과정에서 지상 자료를 입력 자료로 사용하기 때문에, 지상 자료와의 유사도가 높게 측정될 수 있다.

본 연구에서 제안한 CASI 초분광 영상을 이용한 RapidEye 위성영상의 대리복사보정 기법은 ATCOR, NewKurucz 2005 등의 수학적 모델을 기반으로 하는 기법보다 우수한 결과를 도출하였으며, 통상적으로 활용되는 ELM 기법에 상응하는 지상 유사성을 보였다. 이는 대리복사보정을 수행할 때 사용되는 기준 분광 반사율 자료를 지상 자료 대신 초분광 영상의 분광 반사율 자료로 대체가 가능함을 의미한다. 취득 시기에 차이가 존재하더라도 분광반사율로 변환된 CASI 자료를 활용할 경우 접근이 어려운 지역에 존재하거나 지상에서 취득하지 못한 물질에 대해 보다 용이한 분광 라이브러리 구축이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 CASI 초분광 영상의 분광 반사율 자료를 이용하여 RapidEye 위성영상의 대리복사보정을 수행하였다. 지상에서 측정된 분광 반사율 자료와 수학적 모델을 기반으로 한 복사보정 기법(ATCOR, New Kurucz 2005), 지상 자료 기반의 ELM 기법, 제안 기법을 비교해본 결과, CASI 초분광 영상을 기반으로 ELM 보정을 수행한 제안 기법이 ATCOR 및 New Kurucz 2005 기법보다 높은 유사성을 보였으며, 일반적으로 활용되는 지상자료 기준 ELM 기법과 유사한 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과에 따라 초분

광 영상의 분광 반사율을 이용한 대리복사보정의 효율성을 입증하였으며, 지상 분광 반사율의 대체 가능성을 확인하였다.

본 연구 결과를 바탕으로 위성영상의 대리복사보정을 위한 지상 자료 취득을 초분광 영상의 분광 반사율 자료로 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 현장 조사에 투입되는 자원의 소모를 최소화하고, 이를 효율적으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 기존에 취득된 초분광 영상의 분광 반사율 자료를 이용하여 국내 피복에 대한 분광 라이브러리 자료의 구축이 가능하며, 이를 통해 국내 환경에 최적화 된 자료를 수집할 수 있을 것으로 사료된다. 향후 다양한 센서에서 취득된 자료를 이용하여 향상된 이종센서 간 교차보정 기법에 대한 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 정부(교육과학기술부)의 지원으로 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다(NRF-2012M1A3A3A02033469).

References

1. Ben-Dor, E., Kindel, B. and Goetz, A. F. H., 2004, Quality assessment of several methods to recover surface reflectance using synthetic imaging spectroscopy data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, No. 3, pp. 389-404.
2. Bernstein, L. S., Jin, S., Gregor, B. and Adler-Golden, S. M., 2012, The Quick Atmospheric Correction (QUAC) Code: algorithm description and recent upgrades, *SPIE Optical Engineering*, Vol. 51, No. 11, pp. 111719.
3. BlackBridge, 2012, Spectral response curves of the RapidEye sensor, http://blackbridge.com/rapideye/upload/Spectral_Response_Curves.pdf
4. BlackBridge, 2015, Product information, <http://blackbridge.com/rapideye/about/resources.htm>
5. Brook, A. and Ben-Dor, E., 2011, Supervised vicarious calibration (SVC) of hyperspectral remote-sensing data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 115, No. 6, pp. 1543-1555.
6. Chang, A., Eo, Y., Kim, S., Kim, Y. and Kim, Y., 2011, Canopy-cover thematic-map generation for military map products using remote sensing data in inaccessible areas, *Landscape and Ecological Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 263-274.
7. Chang, A., Kim, Y., Choi, S., Han, D., Choi, J., Kim, Y., Han, Y., Park, H., Wang, B. and Lim, H., 2013, Construction and data analysis of test-bed by hyperspectral airborne remote sensing, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 161-172.
8. Chi, J., 2013, Validation of the radiometric characteristics of Landsat 8 (LDCM) OLI sensor using band aggregation technique of EO-1 Hyperion Hyperspectral imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 4, pp. 399-406.
9. Cho, H. G., Kim, D. W. and Shin, J. I., 2014, Study of comparison of classification accuracy of airborne hyperspectral image land cover classification though resolution change, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 3, pp. 155-160.
10. Choi, B. G., Na, Y. W., Kim, S. H. and Lee, J. I., 2014, A study on the improvement classification accuracy of land cover using the aerial hyperspectral image with PCA, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 1, pp. 81-88.
11. Choi, J. W., Byun, Y. G., Kim, Y. I. and Yu, K. Y., 2006, Support vector machine classification of hyperspectral image using spectral similarity kernel, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 14, No. 4, pp. 71-77.
12. Jung, T. W., Eo, Y. D., Jin, T., Lim, S. B. and Park, D. Y., 2009, Comparison of digital number distribution changes of each class according to atmospheric correction in Landsat-5 TM, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 1, pp. 11-20.
13. Kim, Y., 2014, Block-based image fusion using band simulateion for hyperspectral and multispectral images, Master's thesis, Seoul National University, Seoul, South Korea.
14. Kim, Y. S. and Lee, G. W., 2005, An experimental study on the image-based atmospheric correction method for high resolution multispectral data, *Proc. of 2005 IGARSS*, Seoul, South Korea, Jul. 25-29, Vol. 1, pp. 434-436.
15. Pahlevan, N. and Schott, J. R., 2013, Leveraging EO-1 to evaluate capability of new generation of Landsat sensors for coastal/inland water studies, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 6, No. 2, pp. 360-374.