GK2A AMI
Algorithm Theoretical Basis Document

LSE (Land Surface Emissivity)

개발자 정보

서명석 공주대학교

최윤영 공주대학교

Version 1.1

2019. 10. 15.

국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	국가기상위성센터 가이드라인에 따른 ATBD 초안 작성 (COMS/MI 자료를 이용한 버전)	0.1.0.0	2015. 03. 30	서명석 최윤영
0.2	1차 전문가 검토위원회의 질의응답 및 의견을 반영한 ATBD 수정 (COMS/MI 및 MODIS 자료를 이용한 버전)	0.2.0.0	2017. 01. 10	서명석 최윤영
0.3	국가기상위성센터 새 가이드라인에 따른 ATBD 전면 수정 (Himawari-8/AHI 자료를 이용)	0.3.0.0	2017. 09. 28	서명석 최윤영
0.4	ATBD 전반적인 수정 3차 전문가 검토위원회 질의응답 및 의견을 반영 (Himawari-8/AHI 자료를 이용)	0.4.4.1	2018. 01. 15	서명석 최윤영
0.5	국가기상위성센터 ATBD 작성 가이드라인에 따른 수정 (Himawari-8/AHI 자료를 이용)	0.5.0.0	2018. 04. 27	서명석 최윤영
0.6	ATBD 수정(3장 알고리즘 소개, 4장 시험 자료 및 출력물 부분) (Himawari-8/AHI 자료를 이용)	0.5.5.1	2018. 11. 29	서명석 최윤영
1.0	국가기상위성센터 ATBD 개선 필요사항 및 새로운 국문 템플릿을 반영한 ATBD 수정 (Himawari-8/AHI 자료를 이용)	0.5.6.4	2019. 06. 15	서명석 최윤영
1.1	천리안위성 2A호 자료를 이용한 결과 추가 (GK2A/AMI 자료를 이용)	0.6.4.1	2019. 10. 15	서명석 최윤영

<목차>

1. 개요 8

1.1 목적 8
1.2 사용자 8
1.3 내용 8
1.4 관련 문서 9

2. 알고리즘 소개 10

2.1 개요 10
2.2 알고리즘 흐름도 10
2.3 입력자료 11
2.3.1 L1B 12
2.3.2 L2 12
2.3.3 보조 자료 12
2.4 이론적 배경 15
2.5 수학적 설명 17
2.6. 산출물 17

3. 모의자료 및 검증 19

3.1 모의 입력자료 및 검증자료 19
3.2 검증 방법 20
3.3 검증 결과 21

4. 현업운영 시 고려사항 29

4.1 수치계산 고려사항 29
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항 29
4.3 품질 평가 및 진단 29
4.4 예외사항 처리 29
4.5 검증 알고리즘 30

5. 가정 및 제한 31

5.1 성능 31
5.2 예상 센서 성능 31

5.3 개선을 위한 사전 계획 31
6. 참고문헌 32

<표 목차>

Table 2.1. GK2A/AMI primary sensor data used in the LSE algorithm. ……5
Table 2.2. GK2A/AMI derived sensor data used in the LSE algorithm. ……5
Table 2.3. Ancillary data used in the LSE algorithm. ……6
Table 2.4. Emissivity look-up table according to the wavelength and IGBP Classes (Peres and DaCamara, 2005 and Coll et al., 2012). ……7
Table 2.5. Vegetation index thresholds for the fully covered by vegetation of each land cover class (Park and Suh, 2014). ……8
Table 2.6. Land surface emissivity retrieval algorithm output data. …… 11
Table 3.1. Comparison results of the land surface emissivity data between Himawari-8 and MODIS (MOD11C2 collection 6) for selected day (September 16, 2018). 16
Table 3.2. Comparison results of the land surface emissivity data between GK2A and MODIS for three months (July, August, and September 2019). …… 20

<그림 목차>

Fig. 2.1. Flowchart for the retrieval process of LSE from GK2A/AMI and ancillary data. The subscripts c, v, g, snow, and Clim. in flowchart denote clear, vegetation, ground, snow pixel, and Climatology value, respectively. $\boldsymbol{\rho_{ch3}}$ and $\boldsymbol{\rho_{ch6}}$ represent reflectance of channels 3 and 6. ·····4
Fig. 3.1. Spatial distribution of (a) Himawari-8 NDVI maximum value and (b) Fractional Vegetation Cover for selected period (August 12-19, 2016). ····· 12
Fig. 3.2. Spatial distribution of 4 channels of MODIS land surface emissivity for selected day (September 16, 2018). ····· 13
Fig. 3.3. Spatial distribution of GK2A land surface emissivity for the selected 4 channels using Himawari-8/AHI data on September 16, 2018. ····· 14
Fig. 3.4. Spatial distributions of differences between Himawari-8 and MODIS land surface emissivity. ····· 15
Fig. 3.5. Spatial distribution of 4 channels of GK2A land surface emissivity for selected day (July 28, 2019). ····· 17
Fig. 3.6. Same as Fig. 3.2 except for the selected day (July 28, 2019). ····· 18
Fig. 3.7. Spatial distribution of differences between GK2A and MODIS land surface emissivity on July 28, 2019. ····· 19

약어표

Acronyms	
AATSR	Advanced Along-Track Scanning Radiometer
AMI	Advanced Meteorological Imager
AHI	Advanced Himawari Imager
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
COMS	Communication, Ocean and Meteorological Imager
FVC	Fractional Vegetation Cover
GK2A	GeoKompsat-2 Atmosphere
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme
LSE	Land Surface Emissivity
MI	Meteorological Imager
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSG/SEVIRI	METEOSAT Second Generation / Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
MVC	Maximum Value Composite
NASA LP DAAC	National Aeronautics and Space Administration Land Processes Distributed Active Archive Center
NDVIs	Normalized Difference Vegetation Index when pixels are fully covered with soil
NDVIv	Normalized Difference Vegetation Index when pixels are fully covered with vegetation
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NIR	Near Infrared
NMSC	National Meteorological Satellite Center
RMSE	Root Mean Square Error
SC	Snow cover
SCF	Snow Cover Fraction
VCM	Vegetation Cover Method
VI	Vegetation Index

1. 개요

1.1 목적

본 문서는 정지궤도 기상위성 GK2A/AMI(GeoKompsat-2 Atmosphere/Advanced Meteorological Imager) 자료로부터 지표면 방출율(land surface emissivity: LSE)를 산출하는 알고리즘 기술 분석서 version 1.1이다. 본 문서는 지표면 방출율 산출 알고리즘의 이론적 배경에서부터 산출자료의 특성에 이르기까지 상세한 내용을 제공하는데 그 목적이 있으며 GK2A/AMI Level 2 자료로부터 4개 채널(채널 7, 11, 13, 15)의 지표면 방출율을 산출하는 과정을 기술하였다. 또한 방출율 산출에 사용되는 다양한 보조 자료에 대한 설명이 포함되어 있다. AMI는 후속 정지궤도 기상위성 GK2A에 탑재될 광학 영상기로서 가시에서 적외 영역에 이르기까지 16개 채널을 포함한 센서이다.

1.2 사용자

이 문서의 사용자는 일차적으로 위성자료로부터 방출율 산출의 이론적 배경이나 알고리즘 개선에 관심이 있는 연구자이고, 이차적으로는 위성으로부터 산출한 방출율 자료를 지표면온도 산출, 복사량 계산, 안개나 황사탐지 그리고 다양한 유형의 수치 및 기후모델의 지면경계조건 처방 등에 활용할 사용자들이다.

1.3 내용

이 문서는 GK2A/AMI Level 2 자료로부터 지표면 방출율을 산출하는 이론적 배경을 제시하는 것으로 크게 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- 개요: 지표면 방출율 산출 알고리즘의 목적, AMI 센서의 특성, 그리고 산출물에 대한 간단한 기술

- 알고리즘 소개: 지표면 방출율 산출에 필요한 입력 자료에서부터 이론적 배경 그리고 최종 산출물에 대한 소개

- 가정과 한계: 지표면 방출율 산출 알고리즘의 개발과정에 필요한 가정과 현 알고리즘의 한계에 대한 소개

1.4 관련 문서

- 국가기상위성센터, 2015, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (1) 연차보고서

- 국가기상위성센터, 2016, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (2) 연차보고서

- 국가기상위성센터, 2017, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (3) 연차보고서

- 국가기상위성센터, 2017, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (4) 연차보고서

- 국가기상위성센터, 2018, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (5) 연차보고서

- 국가기상위성센터, 2019, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (6) 연차보고서

- NMSC (National Meteorological Satellite Center), 2019, GEO-KOMPSAT 2A Vegetation Index Algorithm Theoretical Basis Document

- NMSC, 2019, GEO-KOMPSAT 2A Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document

2. 알고리즘 소개

본 장에서는 현재 수준의 개발된 알고리즘에 대한 자세한 내용을 기술하였다.

2.1 개요

GK2A/AMI 지표면 방출율 산출 알고리즘은 GK2A/AMI의 부가 산출물 중 하나로서 GK2A/AMI 관측 영역에 대해 4개 채널의 지표면 방출율을 정량적으로 산출하기 위한 것이다. 본 알고리즘은 시공간적으로 변동성이 큰 지표면 방출율 산출 수준을 높이기 위하여 최신의 지면 피복 분류자료, 선행 산출물인 식생지수(Vegetation Index: VI) 자료와 적설탐지(Snow Cover: SC) 자료를 이용하였다. 또한 적설지역을 고려하기 위해 가시와 근 적외 채널(채널 3번, 채널 6번)을 이용하였다. 지표면 방출율은 토양 수분에 영향을 받지만 GK2A 관측영역 내에 가용 가능한 양질의 토양수분 자료가 없어 본 알고리즘에서는 고려하지 못했다.

2.2 알고리즘 흐름도

본 연구에서 개발한 지표면 방출율 산출 알고리즘은 Fig. 2.1과 같이 크게 4 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 채널 별 방출율을 산출하는데 필요한 정적 및 동적 자료를 읽어 들인다. 여기서 정적 자료에는 지면 피복 분류자료, 육지/바다 구분자료, 각 지면 피복 및 채널 별 방출율 조견표이며 동적자료는 시간에 따라 변하는 식생지수와 적설탐지 자료 그리고 채널 3과 6의 반사도이다.

다음 단계에서는 시간적으로 변동하는 식생비율을 방출율 산출에 반영하기 위하여 방출율 산출일기준 과거 8일 간의 식생지수 자료에 최대치 합성법(maximum value composite: MVC)을 적용하여 구름으로부터 최소한 오염된 대표 식생지수를 산출한다(Holben, 1986). 이 때 8일 이상 계속되는 구름의 영향으로 8일 대표 식생지수가 산출되지 못하는 화소들에 대해서는 기후학적 방출율 값을 이용한다.

세 번째 단계에서는 모든 화소는 식생과 토양으로만 구성되어 있다는 가정하에 앞에서 산출한 8일 합성 식생지수 자료를 이용하여 각 화소에 식생이 점유하는 비율인 식생비율(Fractional Vegetation Cover: FVC)을 계산한다.

네 번째 단계에서는 각 화소에 대해 계산된 식생비율, 지면 피복 및 각 채널 별 방출율 조견표를 이용하여 채널 별 방출율을 계산한다. 이 때 해당 화소가 눈으로 덮인 경우 적

설지수(Normalized Difference Snow Index: NDSI)를 계산한 다음 각 화소에 대한 적설 비율(Snow Cover Fraction: SCF)을 반영한 최종 방출율을 계산한다.

위의 4단계 과정을 통하여 산출된 4개 채널의 지표면 방출율 자료는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 지표면 방출율 자료를 이용하여 간접적으로 검증을 실시한다.

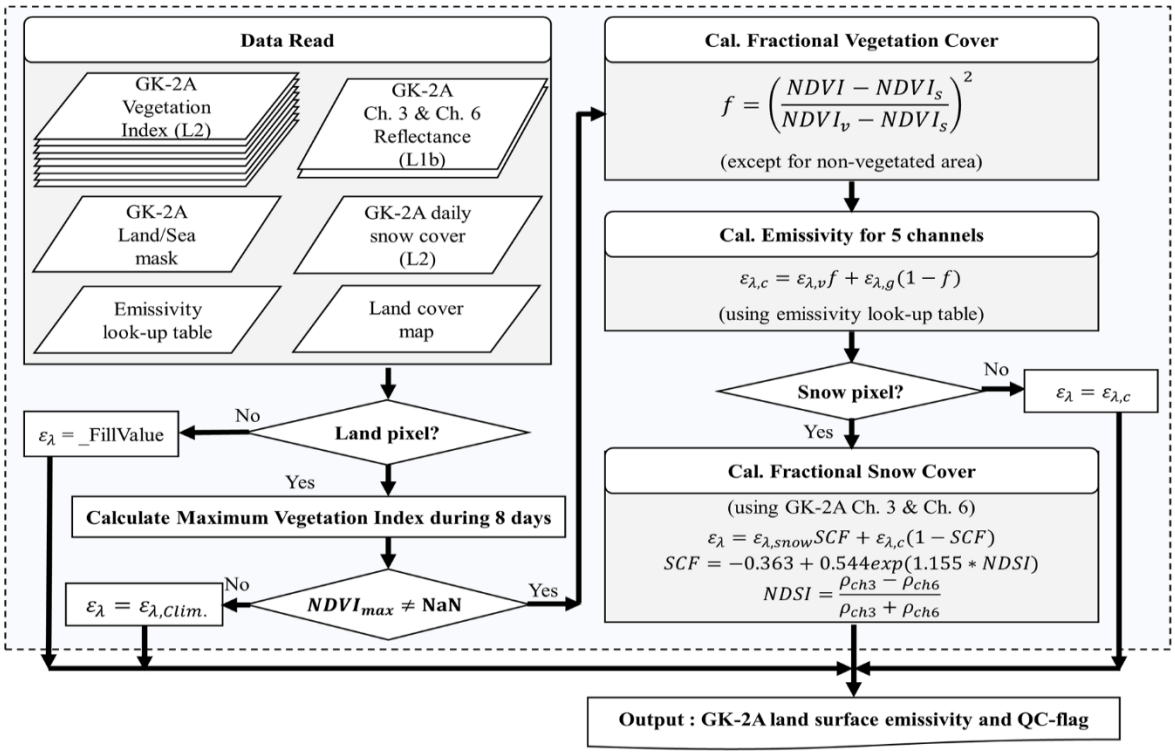


Fig. 2.1. Flowchart for the retrieval process of LSE from GK2A/AMI and ancillary data. The subscripts *c*, *v*, *g*, *snow*, and *Clim.* in flowchart denote clear, vegetation, ground, snow pixel, and Climatology value, respectively. $\boldsymbol{\rho_{ch3}}$ and $\boldsymbol{\rho_{ch6}}$ represent reflectance of channels 3 and 6.

2.3 입력자료

이 절에서는 GK2A/AMI 자료를 사용하여 지표면 방출율 산출 알고리즘의 산출 과정에 필요한 입력 자료의 특성을 기술하였다. 지표면 방출율 산출에 사용되는 자료는 시간적으로 변화가 적은 정적 입력 자료와 상대적으로 시간변화가 큰 동적 입력 자료로 크게 두 종류로 나뉜다. 정적 자료로는 지면/해양 구분 자료, 지면 피복 자료, 방출율 조견표

가 있으며 동적 자료는 선행 산출물인 식생지수와 적설탐지 자료, 그리고 적설지수를 계산하기 위한 두 개의 가시채널이 있다.

2.3.1 L1B

LSE를 산출하기 위해 사용되는 Level-1B 자료는 GK2A/AMI의 채널 3번과 채널 6번을 사용하며 두 채널의 특징은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1. GK2A/AMI primary sensor data used in the LSE algorithm.

Channel	Type	Center Wavelength (μm)	Spatial resolution (km)	Temporal resolution (minutes)	Description	Use
3	VIS	0.6394	0.5	10	AMI Channel 3 reflectance	Calculation of NDSI
6	NIR (Near Infrared)	1.6092	1	10	AMI Channel 15 reflectance	Calculation of NDSI

2.3.2 L2

지표면 방출율을 산출하기 위해 사용되는 Level-2 자료는 식생지수, 적설탐지 자료이다. 식생지수와 적설탐지 자료의 경우 영상/장면분석 표면 분야에서 부경대학교에서 개발한 알고리즘이 적용된 자료로 적설 탐지 산출물에서 snow 지역은 1, snow-free 지역은 0으로 표현되어 있으며 공간해상도는 2km이다. 지표면 방출율 산출에 필요한 L2 자료의 특징은 Table 2.2와 같다.

Table 2.2. GK2A/AMI derived sensor data used in the LSE algorithm.

Name	Spatial resolution [km]	Temporal resolution	Description	Use
Vegetation Index	2	Daily	AMI Vegetation Index product	Calculation of land surface emissivity
Snow Cover	2	Daily	AMI Snow Cover product	Calculation of land surface emissivity

2.3.3 보조 자료

지표면 방출율을 산출하기 위해 필요한 보조 자료에는 지면 피복 분류자료, 각 지면 피

복 및 채널 별 조견표 그리고 육지/해양 구분 자료가 필요하다. 보조자료의 특징은 Table 2.3과 같다.

Table 2.3. Ancillary data used for the LSE algorithm.

Name	Description	Usage
Land/Sea mask	Land/Sea mask of each pixel	Selection of land pixel
Spectral emissivity look-up table	Spectral emissivity look-up table of AMI channel 7, 11, 13, and 15	Calculation of land surface emissivity
Land use/cover data	Land use/cover of each pixel	Calculation of land surface emissivity

지면 피복 분류자료는 MODIS Land cover (MCD12Q1)로 전 지구에 대해 500m 공간해상도로 제공되며 지면 피복을 IGBP(International Geosphere Biosphere Programme) 17개 유형으로 분류하였으며 NASA LP DAAC(National Aeronautics and Space Administration Land Processes Distributed Active Archive Center를 통해 제공하고 있다(Source: https://lpdaac.usgs.gov/). 본 연구에서는 GK2A의 관측영역에 대해 GK2A의 각 화소에 가장 가까운 MODIS 지면 피복자료를 이용하여 GK2A의 공간해상도에 맞게 2 km로 리샘플링 하여 사용하였다.

각 지면 피복 및 채널 별 방출율 조견표는 IGBP 17개 유형에 대해 Table 2.4에 나타내었다 (Park and Suh, 2013). 채널 7번(3.8 μm)과 채널 11번(8.7 μm)의 조견표는 MSG/SEVIRI(METEOSAT Second Generation/Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)에 적용된 조견표(Peres and DaCamara, 2005)의 값들을 사용하였으며, 채널 13번(10.5 μm), 채널 15번(12.3 μm) 파장역에 대한 조견표는 Envisat의 AATSR(Advanced Along-Track Scanning Radiometer)에 적용된 조견표를 사용하였다(Coll et al., 2012).

Table 2.4 Emissivity look-up table according to the wavelength and IGBP Classes (Peres and DaCamara, 2005 and Coll *et al.*, 2012).

IGBP Class	Vegetation_type				Ground_type				Descriptions
	IR3.8	IR8.7	IR10.5	IR12.3	IR3.8	IR8.7	IR10.5	IR12.3	
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

주어진 화소가 식생으로 완전히 덮여 있을 때 산출되는 식생지수의 크기는 지면 피복 유형에 따라 상이하다. 따라서 각 화소에서 식생이 차지하는 비율을 산출하기 위해서는 이 점을 반영하여야 한다(Jiménez-Muñoz et al., 2009). Table 2.5은 각 지면 피복 유형별로 주어진 화소가 완전히 식생으로 채워졌을 때의 최대 임계값(Normalized Difference Vegetation Index when pixels are fully covered with vegetation: NDVIv)과 최소 임계값(Normalized Difference Vegetation Index when pixels are fully covered with soil: NDVIs)을 나타낸 것이다. 두 임계값은 지면 피복 유형 별 최대값(95 percentile)

을 설정하여 계산하였다(Park and Suh, 2014). 본 연구에서 지표면 방출율을 산출하기 위해 사용한 식생 피복 법(Vegetation Cover Method: VCM)은 도시, 습지, 불모지, 영구적인 적설지역에 대해서는 식생비율을 계산하지 않으므로 NDVIv값을 기술하지 않았다.

Table 2.5 Vegetation index thresholds for the fully covered by vegetation of each land cover class (Park and Suh, 2014).

IGBP Class	NDVIv	IGBP Class	NDVIv
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 (The NDVIs stands for the value when the pixels are completely covered with soil.)			

2.4 이론적 배경

방출율은 주어진 온도에서 흑체에서 방출된 복사에너지와 실제 물체에서 방출된 복사 에너지의 비로 정의되며 0.0부터 1.0의 값을 가진다. 여기서 공간해상도가 수백 m 이상일 경우 지면의 방출율은 지표면을 구성하는 물질의 종류에 따른 지면 피복 또는 토지 이용과 함께 토양의 종류에 영향을 받을 뿐만 아니라 토양수분, 식생상태(잎 면적지수 등) 그리고 적설유무로 대표되는 지면상태의 영향을 복합적으로 받기 때문에 시공간적으로 변동성이 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 주어진 화소가 식생과 토양으로만 구성되었다는 가정 하에 식생과 토양의 점유율을 고려하여 가중평균으로 방출율을 산출하는 식생 피복 법(VCM, Caselles et al., 2012)를 식 (2.1)과 같이 이용하였다. 식생 피복법은 공간적 변화를 보이는 지면 피복과 시간적 변화를 보이는 식생을 반영하여 지표면 방출율을 산출할 수 있다.

$$\varepsilon_{\lambda,c} = \varepsilon_{\lambda,v} f_v + (1 - f_v)\varepsilon_{\lambda,g} \tag{2.1}$$

식 (2.1)에서 첨자 c, v, 그리고 g는 각각 청천 화소, 식생으로 덮인 화소 및 토양을 의미한다. 위 식에서 $\varepsilon_{\lambda,v}$와 $\varepsilon_{\lambda,g}$는 각각 주어진 화소가 식생(Vegetation)과 토양(Ground)으로만 구성되어 있을 때 파장 별(λ) 방출율을 의미한다. f_v는 화소 단위의 식생비율(FVC)을 뜻하며 Carlson and Ripley (1997)의 방법을 사용하여 산출하였으며 식 (2.2)와 같다.

$$f_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}\right)^2 \quad (2.2)$$

여기서 $NDVI_v$와 $NDVI_s$는 각각 주어진 화소가 완전히 식생으로 채워졌을 경우와 식생이 최소일 때의 식생지수 임계 값이다. 이 방법은 산출방법이 간단할 뿐만 아니라 정확도도 높아서 많은 연구에서 현업차원의 식생비율을 산출하는데 이용하고 있다(Carlson and Ripley, 1997; Sobrino and Raissouni, 2000; Sobrino et al., 2008). 여기서 문제가 되는 것은 $NDVI_v$와 $NDVI_g$를 정하는 것이다. 이들 값은 화소의 크기, 위성 센서의 특성 등에 영향을 받기 때문에 정확히 산정하기가 쉽지 않다. 일반적으로 주어진 영역에 대해 히스토그램 특성을 분석한 후 $NDVI_v$와 $NDVI_g$를 각각 상위 95%와 하위 5%로 정하기도 한다. Jiménez-Muñoz et al., (2009) 는 현장관측 FVC를 이용하여 검증한 결과 편의는 0.04, 평균제곱근오차는 0.13으로 나타나 식생지수 임계값 설정방법 중 가장 우수한 결과를 보였다.

또한, 지면이 눈으로 덮인 경우에는 지표면 방출율의 값이 다른 값을 가지기 때문에 적설 탐지 자료를 이용하여 적설이 반영된 지표면 방출율을 산출한다. 적설탐지 자료는 적설역에 대해서는 1, 적설역이 아닌 지역에 대해서는 0으로 표현되어 있다. 화소가 적설로 탐지되었을 때 두 개의 가시채널 반사도가 0.1 이상일 때 적설지수를 계산한다. 계산된 적설지수가 0.4 이상일 때 이를 최종 방출율 산출에 고려한다. 일반적으로 적설지수 산출은 Hall et al. (2002)의 방법을 이용한다. 현재 가장 많이 이용되고 있는 MODIS의 경우 채널 4(Green, 0.545–0.565 μm)와 채널 6(NIR, 1.628–1.652 μm)의 반사도 자료를 사용하여 적설지수를 계산하며 산출식은 식 (2.3)과 같다.

$$NDSI = \left(\frac{\rho_g - \rho_{NIR}}{\rho_g + \rho_{NIR}}\right) \quad (2.3)$$

본 연구에서는 MODIS의 두 채널의 파장대와 유사한 GK2A/AMI의 채널 3(0.639μm)와 채널 6(1.609μm)을 사용하였다. 눈으로 덮인 화소에 대해 적설지수(NDSI)로부터 적설비율(SCF)을 추정하는 식은 Lin et al., (2012)의 방법을 이용하였으며 산출식은 식 (2.4)와 같다.

$$SCF = -0.363 + 0.544 \times e^{1.155 \times NDSI} \quad (2.4)$$

계산된 적설비율(SCF)을 고려한 최종 지표면 방출율을 산출하는 식은 식 (2.5)와 같다.

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{\lambda,snow} SCF + (1 - SCF)\varepsilon_{\lambda,c} \quad (2.5)$$

여기서 $\varepsilon_{\lambda,snow}$는 지면 피복 유형이 빙설(Snow and ice) 일 때의 방출율이며, $\varepsilon_{\lambda,c}$는 VCM 식(2.1)을 이용하여 산출된 방출율을 의미한다.

2.5 수학적 설명

2.4 절에서 보인 바와 같이 방출율 산출에 필요한 수식들은 매우 간단하기 때문에 특별히 수학적인 설명이 필요하지 않다.

2.6. 산출물

지표면 방출율 산출 알고리즘의 출력자료는 4개 채널에 대한 지표면 방출율 자료(GK2A/AMI 관측 영역)와 품질에 대한 자료이다. 지표면 방출율 자료는 1일 주기로 산출되며 공간해상도는 2 km로 최종 산출물의 구조는 Table 2.6와 같다.

Table 2.6. Land surface emissivity retrieval algorithm output data.

Variable		Attribute	
Product name	Type	Name	Value
LSE038	short	long_name	AMI L2 Land Surface Emissivity 3.8 μm
		_Unsigned	TRUE
		_FillValue	65535
		Valid_max	1000
		Valid_min	0
		scaling_factor	0.001
		add_offset	0
		units	none
LSE087	short	long_name	AMI L2 Land Surface Emissivity 8.7 μm
		_Unsigned	TRUE
		_FillValue	65535
		Valid_max	1000
		Valid_min	0
		scaling_factor	0.001
		add_offset	0
		units	none
LSE105	short	long_name	AMI L2 Land Surface Emissivity 10.5 μm
		_Unsigned	TRUE
		_FillValue	65535
		Valid_max	1000
		Valid_min	0
		scaling_factor	0.001
		add_offset	0
		units	none
LSE123	short	long_name	AMI L2 Land Surface Emissivity 12.3 μm
		_Unsigned	TRUE
		_FillValue	65535
		Valid_max	1000
		Valid_min	0
		scaling_factor	0.001
		add_offset	0
		units	none
DQF_LSE	byte	long_name	AMI L2 Land Surface Emissivity data quality flags
		_Unsigned	TRUE
		_FillValue	255
		Valid_max	4
		Valid_min	0
		units	none
		flag_meanings	0: normal 1: abnormal – satellite data receiving error 2: abnormal – climatological values are used due to the auxiliary data error 3: abnormal – exceeds the valid range of LSE 4: abnormal – climatological values are used due to the persistent cloud

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

국가기상위성센터에서는 2019년 7월 25일부터 천리안위성 2A호 자료의 정식서비스를 시작하였다. 정식서비스 시작 이전에는 GK2A/AMI 자료를 사용할 수 없기 때문에 모의 자료로 GK2A와 궤도 특성이 같으며 위치도 근접한 Himawari-8/AHI(Advanced Himawari Imager) 자료를 모의 입력 자료로 활용하였다. 지표면 방출율 산출에 필요한 식생지수 자료와 적설 탐지 자료는 천리안위성 2A호 자료의 정식서비스 이전에는 GK2A 알고리즘을 Himawari-8 자료에 적용하여 산출한 결과물을 제공받아 사용하였다. 또한 천리안위성 2A호의 정식서비스가 시작된 이후에는 GK2A 식생지수와 적설탐지 산출물을 사용하였다. 적설역에 대해 적설지수를 계산하기 위해 GK2A 채널 3번과 6번과 이에 대응하는 Himawari-8의 채널 3번과 채널 5번 자료를 사용하였다.

지표면 방출율 산출에 필요한 식생지수는 연속적인 8일간의 식생지수 자료에 최대치 합성법(MVC)을 적용해 8일 대푯값을 도출한다. Himawari-8/AHI 식생지수 자료의 시간 해상도는 1일이며, 공간 해상도는 2 km이다. 최대치 합성법을 통해 산출된 값과 이를 이용하여 계산된 식생비율(FVC)의 공간분포의 예를 Fig. 3.1에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 각 화소에서 식생이 점유하는 비율은 식생지수와 함께 지면 피복 유형에 따라 공간차가 있음을 알 수 있다. 또한 식생의 활동이 활발한 지역에서는 식생비율의 값이 1에 가까운 값을 보이지만 중국, 몽고, 그리고 호주의 사막 지역에서는 식생비율의 값이 0.1~0.3 사이의 작은 값을 보이고 있다.

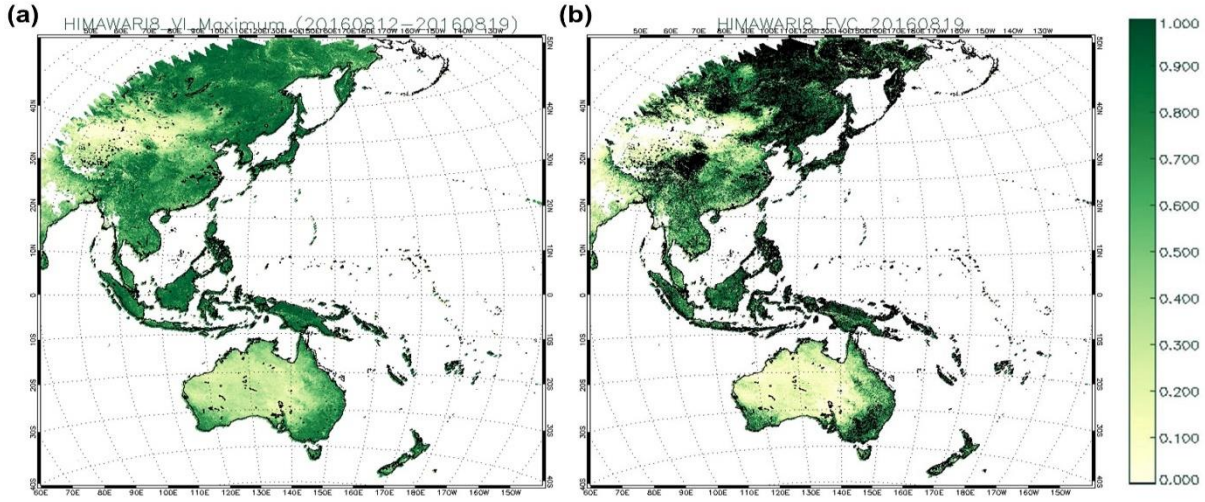
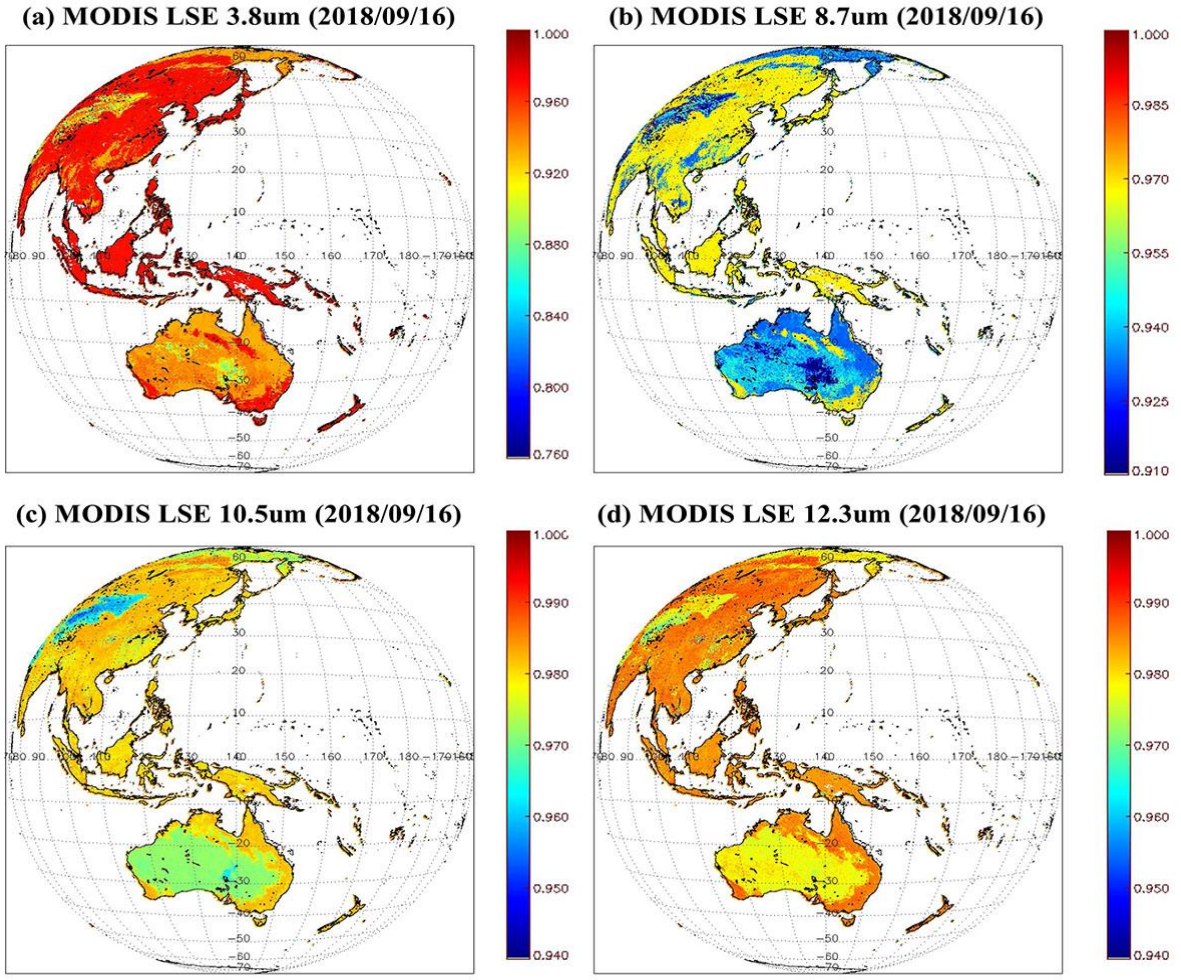


Fig. 3.1. Spatial distribution of (a) Himawari-8 NDVI maximum value and (b) Fractional Vegetation Cover for selected period (August 12-19, 2016).

지표면 방출율의 경우 GK2A의 영역을 커버할 수 있는 현장 관측 자료가 전무한 실정이다. 따라서 산출된 지표면 방출율을 비교 검증하기 위한 자료는 MODIS LSE(MOD11C2, MYD11C2 collection 6)를 사용하였다(Wan, 2008; Liang et al., 2013;). MODIS 지표면 방출율의 공간 해상도는 0.05 degree이며 시간 해상도는 8일 합성주기를 가진다. 이 자료는 8일의 MODIS 지표면 방출률 자료(MOD11C1/MYD11C1)를 평균한 값으로 생성된다. Fig. 3.2는 2018년 9월 16일의 MODIS 4개 파장역에 대한 지표면 방출률 자료를 Himawari-8의 화소에 시공간 일치시켜 나타낸 것이다. 파장에 관계없이 MODIS 방출률이 지면피복에 따라 다양하게 나타나고 있으며 사막 및 나대지에서 다른 지역보다 낮은 값을 보였다.



3.2 검증 방법

Fig. 3.2. Spatial distribution of 4 channels of MODIS land surface emissivity for selected day (September 16, 2018).

GK2A/AMI 지표면 방출율 자료는 공간해상도가 2 km, 산출 주기는 1일인데 비해 검증 자료인 MODIS 지표면 방출율의 공간해상도는 0.05 degree이며 시간 해상도는 8일 합성주기로 차이가 있다. 이로 인해 각 자료간 공간일치는 MODIS 화소에 가장 가까운 GK2A 및 Himawari-8 화소를 비교하였다. 시간 일치는 Himawari-8의 산출일과 가장 가까운 MODIS 자료를 이용하여 검증을 실시하였다.

3.3 검증 결과

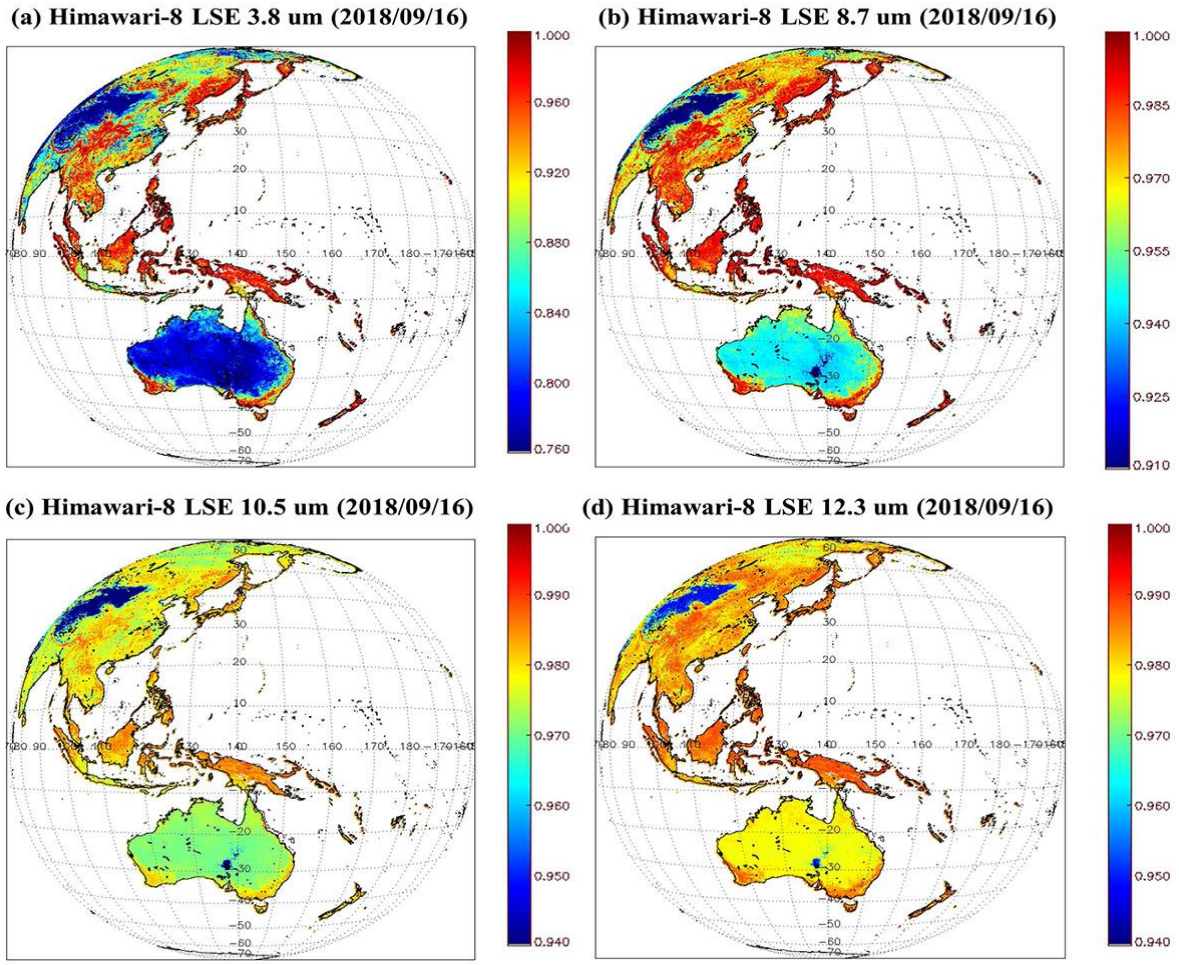


Fig. 3.3. Spatial distribution of GK2A land surface emissivity for the selected 4 channels using Himawari-8/AHI data on September 16, 2018.

Fig 3.3은 GK2A/AMI 지표면 방출율 알고리즘으로부터 산출된 Himawari-8의 4개 채널(채널 7, 11, 13, 15번)의 지표면 방출율 공간분포이다. 전반적으로 파장에 관계없이 방출율이 지면 피복에 따라 다양하게 나타나고 있으며 사막지역의 경우 방출율이 다른 지역보다 낮은 값을 보였으며 식생의 활동이 활발한 적도 근처의 동남아시아 지역의 경우 다른 지역보다 방출율이 상대적으로 높은 값을 보였다. 또한 동일 지면 피복에서도 채널 별 방출율의 차이가 잘 나타났으며 특히 채널 7번(3.8 μm)의 경우 중국, 몽골, 그리고 호주의 사막지역에서 다른 채널보다 방출율 값이 상당히 작게 나타나고 있다. 이는 다른 선행 연구 결과에서도 중국과 몽골의 사막지역에 대해 여름철 3.7-3.8 μm 파장역의 지표면 방출율의 공간적 변동성이 매우 크게 나타나는 것과 유사한 결과이다(Park and Suh, 2014; Liang *et al.*, 2013).

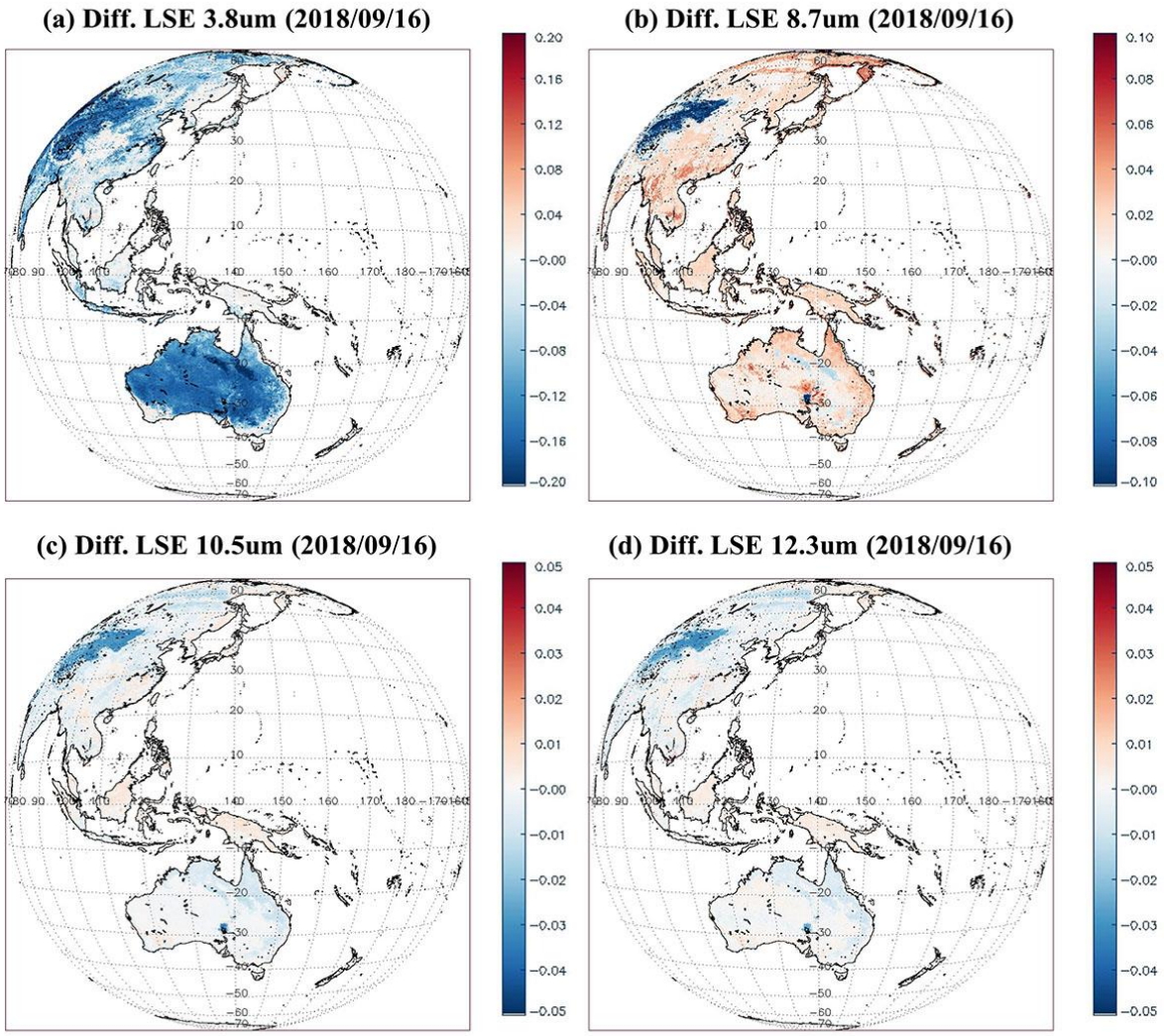


Fig. 3.4. Spatial distributions of differences between Himawari-8 and MODIS land surface emissivity.

산출된 Himawari-8/AHI 채널 별 지표면 방출율과 MODIS 지표면 방출율의 차이를 Fig. 3.4에 나타내었다. 채널 7(3.8 μm)의 경우 전반적으로 GK2A의 지표면 방출율이 MODIS 지표면 방출율보다 작게 산출되었다. 특히 호주와 몽골의 사막지역과 나대지 지역에 대해 –0.04 이상으로 그 값의 차이가 두드러졌다. 이는 GK2A 지표면 방출율 산출에 사용된 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 분광 라이브러리의 특성으로 비 식생 지역(사막, 나대지)에 대한 채널 7번의 지표면 방출율의 조견표가 0.76으로 상당히 낮은 값으로 제시되었기 때문으로 판단된다. 이는 다른 선행 연구 결과에서도 사막과 비 식생 지역에 대해 3.7~3.8 μm 의 지표면 방출율의 공간 변동성이 매우 크게 나타나는 것과 유사한 결과이다(Park and Suh 2014; Liang et al., 2013). 채널 11(8.7 μm)의 경우 GK2A의 지표면 방출율이 중국 및 몽골의 사막지역을 제외한 나머지 지역에 대해 전반적으로 MODIS 지표면 방출율보다 크게 산출되었다. 채널 13과 15의 경우 사막 및 나대지 지역을 제외한 나머지 지역에 대해서는 두 지표면 방출율의 차이가 ± 0.01보다 작게 나타났다.

Himawari-8의 지표면 방출율의 산출 수준을 평가하기 위해 MODIS 방출율 자료를 이용하여 검증을 실시하였으며 이를 Table 3.1에 나타내었다.

Table 3.1 Comparison results of the land surface emissivity data between Himawari-8 and MODIS (MOD11C2 collection 6) for selected day (September 16, 2018).

Channel Wavelength [μm]	**Channel 7 (3.8 μm)**	**Channel 11 (8.7 μm)**	**Channel 13 (10.3 μm)**	**Channel 15 (12.3 μm)**
bias	-0.076	0.009	-0.003	-0.003
RMSE	0.101	0.030	0.009	0.007

검증 결과 세 채널들(채널 11, 13, 15)의 경우 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error: RMSE)가 각각 0.030, 0.009, 0.007로 알고리즘 목표 정확도를 만족하였다. 하지만 채널 7번(3.8 μm) 파장역의 경우 목표 정확도보다 큰 –0.076의 강한 음의 편의가 나타났다. 이는 Fig 3.4에서 나타난 것과 같이 사막과 나대지에서 Himawari 지표면 방출율이 MODIS보다 전반적으로 작은 값을 나타낸 결과로 판단된다.

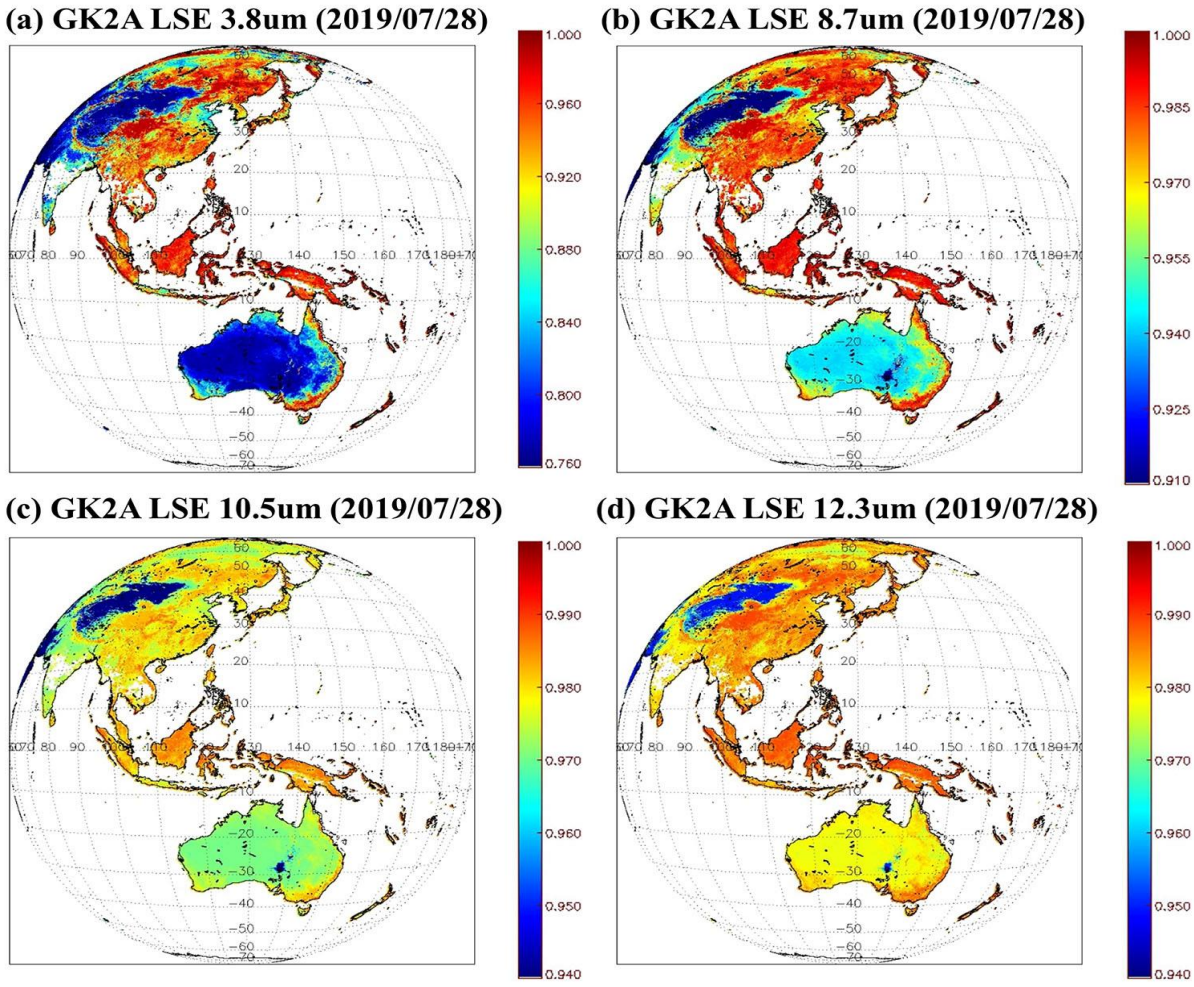


Fig. 3.5. Spatial distributions of 4 channels of GK2A land surface emissivity for the selected day(July 28, 2019).

개발된 GK2A 지표면 방출율 알고리즘을 천리안위성 2A호 자료에 적용하여 GK2A의 4개 채널(3.8, 8.7, 10.5, 12.3 μm)의 지표면 방출율을 산출하였으며 2019년 7월 28일의 공간분포는 Fig. 3.5와 같다. 산출된 GK2A 지표면 방출율은 채널에 따라 지면 피복 별로 상이하게 나타나고 있다. Himawari-8 지표면 방출율 산출 결과와 비슷하게 모든 채널에서 사막 및 나대지 지역에서 다른 지역보다 방출율이 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

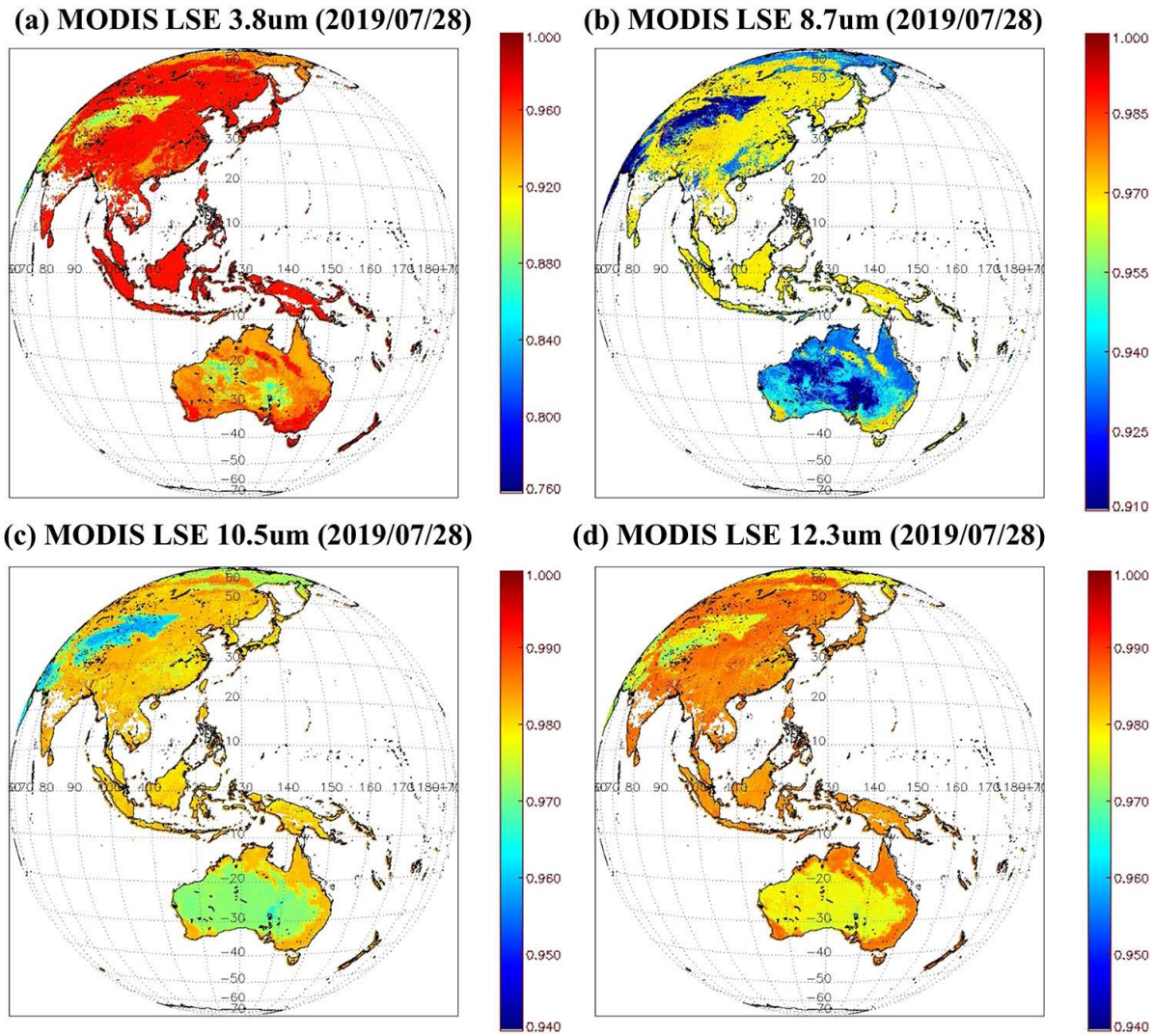


Fig. 3.6. Same as Fig 3.2 except for the selected day (July 28, 2019).

본 연구에서 산출한 채널 별 방출율의 정성적 분석을 위해 동일 분석일인 2019년 7월 28일의 MODIS 지표면 방출률 자료를 GK2A의 화소에 시공간 일치시킨 후 파장별로 Fig. 3.6에 나타내었다. MODIS 방출률 또한 파장 및 지면 피복에 따라 상이하게 나타나고 있다. 8.7 um의 MODIS 방출율은 GK2A 지표면 방출율과 비교하였을 때 전반적으로 낮은 값을 보이고 있다. 그에 비해 다른 파장역(3.8 um, 10.5 um, 12.3 um)에서는 GK2A 지표면 방출율보다 높은 값을 보였다. 공간분포에서는 3.8 um 파장역에서 큰 차이를 보이고 있다. 특히 MODIS 방출율은 4개 채널 모두 사막 및 나대지에서도 상대적으로 GK2A보다 높은 값을 보였다.

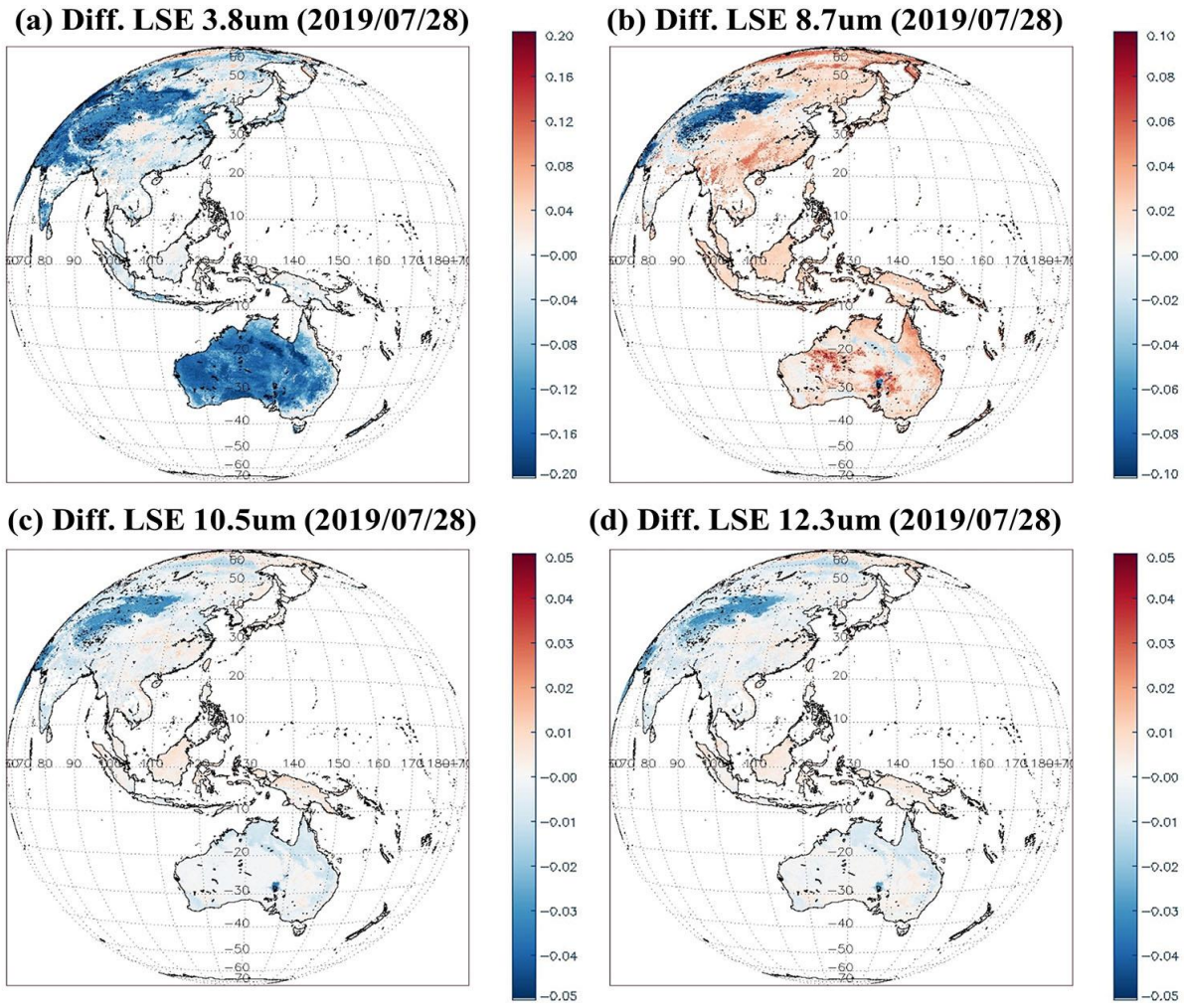


Fig. 3.7. Spatial distribution of differences between GK2A and MODIS land surface emissivity on July 28, 2019.

GK2A와 MODIS 지표면 방출률 차의 공간분포를 파장별로 Fig. 3.7에 나타내었다. 채널 11(8.7um)번을 제외한 나머지 채널들(3.8, 10.5, 12.3 um)에서는 GK2A 지표면 방출율이 MODIS 방출율보다 낮게 산출되었다. 특히 채널 7번에서는 사막과 나대지에서 두 방출율의 차이가 −0.08 이상으로 차이가 두드러졌다. 반면 채널 11에서는 중국과 몽골의 사막지역을 제외한 나머지 지역에서 GK2A 지표면 방출율이 MODIS보다 큰 값으로 산출되었다.

천리안위성 2A호의 현업 운영이 시작된 2019년 7월부터 9월 8일까지 지표면 방출률을 산출하여 MODIS 지표면 방출율과 비교 검증을 실시하였으며 이에 대한 정량적 결과는 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Comparison results of the land surface emissivity data between GK2A and MODIS for three months (July, August, and September 2019).

	Month	MOD11C2				MYD11C2			
		# of pixel	Corr.	bias	RMSE	# of pixel	Corr.	bias	RMSE
Ch.7 (3.8 um)	2019.07	1,685,388	0.576	-0.077	0.102	1,690,683	0.583	-0.078	0.102
	2019.08	2,038,729	0.653	-0.076	0.101	1,484,553	0.648	-0.076	0.099
	2019.09	499,361	0.691	-0.073	0.099	504,252	0.667	-0.073	0.098
Total and Ave.		4,223,478	0.627	-0.076	0.101	3,679,488	0.620	-0.077	0.100
Ch.11 (8.7 um)	2019.07	1,685,388	0.616	0.007	0.032	1,690,683	0.528	0.006	0.035
	2019.08	2,038,729	0.631	0.008	0.031	1,484,553	0.554	0.008	0.034
	2019.09	499,361	0.623	0.009	0.032	504,252	0.563	0.008	0.034
Total and Ave.		4,223,478	0.624	0.008	0.032	3,679,488	0.543	0.007	0.034
Ch. 13 (10.5 um)	2019.07	1,757,210	0.695	-0.004	0.010	1,765,021	0.682	-0.004	0.010
	2019.08	2,129,941	0.748	-0.004	0.009	1,553,744	0.747	-0.004	0.009
	2019.09	519,614	0.764	-0.004	0.009	526,699	0.756	-0.004	0.009
Total and Ave.		4,406,765	0.729	-0.004	0.010	3,845,464	0.719	-0.004	0.010
Ch. 15 (12.3 um)	2019.07	1,757,210	0.440	-0.003	0.008	1,765,021	0.485	-0.003	0.008
	2019.08	2,129,941	0.492	-0.003	0.008	1,553,744	0.539	-0.002	0.007
	2019.09	519,614	0.505	-0.003	0.008	526,699	0.545	-0.002	0.007
Total and Ave.		4,406,765	0.473	-0.003	0.008	3,845,464	0.515	-0.002	0.008

전반적으로 GK2A 지표면 방출률과 MODIS 지표면 방출율 자료 간 상관계수는 비교검증에 사용된 자료와 채널별로 상이하게 나타났다. 채널 7번과 13번의 경우 비교검증에

사용된 위성과 관계없이 상관계수가 각각 0.62, 0.72로 나타나고 있다. 하지만 채널 11번의 경우 MOD11C2와의 상관계수는 0.62가 나타난 반면 MYD11C2와의 상관계수는 0.54로 낮게 나타났다. 또한 채널 15번도 MOD11C2와의 상관계수는 0.47, MYD11C2와의 상관계수는 0.51로 다른 채널에 비해 상대적으로 낮은 상관계수를 나타내고 있다.
검증 결과 채널 7번(3.8 um)의 경우 편의가 목표정확도인 0.05보다도 큰 −0.073의 강한 음의 편의가 나타났다. 이로 인해 RMSE도 영향을 받아 0.101의 큰 값이 나타났다. 이는 Himawari−8 지표면 방출율 비교 검증 결과인 Table 3.1과 비슷하게 나타났다. 이는 본 연구에서 사용한 ASTER 분광 라이브러리에서 비 식생지역에 대한 지표면 방출율의 조견표가 0.76로 상당히 낮은 값으로 제시된 결과로 판단된다. ASTER 분광 라이브러리를 사용한 선행 연구 결과에서도 사막과 비 식생 지역에 대해 3.7 μm 파장역의 지표면 방출율의 공간 변동성이 매우 크게 나타나는 것과 유사한 결과이다(Peres and Dacamara 2005; Li et al., 2013). 특정지역(사막, 나대지 등)에서 두 자료 사이의 편차가 크게 나타나고 있어서 본 연구에서는 타 지표면 방출율 자료와의 추가 분석을 통해 방출율 산출 알고리즘을 개선할 계획이다. 특히 검증 자료로 사용된 MODIS 지표면 방출율 자료 역시 참 값이 아니기 때문에 다른 지표면 방출율 자료들과의 상호비교가 더욱 필요하다.

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

2.4 절에서 보인 바와 같이 방출율 산출에 필요한 수식들은 매우 간단하기 때문에 특별한 수학적 고려사항은 없다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

지표면 방출율 산출 알고리즘은 GK2A의 부가 산출물이며 산출주기가 1일 주기이므로 실시간으로 산출되는 기본산출물들과는 별도로 운영될 필요가 있다. 즉, 선행 산출물인 식생지수의 산출 주기가 1일이므로 해당 자료가 8일 이상 누적이 되었으며 하루 중 컴퓨팅 자원이 가장 여유 있는 시간대에 이 프로그램을 구동 시킬 필요가 있다. 여름의 경우에는 GK2A 관측영역에 적설 현상이 거의 없고 식생지수도 시간에 따라 급격히 변하지 않으므로 지표면 방출율의 시간적 변동성이 크지 않다. 하지만 겨울의 경우 동북아시아 지역에 적설이 발생하면 시간에 따라 적설지역의 지표면 방출율이 변화하기 때문에 이를 반드시 고려하여야 하므로 지표면 방출율을 산출하는 프로그램이 매일 구동되어야 한다.

4.3 품질 평가 및 진단

지표면 방출율 산출 결과의 정확성은 기본적으로 지면 피복분류 자료, 식생지수 및 적설탐지에 영향을 받는다. 여기서 지면 피복 분류자료는 시간적으로 큰 변동성이 없으므로 결과적으로 식생지수 및 적설 탐지 자료의 품질이 방출율의 품질을 결정한다고 볼 수 있다. 따라서 방출율 산출 결과의 품질 평가 및 진단은 식생지수 및 적설 탐지 자료의 품질평가 결과를 활용할 예정이다.

4.4 예외사항 처리

지표면 방출율 산출 알고리즘에서는 자료 입력 시 자료의 존재 및 이상 유무를 검사한다. 이 때 반드시 필요한 자료가 부재하거나 이상이 있는 경우에는 방출율 산출 과정을 중단하고 해당 날짜의 지표면 방출율 값을 산출일에 해당하는 기후학적 방출율 값으로 대체한 후 이를 flag에 표시하여 제공한다. 또한 여름과 같이 구름의 영향으로 인해 최대치 합성법으로 산출된 식생지수의 최대값이 존재하지 않는 경우에도 산출일에 해당하는 8

일 주기의 기후학적 지표면 방출율 값으로 대체하고 이를 flag로 표시하여 제공한다.

4.5 검증 알고리즘

현재 지표면 방출율 자료의 경우 GK2A의 영역을 커버할 수 있는 현장 관측 자료가 전무한 실정이다. 따라서 지표면 방출율 산출 알고리즘의 산출 수준은 1차적으로 MODIS 지표면 방출율 자료와 비교를 통해 평가할 것이다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

지표면 방출율 산출 결과의 정확성은 기본적으로 지면 피복분류 자료, 식생지수 및 적설 탐지 자료에 영향을 받는다. 여기서 지면 피복 분류자료는 시간적으로 큰 변동성이 없으므로 결과적으로 GK2A/AMI의 식생지수 및 적설 탐지 자료의 품질이 방출율의 품질을 결정한다고 볼 수 있다. 또한 지표면 방출율은 토양수분의 영향도 받는데 현재 GK2A 관측영역에 대해 양질의 토양수분 자료를 구할 수 없으므로 이를 고려하지 못하는 문제점이 있다.

5.2 예상 센서 성능

지표면 방출율 산출 알고리즘은 기본적으로 AMI의 성능이 계획했던 조건을 충족하리라 가정하며 또한 방출율 산출에 중요한 식생지수 및 적설지수의 성능도 기본조건을 충족함을 전제한다.

5.3 개선을 위한 사전 계획

본 연구에서 산출하는 지표면 방출율은 근본적으로 지면 피복 분류자료의 정확성, 식생비율의 정확성 그리고 적설지수의 정확성에 영향을 받는다. 따라서 GK2A/AMI의 현업운영 전까지 관측영역 내 지면 피복 자료의 정확성 향상과 적설지수 정확성 향상을 위해 노력할 것이다. 또한 각 지면 피복 및 채널 별 방출율 LUT의 정확성 향상 방안에 대해서도 연구할 계획이다.

6. 참고문헌

국가기상위성센터, 2015, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (1) 연차보고서

국가기상위성센터, 2016, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (2) 연차보고서

국가기상위성센터, 2017, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (3) 연차보고서

국가기상위성센터, 2017, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (4) 연차보고서

국가기상위성센터, 2018, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (5) 연차보고서

국가기상위성센터, 2019, 영상 장면분석/표면 분야 알고리즘 개발 (6) 연차보고서

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.

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.

Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DeGirolamo, and K.J. Bayr, 2002: MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, **83**, 181-194.

Holben, B. N. 1986: Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International journal of remote sensing*, **7(11)**, 1417-1434.

Jiménez-Muñoz, J., J. Sobrino, A. Plaza, L. Guanter, J. Moreno, and P. Martínez, 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(2)**, 768-793.

Li, Z. L., Wu, H., Wang, N., Qiu, S., Sobrino, J. A., Wan, Z., ... and Yan, G., 2013: Land surface emissivity retrieval from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, **34(9-10)**, 3084-3127.

Liang S., X. Zhao, S. Liu, W. Yuan, X. Cheng, Z. Xiao, X. Zhang, Q. Liu, J. Cheng, H. Tang, Y. Qu, Y. Bo, Y. Qu, H. Ren, K. Yu, and T. John, 2013: A long-term Global LAnd Surface Satellite (GLASS) data-set for environmental studies, *International Journal of Digital Earth*, **6:sup1**, 5-33, DOI: 10.1080/17538947.2013.805262

Lin, J., X. Feng, P. Xiao, H. Li, J. Wang, and Y. Li, 2012: Comparison of snow indexes in estimating snow cover fraction in a mountainous area in northwestern China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **9(4)**, 725-729.

NASA LP DAAC, 2013, MOD11C2: MODIS/Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG V006. *USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (https://lpdaac.usgs.gov)*, accessed January 15, 2018, at http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD11C2.006.

NMSC, 2017: GEO-KOMPSAT 2A Vegetation Index Algorithm Theoretical Basis Document

NMSC, 2017: GEO-KOMPSAT 2A Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document

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).

Park, K.-H. and M.-S. Suh, 2014: Improvement of infrared channel emissivity data in COMS observation area from recent MODIS data (2009-2012), *Korean Journal of Remote Sensing*, **30(1)**, 109-126 (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.

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)**, 353-366.

Sobrino, J. A., J. C. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, M. Romaguera, L. Guanter, J. Moreno, and P. Martínez, 2008: Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **46(2)**, 316-327.

Wan, Z, 2008: New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **47(1)**, 108-123.