Terra MODIS 위성영상과의 비교를 통한 COMS GOCI 위성영상의 식생지수 적용성 평가

Applicability of Vegetation Indices from Terra MODIS and COMS GOCI Imageries

박진기* · 김봉섭* · 오시영* · 박종화*,†

Park, Jin Ki · Kim, Bong Seop · Oh, Si Young · Park, Jong Hwa

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the applicability of Communication, Ocean, and Meteorological Satellite (COMS) Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) vegetation indices on a quantitative analysis. For evaluation, the vegetation indices such as RVI, NDVI and SAVI were extracted by using COMS GOCI and Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) imageries. The 4,000 points using simple random sampling (SRS) method were randomly extracted from land areas except ocean to compare the vegetation indices from two images. The results of linear regression showed that the regression coefficients of RVI, NDVI, and SAVI between COMS GOCI and Terra MODIS were $0.66 \sim 0.82$, $0.71 \sim 0.83$, and $0.71 \sim 0.83$, respectively. Especially, the regression coefficients of RVI ($r=0.85$), NDVI ($r=0.91$) and SAVI ($r=0.91$) were strongly related from September 2011 to January 2012. Thus, COMS GOCI can be substituted for particular periods and it needs to verify additionally.

Keywords: GOCI, Vegetation index, RVI, NDVI, SAVI

1. 서 론

우리나라는 2015년까지 총 19기의 위성체, 과학로켓 및 우주발사체 개발을 주요내용으로 하는 우주개발중장기기본계획을 1996년 4월에 최초로 수립하였다. 이후 기본계획 수정 및 제도적인 보완을 통해 2015년까지 세계 10위권의 우주강국에 진입하는 목표를 세우고 있다. 1992년 우리나라 최초의 인공위성 우리별 1호를 시작으로 1993년 통신방송위성 무궁화 1호 및 다목적실용위성, 과학기술위성 등 다양한 목적의 인공위성 발사에 성공하여 본격적으로 우주개발에 착수하였다. 2010년에는 우리 기술로 개발한 최초의 정지궤도 위성인 천리안위성 (Geostationary Ocean Color Imager, GOCI)을 성공적으로 발사하여 통신과 해양 및 기상 관측 (Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS)을 수행하고 있다. 지금까지 한반도 전체의 환경 및 식생 모니터링은 관측주기가 짧고 관측 폭이 넓어 육지와

해양의 광역현상 변화 관측에 적합한 Terra MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 또는 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성 등을 통해 많은 연구들이 이루어져 왔다 (Park and Ryu, 2005). 그러나 천리안 위성의 성공적인 발사와 운용은 뛰어난 시간해상도로 한반도 주변 해양 분야뿐만 아니라 육상 환경 분석에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 특히 정규화 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 비율식생지수 (Ratio Vegetation Index, RVI) 및 토양조절식생지수 (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) 등 다양한 식생지수는 모니터링 과정에서 식생의 시계열 특성 분석과 정확한 식생 분포 및 상태 파악에 유용한 정보를 제공하고 있다. 또한 식생지수는 작물의 성장과 생산량 예측, 증발산량 추정 등의 중요한 자료로 관련 자료 확보가 매우 중요하다. 따라서 기존의 한반도 모니터링 연구에 사용했던 MODIS 및 AVHRR 등 저해상도 위성영상을 측정 대역과 파장 폭이 다른 천리안 해양관측위성(COMS GOCI)으로 대체하거나 대안으로 적용하기 위해서는 다양한 검토와 검증 과정이 필요하다.

현재 우주상공에 다양한 인공위성이 운용되면서 인공위성 센서 간에 상관성을 규명하는 많은 연구가 진행되었다. 특히, 식생에 관한 연구로 Guyot and Gu (1994)는 SPOT-HRV와 Landsat

* 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +81-43-271-2577

Fax: +81-43-271-5922

E-mail: jhpak7@cbnu.ac.kr

2013년 7월 4일 투고

2013년 10월 7일 심사완료

2013년 10월 7일 게재확정

TM의 NDVI 상관관계를 연구하였으며, Goetz (1997)는 SPOT, Landsat 뿐만 아니라 AVHRR에 대하여 NDVI와 온도를 추출하여 센서간 비교 분석을 수행하였다. 또한 Landsat TM과 ETM+ 센서간의 비교 (Teillet et al., 2001)와 MODIS와 AVHRR의 비교 (Gitelson and Kaufman, 1998; Tarnavsky et al., 2008) 등 많은 연구가 진행되고 있다. Jin et al. (2010)과 Lee et al. (2009)은 KOMPSAT-2, IKONOS 및 Quickbird 영상의 밴드별 상관성과 NDVI를 추출하여 상관관계를 규명하는 연구를 진행하였다. Steven et al. (2003)은 AVHRR, MODIS, Landsat 등의 인공위성 15개 센서에 대하여 NDVI의 상관성을 규명하여 제시하였다. 그러나 동일한 대상과 정밀한 대기보정에도 위성간 측정 대역과 파장 폭이 달라 다양한 센서로 측정된 식생지수는 일치하지 않는 경우도 있다고 하였다. Na et al. (2012)은 논벼생산량 추정 모델개발에서 고해상도 식생지수를 이용하면 좋으나 취득영상이 너무 적고 주기성이 낮아 실제 적용에 어려움이 있으므로 정확도는 약간 떨어지나 중저해상도인 MODIS영상을 이용하면 주기성 확보가 가능하여 생산량 추정에 유용하게 활용될 수 있다고 하였다.

국내에서는 COMS GOCI 영상의 해양 적용 가능성에 대한 연구들이 주로 진행되었다. Kim et al. (2007)은 Terra MODIS 영상을 이용하여 COMS GOCI 영상의 적조 탐지 가능성 연구를 수행하였으며, Ryu et al. (2010)은 COMS GOCI 자료 검증의 사전연구로 SeaWiFS와 MODIS 영상을 이용하였다. 이와 같이 COMS GOCI에 관한 국내 연구는 해양환경 관측 연구가 주를 이루고 있으나 육지의 식생 환경 관측에 대한 적용 가능성 연구는 거의 없는 실정이다. 그러나 COMS GOCI 영상은 해양환경 관측은 물론 육지 식생환경 관측에서도 고해상도 위성영상이 갖지 못하는 주기성과 반복성이 우수하여 MODIS와 함께 활용한다면 식생의 시간적 변화추이 파악이 가능하여 작물 생산량 추정 모델개발 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 한반도의 식생 분석을 위하여 COMS GOCI의 식생지수 적용 가능성에 대해 해양을 제외한 한반도 내륙지역을 대상으로 Terra MODIS 위성의 식생지수를 비교대상으로 하여 정량적으로 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

가. MODIS 위성

MODIS는 미항공우주국 (NASA)의 지구관측시스템 (Earth Observing System, EOS) 프로젝트 일환으로 1999년과 2002년에 발사된 Terra (EOS AM-1) 위성과 Aqua (EOS PM-1) 위성

Fig. 1 Comparison between MODIS and GOCI Red/NIR wavelength ranges

에 탑재되어 있는 센서이다. Terra위성과 Aqua위성은 대기, 해양, 육지 관측이 가능하고 수신국만 준비되면 자유롭게 MODIS 데이터 수신이 가능하여 다양한 분야에서 활용되고 있다 (Park and Ryu, 2005).

MODIS는 위성 고도 705 km, 순간시야각 $\pm 55^\circ$, 주사 폭 2,330 km로 태양과 동주기궤도를 갖는다. 또한, 0.4~3.0 μm 파장영역 20개 밴드와 3.0~14.4 μm 파장영역 16개 밴드로 총 36개 밴드 자료가 획득된다. Fig. 1은 Terra MODIS와 COMS GOCI와의 밴드별 적용파장 영역 차이를 나타낸 그림이다. Terra MODIS 공간해상도의 경우 밴드 1과 2는 250×250 m, 밴드 3~7은 500×500 m 및 밴드 8~36은 1,000×1,000m이다. Terra MODIS 센서의 밴드별 데이터는 전처리 과정과 보정 및 수정 과정을 거쳐 다양한 형태로 제공되고 있다. Terra MODIS영상은 식생지수를 구하기 위하여 USGS의 LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center)에서 MOD 09 (Surface Reflectance) 영상을 다운받아 사용하였다. 영상수집은 한반도 지역 (위도 103.97E~155.53E, 경도 30.0N~50.0N)에 해당되는 h27v04, h27v05 및 h28v05 영상을 다운받아 USGS에서 제공하는 MRT (MODIS Reprojection Tool) 프로그램을 이용하여 기하보정 및 영상집성의 전처리 과정을 실시하였다.

나. 천리안 해양관측위성 (COMS GOCI)

COMS GOCI는 우리나라 최초의 정지궤도 위성으로 동경 128.2도에 위치하면서 공간해상도 500×500 m로, 관측영역은 16개 슬롯으로 나누어 촬영하며 총 2,500×2,500 km 영역을 관측한다. 한 개의 슬롯은 8개의 spectral 밴드와 2개의 Dark 이미지를 포함하며, 매시간 15분에 촬영을 시작하여 30분간 진행하고, 촬영 종료 후, 센서의 안정화를 위해 30분간 휴지기를 가진다. 또한 해양관측위성은 낮시간 동안 1일 8회 촬영하여 시간 해상도 및 수집성이 탁월하며, 한반도 전체 식생을 준실시간으로 모니터링하고 있다.

영상자료는 2011년 9월 2일부터 해양위성센터 홈페이지를 통해 2011년 4월 1일 영상부터 전처리 후 DB를 구축하여 제공하고 있다. 제공 영상은 기하 보정된 Level 1B와 밴드별 Lw (Water Leaving Radiance) 및 nLw (Normalized Lw)와 CDOM (Abs-Corff. by CDOM), TSS (Suspended Solid Particles), CHL (Chlorophyll-a)의 19개 2차 산출물의 Level 2 자료이다. COMS GOCI영상은 식생지수를 구하기 위하여 위도 (113.4E~146.6E), 경도 (24.75N~47.25N)지점에 대해 MODIS 영상과 동일 촬영 일자의 영상 Level 1B 자료를 다운받아 사용하였다. COMS GOCI 영상의 전처리는 해양위성센터에서 제공하는 GDPS (GOCI Data Processing System) 프로그램을 이용하였다. Table 1은 COMS GOCI와 Terra MODIS영상의 밴드별 파장 특징을 비교하여 제시하였다.

2. 연구방법

가. 영상 전처리

Terra MODIS 영상의 기본 포맷인 HDF (Hierarchical Data Format)는 래스터 영상, 팔레트, 텍스트와 테이블 형식의 데이터와 같이 하나의 파일에 몇 가지 유형의 데이터 객체를 저장하고 있다 (Im et al. 2001). 따라서 영상은 USGS에서 제공하는 MRT 프로그램을 이용하여 MODIS 영상을 Import하고 기하보정 및 영상집성의 전처리 과정을 실시하였다. COMS GOCI 영상은 HE5 포맷으로 HDF-EOS5의 파일 확장자명을 사용하며, Level 1B와 Level 2자료로 활용되고 있다. HDF-EOS5 형식은 HDF 형식과 같은 계층적 구조를 갖지만, 이 구조는 Points, Grids와 같이 미리 규정되어 있다. Points에는 주로 헤더 정보 및 자료처리에 필요한 옵션 정보가 저장되어 있으며, Grids에는 실제 위성관측정보인 pixel data 및 분석자료 정보가 밴드별/product별 2차원 grid 형태로 저장된다. GOCI 영상은 GOCI

이용자들을 위한 표준처리 소프트웨어인 GDPS 프로그램을 이용하여 Import 하였다. Import한 영상은 동일 좌표체계로 맞추기 위해 UTM (Universal Transverse Mercator) 좌표체계로 변환하고 기하보정을 실시하여 위도(123.23E~130.78E), 경도 (33.55N~41.32N)로 통일하였다. 식생지수 추출은 근적외선과 적색 파장을 이용하기 때문에 해상도가 250×250 m인 MODIS 영상의 Band 1과 Band 2번을 GOCI 영상의 해상도와 같은 500×500 m으로 변환하였다.

나. 식생지수

식생지수는 식물 양, 계절적 변화, 식생의 생리적 조건 및 특성을 나타내는 인자중 하나이다. 특히 식생에 관련된 지수는 지표면 녹색식물의 상대적인 분포와 활동성, 엽면적 지수, 엽록소 함량 및 광합성 흡수복사량 (APAR) 등과 관련된 지표로 사용되며 가시광선과 근적외선 영역 파장들의 반사특성과 밀접한 관련이 있다. 식생지수중 가장 널리 이용되고 있는 것은 NDVI 이다. NDVI는 지구규모의 자원문제를 취급할 경우 관측지역이나 계절 등 관측 조건 차이에서 발생하는 영향을 최소화하기 위해 제안되었다 (Rouse et al., 1974). NDVI는 근적외선 파장과 적색 파장을 이용하여 두 파장을 조합하고 정규화하여 계산되며, RVI는 근적외선 파장과 적색 파장 비로 계산된다 (Pearson and Miller, 1972). SAVI는 NDVI 계산식에 식생과 토양의 1차 분광반응에서 나타나는 토양의 영향을 최소화하기 위해 토양정보 인자 L을 추가하여 다음과 같이 계산되어진다 (Huete, 1988).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

$$RVI = \frac{NIR}{Red} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \quad (3)$$

여기서, NIR은 근적외선 파장으로 MODIS 밴드 2와 GOCI밴드 8이며, Red는 가시광선의 적색파장으로 MODIS 밴드 1과 GOCI밴드 5이며, L은 토양보정인자로 0.5이다.

본 연구에서는 2011년 9월 22일, 10월 4일, 10월 7일, 11월 21일, 12월 23일, 2012년 1월 30일의 MODIS 영상과 GOCI 영상의 근적외선과 적색 파장을 이용하여 RVI, NDVI 및 SAVI의 3가지 식생지수를 평가하였다. 식생지수는 식생이 활발한 6월부터 9월 영상이 현장 적용 가능성 평가에 적합하다고 판단되지만 이 시기 영상은 구름 등의 노이즈로 인해 깨끗한 영상

Table 1 Summary of wavelength characteristics of the MODIS and GOCI spectral bands

Terra MODIS (nm)				COMS GOCI (nm)			
Band No.	Band range	Band width	SNR	Band No.	Band center	Band width	SNR
B1	412~670	50	128	B1	412	20	1077
B2	841~876	35	201	B2	443	20	1199
				B3	490	20	1316
				B4	555	20	1223
				B5	660	20	1192
				B6	680	10	1093
				B7	745	20	1107
				B8	865	40	1009

취득이 어려워 비교 대상에서 제외하였다.

두 영상간의 식생 모니터링 적용성 평가를 위해 MODIS 영상의 공간해상도를 500×500 m로 변환하여 GOCI 영상과 동일한 화소수를 갖도록 하였다. RVI, NDVI 및 SAVI는 해양을 제외한 내륙지역을 대상으로 각 일자별로 ArcGIS의 Generate Random Points의 단순임의추출법 (Simple Random Sampling)을 통해 4,000개의 비교점을 추출하였다. 또한 2011년 9월부터 2012년 1월까지 수집한 6개 영상의 비교점 24,000개 (4,000점×6개)를 대상으로 COMS GOCI 영상의 식생 모니터링 적용성을 평가하였다. 통계분석은 SPSS 19를 사용하였다.

다. 오차 검증

평균오차 (Bias; mean error), 평균제곱근오차 (RMSE; Root Mean Square Error), 평균절대오차 (MAE; Mean Absolute Error)는 일반적으로 모형 예측에 따른 관측 값과의 오차 검증을 위해 사용된다. 그러나 본 연구에서는 COMS GOCI 식생지수의 비교 값과 Terra MODIS 식생지수 기준 값과의 오차 검증을 위해 사용하였다. 여기서 RMSE는 기준 값과 비교 값의 차이 크기를 나타낸다. Bias는 비교 값과 기준 값의 차이를 평균한 값으로 Bias가 양이면 과대평가를 의미하며 음이면 과소평가를 의미하고 0에 가까울수록 비교 값과 기준 값이 서로 유사하다는 것을 의미한다. 그러나 Bias는 평방근이 없어 계산이 편리하지만 정 (+) 오차와 부(-) 오차들이 서로 상쇄됨으로써 실제 적합도를 제대로 반영할 수 없다는 단점을 가지고 있어 MAE를 사용하여 문제점을 보완하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X'_i - X_i)^2} \quad (4)$$

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X'_i - X_i) \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |X'_i - X_i| \quad (6)$$

여기서, X 는 기준 값으로 MODIS 데이터이며, X' 은 비교 값으로 GOCI 데이터이다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생지수 변화 특성

2011년 9월부터 2012년 1월까지 동일시기의 Terra MODIS

와 COMS GOCI의 식생지수 RVI, NDVI 및 SAVI의 변화는 Fig. 2와 같이 매우 유사한 분포를 보였다. 변동특성도 9월 작물의 성장기 및 수확기에 가장 높은 값을 보이다가 겨울철에 점점 낮아지는 경향을 보여 기존 연구와 같은 경향을 나타냈다 (Park and Na, 2006; Park et al., 2008; Hird and McDermid, 2009; Lee et al., 2011).

또한 단순임의추출법으로 추출한 4,000개의 비교점을 대상으로 COMS GOCI와 Terra MODIS의 식생지수를 산출한 통계 값은 Table 2와 같다. 표와 같이 동일날짜 GOCI와 MODIS 식생지수의 평균값과 표준편차는 모두 유사한 값을 나타냈다. Fig. 2와 같이 2011년 9월부터 2012년 1월까지 수집한 영상 전체

Fig. 2 Comparison between GOCI and MODIS's RVI, NDVI, and SAVI for six dates in 2011

Table 2 Statistical relationship between the GOCI and MODIS vegetation indices

Sensor		RVI				NDVI				SAVI			
		Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
'11.09.22	GOCI	1.16	14.60	6.28	2.51	0.07	0.87	0.69	0.10	0.11	1.30	1.03	0.16
	MODIS	0.73	32.53	8.22	4.31	-0.15	0.94	0.73	0.12	-0.23	1.41	1.10	0.18
'11.10.04	GOCI	1.58	19.25	7.74	3.28	0.22	0.90	0.73	0.12	0.33	1.34	1.09	0.18
	MODIS	1.58	26.21	7.13	2.95	0.23	0.93	0.72	0.11	0.34	1.39	1.07	0.17
'11.10.07	GOCI	0.81	12.57	4.84	1.81	-0.10	0.85	0.62	0.12	-0.15	1.27	0.93	0.17
	MODIS	0.74	14.77	5.37	2.45	-0.15	0.87	0.64	0.14	-0.22	1.31	0.96	0.21
'11.11.21	GOCI	0.82	6.80	2.53	0.76	-0.10	0.74	0.41	0.12	-0.15	1.10	0.61	0.17
	MODIS	0.54	6.74	2.66	0.78	-0.30	0.74	0.43	0.11	-0.44	1.11	0.65	0.17
'11.12.23	GOCI	0.63	7.50	2.02	0.83	-0.23	0.76	0.30	0.15	-0.33	1.13	0.44	0.23
	MODIS	0.66	6.98	2.03	0.77	-0.21	0.75	0.30	0.15	-0.31	1.12	0.46	0.22
'12.01.30	GOCI	0.44	5.80	2.39	0.72	-0.38	0.71	0.38	0.12	-0.57	1.04	0.57	0.18
	MODIS	0.83	9.35	2.49	1.13	-0.09	0.81	0.38	0.16	-0.14	1.21	0.57	0.24
'11.09~'12.01	GOCI	0.44	19.25	4.30	2.89	-0.39	0.90	0.52	0.21	-0.57	1.34	0.78	0.31
	MODIS	0.54	32.53	4.65	3.43	-0.30	0.94	0.53	0.22	-0.45	1.41	0.80	0.32

Fig. 3 Comparison histogram between GOCI and MODIS vegetation indices (RVI, NDVI, and SAVI)

24,000개 (4,000점×6개) 비교점에 대한 GOCI와 MODIS 식생지수 히스토그램도 유사한 분포 경향을 보였다. GOCI 식생지수는 MODIS 식생지수에 비해 Fig. 3과 같이 각 식생지수 차이를 좀 더 명확하게 표현해 주는 것으로 확인되었다. 특히, GOCI NDVI는 $0.3 < \text{NDVI} < 0.9$ 범위 값과 SAVI는 $0.5 < \text{SAVI} < 1.3$ 범위 값을 잘 표현하였다.

2. 상관관계분석 결과

COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수의 상관성 검토는 비교 값과 기준 값의 관련성을 구하기 위해 피어슨 상관계수를 사용하였다. 상관분석 결과 일별 RVI의 상관계수(r)는 $0.66 \sim 0.82$, NDVI는 $0.71 \sim 0.83$, SAVI는 $0.71 \sim 0.83$ 범위의 높은 상관성을 보였다. 여기서 r 은 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위를 가지며 $r \leq \pm 0.5$ 이면 낮은 상관성을 $\pm 0.5 \leq r \leq \pm 0.6$ 이면 보통의 상관성을 $r \geq \pm 0.6$ 이면 높은 선형의 상관관계를 나타낸다.

본 연구에서 수집한 2011년 9월부터 2012년 1월까지 전체 24,000개 (4,000점×6개) 비교점의 RVI 상관계수는 0.85 , NDVI는 0.91 , SAVI는 0.91 로 높은 정의 상관관계를 보였다. 또한 모든 상관계수는 1 % 유의수준에서 유의한 것으로 분석되었다.

COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수의 일별 산포도와 전체 산포도는 각각 Fig. 4, 5와 같이 정의 상관성을 보였다. 그림과 같이 COMS GOCI와 Terra MODIS의 식생지수는 높은 상관성을 가지므로 영상간의 차이를 파악하기 위하여 선형회귀분석을 실시하였다. 그 결과 많은 지점에도 불구하고 COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수의 상호관계는 다음 식으로 높은 상관성을 보였다.

Fig. 4 Scatter plots of GOCI and MODIS vegetation indices show a fit to 1-to-1 line

Table 3 Comparison between GOCI and MODIS vegetation indices, linear regression results, and statistical evaluation values

	RVI					NDVI					SAVI				
	Equation	r	RMSE	Bias	MAE	Equation	r	RMSE	Bias	MAE	Equation	r	RMSE	Bias	MAE
'11 09.22	$y = 1.39x - 0.52$	0.81**	3.29	-1.90	2.29	$y = 0.93x - 0.09$	0.79**	0.09	-0.04	0.06	$y = 0.93x - 0.14$	0.79**	0.13	-0.07	0.10
'11 10.04	$y = 0.68x - 1.85$	0.76**	2.27	0.62	1.65	$y = 0.77x - 0.15$	0.81**	0.07	0.01	0.05	$y = 0.78x - 0.23$	0.81**	0.11	0.01	0.08
'11 10.07	$y = 1.11x$	0.82**	1.51	-0.53	1.07	$y = 0.99x - 0.02$	0.83**	0.08	-0.01	0.06	$y = x - 0.03$	0.83**	0.12	-0.03	0.09
'11 11.21	$y = 0.73x - 0.82$	0.71**	0.60	-0.13	0.40	$y = 0.72x - 0.14$	0.75**	0.08	-0.02	0.06	$y = 0.73x - 0.2$	0.75**	0.12	-0.04	0.09
'11 12.23	$y = 0.71x - 0.6$	0.76**	0.55	-0.01	0.35	$y = 0.73x - 0.09$	0.77**	0.10	-0.01	0.07	$y = 0.74x - 0.13$	0.77**	0.15	-0.02	0.11
'12 01.30	$y = 1.04x - 0.01$	0.66**	0.85	-0.09	0.55	$y = 0.91x - 0.03$	0.71**	0.11	0.01	0.09	$y = 0.92x - 0.04$	0.71**	0.17	0.00	0.13
'11.09~'12.01	$y = 1.01x - 0.3$	0.85**	1.82	-0.35	1.07	$y = 0.95x - 0.04$	0.91**	0.09	-0.01	0.07	$y = 0.95x - 0.05$	0.91**	0.14	-0.02	0.10

* $p < 0.01$

Fig. 5 Scatter plots between GOCI and MODIS vegetation indices from 22 Sept, 2011 to 1 Nov, 2011

$$GOCI_{VI} = a MODIS_{VI} - b \quad (7)$$

여기서 $GOCI_{VI}$ 는 GOCI 식생지수이며, $MODIS_{VI}$ 는 MODIS 식생지수이고 a , b 는 계산 정수이다.

일별 RVI는 COMS GOCI 영상에서 차이는 크지 않으나 약간 낮게 평가되는 경향을 보였으며, NDVI와 SAVI는 약간 높게 평가되는 경향을 나타냈다. 2011년 9월부터 2012년 1월까지 전 영상의 COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수는 Table 3과 Fig. 5와 같이 기울기 0.95~1.01, 절편 $-0.05 \sim -0.30$ 으로 1대 1에 대응하는 ($y=x$) 높은 상관성이 확인되었다. 세 개 식생지수에서 큰 차이는 없으나 이 중 NDVI가 다른 식생지수에 비해 상관성이 약간 높았으며 오차는 적은 것으로 파악되었다.

3. COMS GOCI 식생지수 오차 검증

GOCI 식생지수를 비교 값, MODIS 식생지수를 기준 값으로 하여 오차 검증한 결과 Table 3과 같이 분석되었다. 2011년 9월부터 2012년 1월까지 전 영상에 대한 COMS GOCI 식생지수와 Terra MODIS의 오차 검증 결과, RVI는 $RMSE = 1.82$, $Bias = -0.35$, $MAE = 1.07$ 로 나타났으며, NDVI는 $RMSE = 0.09$, $Bias = -0.01$, $MAE = 0.07$ 이었고, SAVI는 $RMSE = 0.14$, $Bias = -0.02$, $MAE = 0.10$ 으로 나타났다. 세 가지 식생지수 검토 결과 NDVI는 서로 유사한 경향을 보여 오차가 가장 적은 것으로 확인되었다. 그 밖의 RVI, SAVI도 큰 차이를 보이지 않아 COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수는 서로 유사한 경향을 보였다. 따라서 COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수는 높은 상관관계를 가지고 있어 MODIS 및 AVHRR 등 저해상도 위성영상의 대체 자료로 적용이 가능할 것으로 판단되어 COMS GOCI의 유효성이 검증된 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 구름이나 노이즈가 적은 깨끗한 영상을 대상으로 하였기 때문에 식생이 활발하거나 식생지수 활용도가 가장 높은 5월부터 9월까지의 영상 검토는 이루어지지 못하였다. 따라서 특정시기만을 대상

으로 분석한 결과로서 향후 COMS GOCI 관측 영상의 확보에 따른 시계열 분석을 통한 검증이 추가적으로 필요할 것이다. 또한 영상 합성 기법, 식생지수 보정 기법 및 COMS GOCI를 대상으로 한 정확도 높은 식생지수 개발 등 다양한 검토 과정을 통해 식생 모니터링에 적용할 필요가 있는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 한반도의 식생 분석을 위하여 COMS GOCI의 식생지수 적용 가능성을 Terra MODIS 식생지수를 통하여 검토하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수의 변동특성은 9월에 높은 값을 가지며 1월까지 점차 낮아지는 경향을 보여 기존 연구결과와 동일한 경향을 보였다.
2. COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수 상관분석 결과, RVI, NDVI, SAVI의 상관계수는 각각 0.66~0.82, 0.71~0.83, 0.71~0.83으로 높은 상관성을 보였다. 2011년 9월부터 2012년 1월까지 전 영상에서 RVI의 상관계수는 0.85, NDVI는 0.91, SAVI는 0.91로 높은 상관관계를 나타냈다. 또한 모든 상관계수는 1% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.
3. 2011년 9월부터 2012년 1월까지 전 영상의 회귀분석 결과, 기울기는 0.95~1.01, 절편은 -0.05~-0.30으로 1대 1에 대응하는 ($y=x$) 높은 상관성이 확인되었다.
4. 2011년 9월부터 2012년 1월까지 영상에서 COMS GOCI와 Terra MODIS 식생지수의 오차 검증 결과, RVI는 RMSE=1.82, Bias=-0.35, MAE=1.07이었으며, NDVI는 RMSE=0.09, Bias=-0.01, MAE=0.07이었고, SAVI는 RMSE=0.14, Bias=-0.02, MAE=0.10으로 NDVI의 오차가 가장 적었다. 다른 식생지수도 오차가 적어 Terra MODIS 등을 대신할 수 있는 적용 가능성이 입증되었다.

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2011).

REFERENCES

1. Gitelson, A. A., and Y. J. Kaufman, 1998. MODIS NDVI optimization to fit the AVHRR data series spectral considerations. *Remote Sensing of Environment* 66: 343-350.
2. Goetz, S. J., 1997. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing* 18: 71-94.
3. Guyot, G., and X. F. Gu, 1994. Effect of radiometric corrections on NDVI determined from SPOT HRV and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 49: 169-180.
4. Hird, J. N., and G. J. McDermid, 2009. Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques. *Remote Sensing of Environment* 113: 248-258.
5. Huete, A. R., 1988. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25(3): 295-309.
6. Im, J. H., H. S. Sagong, and Y. D. Kwon, 2001. Analyses on Standard Formats of Spatial Imagery Information. *The Journal of GIS Association of Korea* 9(1): 31-50 (in Korean).
7. Jin C. G., S. Y. Park, H. S. Kim, Y. S. Chun, and C. U. Choi, 2010. Comparison of High Resolution Image by Ortho Rectification Accuracy and Correlation Each Band. *The Korean Society for Geo Spatial Information System* 18(2): 35-45 (in Korean).
8. Kim, Y. M., Y. G. Byun, W. S. Song, and K. Y. Yu, 2007. A Study on Possibility of Red Tide Detection Using MODIS Data. *Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*: 131-134 (in Korean).
9. Lee, J. W., G. A. Park, H. K. Joh, K. H. Lee, S. I. Na, J. H. Park, and S. J. Kim, 2011. Analysis of Relationship between Vegetation Indices and Crop Yield using KOMPSAT (KoreaMulti-Purpose SATellite)-2 Imagery and Field Investigation Data. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(3): 75-82 (in Korean).
10. Lee, M. S., S. J. Kim, H. S. Shin, J. K. Park, and J. H. Park, 2009. Extraction of Agricultural Land Use and Crop Growth Information using KOMPSAT-3 Resolution Satellite Image. *Korean Journal of Remote Sensing* 25(5): 411-421 (in Korean).
11. Na, S. I., J. K. Park, and J. H. Park, 2012. Development

- of Korean Paddy Rice Yield Prediction Model (KRPM) using Meteorological Element and MODIS NDVI. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(3): 141-148 (in Korean).
12. Park, J. H., and K. S. Ryu, 2005, Variation Characteristics of Vegetation Index (NDVI) using AVHRR Images and Spectral Reflectance Characteristics. *The Korea Society of Environmental Restoration Technology* 8(2): 33-40 (in Korean).
13. Park, J. H., and S. I. Na, 2006, Assessment of the Ochang Plain NDVI using Improved Resolution Method from MODIS Images. *The Korea Society of Environmental Restoration Technology* 9(6): 1-12 (in Korean).
14. Park, J. K., J. H. Park, H. S. Shin, and S. I. Na, 2008, Variation Characteristics of NDVI using MODIS (Terra) Images in Korea. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference* (in Korean).
15. Pearson, R. L., and L. D. Miller, 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of strong grass prairie. *Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing Environment II*. Pawnee National Grasslands, Colorado, Oct. 2-6. 1355-1379.
16. Rouse, J. W., R. H. Hans., J. A. Schell., P. W. Peering, and J. C. Harlar, 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, Type III, Final Report, NASA/GSF, Greenbelt, MP, 371.
17. Ryu, J. H. J. E. Moon, Y. B. Son, S. I. Cho, J. E. Min, C. S. Yang, Y. H. Ahn, and J. S. Shim, 2010, Prelaunch Study of Validation for the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Korean Journal of Remote Sensing* 26(2): 251-262 (in Korean).
18. Steven, M. D., T. J. Malthus, F. Baret, H. Xu, and M. J. Chopping, 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment* 88(4): 412-422.
19. Teillet, P. M., J. L. Kaufman, B. L. Markham, R. R. Irish, G. Fedosejevs, and J. C. Storey, 2001. Radiometric cross-calibration of the landsat-7 ETM+ and landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. *Remote Sensing of Environment* 78: 39-54.
20. Tarnavsky, E. V., S. Garrigues, and M. E. Brown, 2008. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. *Remote Sensing of Environment* 112: 535-549.