韓國水資源學會論文集
第45卷 第8號·2012年 8月
pp. 755~765
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.8.755

한반도에서의 천리안 위성 지표면 온도 유용성 평가

Availability of Land Surface Temperature from the COMS in the Korea Peninsula

백 종 진* / 최 민 하**
Baek, Jong Jin / Choi, Minha

Abstract

The Land Surface Temperature (LST) is one of the significant factors to understand the water and energy cycles between the land surface and atmosphere. However, few previous studies for spatio-temporal variations of LST has been investigated. In this study, we conducted comparative analyses between the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) and MOderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) LST data. We compared COMS data with observations to identify the accuracy and found relative underestimated patterns of the COMS data as compared to observations. We also found that COMS LST were underestimated in compare to MODIS LST. The Terra LST was verified to have more similar trends with the COMS LST rather than Aqua LST. While we identified the applicability of COMS based on the results of similar tendencies of two comparisons, more intensive validation research at a variety of field conditions should be conducted to gurantee current COMS LST.

Keywords : communication, ocean and meteorological satellite (COMS), land surface temperature (LST), moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS), aqua, terra

요 지

지표면 온도는 수문기상학에서 매우 중요한 인자로써 지면-대기의 상호순환을 이해하는 데 필수적인 요소이다. 따라서 지표면 온도를 정확하게 산출하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 국내에서는 현재까지 시·공간적으로 일정한 자료를 대상으로 한 연구가 미흡한 상황이다. 본 연구에서는 국내 최초의 정지궤도 위성인 Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS)의 지표면 온도 자료를 사용하여 MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 센서를 탑재한 위성(Terra/Aqua)에서 제공되는 지표면 온도와 비교·분석을 실시하였다. 또한, COMS 자료의 정확성 확인을 위하여 지상관측지점의 자료와 비교하였다. 그 결과 MODIS와의 비교에서는 COMS가 Aqua/Terra에 비하여 전체적으로 과소 산정되었으며, Aqua보다는 Terra와 비슷한 경향을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 지상 관측 일평균자료와의 비교에서도 COMS가 과소 산정되는 것으로 나타났다. 각각의 오차는 알고리즘 사용 인자의 차이, 자료의 시간적 차이, 외부적인 요인 등으로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 그러나 전체적인 경향성이 비슷한 것으로 나타나 COMS의 활용 가능성을 확인할 수 있었으며, 추후보다 정확한 검·보정에 대한 연구가 필요한 실정이다.

핵심용어 : 천리안 위성, 지표면 온도, MODIS, Aqua, Terra

* 한양대학교 건설환경공학과 석·박사과정 (e-mail: jjbaek@hanyang.ac.kr)
Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University
** 교신저자, 한양대학교 건설환경공학과 조교수 (e-mail: mchoi@hanyang.ac.kr)
Corresponding Author, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

1. 서 론

수문학적 관점 및 기상학적 관점에서 지표면 온도는 매우 중요한 요소로 지면-대기의 상호순환을 이해하는 인자이다. 따라서 기후모델 및 농업 등의 기본적인 데이터로 사용되며, 토지피복의 상태, 식생의 분포 상태, 토양수분, 증발산 등의 다양한 인자의 영향을 받기 때문에 정확하게 파악할 필요가 있다. 또한 도시지역의 냉방시설을 통한 인공적인 열에 의한 열섬 현상 등의 분포를 확인할 수 있으며, 이러한 공간적인 열의 분포를 정확히 파악 할 수 있으면, 도시 지역의 열의 상승저감 대책을 세울 수 있을 뿐만 아니라, 지표면에서의 열의 분포가 식생분포 및 토양 조건에 따른 공간적인 증발산 분포 등의 정확한 산출을 할 수 있다.

지표면 온도는 관측 지점에서 측정을 하는 경우가 많으나 직접적인 측정으로 자료를 얻기 위해서는 많은 인력·경제적인 자원이 소비되고, 시·공간적으로 제한을 갖게 되는 등의 문제점이 있으며, 지점 자료를 이용하여 공간적으로 표현하기에는 한계를 가진다. 이러한 이유로 현장 관측의 정규적인 관측이 부족하기 때문에 그 대안으로 인공위성을 이용한 원격탐사기법으로 지표면 온도를 측정하는 방법이 제안되었다. 원격탐사를 이용한 지표면온도에 대한 연구는 주로 위성을 보유한 선진국을 중심으로 정지위성 및 극궤도 위성을 통해 진행 중이다.

전 세계적으로 극궤도위성을 이용한 연구로 Landsat 인공위성을 이용해 지표면 온도 연구가 진행되었으며, 대부분 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)와 피복 상태와의 관계성을 나타내는 연구가 진행되었다. 박종화 등(2006)은 청주지역의 피복 상태와 지표면 온도의 영향에 따른 농촌과 도심의 여름철 온도저감효과에 대한 연구를 하였다. 박민호과 박정일, 박민호 등(2008)은 함평만지역의 정규식생지수(NDVI)와 지표면온도(Land Surface Temperature; LST)의 상관관계 분석을 통해 일반 지표에서는 LST와 NDVI가 음의 상관관계를 가지는 반면, 갯벌에서는 양의 상관관계를 가진다는 결론을 도출하였다. 권혁준과 이병걸(2009)는 Landsat의 밴드 6번 자료를 토지피복별로 분류하여 NASA (National Aeronautics and Space Administration)에서 제시한 지표면온도계산법을 제주도 도심지역의 식생지수와 지표면온도의 상관성 비교에 대한 연구를 하였다. 박종화 등(2006)은 여름철 청주지역의 토지 피복과 지표면 온도의 관계가 여름철의 논과 도심부의 지표면온도에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구를 통해 산과 논에 의한 도심지역의 기온저감효과와 온도의 분포가 완화되는 것을 확인하였다. 나상일과 박종화(2008)는 Landsat ETM+영상으로 증발산 추정식인 TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index)를 LST와 NDVI의 관계를 통해 산정하고 기상 관측치와 비교하여 충북시의 실제증발산량을 산정하였다. 서찬양과 최민하(2011)는 MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)와 Landsat 위성 기반의 METRIC (Mapping EvapoTRanspiration with Internalized Calibration) 모형이 경안천유역의 증발산에 어떤 경향성을 가지는 지를 연구하였고, 두 데이터가 비슷한 경향을 나타내는 것으로 보아 식생에 대한 모의가 잘 이루어진 것으로 시사하였다. 또한, 이순환 등(2009)은 미국의 NASA의 다목적 지구관측 위성 중에 MODIS 자료를 사용하여 Price (1984), Becker and Li (1990), Ulivieri et al. (1994), Wan et al. (2002, 2004) 알고리즘들이 한반도 지표면 온도 산출의 정확도 향상에 대한 검증을 통해 전계절적으로 다른 알고리즘에 비하여 Wan 알고리즘이 보다 높은 상관성을 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 하지만 궤도위성(MODIS)은 이러한 많은 장점에도 불구하고 정지위성 (COMS)에 비해 부족한 면이 있다. 즉, 짧은 시간간격의 일관된 시간적 변화를 볼 수밖에 없었던 기존의 궤도위성과 달리 정지위성은 한 지역의 시공간적인 변화를 나타낼 수 있다. COMS (Communication, Ocean and Meteorological Satellite)와 동일한 성능을 지닌 정지위성 MTSAT을 이용한 지표면 온도의 산출 연구로 곽서연 등(2007)은 동아시아 기후 조건에 적합한 LST 알고리즘 개발을 위해 여러 다른 알고리즘(Sobrino and Romaguera, Praga and Cechet, MLS/MLW)과 KLST간 비교를 통하여 보다 향상된 지표면온도 산출 결과의 유효함을 판별하였다. 김지현(2009)에서는 MTSAT-2자료로 지표면 온도 산출식을 개발하여 도심지역의 열섬 분포에 대한 연구에서 MODTRAN4 모형으로 산정된 MTSAT-2의 지표면 온도의 회귀식을 3가지 경우에 대해서 산출하여 Terra위성과 비교를 통해 자세한 연구가 이뤄져야 할 것이라고 시사하였다.

기존의 궤도위성의 장점은 지구를 회전하면서 관측하기 때문에 전 지구적인 부분을 관측하기에는 편리하다. 하지만, 한 부분을 관측하는 시간이 한정되는 단점이 있는 등 시공간적 변동성이 심한 인자의 변화 양상을 파악·해석하기가 쉽지 않다. 반면, 정지위성인 COMS는 위와 같은 단점들의 문제를 해결할 수 있고, 공간적인 변화에 대한 분포를 보다 잘 나타낼 수 있다.

본 연구에서 COMS의 공간적인 분포를 확인하며, COMS

지표면온도와 Terra/Aqua 두 위성의 MODIS LST (MOD11A1)의 비교를 통해 상관성을 분석하여 천리안 위성의 실질적인 적용가능성에 대해서 알아보려고 한다.

2. 연구방법

2.1 천리안 위성(COMS: Communication, Ocean and Meteorological Satellite)

천리안 위성 (COMS)는 국가우주개발중장기계획에 따라서 2003년에 사업을 시작하여, 통신해양기상위성으로 2010년에 발사된 우리나라의 최초의 정지궤도복합위성이다. 이 위성은 기상 및 해양 관측이 가능할 뿐만 아니라 국산의 Ka 밴드 통신탑재체가 탑재되어있으며, 천리안의 기상센서(Meteo Imager; MI)의 기본성능은 미국의 GOES 8호~13호, 일본의 MTSAT-2에도 탑재되어있는 센서와 동일하다(Table 1). 천리안 위성은 지구적도상공 36,000 km, 동경 128.2도에 위치하며, 15분 간격(긴급시 8분)으로 자료가 생성되어 시공간적으로 양질의 데이터를 취득할 수 있다. 기상위성센터에서는 효과적인 데이터 처리를 위하여 기상자료처리시스템(COMS Data Processing System: CMPDS)을 구축하였으며, 이는 실시간으로 다양한 종류의 인공위성데이터를 산출할 수 있다(강전호와 서명석, 2008).

Table 2와 같이 COMS에서는 각각 연구에 적합하게 관측범위를 영역별로 분류하여 제공하고 있으며, 제공되는 product로는 Level 1과 Level 2자료가 있다. Level 1자료는 밴드별 이진파일로, Level 2자료는 다양한 분석영상으로 제공된다. 하지만 아직 많은 product가 완벽히 제공되지 않으며, 차후 계속적으로 업데이트 될 예정이다.

다양한 지표면 온도 산출 방법 중 COMS에서는 대기에 의한 흡수효과가 상이한 두 파장역(IR1, IR2)을 통해 대기효과를 보정하는 분리대기창(Split-Window: GSW) 방법을 이용하였다. 두 밴드의 방출률을 구하기 위해서는 NDVI의 실시간 산정이 필요하나 COMS에서는 직접적으로 산출할 수가 없다. 따라서 이를 다른 위성을 통해 산정하여, 각 밴드별 화소의 식생비율(Fraction of Vegetation, FVC)을 구하고, International Global Biosphere Programme (IGBP)에 의한 17개의 지면 피복토양과 식생의 최대 방출률 값을 산정한다. 이를 Vegetation Cover Method (VCM)으로 각 채널별 방출률을 산출하여 지표면 온도(LST, Land Surface Temperature)를 구한다(기상연구소, 2007: 강전호와 서명석, 2008: Hong et al., 2009).

본 연구에서는 COMS 위성으로부터 북반구 확장자료

Table 1. Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) Characteristic (http://nmsc.kma.go.kr/)

MI (Meteo Imager) Sensor System Characteristics				
Channel (1 visible, 4 infrared)	Center Wavelength (μm)	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution (km)	Band Utility
Visible (VIS)	0.675	0.55 ~ 0.8	1 × 1 km	Forest fire, Asian dust, Weekly cloud image etc.
Shortwave Infrared (SWIR)	3.75	3.5 ~ 4.0	4 × 4 km	Land surface Temperature, Forest fire, etc.
Water Vapor (WV)	6.75	6.5 ~ 7.0	4 × 4 km	Mid and upper atmospheric humidity, upper atmospheric motions
Infrared 1 (IR 1)	10.8	10.3 ~ 11.3	4 × 4 km	Sea surface temperature, cloud information, Asian dust
Infrared 2 (IR 2)	12.0	11.5 ~ 12.5	4 × 4 km	Sea surface temperature, cloud information, Asian dust
Mass	2.5 tons			
Operational	7 years			
Launch	June 27, 2010			
Altitude	36.000 km			
Time interval	15 min (Emergency 8 min)			
Location	128.2 (degree) East longitude			

Table 2. COMS Meteorological Elements (http://nmsc.kma.go.kr/)

COMS Observation Area	Global, Korea, Asia, East Asia, West Asia etc.
COMS Level 1	적외영상1, 적외영상2, 단파적외영상, 수증기영상, 합성영상, 강조영상
COMS Level 2	구름탐지, 1일·5일·10일 평균온도, 지표면 온도, 1일·8일 평균해빙/적설, 표면도달일사량, 상층수증기량, 강수량, 운정온도, 운정기압, 운정고도, 운형, 운량, 구름상, 구름광학두께, 안개, 강우강도, 지구방출복사량, 에어로솔탐지, 에어로솔광학두께, 대기운동벡터-가시, 대기운동벡터-단파적외, 대기운동벡터-수증기, 대기운동벡터-적외

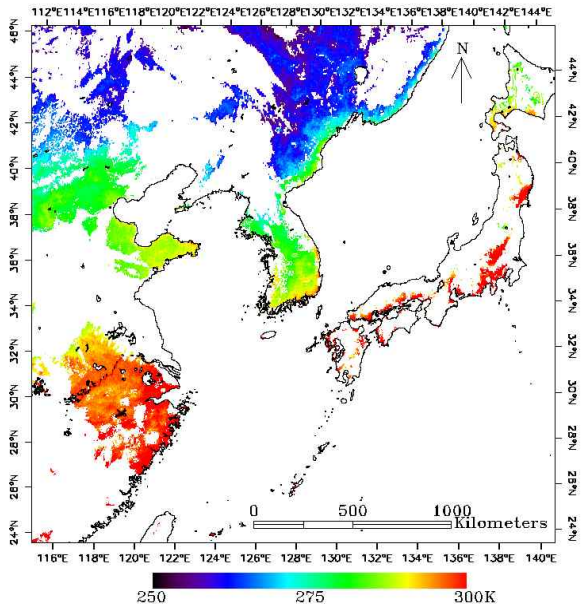


Fig. 1. Sample Image of COMS LST (K)

(1934×1544), 공간해상도 4×4 km로 산출되는 기상·지상학적 요소(Level 2)인 지표면온도(LST)자료를 사용하였다(Fig. 1). 인공위성 자료는 지구의 곡률, 위성의 자세, 좌표투영법의 차이 등으로 인하여 기하학적인 휘어짐(왜곡)이 이루어진다. 이러한 왜곡이 발생하는 원 영상을 Fig. 2와 같이 절대적 위치(실제의 이미지)의 자료와 가장 근사하게 (재배열) 나타내는 내삽법(neighbor)을 사용하였다. 또한 COMS 영상과 MODIS 영상은 공간해상도가 서로 다르므로 Geo-referencing 방법을 이용하여 연구에 적합하게 한반도영역을 subset하였고, 650×650 격자크기의 공간해상도 1×1 km로 Downscaling 하였다(Liu and Pu, 2008; 최진우 등, 2008; 이순환 등, 2009; 서찬양과 최민하, 2011).

2.2 MOderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Sensor

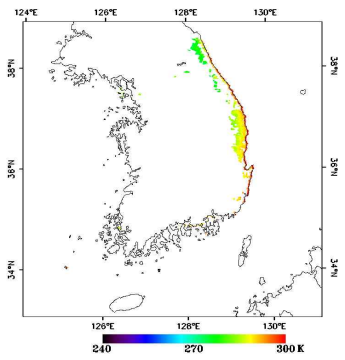
MODIS는 NASA의 관측위성인 Terra/Aqua위성에 각각 탑재되어있고, 총 36개 밴드로 구성, 0.4~14.4 μm의 파장영역을 가지고 있어 대기관측 및 해양과 육상 관측이 가능한 다목적 센서이다(Van Leeuwen, et al., 2011; Miliaresis, 2009).

최근 MODIS를 활용하여 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 MODIS는 불규칙성이 많은 수문기상학적인 인자를 측정하기 위한 노력으로 많은 Product를 제공하고 있으며 그 중 본 연구에서 적합한 지표면온도를 산출하기 위해 MOD11A1 (Land Surface Product)를 이용하였다. MOD11A1 자료는 방출률(emissivity), 천청각(zenith angle), 지표면 온도 등의 정보를 포함하고 있다. MOD11A1 LST는 COMS와 동일한 방법인 분리대기창으로 산출된 온도로 MODIS band의 31번(10.8 μm)과 32번(12.0 μm)을 사용하여 산출되며(Momeni and Saradjian, 2007), 각 band의 공간해상도는 1×1 km, map projection은 Sinusoidal Projection (SIN)으로 되어있어 이를 연구목적에 맞도록 TM좌표로 변환하였다. 또한 COMS의 자료와 비교하기 위해 앞절과 동일하게 한반도 지역을 subset하여 650×650 격자크기의 공간해상도 1×1 km로 구성하였다(최진우 등, 2008; 이순환 등, 2009; 김지현, 2011; Hong et al., 2011).

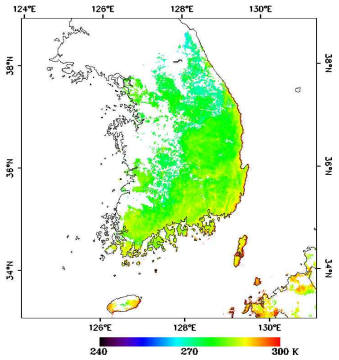
3. 결과 및 고찰

3.1 지표면 온도 산출 비교

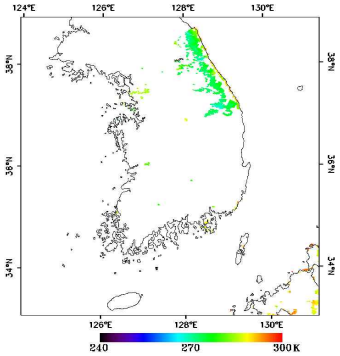
본 연구에서는 COMS의 시간대 별 MODIS (Aqua/Terra)자료간의 비교 및 관측 자료와의 일평균 온도에 대해 검증하였다. 일일관측횟수가 2회인 MODIS(Aqua/Terra)의 정확한 관측시간을 확인하기 위하여 국가기상위성센터(National Meteorological Satellite center)의 자료를 참조하였다(Table 3). Table 3에서와 같이 Aqua와 Terra의 한반도를 대상으로 한 관측은 각각 거의 동일한 시간을 기준으로 이루어진다. 하지만 관측방법이 다른 위성간의 관측시간의 일치성에 다소 문제가 있으나, 15분마다 관측되는 COMS와 근접한 시간대를 결정하여 비교를 하였다(Fig. 2). 연구 기간의 MODIS night time 지표면 온도의 수득률이 적어 Day time만을 사용하여 비교·검증



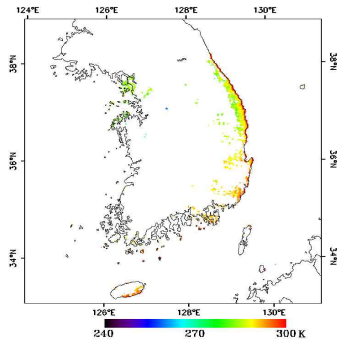
(a-1) Terra LST 2012.01.01 (Daytime)



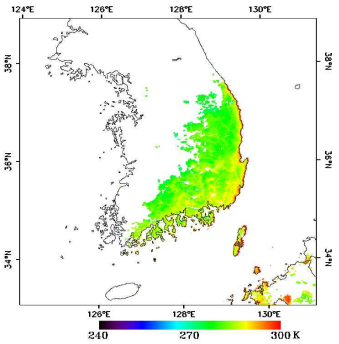
(b-1) Terra LST 2012.01.02 (Daytime)



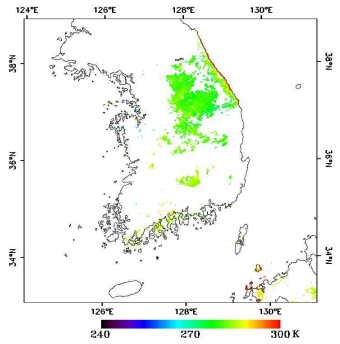
(c-1) Terra LST 2012.01.03 (Daytime)



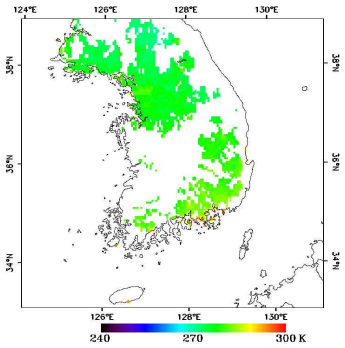
(a-2) Aqua LST 2012.01.01 (Daytime)



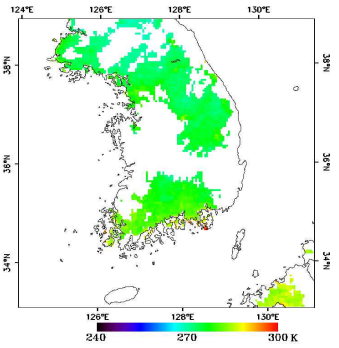
(b-2) Aqua LST 2012.01.02 (Daytime)



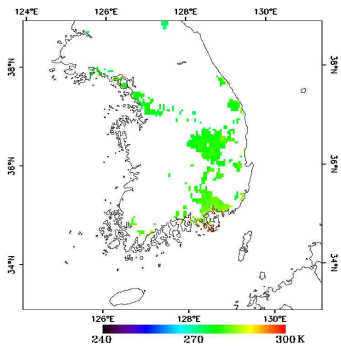
(c-2) Aqua LST 2012.01.03 (Daytime)



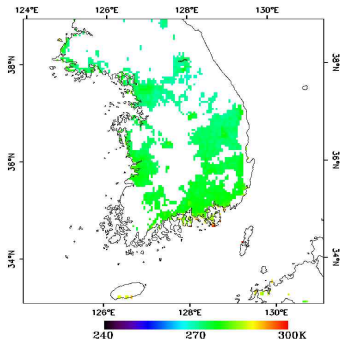
(a-3) COMS LST 2012.01.01. 10:30



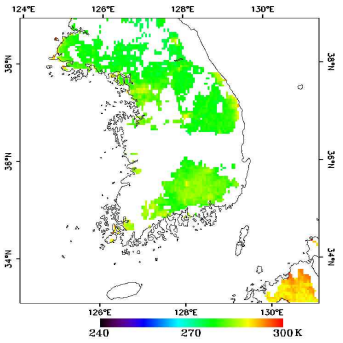
(b-3) COMS LST 2012.01.02. 11:15



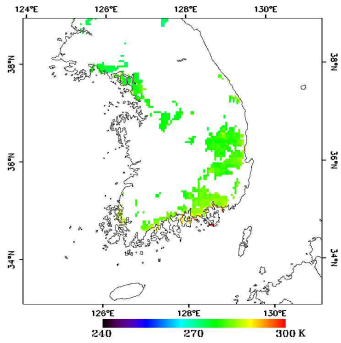
(c-3) COMS LST 2012.01.03. 12:00



(a-4) COMS LST 2012.01.01. 13:45



(b-4) COMS LST 2012.01.02. 12:45



(c-4) COMS LST 2012.01.03. 13:30

Fig. 2. Image of LST for Three Satellites on Jan, 2012

Table 3. Observation Times of Terra/Aqua Satellite (http://nmsc.kma.go.kr/)

Date	Day/Night	Time (Terra)	COMS	Time (Aqua)	COMS
Jan 1, 2012	Day	10:34	10:30	13:49	13:45
	Night	21:15	21:15	02:24	02:30
Jan 2, 2012	Day	11:16	11:15	12:55	12:45
	Night	22:19	22:15	01:51	01:45
Jan 3, 2012	Day	11:59	12:00	13:37	13:30
	Night	23:02	23:00	02:20	02:15

하였다. COMS 지표면 온도간의 검증을 위한 실측자료로 기상청에서 운용 중인 기상대에서 제공하는 3시, 9시, 15시, 21시에 대한 평균 자료를 이용하였다. 두 자료 간의 비교가 가능하도록 15분 간격의 LST자료를 각 격자별로 일평균(총 96회 관측)하였다(기상연구소, 2007; 염종민 등, 2008; 장현성 등, 2011).

Fig. 2에서와 같이 Terra/Aqua에서 관측된 시간과 동일한 시간대에 관측이 어려운 부분에 대해서는 가장 근사한 시간의 COMS 자료를 이용하여 지표면 온도를 비교하였다. 또한 Fig. 2에서 보듯이 기존의 MODIS (Aqua/ Terra)는 구름 및 태양, 전파장애 등의 간섭으로 인하여 결측 되는 지역이 발생하지만, 15분마다 관측하는 정지위성인 COMS는 상대적으로 많은 지점에서 안정적으로 지표면 온도를 관측하는 것으로 보아 궤도 위성과 비교하였을 때, 궤도위성보다 기상학적 요소의 시간적 변동성을 파악하기에 효과적이라고 생각된다. 본 연구에서 기간은 MODIS (Aqua/ Terra)와 비교가 가능한 2012년 1월 1일에서 1월 3일을 선택하였다. 하지만 1월 1일과 3일은 MODIS의 수득률이 적어 최종적으로 1월 2일 자료를 검증에 사용하였다.

3.2 MODIS를 이용한 지표면 온도 검증

COMS의 지표면 온도 검증을 위해 2012년 1월 2일 자료를 사용하였다. 사용된 검증 방법으로는 관측값과 모델값을 비교하여 어느 정도의 오차를 가지고 있는지를 나타내는 Bias (mean error), RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error), IOA (Index Of Agreement)를 이용하였다.

$$Bias = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)^2}$$

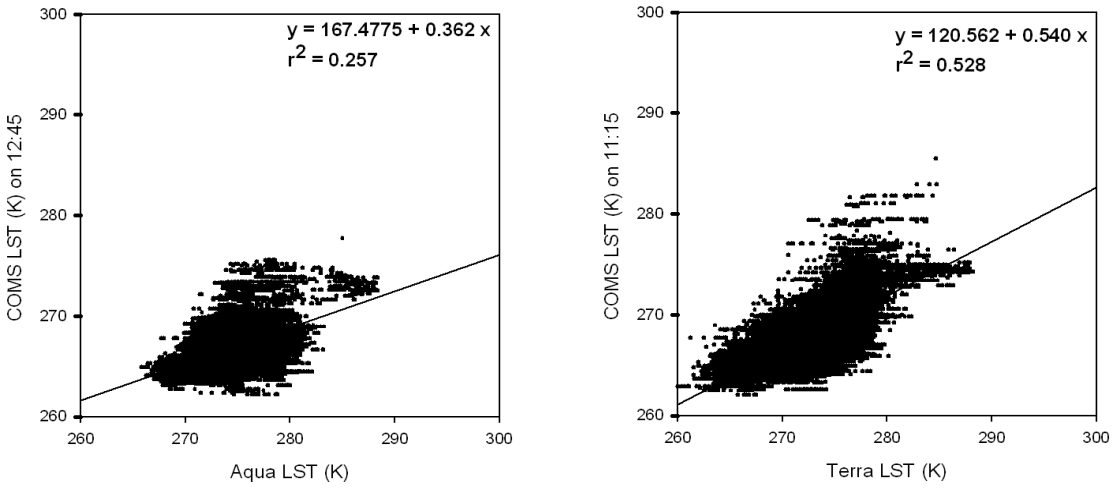
$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i|$$

$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{O_i - M_i}{Oi}\right|$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|M_i - \overline{M}| + |M_i - \overline{O}|)^2}$$

여기서, M은 model (COMS 지표면 온도)의 값, O은 관측값(MODIS, Gauging Station), $\overline{M}$, $\overline{O}$은 요소의 평균, N, n은 요소의 개수이다. Bias, RMSE, MAE, MAPE는 "0"의 값에 가까울수록 model과 관측값 간의 유사성을 나타낸다. Bias는 양의 값이면 모델의 과대평가, 음의 값이면 모델의 과소평가를 나타내며, IOA는 "1"에 가까울수록 model과 관측값 간의 유사성을 나타낸다.

Fig. 3(a), (b)를 보면 겨울철 낮 시간에 대한 두 인공위성의 일치성을 나타낸 것이다. MODIS (Aqua/Terra)에 비해 COMS가 전반적으로 동일한 픽셀에서 과소산정 되었으며, 각 비교에서 나타난 결정계수는 (a)는 0.257, (b)는 0.528의 값으로 나타났다. 이 자료에 대하여 통계분석을 사용해 자료간의 적합성 판별을 실시하였다. Table 4에서 보듯이 평균적인 편향성을 나타내는 편의(Bias)가 case 1 (Aqua vs. COMS)은 -7.85 K, case 2 (Terra vs. coms)에서는 -3.26 K로 이는 COMS 지표면온도가 두 위성에 비해 과소산정이 되는 것을 의미한다. 각 자료의 연관성을 나타내는 상관계수(Correlation coefficient)는 case 1에서 0.51, case 2는 0.73으로 높게 산정되어 Terra가 Aqua보다 COMS와 연관성이 있다고 판단된다. COMS의 표본 오차를 평가하기 위한 RMSE, MAE는 case 1은 8.39 K, 7.85 K, case 2에서는 4.68 K, 3.31 K로 case 2가 더 적은 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다. MAPE는 case 1보다는 case2가 더 적은 오차(%)를 산출하였으며, IOA도 또한



(a) Aqua vs. COMS (b) Terra vs. COMS

Fig. 3. Scatter Plots of Land Surface Temperatures on the Different Satellites

Table 4. Comparison of Statistical Analysis (** : α 〉 0.01, * : α 〉 0.05)

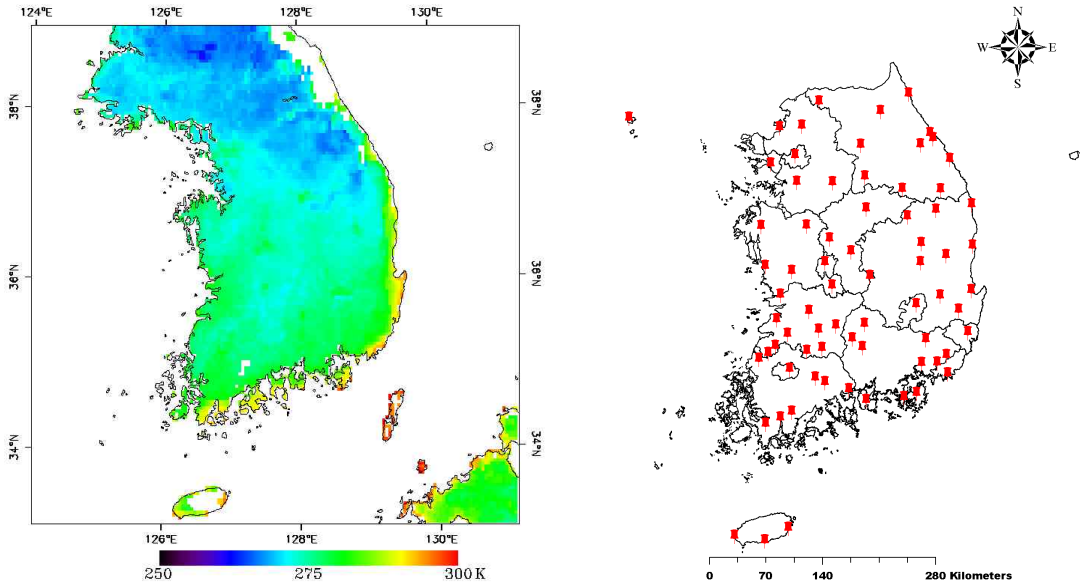
	Bias (K)	R	RMSE (K)	MAE (K)	MAPE (%)	IOA
case 1. Aqua vs. COMS	-7.85	0.51**	8.39	7.85	2.85	0.3
case 2. Terra vs. COMS	-3.26	0.73**	4.68	3.31	1.20	0.71

case 2가 더 좋은 결과를 나타내었다. Aqua의 경우 정확한 시간대의 COMS자료와 비교할 수 없었기 때문에 상대적으로 시간에 대한 변동성인 큰 지표면 온도의 연관성이 적어 전체적인 상관계수가 작게 나타났다고 추정된다. 그러나 이 시간의 차는 15분 이내로 비교적 작은 차이로 여겨지므로, 전반적인 통계분석 결과를 통해 Aqua보다는 Terra가 COMS와 좀 더 비슷한 경향을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

3.3 지점 지표면온도를 이용한 검증

앞에서 Aqua/Terra 위성과 COMS에 대한 상호 비교를 통해 COMS의 실효성을 확인하고자 하였다. 그러나 각각의 인공위성간의 비교는 관측하는 센서의 차이, 천청각의 차이, 구름, 알고리즘의 차이 등에 따라서 측정되는 값의 차이가 생겨 불확실성에 대한 오차를 크게 만들게 된다. 따라서 실제 관측 값과 COMS 지표면온도를 비교할 필요가 있다. 위의 본문에서 언급했듯이 기상청에서는 각 관측소에 지표면 온도의 평균값(3시, 9시, 15시, 21시의 평균)을 제공한다. 이 일평균 데이터와의 비교를 위하여 COMS 지표면 온도를 일평균 데이터로 변환하였다(Fig. 4(a)). Table 5에서 보듯이 지표면 온도가 관측되는 기상대 약 98개소 중 74개소가 COMS 지표면 자료와 비교·검증이 가능하였다(Fig. 4(b)). 이 지점들은 한 지역에 편중된 것이 아니므로 한반도 전체적인 지점에서의 지표면 온도를 추출할 수 있어 상관성을 분석하는데 유효할 것으로 판단된다. Fig. 4(a)에서 나타난 것과 같이 해안선에서의 지표면온도는 육지 지역에 비해 높은 값이 산출되는 것을 볼 수 있는데, 이는 겨울철에 해수의 열이 연안지역의 지표면온도에 영향을 미치는 것을 나타낸다. 또한 이 Fig에서 산악 지역이 평야 지역보다 온도가 낮게 산출되는 것을 알 수 있다.

최종적으로 COMS와 지상관측소 간의 정확도 분석을 위해 지상관측 지점과 동일한 좌표 지점에서의 COM에서 산출된 지표면온도의 값을 비교해본 결과를 Table 6과 Fig. 5에 나타내었다. COMS 일평균 지표면온도는 총 74지점에서의 지표면온도보다 평균적으로 -1.64 C° 정도 적게 산출되는 것을 확인하였다. 이는 Terra/Aqua와 비교했을 때와 같이 COMS가 두 위성보다는 지표면온도를 과소산정 하는 것으로 설명된다. 관측값과 COMS의 연관성을 나타내는 상관계수가 0.65로 두 데이터가 연관성을 가지고 있었으며, 표본오차를 나타내는 RMSE, MAE는 3.07 C°, 2.45 C°의 오차를 나타내고 있다. 관측치와 모델치(COMS)의 일치도를 나타내는 IOA가 0.81로 정량적으로 높은 정확도를 나타내고 있다.



(a) COMS Land Surface Temperature of Daily (b) Location of Gauging Station (Observation)

Fig. 4. Study Area and Location of Observation

Table 5. Location of Observation for Land Surface Temperature

Site	Location (degree)		Site	Location (degree)		Site	Location (degree)		Site	Location (degree)	
	Lat	Long		Lat	Long		Lat	Long		Lat	Long
서울	37.57	126.96	동해	37.50	129.12	남원	35.40	127.33	대구	35.88	128.61
백령도	37.96	124.63	태백	37.17	128.98	장수	35.65	127.52	봉화	36.94	128.91
동두천	37.90	127.06	충주	36.97	127.95	순창	35.37	127.12	영주	36.87	128.51
문산	37.88	126.75	청주	36.63	127.44	광주	35.17	126.89	영천	35.97	128.95
인천	37.47	126.62	추풍령	36.21	127.99	진도	34.46	126.31	청송군	36.43	129.04
수원	37.27	126.99	보은	36.48	127.73	고창(구)	35.42	126.69	경주	35.81	129.20
양평	37.49	127.49	서산	36.77	126.49	고창(신)	35.34	126.59	부산	35.10	129.03
이천	37.26	127.48	대전	36.36	127.37	영광	35.28	126.47	울산	35.56	129.32
철원	38.14	127.30	천안	36.77	127.12	순천(구)	35.07	127.23	북창원	35.22	128.67
춘천	37.80	127.73	보령	36.32	126.55	순천(신)	35.02	127.36	통영	34.84	128.43
원주	37.33	127.94	부여	36.32	126.92	장흥	34.68	126.91	거창	35.67	127.91
인제	38.06	128.17	금산	36.10	127.48	해남	34.55	126.56	밀양	35.49	128.74
홍천	37.68	127.88	군산	36.00	126.76	강진군	34.62	126.76	산청	35.41	127.87
북강릉	37.80	128.85	전주	35.82	127.15	광양	34.94	127.69	거제	34.88	128.60
강릉	37.75	128.8	부안	35.72	126.71	울진	36.99	129.41	남해	34.81	127.92
속초	38.25	128.56	임실	35.61	127.28	안동	36.57	128.70	김해시	35.22	128.89
대관령	37.67	128.71	정읍	35.56	126.86	포항	36.03	129.37	양산	35.30	127.74
함양군	35.51	127.74	고산	33.29	126.16	서귀포	33.24	126.56	성산	33.38	126.88

본 연구의 결과, COMS 지표면온도는 실측치와 비교하였을 때, 약간 과소산정되는 경향이 보였다. 이는 일조량, 바람, 지형, 식생에 의한 변화량이 큰 지표면 온도를 4 km 해상도의 자료와 지점자료의 비교 과정에서 발생한 것으로 판단되며, 따라서 지점에 대한 지표면 온도와 공간적으로 평균된 지표면 온도와의 차이가 크지 않는 것으로

Table 6. The Validation Result between Estimated Observation and COMS (** : α 〉 0.01, * : α 〉 0.05)

	Bias (C°)	R	RMSE (C°)	MAE (C°)	MAPE (%)	IOA
Observe vs. COMS	-1.64	0.65**	3.07	2.45	3.75	0.81

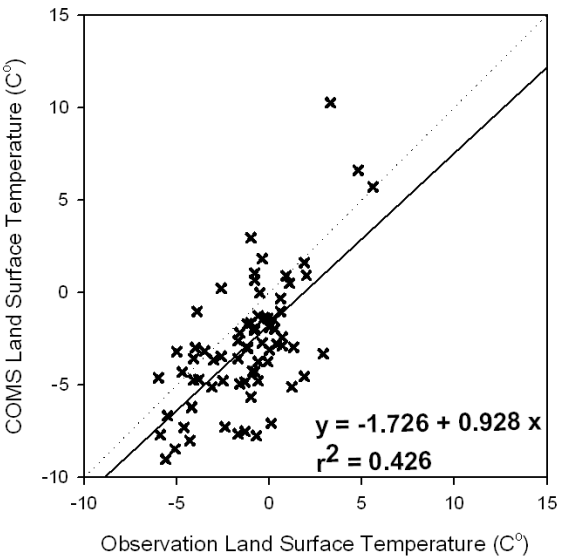


Fig. 5. Scatter Plots of Land Surface Temperatures on Observation vs. COMS

보아 COM의 활용성이 있을 것으로 생각된다. COMS 일평균으로 인한 오차와 지상관측 지점의 총 4회의 관측의 일평균에 대한 오차는 추후 고려해야 할 것으로 보이며, 구름에 대한 영향으로 관측이 되지 않은 부분의 보정과 COMS의 기계적 문제로 인한 미관측, 지상관측지점의 시단위의 관측 등의 영향 또한 반영되어야 할 것으로 생각한다.

4. 결 론

정량화된 지표면 온도는 수문기상순환 에너지 흐름 및 수문학, 생태학, 기상학의 이해에 필요한 중요한 자료로써, 각종 수문, 식생, 환경 등의 인자에 영향을 주며, 다양한 수치모델, 기후 현업모델 등의 기초자료로 널리 이용된다. 이러한 중요성에도 불구하고 지표면 온도에 대한 정량화된 자료가 실질적으로 부족한 실정이다. 직접적인 지표관측의 경우 공간적으로 관측지점의 불규칙, 관측지점의 제한성, 환경·지리적, 기후요소 등이 상세적으로 반영되는데 한계를 가지고 있다. 반면, 원격탐사기법을 적용한 인공위성 데이터는 공간적인 분포와 시간에 대한 반복성을 장점으로 갖추고 있으며, 일반적인 관측이 어려운 지역에서도 산출이 가능하다.

본 연구에서는 COMS 지표면 온도로부터 한반도의 공간적 분포도를 작성하였으며, COMS의 적용성을 판별하기 위해 세계적으로 많은 연구가 이뤄진 MODIS 센서를 탑재한 위성과의 비교·검증을 실시하였다. 실제적인 비교를 위해 지상 관측지점과의 비교 검증을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다. 먼저 MODIS (Aqua/Terra)의 지표면 온도와 COMS의 비교분석을 위한 650×650 격자크기의 TM 좌표로의 변환 및 시간대 불일치를 해결하기 위한 가까운 시간대의 자료와의 비교를 실시하였다. 다음으로 일평균으로 나타나는 관측치 값을 비교하기 위해 동일한 좌표의 COMS 데이터를 추출하였으며, 15분 단위로 제공되는 데이터를 일평균으로 사용하여 COMS의 적용가능성을 비교·검증하였다. 앞서 언급한 것처럼, COMS와 Aqua/Terra의 비교에서는 Terra가 좋은 결과를 나타내었으나, Aqua 위성의 동일한 시간을 비교하기가 어려워 상관성이 적었던 것으로 판단된다. 또한 결측치가 생기는 부분을 제외하고는 세 위성의 관측한 부분이 전체적으로 동일한 경향(지표면 온도 분포)을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 COMS가 실제 관측값과 많은 편차를 보이지 않으며 유사한 경향을 나타내는 것으로 보아 COMS의 유용성이 높은 것으로 판단된다. 비록 겨울철의 지표면 온도자료를 사용하여 COMS의 정확성 및 이용가능성을 판별하기에는 다소 한계가 있으나, 하루에 96회 관측을 통해 자료의 획득의 용이성과 반복성의 장점을 지니며 한반도뿐만 아닌 아시아 영역에서 기상학적 요소의 시공간적인 변화를 판별할 수 있기 때문에 심도 있는 연구가 진행될 수 있을 것으로 생각된다. MODIS 및 COMS의 센서와 알고리즘의 특성상 구름 및 태양의 복사 등 외부적인 요인으로 인해 발생하는 결측치는 알고리즘의 보정 등의 보다 발전된 연구가 이뤄져야 할 것으로 보여지며, 계절적인 문제와 낮/밤의 지표면 온도에 대한 검증 또한 실시되어야 할 것이다. 현재 COMS의 연구진행 상황은 기초연구단계에 불과하나, 이후 자료의 축적을 통해 보다 다양한 방면에 대한 연구가 가능하다고 생각된다. 본 연구를 통해 COMS를 이용한 지표면 온도산정에 대한 추후 연구에 도움이 되었으면 한다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것임 (0002516). 천리안 위성자료를 제공해 주신 국가기상위성센터 관계자분들에게 감사를 전합니다.

참고문헌

강전호, 서명석 (2008). “COMS 자료로부터 지면온도 도출을 위한 방출률 자료 산출.” **한국기상학회 학술대회 논문집**, 한국기상학회, pp. 320-321.

곽서연, 서명석, 강전호 (2007). “MTSAT-1R 자료를 이용한 지표면온도 산출 및 분석.” **대한원격탐사학회 2007년도 춘계학술대회 논문집**, 대한원격탐사학회, pp. 271-276.

권혁춘, 이병걸 (2009). “Landsat TM 영상을 이용한 제주도 도심지역 지표면온도분포와 식생지수의 상관성 분석.” **한국지형공간정보학회지**, 한국지형공간정보학회, 제17권, 제4호, pp. 39-44.

기상연구소 (2007). 통신해양기상위성 개발사업(IV) : 통신해양기상위성 기상자료처리시스템 개발(IV). 기상청, DOI: KISTI2.1015/RPT.TRKO200700008705.

기상청, http://www.kma.go.kr/

김지현 (2009) MTSAT-2자료를 이용한 지표면 온도 산출 및 동아시아 지역의 도시열섬 평가. 석사학위논문, 공주대학교.

국가기상위성센터, http://nmsc.kma.go.kr/

나상일, 박종화 (2008). “Landsat ETM+영상의 지표면온도와 NDVI 공간을 이용한 광역 증발산량의 도면화.” **한국농공학회논문집**, 한국농공학회논문집, 제50권, 제3호, pp. 115-123.

박민호, 박정일 (2008). “Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 함평만지역 지표면온도와 NDVI의 상관관계 분석.” **2008년도 한국지적정보학회 추계학술대회 발표논문집**, 한국지적정보학회, pp. 71-82.

박민호, 이점숙, 박정일 (2008). “Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 함평만지역 지표면온도와 NDVI의 상관관계 분석.” **한국지적정보학회지**, 한국지적정보학회, 제10권, 제2호, pp. 107-115.

박종화, 김진수, 나상일 (2006). “LANDSAT영상을 이용한 여름철 청주지역의 토지피복과 지표면온도와의 관계 분석.” **한국농공학회논문집**, 한국농공학회, 제48권, 제5호, pp. 39-48.

서찬양, 최민하 (2011). “인공위성 영상 자료를 이용한 두 공간 증발산 산정 모형의 비교 분석.” **한국습지학회지**, 한국습지학회, 제13권, 제3호, pp. 35-39.

이순환, 안지숙, 김해동, 황수진 (2009). “MODIS 자료를 이용한 한반도 지표면 온도산출 알고리즘의 비교 연구.” **한국환경학회지**, 한국환경학회, 제18권, 제4호, pp. 355-367.

염종민, 한경수, 이창석, 김도용 (2008). “표면도달일사량 검증 시 발생하는 시간 불일치 조정을 통한 정확한 일사량 검증: MTSAT-1R 자료 이용.” **대한원격탐사학회지**, 대한원격탐사학회, 제24권, 제6호, pp. 605-612.

장현성, 송환진, 전형욱, 손병주, 타카무라 타미오 (2011). “SKYNET 관측 자료를 이용한 동아시아 영역에서의 MODIS 에어로솔 광학 두께 산출물 검증.” **한국지구과학학회지**, 한국지구과학회, 제32권, 제1호, pp. 21-32.

최진우, 최재영, 양영규 (2008). “MODIS 센서 영상을 이용한 한반도 식생 분석 및 Google Earth 기반 표현 기법 연구.” **한국GIS학회 2008 공동춘계학술대회**, 한국공간정보학회, pp. 353-358.

Becker, F., and Li, Z.L. (1990). “Toward a local split window method over land surface.” *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, No. 3, pp. 369-393.

Hong, Ki-OK, Suh, Myoung-Seok, and Kang, J-H (2009). “Development of a Land Surface Temperature-Retrieval Algorithm from MTSAT-1R Data.” *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences,* Vol. 45, No. 4, pp. 411-421.

Hong, S.H., Hendrickx, J.M.H., and Borchers, B. (2011). “Down- scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250 m) to Landsat (30 m) scales.” *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 21, pp. 6457-6477.

Liu, D., and Pu, R. (2008). “Downscaling thermal infrared radiance for subpixel land surface temperature retrieval.” *Sensors,* Vol. 8, No. 4, pp. 2695-2706.

Miliaresis, G.C. (2009). “Regional thermal and terrain modelling of the Afar Depression from MODIS multi-temporal monthly night LST data.” *International Journal of Remote Sensing,* Vol. 30, No. 9, pp. 2429-2436.

Momeni, M., and Saradjian, M. (2007). “Evaluating NDVI-

based emissivities of MODIS bands 31 and 32 using emissivities derived by Day/Night LST algorithm." *Remote Sensing of Environment,* Vol. 106, No. 2, pp. 190-198.

Price, J.C. (1984). "Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7 Advanced Very High Resolution Radiometer." *Journal of Geophysical Research,* Vol. 89, No. D5, pp. 7231-7237.

Ulivieri, C., Castronouvo, M.M., Francioni, R., and Cardillo, A. (1994). "A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites." *Advances in Space Research,* Vol. 14, No. 3, pp. 59-65.

Van Leeuwen, T.T., Frank, A.J., Jin, Y., Smyth, P., Goulden, M.L., Van der Werf, G,R., and Randerson, J.T. (2011). "Optimal use of land surface temperature data to detect changes in tropical forest cover." *J Geophys Res,* Vol. 116, DOI:10.1029/2010JG001488.

Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, O., and Li, Z.L. (2002). "Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, No. 1-2, pp. 163-180.

Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, O., and Li, Z.L. (2004). "Quality assessment and validation of the MODIS global land-surface temperature." *International Journal of Remote Sensing,* Vol. 25, No. 1, pp. 261-274.

논문번호: 12-033	접수: 2012.03.27
수정일자: 2012.05.01/05.11	심사완료: 2012.05.11