최근 MODIS 자료(2009-2012)를 이용한 천리안 관측 지역의 적외채널 방출률 자료 개선

박기홍 · 서명석[†]

공주대학교 대기과학과

Improvement of infrared channel emissivity data in COMS observation area from recent MODIS data(2009-2012)

Ki-Hong Park and Myoung-Seok Suh[†]

Department of Atmospheric Science, Kongju National University, Gongju, Korea

Abstract : We improved the Land Surface Emissivity (LSE) data (Kongju National University LSE v.2: KNULSE_v2) over the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) observation region using recent(2009-2012) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. The surface emissivity was derived using the Vegetation Cover Method (VCM) based on the assumption that the pixel is only composed of ground and vegetation. The main issues addressed in this study are as follows: 1) the impacts of snow cover are included using Normalized Difference Snow Index (NDSI) data, 2) the number of channels is extended from two (11, 12 μm) to four channels (3.7, 8.7, 11, 12 μm), 3) the land cover map data is also updated using the optimized remapping of the five state-of-the-art land cover maps, and 4) the latest look-up table for the emissivity of land surface according to the land cover is used. The updated emissivity data showed a strong seasonal variation with high and low values for the summer and winter, respectively. However, the surface emissivity over the desert or evergreen tree areas showed a relatively weak seasonal variation irrespective of the channels. The snow cover generally increases the emissivity of 3.7, 8.7, and 11 μm but decreases that of 12 μm . As the results show, the pattern correlation between the updated emissivity data and the MODIS LSE data is clearly increased for the winter season, in particular, the 11 μm . However, the differences between the two emissivity data are slightly increased with a maximum increase in the 3.7 μm . The emissivity data updated in this study can be used for the improvement of accuracy of land surface temperature derived from the infrared channel data of COMS.

Key Words : Land Surface Emissivity, Vegetation Cover Method, Snow Cover, MODIS

요약 : 본 연구에서는 최근(2009-2012)의 MODIS 자료를 이용하여 천리안위성 관측 지역의 지표면 방출

접수일(2013년 12월 12일), 수정일(1차 : 2013년 12월 26일), 게재확정일(2013년 12월 26일).

[†] 교신저자: 서명석(sms416@kongju.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

를 자료를 개선하였다(KNULSE_v2). 방출률 산출기법은 지표면이 식생과 토양으로만 구성되어 있다는 가정 하에 방출률을 계산하는 식생피복법(Vegetation Cover Method)를 이용하였다. 주요 개선 내용은 1) 적설지수를 이용하여 적설에 의한 방출률 변화를 고려한 점, 2) 산출채널을 기존 2개(11, 12 μm)에서 4개(3.7, 8.7, 11, 12 μm)로 확대한 점, 3) 가장 최근의 5가지 지면피복자료를 조합하여 양질의 지면피복분류 자료를 이용한 점, 그리고 4) 최근에 개선된 방출률 조건표를 사용한 점이다. 산출된 자료는 식생이 최대로 성장하는 여름에 비교적 높고 반대로 겨울에 낮은 방출률을 보이며 계절에 따른 변화가 뚜렷하게 나타났다. 반면 사막이나 열대 우림 등 식생의 변화가 크지 않은 곳에서는 계절에 따른 방출률 변동이 매우 적게 나타났다. 눈 덮임을 적용함에 따라 3.7, 8.7, 11 μm 채널에서는 방출률이 증가되었으나 12 μm 채널에서는 오히려 방출률이 감소되었다. 눈 덮임에 의한 방출률 변동을 고려한 결과 적설시 MODIS LSE와 유사한 방출률 변동 패턴을 보였으며, 북반구 고위도에 적설이 존재하는 11월부터 4월까지의 상관관계가 크게 개선되었다(특히 11 μm). 그러나 방출률 차는 상대적으로 증가되었고 특히 3.7 μm 채널에서 크게 나타났다. 본 연구에서 개선된 자료는 분리대기창 기반의 지표면온도 산출시 기초 입력자료로 사용하여 산출 정확도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

1. 서론

지표면 방출률(Land Surface Emissivity: LSE)은 지면에서 대기로 방출되는 복사휘도에 영향을 주어 지표면에서의 에너지 수지와 열적외 원격탐사 자료로부터 산출된 지표면온도의 정확도에 영향을 주는 지면정보의 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 지표면온도를 정확히 추정하기 위해서는 시·공간적으로 고해상도의 지표면 방출률 자료가 필요하다(Kornfield and Susskind, 1977). 최근에는 다양한 방법으로 도출된 방출률 자료들이 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS), METEOSAT Second Generation-1/Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager(MSG/SEVIRI), Advanced Along-Track Scanning Radiometer(AATSR), Multi-Functional Transport Satellite(MTSAT), 그 리 고 천 리 안 위 성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite: COMS) 등 다양한 위성자료로부터 지표면온도를 산출하는데 이용되고 있다(Prata, 2002; Peres and DaCamara, 2005; Wan, 2008; Hong *et al.*, 2009; Cho and Suh, 2013b). 또한 방출률 자료들은 수치 및 기후 모델의 지면-대기 상호작용, 복사 수지 등의 연구에 중요하게 사용되고 있다(Hulley and Hook, 2009; Li, 2010).

지표면의 방출률은 파장(λ)과 공간적으로 상이한 지면피복과 시간적으로 변동하는 식생량, 토양수분 및 눈 덮임(Snow cover)의 함수로서 시·공간적인 변동성이 매우 크다. 이러한 이유로 지표면온도 산출에 필요한 광

범위한 지역의 주기적인 현장관측 방출률 자료가 없기 때문에 최근에는 위성관측 자료를 이용하여 산출한다(Valor and Caselles, 1996; Jiang *et al.*, 2006; Sobrino *et al.*, 2008; KMA, 2012).

위성자료로부터 방출률을 산출하는 대표적인 방법으로는 식생피복법(Vegetation Cover Method: VCM) (Valor and Caselles, 1996)과, 온도와 방출률 분리법(Temperature and Emissivity Separation: TES) (Gillespie *et al.*, 1998), 온도-독립 열적외분광지수법(Temperature-Independent thermal infrared Spectral Index: TISI) (Becker and Li, 1990) 등이 있다. VCM은 지표면이 토양과 식생으로만 구성되어 있다는 가정 하에 방출률을 산출하는 방법이다. TES는 다중적외채널을 이용한 방법이며, TISI는 상대 방출률(relative emissivity) 산출에 탁월하다.

위성자료를 이용한 지표면 방출률 산출은 여러 한계점을 가지고 있다. TES, TISI 등과 같이 원격탐사 열적외 자료로부터 방출률을 산출할 경우 최소 2-3개의 적외채널 정보를 필요로 하며, 대기(주로 수증기)에 의한 흡수와 재방출의 영향 때문에 정확한 대기보정이 요구된다. 또한 결합된 지표면온도와 방출률을 분리하는 과정의 불확실성이 내재되어있다(Sobrino *et al.*, 2008). VCM과 같이 조건표를 이용하는 경험적 방법의 경우 식생과 토양의 방출률에 대한 선형적 지식을 필요로 하며, 토양수분 및 눈 덮임, 식생비율과 같은 계절변화 추정의 불확실성과 함께 지면피복의 분류정확도에 의존하는 한계점이 있다(Li *et al.*, 2012).

열적외 원격탐사 등 다양한 분야에서 현실적인 지표면 방출률 자료가 필요해짐에 따라 MODIS, Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies(CIMSS) 그룹 등 일부 지면 정보 연구그룹에서 고해상도의 전 지구 지표면 방출률 자료들을 산출하여 제공하고 있다(Seemann *et al.*, 2008; Wan, 2008). Park and Suh (2013)는 MODIS LSE, CIMSS LSE와 Kang and Suh (2008)가 도출한 아시아 지역 방출률 자료를 상호 비교한 결과 사막이나 열대 우림 등을 제외한 대부분 지역에서 채널에 관계없이 방출률의 시·공간적 변동에 큰 차이가 있음을 확인하였으며, 방출률 자료들이 일치하지 않는 것은 주로 산출기법, 사용된 지면피복자료의 특성, 합성주기 등 차이에서 비롯된 것으로 분석되었다. 또한 현재 국가기상위성센터에서 활용중인 지표면 방출률 자료(Kongju National University LSE v.1: KNULSE_v1)의 경우 오랜 기간 업데이트가 이루어지지 않아 지면피복의 변화 등을 고려하지 못하고 있으며, 산출 파장역이 11과 12 μm 로 국한되어 있다(Kang and Suh, 2008). 또한 눈 덮임에 의한 방출률 변화를 고려하지 못하는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 최근(2009-2012)의 MODIS 자료를 이용하여 현재 국가기상위성센터에서 활용중인 방출률 자료의 문제점을 개선하고자 한다. 방출률 산출기법은 비교적 간단하며 정확도 높은 방출률을 산출할 수 있어 현업차원에서 운용이 가능한 VCM을 이용하였다. 주요 개선 내용은 최근의 MODIS 식생지수 자료를 이용하는 점, 5개의 지면피복 자료들을 최적 융합하여 양질의 지면피복분류 자료를 이용한 점, 산출 채널을 2개에서 4개 채널로 확대(3.7, 8.7, 11, 12 μm) 하는 점 그리고 그동안 고려하지 않았던 눈 덮임의 영향을 반영하는 점이다.

2. 자료 및 연구방법

1) 자료

본 연구에서는 지표면 방출률 자료 산출을 위해 식생지수 자료, 지면피복분류 자료, 지면피복별 방출률 조건표, 가시 및 근적외 채널 반사율 자료로부터 산출한 적설지수 자료와 눈 덮임 자료를 사용하였다. 또한 산출된 방출률 자료의 산출 수준 평가를 위해 MODIS LSE 등의

전 지구 적외파장대 방출률 자료를 사용하였다.

식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)는 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration: NASA)에서 제공하고 있는 MODIS NDVI 자료중 합성주기가 8일이고 공간해상도가 1 km 인 MOD/MYD13A2의 2009년부터 2012년까지의 자료를 이용하였다(NASA - <https://lpdaac.usgs.gov/>). 이 자료는 최대치 합성법(Maximum Value Composite: MVC)으로 산출되었음에도 불구하고 구름 등으로 오염된 화소를 포함(특히 여름)하고 있어 이들을 탐지·복원하기 위하여 식생지수의 시·공간적인 연속성을 이용한 보정 기법인 Correction based on Spatial and Temporal Continuity(CSaTC) 기법(Cho and Suh, 2013a)을 적용하여 보정한 후 사용하였다.

양질의 지면피복분류 자료(Land cover)를 사용하기 위해 최근 공개된 총 5가지의 지면피복분류 자료를 최적으로 조합하여 사용하였다. 여기서 사용한 자료는 모델링 및 환경 분야에서 일반적으로 이용되고 있는 International Geosphere Biosphere Programme(IGBP) Data and Information System Cover(DISCOVER)와 University of Maryland(UMD) 지면피복, 위성기반의 지구변수산출에 사용되는 MODIS Land Cover(MCD12Q1)와 유럽우주청(European Space Agency: ESA)에서 제작된 GlobCover 2009 v2.3, 공주대학교 위성기상연구실에서 제작된 Kongju National University Land Cover v.2(KLC_EA_v2)이다. 자료들의 출처와 자세한 정보 및 특성을 Table 1에 나타내었다.

지면피복유형별 방출률 조건표는 산출 채널에 따라 2가지의 조건표를 사용하였으며 IGBP 17개 유형 순으로 Table 2에 나타내었다. 11과 12 μm 채널에는 Envisat-AATSR에 적용된 조건표(Coll *et al.*, 2012)를 사용하였고, 3.7과 8.7 μm 채널에는 MSG/SEVIRI에 적용된 조건표(Peres and DaCamara, 2005)를 사용하였다.

방출률 산출과정에서 시·공간적으로 큰 영향을 미치는 눈 덮임에 의한 방출률 변화를 고려하기 위해 MODIS 지표면 반사율 자료(MOD09A1)를 이용하여 적설지수(Normalized Difference Snow Index: NDSI)를 산출하여 사용하였다. 또한 보다 정확도 높은 적용을 위해 MODIS 눈 덮임 자료(MOD10A2)를 함께 이용하였다. 두 자료는 500 m 공간해상도와 8일 주기의 합성된 산출

Table 1. Characteristics of the five satellite derived global land cover datasets used in this study

	IGBP	UMD	MODIS (MCD12Q1)	Globcover 2009	KLC_EA_v2
Sensor	AVHRR	AVHRR	Terra/Aqua MODIS	MERIS	Terra/Aqua MODIS
Period of data collection	Apr 1992 - Mar 1993	Apr 1992 - Mar 1993	Jan 2012 - Dec 2012	Jan 2009 - Dec 2009	Jan 2006 - Dec 2008
Spatial resolution	1 km	1 km	500 m	300 m	1 km
Spatial coverage	Global	Global	Global	Global	Asia-Oceania Region 90°N, 50°E -60°S, 180°E
Classification technique	Unsupervised clustering	Supervised decision-tree classification	Supervised decision-tree classification	Generally unsupervised classification	Support Vector Machine
Classification scheme	IGBP 17 classes	Simplified IGBP 14 classes	IGBP 17 classes	FAO LCCS 22 classes	IGBP 17 classes
Source	USGS - GLCC http://edc2.usgs.gov/glcc/	Global Land Cover Facility (GLCF) http://glcf.umd.edu/	NASA - LP DAAC https://lpdaac.usgs.gov/	ESA Data User Element http://due.esrin.esa.int/globcover/	KNU Meteorological Satellite Research Lab.

Table 2. Emissivity lookup table copied from Peres and DaCamara (2005) and Coll *et al.* (2012)

IGBP Class	Vegetation_type				Ground_type				Descriptions
	IR3.7	IR8.7	IR11	IR12	IR3.7	IR8.7	IR11	IR12	
1	0.9964	0.9970	0.9890	0.9910	0.8252	0.9585	0.9700	0.9770	Evergreen Needleleaf forest
2	0.9964	0.9970	0.9890	0.9910	0.8252	0.9585	0.9700	0.9770	Evergreen Broadleaf forest
3	0.9949	0.9931	0.9730	0.9730	0.8252	0.9585	0.9700	0.9770	Deciduous Needleleaf forest
4	0.9949	0.9931	0.9730	0.9730	0.8252	0.9585	0.9700	0.9770	Deciduous Broadleaf forest
5	0.9956	0.9951	0.9890	0.9910	0.8252	0.9585	0.9700	0.9770	Mixed forest
6	0.9956	0.9951	0.9890	0.9910	0.7622	0.9400	0.9700	0.9770	Closed shrublands
7	0.9956	0.9951	0.9830	0.9890	0.7622	0.9400	0.9700	0.9770	Open shrublands
8	0.9900	0.9939	0.9730	0.9730	0.7622	0.9400	0.9700	0.9770	Woody savannas
9	0.9883	0.9941	0.9820	0.9855	0.7622	0.9400	0.9700	0.9770	Savannas
10	0.9867	0.9943	0.9830	0.9890	0.7622	0.9400	0.9700	0.9770	Grasslands
11	0.9842	0.9889	0.9910	0.9850	0.9842	0.9889	0.9910	0.9850	Permanent wetlands
12	0.9950	0.9940	0.9830	0.9890	0.7807	0.9513	0.9700	0.9770	Croplands
13	0.9525	0.9586	0.9800	0.9860	0.9525	0.9586	0.9800	0.9860	Urban and built-up
14	0.9924	0.9945	0.9820	0.9855	0.7807	0.9513	0.9700	0.9770	Crop/Natural veg. mosaic
15	0.9844	0.9902	0.9900	0.9710	0.9844	0.9902	0.9900	0.9710	Snow and Ice
16	0.7660	0.8206	0.9300	0.9500	0.7660	0.8206	0.9300	0.9500	Barren or Sparsely vegetated
17	0.9741	0.9838	0.9910	0.9850	0.9741	0.9838	0.9910	0.9850	Water bodies

물로 제공되고 있다(NASA - <https://lpdaac.usgs.gov/>, <http://nsidc.org/>).

최종 산출된 방출률 자료의 산출 수준 평가를 위하여 MODIS LSE, CIMSS LSE 자료를 사용하였다. MODIS LSE는 다양한 시·공간 해상도의 형태로 제공되고 있으며, 이 중 MOD11A2(MODIS/Terra Land Surface Temperature & Emissivity 8-Day Level 3 Global 1 km) 자료

와 MOD11C2(MODIS/Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG) 자료를 사용하였다(NASA - <https://lpdaac.usgs.gov/>). CIMSS LSE는 전구 영역에 대해 0.05°(약 5.6 km)의 공간해상도와 월 주기의 합성자료로 제공되고 있으며 10개 채널(3.6, 4.3, 5.0, 5.8, 7.6, 8.3, 9.3, 10.8, 12.1 및 14.3 μ m)에 대한 방출률 값을 제공한다. 이 중 2012년의 3.6, 8.3, 10.8, 12.1 μ m

채널의 방출률 자료를 사용하였다(CIMSS - <http://cimss.ssec.wisc.edu/iremisi/>).

2) 연구방법

본 연구에서 적외채널 지표면 방출률 자료를 산출하는 전 과정은 다음과 같이 5단계로 진행된다(Fig. 1). 먼저 ① 식생지수를 보정하여 양질의 입력자료를 구축하고, ② 식생비율을 계산한 후, ③ 방출률 조건표와 지면 피복자료를 참조하여 각 채널별 방출률 자료를 산출한다. ④ 각 채널별 방출률 자료와 적설지수를 이용하여 눈 덮임을 고려한 방출률 자료를 최종 산출한다. ⑤ 마지막으로 산출된 방출률 자료와 MODIS LSE, CIMSS LSE와의 시·공간적 변동 특성을 비교한다.

(1) 산출자료 개요

본 연구에서 산출한 방출률 자료는 현재 국가기상위성센터에서 사용하고 있는 자료와 유사한 수준의 공간 해상도와 범위를 갖는 자료로 제작하고자 한다. 따라서 연구영역은 COMS 관측지역을 포함할 수 있도록 90°N, 50°E - 60°S, 180°E으로 설정하였고, 산출기간은 최근 기간인 2012년으로 선정하였다. 공간해상도와 시간주기는 각각 1 km와 8일이며, 산출 파장은 3.7, 8.7, 11, 12 μm

채널로 선정하였다(Table 3).

(2) 자료 전처리

본 연구에서 사용되는 위성자료들은 서로 다른 공간 해상도와 지도투영법으로 제작되었다. 따라서 모든 자료를 1 km 공간해상도의 플레이트 커리 지도 투영법(Plate-carrée projection)의 형태로 일치화를 시도하였다. 이 투영법은 위도와 경도 격자가 수직이고 크기가 같아 자료의 이용 및 관리가 수월하며 다른 형태의 재투영이 비교적 간단한 장점이 있지만, 극으로 갈수록 지형적 왜곡이 심한 단점이 있다(Kang *et al.*, 2007; Park and Suh, 2013).

시뉴소이드 도법(Sinusoidal grid)으로 제공되고 있는 MODIS 자료들은 MODIS Reprojection Tool(MRT) 프로그램을 이용하여 재투영하였다. 또한 구디 호몰로사인 도법(Goode Homolosine projection)으로 제공되고 있는 IGBP 자료는 자체 제공되는 프로그램을 이용하여 투영법을 일치시켰고, 300 m의 공간해상도를 갖는 GlobCover 2009는 ArcGIS 10.1의 Resample Tool을 이용하여 재투영하였다. 모든 자료의 재투영시 최근린 내삽법(Nearest neighbor)을 적용하였다.

Fig. 1. Flowchart for the retrieval processes of land surface emissivity.

Table 3. Main changes in the retrieval of land surface emissivity

Contents	Present	Improvement
Resolution	1 km	
Frequency	8 days	
Channel	11, 12 μm (2-band)	3.7, 8.7, 11, 12 μm (4-band)
Method	Vegetation Cover Method(Valor and Caselles, 1996) $\varepsilon_{\lambda,c} = \varepsilon_{\lambda,v}f + \varepsilon_{\lambda,g}(1-f)$ Kerr <i>et al.</i> (1992) $f = \frac{(\text{NDVI} - \text{NDVI}_s)}{(\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s)}$	Vegetation Cover Method(Caselles <i>et al.</i> , 2012) $\varepsilon_{\lambda,c} = \varepsilon_{\lambda,v}f + \varepsilon_{\lambda,g}(1-f)$ Carlson and Ripley (1997) $f = \frac{(\text{NDVI} - \text{NDVI}_s)^2}{(\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s)}$
Background	- SEVIRI Emiss. LUT (Peres and DaCamara, 2005) - MODIS NDVI (LPDC) (Kang <i>et al.</i> , 2010) - KLC_EA_v2 (Kang <i>et al.</i> , 2010)	- SEVIRI Emiss. LUT (Peres and DaCamara, 2005) & AATSR Emiss. LUT (Coll <i>et al.</i> , 2012) - MODIS NDVI (CSaTC) (Cho and Suh, 2013a) - 5 Land Cover products(IGBP, UMD, MODIS, GlobCover, KLC) - MODIS Snow Cover (Hall <i>et al.</i> , 2002) - MODIS Surface Reflectance product

(3) 방출률 산출 과정

본 연구에서 사용된 VCM은 최근 연구에서 눈 덮임에 의한 방출률의 변화를 고려할 수 있도록 개선(Caselles *et al.*, 2012) 되었으며, 기본 산출식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_{\lambda,c} = \varepsilon_{\lambda,v}f + \varepsilon_{\lambda,g}(1-f) \quad (1)$$

각 파장(λ)의 방출률($\varepsilon_{\lambda,c}$)에서 $\varepsilon_{\lambda,v}$ 와 $\varepsilon_{\lambda,g}$ 는 각각 주어진 화소가 식생(Vegetation)과 토양(Ground)으로만 구성되어 있을 때의 방출률을 의미한다. f 는 화소 단위의 식생 비율(Fractional Vegetation Cover: FVC)을 뜻하며 Carlson and Ripley (1997)의 방법을 사용하여 산출하였다.

$$f = \frac{(\text{NDVI} - \text{NDVI}_s)^2}{(\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s)} \quad (2)$$

여기서 NDVI_v와 NDVI_s는 각각 주어진 화소가 완전히 식생으로 채워졌을 경우와 식생이 최소일 때의 식생지수이다. 이 방법은 식생지수를 이용한 간단한 계산 방법으로 정확도 높은 식생비율의 추정이 가능하여 많은 연구에서 이용하고 있다(Carlson and Ripley, 1997; Sobrino and Raissouni, 2000; Sobrino *et al.*, 2008). 본 연구에서는 최소 임계값(NDVI_s)은 히스토그램 분석에 의한 값, 최대 임계값(NDVI_v)은 지면피복유형별 최대값(95 percentile)을 설정하여 사용하였다. 이 방법은 Jiménez-Muñoz *et al.* (2009)의 연구결과에서 현장관측 FVC와의 검증결과 편차는 0.04, 평균제곱근오차는 0.13으로 나타나 식생지수 임계값 설정방법 중 가장 우수한 결과를 보였다.

눈 덮임을 고려하기 위한 적설지수의 산출은 Hall *et al.* (2002)의 방법을 이용하였다. MODIS 센서의 Band2 (NIR, 0.841-0.876 μm) 반사율 ρ_{NIR} , Band4(Green, 0.545-0.565 μm) 반사율 ρ_G , Band6(SWIR, 1.628-1.652 μm) 반사율 ρ_{SWIR} 자료를 사용하며 산출식은 다음과 같다.

$$\text{NDSI} = \frac{\rho_G - \rho_{SWIR}}{\rho_G + \rho_{SWIR}} \quad (3)$$

MODIS 눈 덮임 자료에서 적설로 판단된 화소 중 위의 식으로 계산된 적설지수가 0.4 이상, NIR 채널의 반사율이 0.11 이상, Green 채널의 반사율이 0.1 이상, 품질관리정보에서 화소의 대기보정이 수행되었고 3개 채널 모두 최상의 품질인 화소에 대해서만 적설지수를 적용하였다. 산출된 적설지수를 이용하여 눈 덮임에 의한 방출률을 적용하는 최종 산출식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda,snow} \text{NDSI} + \varepsilon_{\lambda,c}(1 - \text{NDSI}) \quad (4)$$

여기서 $\varepsilon_{\lambda,snow}$ 는 지면피복 유형이 빙설(Snow and ice) 일 때의 방출률이며, $\varepsilon_{\lambda,c}$ 는 VCM을 이용하여 산출된 방출률을 의미한다.

(4) 산출수준 평가 과정

위의 과정을 거쳐 새로운 적외채널 지표면 방출률 자료를 구축하였다(Kongju National University LSE v2: KNULSE_v2). KNULSE_v2의 산출 수준을 간접적으로 평가하기 위해 각 채널 자료의 계절별 공간분포를 분석하였다. 또한 MODIS LSE, CIMSS LSE와의 화소 단위의 방출률 차를 계산하여 공간분포를 분석하였으며, 분석

영역 내에서 주요 지면피복유형별로 임의의 화소를 선정하여 방출률의 시계열을 분석하였다. 평가에 사용된 MODIS LSE, CIMSS LSE 자료는 실측 자료가 아니기 때문에 방출률 자료 간의 유사성을 차이와 공간상관계수를 통해 분석하였다. 또한 KNULSE_v2와 현재 사용되고 있는 KNULSE_v1와의 방출률 차 공간분포 분석을 수행하였다.

3. 지표면 방출률 산출

1) 지면피복 재분류

VCM을 이용한 지표면 방출률 산출시 지면피복분류 자료의 분류 정확도에 따라 방출률 산출결과가 크게 달라진다. 따라서 본 연구에서는 5가지(IGBP, UMD, MODIS, GlobCover, KLC) 지면피복분류 자료의 조합을 통해 하나의 새로운 지면피복 자료로 재분류하여 사용하였다. 주어진 화소에 대해 3-5개 자료의 지면피복 유형이 서로 일치할 경우와 2개 자료만 일치할 경우(다른 세 자료는 서로 불일치)에 해당 유형을 사용하였으며, 5개 자료가 모두 불일치 할 경우에는 가장 최신(2012년) 자료인 MODIS의 지면피복 유형으로 대체하였다. 각 자료의 분류유형 수가 14, 17, 22개로 상이하기 때문에 재분류를 수행하기 전 McCallum *et al.*(2006)의 연구방법에 따라 IGBP 지면피복 정의에 따라 17개 유형으로 통일시켰다.

Fig. 2는 5개 자료의 각 지면피복유형별 화소 수를 나타낸 것이다. 초기 지면피복분류 유형수가 같은 IGBP,

MODIS, KLC의 경우 서로 유사한 점유율을 보이며, MODIS의 경우 초지 점유율이 비교적 높은 특징만을 보였다. UMD의 경우 폐쇄형 관목지(Closed shrublands, C6)와 사바나(Savannas, C9)의 점유율이 다른 자료에 비해 2-3배 정도 높게 나타났으며, 낙엽침엽수림(Deciduous needleleaf forest, C3)과 혼합림(Mixed forest, C5)에서 비교적 낮은 점유율을 보였다. GlobCover의 경우 낙엽침엽수림(Deciduous needleleaf forest, C3), 농지/자연식생(Crop/Natural veg. mosaic, C14), 불모지(Barren or sparsely vegetated, C16)의 점유율이 다른 자료에 비해 약 2-3배 정도로 나타난 반면, 혼합림(Mixed forest, C5)과 초지(Grasslands, C10)의 점유율은 약 1/3 수준이며 나무 있는 사바나(Woody Savanna, C8)의 경우 매우 적게 나타났다.

자료간 일치율을 분석한 결과, 각 화소에서 5개 지면피복 유형 모두 일치 화소는 14.01%로 나타났으며, 4개 일치 화소는 20.09%, 3개 일치 화소는 가장 많은 28.56%로 나타났다. 2개 자료만 일치하는 화소는 19.70%, 모두 불일치 화소는 17.67%로 나타났다.

Fig. 3은 일치율 분석결과를 바탕으로 재분류한 분석 지역의 지면피복 공간분포를 나타낸 것이다. 비교적 큰 차이를 나타냈던 시베리아 동부의 낙엽침엽수림, 인도와 우리나라 지역의 사바나유형에서 큰 변화를 보이며 재분류 되었고, 그 외 대부분 지역은 5가지 지면피복분류 자료와 유사한 패턴의 공간분포를 보이고 있다. 우리나라를 살펴보면 서울을 중심으로 한 수도권과 광역시 등의 도시화소, 우리나라 서부의 평야지대 농지화소, 산맥과 그 주변의 산림화소 등이 현실에 맞게 잘 분류된 것을 볼 수 있다.

Fig. 2. A comparison of the pixel counts according to the land cover types for the IGBP, UMD, MODIS, GlobCover, and KLC.

Fig. 3. Spatial distribution of reclassified land cover map used in this study.

2) 식생지수 보정

보정단계는 ① 각 화소별 품질평가(Quality Assignment)를 기준으로 각 기간별 합성, ② 시간적 연속성에 따른 낮은 품질의 화소 탐지 및 보정 참조값 산출, ③ 시간적 연속성에 따른 오염 화소의 직전/직후 기간의 양질의 식생지수에 대한 산술평균 적용 및 ④ 오염 화소를 기준으로 동일유형 지면피복 중의 양질의 식생지수에 대한 가

중평균을 적용하는 4가지 단계로 수행된다.

보정전 식생지수와 2009-2012년 최대치 합성 결과 및 CSaTC 기법을 적용한 최종 보정 식생지수의 시계열 비교 분석을 수행하였으며, 간단한 식생지수 보정기법으로 알려진 반복평균법(Iterative interpolation for Data Reconstruction: IDR) (Julien and Sobrino, 2010)과 KNULSE_v1의 산출과정에 사용된 Low Peak Detection and Correction (LPDC) 기법(Kang *et al.*, 2010)으로 보정한 자료의 결과도 함께 나타내었다(Fig. 4).

보정전 식생지수의 경우, 식생의 상태가 짧은 시간에 급격히 변하지 않는 특성을 고려할 때 여름철에 나타난 강한 시간변동은 실제 식생변동과는 관련이 없는 것임을 알 수 있으며, 동아시아 여름 몬순과 관련된 지속적인 구름 등에 의해 오염된 것임을 알 수 있다. 기존 사용되던 LPDC 기법의 경우 보정 알고리즘 내에서 품질정보 자료를 새롭게 만들지 않기 때문에 2012년 자료에서 오염된 화소를 탐지하지 못하고 보정하는 문제점이 있었다. IDR 기법은 식생이 성장하기 시작하는 봄과 낙엽이 지는 가을에 식생지수 값을 비정상적으로 과대 보정하는 경향이 나타났으며, 이 문제점은 Park *et al.*(2011)의 연구에서도 지적된 것이다.

3) 식생비율 산출

식생비율은 도시개발 및 확장, 벌목, 화재 등 다양한

Fig. 4. Time series of the corrected NDVI using CSaTC (red solid), IDR (blue dashed), LPDC (yellow solid), MVC (purple dashed) along with the original MODIS NDVI (black solid) for the randomly selected pixels.

Table 4. Vegetation index thresholds for the fully covered by vegetation of each land cover class

IGBP Class	NDVI _v	IGBP Class	NDVI _v
1. Evergreen Needleleaf forest	0.844	9. Savannas	0.735
2. Evergreen Broadleaf forest	0.918	10. Grasslands	0.637
3. Deciduous Needleleaf forest	0.812	11. Permanent wetlands	-
4. Deciduous Broadleaf forest	0.903	12. Croplands	0.794
5. Mixed forest	0.873	13. Urban and built-up	-
6. Closed shrublands	0.777	14. Crop/Natural veg. mosaic	0.840
7. Open shrublands	0.663	15. Snow and Ice	-
8. Woody savannas	0.843	16. Barren or Sparsely vegetated	-

NDVIs = 0.077

Fig. 5. Spatial distribution of the Fractional Vegetation Cover(FVC) retrieved from NDVI data for the 1st half of July and January.

원인에 의해 지표면 상태는 계속 변화하기 때문에 최근의 우수한 품질의 식생지수 자료를 필요로 한다. 식생비율을 산출하기 위해 설정된 각 지면피복유형별 식생지수 임계값을 Table 4에 나타내었다. VCM을 이용한 방출률 산출시 도시, 습지, 불모지, 영구적인 적설지역은 식생비율을 필요로 하지 않기 때문에 임계값을 적용하지 않았다.

식생비율 산출식에 필요한 지면피복유형별 식생지수 최대값과 최소값을 적용하여 산출된 분석영역의 여름철(185 Julian day)과 겨울철(1 Julian day) 식생비율 공간분포를 Fig. 5에 나타내었다. 계절에 관계없이 저위도 지역의 상록수림에 의한 높은 식생비율이 잘 표현되었다. 여름철 동북아시아 지역의 식생비율은 사막지역 등의 비식생지역과 뚜렷하게 대비되어 나타나 계절변동성이

잘 반영된 것을 볼 수 있다. 또한 호주 지역에서도 사막과 그 외 식생지역(해안)의 대비가 비교적 잘 나타나고 있으며, 연중 식생이 나타나지 않는 고위도 카라해 주변의 결빙지역도 뚜렷하게 구분되었다.

4) 방출률 산출 및 눈 덮임 고려

Fig. 6은 새롭게 산출된 KNULSE_v2의 계절별 공간분포를 나타낸 것이다. 4개 채널 모두 계절에 관계없이 티베트고원과 중동지역 및 호주사막 지역 등 식생이 거의 없는 건조지역에서 다른 지역에 비해 연중 낮은 방출률을 보이고 있다. 또한 적도 지역에서는 다른 지역에 비해 연중 높은 방출률을 보이고 있다. 이러한 연중 방출률의 변동이 거의 없는 지역은 사막이나 상록활엽수림 같이 식생의 변화가 크지 않은 곳으로 분석되었다. 식생이 최

Fig. 6. Spatial distribution of land surface emissivity from Kongju National University v2 for the seasons (representative days).

대로 성장하는 여름에 비교적 높은 방출률을 보이며, 반대로 겨울에 낮은 방출률을 보이고 있다.

3.7, 8.7 μm 채널은 계절에 따른 방출률의 시·공간적 변동이 매우 크게 나타나고 있으며, 특히 위도 50°N 이상 지역과 우리나라, 일본, 중국, 인도에서 큰 변동을 보

이고 있다. 3.7, 8.7, 11 μm 채널의 경우 고위도 카라해 주변에서 빙하나 적설에 의해 연중 매우 높은 방출률을 보이고 있는 반면, 이에 비교적 민감한 12 μm 채널은 다른 지역에 비해 낮은 방출률을 보이고 있다. 같은 이유로 12 μm 채널은 적설이 존재하는 겨울철과 봄철 고위도 지역

에서 비교적 낮은 방출률을 보이고 있다.

11, 12 μm 채널은 다른 두 채널과 비교하여 식생에 따른 계절변동을 한다는 공통점이 있지만, 계절에 따른 방출률 변동 폭이 작게 나타나고 있으며 도시지역의 방출률이 주변에 비해 낮지 않은 특징이 있다. 또한 11, 12 μm 채널의 경우 시베리아 동부에 광범위하게 존재하는 낙엽수림 지역에서 여름철 높은 식생비율에도 불구하고 비교적 높지 않은 방출률이 나타나고 있는데, 이것은 방출률 조건표에서 낙엽수림의 11, 12 μm 채널에 대해 비교적 낮은 방출률 값을 제공하는 것에 기인한다.

5) 지표면 방출률 자료의 산출 수준 평가

(1) MODIS LSE와의 비교

Fig. 7은 KNULSE_v2와 MODIS LSE의 방출률 차의 여름철과 겨울철 공간분포를 나타낸 것이다. 4개 채널 모두 계절에 관계없이 사막 등 건조지역에서 MODIS LSE에 비해 낮은 방출률을 보이고 있는 반면 저위도 지역의 경우 계절에 관계없이 양의 방출률 차를 보이고 있다.

3.7 μm 채널은 여름철 일부 지역을 제외한 대부분 지역이 MODIS LSE에 비해 낮은 방출률을 보이고 있고,

8.7 μm 채널은 식생 증감 지역을 제외한 대부분 지역에서 MODIS LSE에 비해 높은 방출률을 보이고 있다. 11과 12 μm 채널은 여름철 북반구 고위도 지역(위도 70°N 이상)과 동북아시아 지역에서 나타나는 양의 방출률 차를 제외하면 전체적으로 MODIS LSE에 비해 낮은 방출률을 보이고 있다.

Table 5은 KNULSE_v2와 MODIS LSE의 월별 방출률 차와 공간 상관계수를 나타낸 것이다. 11과 12 μm 채널의 상관계수는 평균 0.61과 0.46으로 나타나 기존 사용되고 있는 방출률 자료(KNULSE_v1)의 상호비교 연구결과(Park and Suh, 2013)에 비교하여 각각 +0.19, +0.06씩 개선되었으며, 특히 북반구 고위도에 적설이 존재하는 11-4월의 상관관계가 +0.3 이상으로 크게 개선되어 11 μm 채널의 경우 0.62 이상의 상관성을 보이고 있다. 새로 산출된 3.7과 8.7 μm 채널은 평균적으로 12 μm 채널과 유사한 수준의 상관성을 보이고 있다. 그러나 방출률 차는 채널 및 계절에 관계없이 음의 값으로 나타나고 있으며, 특히 3.7 μm 채널에서 큰 차이를 보이고 있다.

(2) CIMSS LSE와의 비교

Fig. 8은 KNULSE_v2와 CIMSS LSE의 방출률 차의 여름철과 겨울철 공간분포이다. 3.7 μm 채널은 여름철 일

Fig. 7. Spatial distribution of differences of land surface emissivity between Kongju National University v2 and MODIS data for the 1st half of July and January.

Table 5. Summary of comparison results(Diff. and Corr.) of land surface emissivity between Kongju National University v2 and MODIS data set

Month	3.7 μm		8.7 μm		11 μm		12 μm	
	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.
Jan.	-0.0985	0.45	-0.0133	0.63	-0.0097	0.64	-0.0092	0.41
Feb.	-0.0916	0.44	-0.0081	0.58	-0.0086	0.63	-0.0091	0.42
Mar.	-0.0895	0.37	-0.0036	0.46	-0.0087	0.62	-0.0090	0.45
Apr.	-0.0886	0.46	-0.0035	0.47	-0.0075	0.63	-0.0074	0.51
May	-0.0848	0.44	-0.0020	0.48	-0.0074	0.62	-0.0057	0.46
Jun.	-0.0592	0.49	0.0016	0.44	-0.0050	0.56	-0.0024	0.42
Jul.	-0.0460	0.52	0.0030	0.44	-0.0038	0.56	-0.0012	0.42
Aug.	-0.0572	0.52	0.0037	0.41	-0.0044	0.57	-0.0017	0.45
Sep.	-0.0870	0.44	-0.0025	0.47	-0.0064	0.59	-0.0035	0.49
Oct.	-0.0975	0.41	-0.0056	0.48	-0.0083	0.62	-0.0066	0.53
Nov.	-0.0998	0.44	-0.0103	0.54	-0.0096	0.66	-0.0082	0.49
Dec.	-0.0998	0.45	-0.0131	0.58	-0.0100	0.66	-0.0089	0.44
Mean	-0.0833	0.45	-0.0045	0.50	-0.0074	0.61	-0.0061	0.46

Fig. 8. Spatial distribution of differences of land surface emissivity between Kongju National University v2 and CIMSS data for the 1st half of July and January.

부 지역을 제외한 대부분 지역이 CIMSS LSE에 비해 낮은 방출률을 보이며 MODIS LSE와의 방출률 차 공간분포와 상당히 유사한 패턴을 보이고 있다. 8.7, 11, 12 μm 채널의 여름철은 티베트 고원과 중동지역 일부를 제외한 대부분 지역에서 CIMSS LSE에 비해 높은 방출률을 보이고 있고, 그 차이의 크기는 지역별로 상이하게 나타나고 있다. 반면 겨울철은 동북아시아 지역에서 음의 방

출률 차를 보이며 여름철보다 작은 차이를 보이고 있다.

3.7, 8.7 μm 두 채널 모두 아라비아 반도에서 매우 큰 방출률 차이를 보이고 있는데, 이것은 사우디아라비아 동부지역에서 CIMSS LSE가 매우 낮은 것에 기인한다. 분석결과 이 곳은 아라비아 반도의 룬알할리 사막과 그 주위를 둘러싼 고원지대로 구성되어 있어 그 경계가 뚜렷하게 나타났으나, 본 연구에서는 이 지역을 하나의 지

Table 6. Summary of comparison results(Diff. and Corr.) of land surface emissivity between Kongju National University v2 and CIMSS data set

Month	3.7 μm		8.7 μm		11 μm		12 μm	
	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.	Diff.	Corr.
Jan.	-0.0770	0.48	0.0013	0.69	0.0111	0.51	0.0113	-0.01
Feb.	-0.0806	0.41	0.0022	0.67	0.0101	0.52	0.0096	0.01
Mar.	-0.0756	0.47	0.0056	0.73	0.0119	0.56	0.0091	0.04
Apr.	-0.0874	0.50	0.0080	0.75	0.0135	0.61	0.0123	0.06
May	-0.0782	0.47	0.0119	0.76	0.0155	0.62	0.0146	0.13
Jun.	-0.0680	0.53	0.0119	0.74	0.0158	0.56	0.0179	0.24
Jul.	-0.0376	0.56	0.0169	0.74	0.0169	0.56	0.0189	0.29
Aug.	-0.0325	0.58	0.0187	0.74	0.0164	0.56	0.0187	0.30
Sep.	-0.0532	0.60	0.0152	0.73	0.0143	0.55	0.0160	0.29
Oct.	-0.0747	0.55	0.0105	0.72	0.0134	0.56	0.0144	0.20
Nov.	-0.0794	0.50	0.0063	0.69	0.0138	0.55	0.0139	0.10
Dec.	-0.0768	0.50	0.0051	0.66	0.0145	0.53	0.0149	0.05
Mean	-0.0684	0.51	0.0095	0.72	0.0139	0.56	0.0143	0.14

면피복 유형(나대지)으로 분류했기 때문에 지면의 특성을 정확히 고려하지 못했다.

11 μm 채널의 상관계수는 기존 방출률 자료의 상호 비교결과(KNULSE_v1-CIMSS LSE) 대비하여 약 +0.22가 증가하여 평균 0.56으로 크게 개선되었다. 반면 12 μm 채널은 현저히 낮은 0.14의 상관관계를 보이며, 특히 겨울철에는 0에 가까운 상관계수를 보여 CIMSS LSE와의 상관성이 거의 없는 것으로 분석되었다. 3.7 μm 채널은 11 μm 채널과 유사한 수준의 상관성을 보이고 있으며, 8.7 μm 채널은 4개 채널 중 가장 높은 평균 0.72의 상관관계를 보이고 있다(Table 6). 8.7, 11, 12 μm 채널은 양의 방출률 차를 보이며 각각 평균 0.0095, 0.0139, 0.0143로 나타나 KNULSE_v2와 MODIS LSE와의 방출률 차보다 큰 절대값을 보이고 있다. 반면 3.7 μm 채널의 방출률 차는 전 기간에 대해 음의 값으로 나타나고 있으며 평균 -0.0684로 채널 중 가장 큰 차이를 보이고 있다.

(3) 시계열 분석

Fig. 9는 KNULSE_v2와 MODIS LSE, CIMSS LSE 자료에서 임의로 선택한 화소들의 3.7, 8.7 μm 채널 방출률 값의 시계열을 나타낸 것이다. 3.7 μm 채널의 경우 KNULSE_v2는 겨울철 적설에 의한 방출률 변동과 여름철 식생변화에 따른 방출률 변화가 연중 약 0.15 이상의 매우 큰 폭으로 나타나고 있다. 지역에 따라 차이는 있

나 여름철 식생이 활발한 시기에 0.95 이상의 값으로 나타나 MODIS LSE, CIMSS LSE에 비해 높은 방출률을 보이고 있다. 그러나 대부분 두 자료에 비해 낮은 방출률을 보이고 있는데, 이것은 조건표에서 토양의 방출률을 약 0.76-0.82 정도로 낮게 제공하는 것에 기인하며, Peres and DaCamara (2005)와 Li *et al.* (2012)에서 토양의 3.7 μm 채널 방출률 표준편차가 비교적 큰 것으로 분석된 것 또한 방출률 차의 원인으로 분석된다. 8.7 μm 채널의 방출률은 세 자료가 비교적 유사한 크기로 나타나고 있지만, 여름철과 연중 적도지역에서 서로 상이한 계절변동 패턴을 보이고 있다.

Fig. 10은 KNULSE_v2와 MODIS LSE, CIMSS LSE 자료에서 임의로 선택한 화소들의 11, 12 μm 채널 방출률 값의 시계열을 나타낸 것이다. 11 μm 채널은 겨울철 적설시 0.98 이상의 방출률을 보이며 급격히 증가하는 패턴을 보이고 있으며, 같은 시기에 MODIS LSE 또한 증가하는 공통점이 있다. 12 μm 채널은 적설시 비교적 높지 않은 방출률을 보이는 반면 MODIS LSE는 적설시 11 μm 채널과 유사한 패턴으로 증가하고 있다. 또한 비 적설시 방출률은 지역에 따라 크기는 다르지만 0.05 미만의 불규칙한 변동을 보이며 거의 일정한 값으로 나타나고 있다. 여름철과 적도지역을 제외하면 MODIS LSE에 비해 낮은 방출률을 보이고 있으며, CIMSS LSE는 두 자료와 달리 매우 낮고 불규칙한 패턴을 보이고 있다.

Fig. 9. Seasonal variation of 3.7 and 8.7 μm emissivity from the three LSE data sets for the randomly selected pixels.

Fig. 10. Seasonal variation of 11 and 12 μm emissivity from the three LSE data sets for the randomly selected pixels.

적설에 의한 영향이 시간적으로 MODIS LSE와 정확히 일치하지 않는 것은 각 방출률 자료를 산출할 때 사용되는 입력자료(Snow cover)의 시간 주기가 서로 다르기 때문으로 분석된다.

(4) KNULSE_v1과의 비교

Fig. 11은 본 연구에서 산출한 KNULSE_v2와 현재 국가기상위성센터에서 사용되고 있는 KNULSE_v1 자료와의 여름철과 겨울철 방출률 차 공간분포를 나타낸 것이다.

여름철의 경우 11과 12 μm 채널 모두 대부분의 지역에서 음의 방출률 차를 보이며 KNULSE_v2가 비교적 낮은 방출률을 갖는 것으로 분석되었다. 특히 시베리아 동부에 광범위하게 존재하는 낙엽침엽수림 지역과 티베트 고원, 중동 지역에서 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 개선된 방출률 조건표에서 해당 지역들의 방출

률 값을 낮게 제공하고 있는 것에 기인한다. 11과 12 μm 채널의 방출률 차 공간분포 패턴은 대부분 서로 일치하였고 비교적 11 μm 채널의 방출률 차가 더 크게 나타나고 있다.

겨울철의 경우 11 μm 채널은 적설에 의한 방출률 변화를 고려한 KNULSE_v2의 영향으로 위도 40°N 이상 지역과 히말라야 산맥을 따라 양의 방출률 차를 보이고 있다. 히말라야 산맥의 만년설에 의한 큰 양의 방출률 차는 여름철에도 동일하게 나타나고 있다. 겨울철 12 μm 채널은 비교적 0에 가까운 0.01 미만의 차를 보이고 있다.

8일 주기 자료에 대해 전체 기간을 모두 분석한 결과 양의 방출률 차 공간분포는 같은 시기에 적용된 적설지수 자료의 공간분포와도 일치하는 것으로 분석되었다. 두 자료간의 차이는 적설의 영향이 가장 크며, 또한 사용된 입력자료의 기간 및 방출률 조건표가 상이하기 때문으로 분석된다.

Fig. 11. Spatial distribution of differences of land surface emissivity between Kongju National University v2 and Kongju National University v1 for the 1st half of July and January.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 최근의 MODIS 자료를 이용하여 천리안위성 관측 지역의 적외채널(3.7, 8.7, 11, 12 μm)에 대한 지표면 방출률 자료를 개선하였으며, 이로 산출된 KNULSE_v2를 MODIS LSE, CIMSS LSE와 상호비교 분석하였다. 방출률 산출기법은 지표면이 식생과 토양으로만 구성되어 있다는 가정을 전제로 방출률을 계산하는 VCM을 이용하였다. 또한 MODIS 눈 덮임 자료와 MODIS 반사율 자료로부터 산출한 적설지수를 가중 평균하여 눈 덮임에 의한 방출률 변화를 고려하였다. 입력 자료의 개선을 위해 IGBP, UMD, MODIS, GlobCover 2009 및 KLC_EA_v2 자료를 조합하여 하나의 지면피복분류 자료로 재분류하여 사용하였고, MODIS 식생지수에 최대치 합성법과 CSaTC 기법을 적용하여 보정하였다.

KNULSE_v2는 계절에 관계없이 4개 채널 모두 다른 지역에 비해 티베트고원과 중동지역 및 호주사막 지역 등 식생이 거의 없는 건조지역에서 연중 낮은 방출률을 보이고 있으며, 인도네시아 등 적도 지역에서는 연중 높은 방출률을 보여 식생의 변화가 크지 않은 곳에서 계절에 따른 방출률 변동이 매우 적게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 식생이 최대로 성장하는 여름에 비교적 높은 방출률, 반대로 겨울에 낮은 방출률을 보이며 계절에 따른 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 3.7, 8.7, 11 μm 채널의 경우 빙하 또는 적설지역에서 높은 방출률을 보이고 있는 반면, 이것에 비교적 민감한 12 μm 채널은 다른 지역에 비해 낮은 방출률을 보이고 있다.

방출률 산출과정에서 적설지수를 이용하여 눈 덮임에 의한 방출률 변동을 고려한 결과 적설시 MODIS LSE와 유사한 방출률 변동패턴을 보이며 북반구 고위도에 적설이 존재하는 11 - 4월의 상관관계가 크게 개선되었다. 그러나 자료간 방출률 차는 증가하였으며, 특히 3.7 μm 채널에서 크게 나타나고 있다. 이 결과는 방출률 조건표에서 3.7 μm 채널에 대한 토양의 방출률을 비교적 낮게 제공하기 때문으로 생각할 수 있으며, 여러 연구에서 토양의 3.7 μm 채널 방출률 표준편차가 비교적 큰 것으로 분석된 것 또한 방출률 차의 원인으로 분석된다.

본 연구에서는 최근의 MODIS 식생지수 자료와 새로운 지면피복분류 자료를 이용하여 KNULSE_v1가 갖는 문제점을 개선하였다. 특히, 분리대기창 두 채널에 대해

서만 산출하였던 것을 4개 채널로 확대하였고 고위도 겨울철에서 빈번한 눈 덮임을 반영하였다. 따라서 본 연구의 산출물은 분리대기창 채널(11, 12 μm)을 이용한 지표면온도 산출시 기초 입력자료로 사용하여 산출 정확도 향상에 활용할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 수치/기후모델의 지면경계조건으로 활용될 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 본 연구에서 고려하지 못한 각 채널별 방출률에 많은 영향을 주는 토양수분과 방향성의 영향을 고려할 필요가 있다. 또한 보다 근본적으로 아시아 지역에서의 다양한 지면피복 유형에서의 현장관측 방출률 샘플을 이용한 검증과 함께 방출률 조건표의 개선이 필요하다. 또한 검증된 지면피복자료와 식생지수 등의 보조자료 전처리 기법의 개선이 요구된다.

사사

본 연구는 “다중위성 기반의 동아시아 지표면온도 및 지면피복지도 산출”의 일환으로 (재)기상기술개발원(CATER 2012-2067)의 지원으로 수행되었습니다. 유익한 지적을 통해 논문의 질을 크게 향상시켜 주신 두 분의 심사위원님께 감사드립니다.

Acronyms

AATSR	Advanced Along-Track Scanning Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CIMSS	Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies
COMS	Communication, Ocean and Meteorological Satellite
CSaTC	Correction based on Spatial and Temporal Continuity
DISCover	Data and Information System Cover
ESA	European Space Agency
FAO LCCS	Food and Agriculture Organization Land Cover Classification System
FVC	Fractional Vegetation Cover
GLCF	Global Land Cover Facility
GlobCover	Global Land Cover Map
IDR	Iterative interpolation for Data Reconstruction
IGBP	International Geosphere Biosphere Programme

KLC_EA	Kongju National University Land Cover East Asia region
KNULSE	Kongju National University Land Surface Emissivity
LPDC	Low Peak Detection and Correction
LSE	Land Surface Emissivity
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRT	MODIS Reprojection Tool
MSG/SEVI RI	METEOSAT Second Generation-1/Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
MTSAT	Multi-Functional Transport Satellite
MVC	Maximum Value Composite
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
TES	Temperature and Emissivity Separation
TISI	Temperature-Independent thermal infrared Spectral Index
UMD	University of Maryland
USGS GLCC	United States Geological Survey Global Land Cover Characterization
VCM	Vegetation Cover Method

References

- Becker, F., and Z.L. Li, 1990. Temperature-independent spectral indices in thermal infrared bands, *Remote Sensing of Environment*, 32(1): 17-33.
- Carlson, T.N., and D.A. Ripley, 1997. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index, *Remote Sensing of Environment*, 62(3): 241-252.
- Caselles, E., E. Valor, F. Abad, and V. Caselles, 2012. Automatic classification-based generation of thermal infrared land surface emissivity maps using AATSR data over Europe, *Remote Sensing of Environment*, 124: 321-333.
- Cho, A-R., and M.-S. Suh, 2013a. Detection of contaminated pixels based on the short-term continuity of NDVI and correction using spatio-temporal continuity, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(4): 511-525.
- Cho, A-R., and M.-S. Suh, 2013b. Evaluation of Land Surface Temperature Operationally Retrieved from Korean Geostationary Satellite (COMS) Data, *Remote Sensing*, 5(8): 3951-3970.
- Coll, C., E. Valor, J.M. Galve, M. Mira, M. Bisquert, V. García-Santos, E. Caselles, and V. Caselles, 2012. Long-term accuracy assessment of land surface temperatures derived from the Advanced Along-Track Scanning Radiometer, *Remote Sensing of Environment*, 116(15): 211-225.
- Gillespie, A., S. Rokugawa, T. Matsunaga, J.S. Cothorn, S. Hook, and A.B. Kahle, 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4): 1113-1126.
- Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DeGirolo, and K.J. Bayr, 2002. MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83: 181-194.
- Hong, K.-O., M.-S. Suh, and J.-H. Kang, 2009. Development of a Land Surface Temperature-Retrieval Algorithm from MTSAT-1R Data, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 45(4): 411-421.
- Hulley, G.C. and S.J. Hook, 2009. Intercomparison of versions 4, 4.1 and 5 of the MODIS Land Surface Temperature and Emissivity products and validation with laboratory measurements of sand samples from the Namib desert, Namibia, *Remote Sensing of Environment*, 113(6): 1313-1318.
- Jiménez-Muñoz J.C., J.A. Sobrino, A. Plaza, L. Guanter, J. Moreno, and P. Martinez, 2009. Comparison Between Fractional Vegetation Cover Retrievals from Vegetation Indices and Spectral Mixture Analysis: Case Study of PROBA/CHRIS Data Over an Agricultural Area, *Sensors*, 9: 768-793.
- Julien, Y. and J.A. Sobrino, 2010. Comparison of cloud-reconstruction methods for time series of

- composite NDVI data, *Remote Sensing of Environment*, 114(3): 618-625.
- Kang, J.-H., M.-S., Suh, and C.-H. Kwak, 2007. A Comparison of the Land Cover Data Sets over Asian Region: USGS, IGBP, and UMD, *Atmosphere*, 17(2): 159-169.
- Kang, J.-H. and M.-S. Suh, 2008. Emissivity Retrieval for land surface temperature from COMS data, *Proc. of the Spring Meeting of KMS 2008*, pp.320-321.
- Kang, J.-H., M.-S., Suh, and C.-H. Kwak, 2010. Land Cover Classification over East Asian Region Using Recent MODIS NDVI Data (2006-2008), *Atmosphere*, 20(4): 415-426.
- Kerr, Y.H., J.P. Lagouarde, and J. Imbernon, 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm, *Remote Sensing of Environment*, 41(2-3): 197-209.
- Korea Meteorological Administration(KMA), 2012. *Retrieval of land surface information from satellite data and their application*, pp. 58-95.
- Kornfield, J., and J. Susskind, 1977. On the effect of surface emissivity on temperature retrievals, *Monthly Weather Review*, 105(12): 1605-1608.
- Li, Z., J. Li, X. Jin, T.J. Schmit, E.E. Borbas, and M.D. Goldberg, 2010. An objective methodology for infrared land surface emissivity evaluation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D22): doi:10.1029/2010JD014249.
- Li, Z.-L., H. Wu, N. Wang, S. Qiu, J.A. Sobrino, Z. Wan, B.-H. Tang, and G. Yan, 2012. Land surface emissivity retrieval from satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 34: 3084-3127.
- McCallum, I., M. Obersteiner, S. Nilsson, A. Shvidenko, 2006. A spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4): 246-255.
- Park, J.-H., A.-R. Cho, J.-H. Kang, and M.-S. Suh, 2011. Detection and Correction of Noisy Pixels Embedded in NDVI Time Series Based on the Spatio-temporal Continuity, *Atmosphere*, 21(4): 337-347.
- Park, K.-H., and M.-S. Suh, 2013. Inter-comparison of three land surface emissivity data sets (MODIS, CIMSS, KNU) in the Asian-Oceanian regions, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(2): 219-233(in Korean with English abstract).
- Peres, L.F., and C.C. DaCamara, 2005. Emissivity Maps to Retrieve Land-Surface Temperature From MSG/SEVIRI, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(8): 1834-1844.
- Prata, A.J., 2002. *Land surface temperature measurement from space: AATSR algorithm theoretical basis document*, Technical report.
- Seemann, S.W., E.E. Borbas, R.O. Knuteson, G.R. Stephenson, and H.-L. Huang, 2008. Development of a Global Infrared Land Surface Emissivity Database for Application to Clear Sky Sounding Retrievals from Multispectral Satellite Radiance Measurements, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(1): 108-123.
- Sobrino, J.A., and N. Raissouni, 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, 21(2): 21353-21366.
- Sobrino, J.A., J.C. Jiménez-Muñoz, G. Soria, M. Romaguera, L. Guanter, J. Moreno, A. Plaza, and P. Martinez, 2008. Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327.
- Valor, E., and V. Caselles, 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas, *Remote Sensing of Environment*, 57: 164-184.
- Wan, Z., 2008. New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products, *Remote Sensing of Environment*, 112(1): 59-74.