

Letter

천리안 위성자료 융합을 통한 적설역에서의 GEMS 지표면 반사도 개선 연구

심수영 ¹ · 정대성 ¹ · 우종호 ² · 김나연 ³ · 박성우 ³ · 홍현기⁴ · 한경수 ⁵*

Enhancing GEMS Surface Reflectance in Snow-Covered Regions through Combined of GeoKompasat-2A/2B Data

Suyoung Sim ¹ · Daeseong Jung ¹ · Jongho Woo ² · Nayeon Kim ³ ·
Sungwoo Park ³ · Hyunkee Hong⁴ · Kyung-Soo Han ⁵*

Abstract: To address challenges in classifying clouds and snow cover when calculating ground reflectance in Near-UltraViolet (UV) wavelengths, this study introduces a methodology that combines cloud data from the Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS) and the Advanced Meteorological Imager (AMI) satellites for snow cover analysis. The proposed approach aims to enhance the quality of surface reflectance calculations, and combined cloud data were generated by integrating GEMS cloud data with AMI cloud detection data. When applied to compute GEMS surface reflectance, this fusion approach significantly mitigated underestimation issues compared to using only GEMS cloud data in snow-covered regions, resulting in an approximately 17% improvement across the entire observational area. The findings of this study highlight the potential to address persistent underestimation challenges in snow areas by employing fused cloud data, consequently enhancing the accuracy of other Level-2 products based on improved surface reflectivity.

Keywords: Surface reflectance, GEMS, Cloud removal, GK-2A/AMI

Received November 24, 2023; Revised December 4, 2023; Accepted December 5, 2023; Published online December 31, 2023

¹ 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 박사수료생(PhD Candidate, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

² 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 석/박사통합과정생(Combined MS/PhD Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

³ 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 석사과정생(Master Student, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

⁴ 국립환경과학원 환경위성센터 연구사(Researcher, Environmental Satellite Center, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea)

⁵ 부경대학교 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공 교수(Professor, Major of Spatial Information Engineering, Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea)

* Corresponding author: Kyung-Soo Han (kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약: 본 연구는 Near-UltraViolet (UV) 파장에서의 지표면 반사도 산출 시 발생하는 구름과 적설의 분류 한계를 극복하기 위해 Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS)와 Advanced Meteorological Imager (AMI) 위성의 구름 자료를 융합하여 적설역에서의 지표면 반사도 품질을 향상시키는 방법을 제안한다. GEMS 구름 산출물과 AMI 구름탐지 자료를 기반으로 융합 구름자료를 생산하였으며, 이를 GEMS 지표면 반사도 산출에 적용하였다. 그 결과 적설역에서 GEMS 구름 산출물만 사용한 경우에 비해 미산출이 개선되었으며 이는 전체 관측 영역에서 약 17%의 개선 효과를 확인하였다. 본 연구 결과는 융합 구름자료를 활용하여 적설역에서 지속적으로 발생했던 지표면 반사도 미산출 문제를 개선할 수 있음을 입증하며, 이를 통해 산출된 고품질의 지표면 반사도를 기반으로 타 Level-2 산출물의 품질향상을 기대할 수 있다.

주요어: 지표면 반사도, GEMS, 구름 제거, GK-2A/AMI

1. 서론

위성자료를 기반으로 산출하는 지면 정보 중 대표적인 지표면 반사도는 대기보정 과정을 통해 대기상단 (Top-of-Atmpsphere, TOA) 복사 또는 반사도에서 대기의 산란 및 흡수 효과를 제거한 산출물로서, 관측 당시의 태양 및 위성 천정각에 따른 반사도를 의미한다. 특히 위성 원격탐사 시스템에 있어 Near-UltraViolet (Near-UV) 파장에서의 지표면 반사도는 에어로졸, 구름, 가스 산출물 등을 포함한 Level-2 알고리즘의 필수 입력 자료로 활용되고 있다.

선행연구에 의하면 Near-UV 영역에서 0.01의 지표면 반사도 오차는 0.1의 Aerosol Optical Depth (AOD) 오차를 야기하며(Kleipool et al., 2008), 특정 계절 및 지역에서 NO₂ Vertical Column Densities (VCD)는 지표면 반사도 차이에 따라 최대 40%까지 변화할 수 있다(Lin et al., 2015). 따라서 Near-UV 파장에서 지표면 반사도의 오차는 이를 입력하는 타 산출물들의 정확도에 직접적인 영향을 주기 때문에 고품질 및 공백화소가 최소화된 자료 산출이 중요한 것은 이미 확립된 사실이다.

위성자료를 기반으로 지표면의 정보를 산출함에 있어 구름은 가장 큰 장애요소로 작용하기 때문에 높은 정확도의 지표면 반사도 산출을 위해서는 대기보정을 수행하기에 앞서 구름 화소를 제거하는 Cloud masking 전처리 과정이 필수적으로 선행되어야 한다(Byeon et al., 2021). 그러나 위성영상 내에서 구름은 적설과 상당히 유사한 분광특성을 가지기 때문에 이의 구분은 굉장히 어려운 작업이며, 특히 극궤도 위성에 비해 제한된 채널을 사용하는 정궤도 위성의 경우 구분에 상당한 어려움을 갖는다(Yeom et al., 2009). 이렇게 오분류된 구름

및 적설은 지표면 반사도 산출에 직접적인 오차로 작용하게 되고, 해당 오차는 다시 이를 활용하는 구름, 에어로졸, 가스 등의 산출물로 인계된다.

이에 따라 최근 광학센서 기반 구름탐지 알고리즘은 다중 채널 반사도 기반 경계값 기법(Notarnicola et al., 2013), 분광 프로파일 기반 분류 기법(Lee et al., 2017; Stillinger et al., 2019), 머신러닝(Zhan et al., 2017; Xia et al., 2020; Jin et al., 2022) 등 구름과 적설을 분류하는 연구들을 최근 많이 수행하고 있으며 이전 연구들에 비해 상당히 개선된 정확도를 보이고 있다. 하지만 구름탐지 알고리즘의 정확도는 가시 및 적외 채널에 의존성이 크기 때문에(Zhou et al., 2020) 여전히 Near-UV 파장에서의 특성을 기반으로 적설과 구름을 구분하는 연구는 미비한 실정이다.

Near-UV 파장을 관측하는 대표적인 위성인 Sentinel-5P (S5P) / TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) 와 Meteorological Operational satellite (MetOp) / Global Ozone Monitoring Experiment-2 (GOME-2) 현업 알고리즘 또한 구름과 적설을 분류하는 계산과정은 추가적으로 설계되어 있지 않으며, National Snow and Ice Data Center (NSIDC)에서 제공하는 Near-real-time Ice and Snow Extent (NISE)를 보조자료로 활용하고 있다.

하지만 NISE 자료를 활용하더라도 적설역 후보 픽셀만 선정할 수 있을 뿐 적설 위에 존재하는 구름과의 구분은 수행되지 않기 때문에 이들의 분류는 여전히 직면해야 할 문제이다. 위성자료를 활용한 해색 산출물 알고리즘에서도 Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)-II 위성 단독 활용 시, 적외영역의 부재로 미량 기체 관측에 한계가 존재하여 GeoKompasat-2A (GK-2A) / Advanced Meteorological Imager (AMI) 자료를 함께 사용한 융합

알고리즘을 개발하고 있다(Lee et al., 2021).

따라서 본 연구에서는 Near-UV를 관측하는 정지궤도 환경위성인 GeoKompsat-2B (GK-2B) / Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS) 자료를 기반으로 지표면 반사도 산출 시, 적설역에서 구름과의 분류에서 발생하는 문제점을 극복하고자 정확도가 검증된 GK-2A/AMI 구름탐지 자료를 함께 활용한 천리안위성 융합 구름자료를 생산하고, 이를 기반으로 적설역에서의 지표면 반사도 산출물의 품질 개선을 수행하고자 한다.

2. 연구자료 및 영역

2.1. GK-2B/GEMS

GEMS는 GK-2B 위성에 탑재된 환경탐체체로 300-500 nm의 Near-UV 파장영역을 총 1,033개의 채널로 분해하여 신호를 측정하는 초분광계를 이용하여 대기 중의 에어로졸, 구름, 가스 등의 대기오염물질을 매일 관측 및 제공하고 있다. GEMS의 시간해상도는 hourly로 하루 평균 8회 정도 관측을 수행하고 있으며, 공간해상도는 에어로졸, 구름 등의 산출물은 3.5×8 km, 가스산출물의 경우 7×8 km이다. 본 연구에서는 지표면 반사도 산출을 위해 구름(Cloud, CLD), 에어로졸(Aerosol, AERAOD), 오존전량(Total column Ozone, O3T), Level-1C 자료를 활용하였다. 본 연구에서 적설역의 판단을 위한 자료로는 GEMS Level-1C 자료 내에 제공하는 Snow flag를 사용하였으며, GEMS 또한 TROPOMI와 GOME-2 산출물과 동일하게 NISE 자료를 보조자료로 활용한 Snow flag를 제공하고 있다.

GEMS 구름 산출물은 차등흡수분광법(Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS)을 통해 계산한 유효운량(Effective Cloud Fraction, ECF), 구름중심기압(Cloud Centroid Pressure, CCP) 그리고 구름복사비율(Cloud Radiance Fraction, CRF)을 제공하고 있다. GEMS 구름 산출물은 Near-UV 파장에서 관측된 광학적 물리량으로 실제 구름의 물리적인 특성과는 차이가 발생할 수 있어 공식적인 구름탐지 자료는 제공하고 있지 않다. 그러나 ECF가 0.2 보다 작고 CCP가 1013 hPa와 동일할 경우 GEMS 구름 산출물 내 Quality flag에서 값을 청천

역(Clear sky)으로 표기하고 있다. 따라서 본 연구에서는 ECF와 CCP 변수를 GEMS 구름탐지 자료 생산에 활용하였다.

2.2. GK-2A/AMI 구름탐지 자료

GK-2A/AMI 구름탐지 자료는 각 화소 별 구름 존재 여부를 구름(Confidence cloud), 구름 확률 높음(Probably cloud), 청천(Clear) 3가지로 정의한다. 구름이 일반적으로 청천역에 비해 높은 반사도와 낮은 휘도 온도를 갖는 특징을 이용하여 위성의 각 채널에서 관측되는 반사도 및 휘도 온도를 기반으로 경계 값 기법을 통해 구름과 청천역을 분류한 산출물이다. GK-2A/AMI 구름탐지 산출물은 2 km의 공간해상도로 전구(Full disk, FD) 10분, 동아시아(East Asia, EA) 2분 단위로 자료를 제공하며 본 연구에서는 FD 자료를 사용하였다.

2.3. 연구 지역 및 기간

GEMS는 총 4가지의 관측모드를 가지며 다른 관측영역(Field of Regard, FOR)을 매시 45분을 기준으로 15분까지 30분 동안 스캔하는 구조이다. 4가지의 관측모드는 Half East (HE), Half Korea (HK), Full Central (FC) 그리고 Full West (FW)이며, 각각 주로 23~1, 0~2, 1~3, 3~8 UTC에 관측을 수행한다. 본 연구에서는 4가지의 GEMS 관측 모드 중 하루 중 가장 관측횟수가 많고 적설역의 비율이 가장 높은 FW 관측모드를 연구 지역으로 설정하였으며, 연구기간은 2021년 3월 1일부터 2021년 3월 31일까지 1개월로 선정하였다.

3. 연구방법

3.1. 천리안위성 자료 융합을 위한 시공간 일치화

GEMS와 AMI 자료는 각각 상이한 시공간해상도 및 관측 Projection으로 제공되기 때문에 융합 구름자료 생산을 위해서 시공간 일치화 과정을 수행하였다. 공간적 일치화는 Great Circle Distance (GCD) 기법을 활용하였으며, GEMS 위경도를 기반으로 가장 가까운 거리의 AMI 픽셀을 찾고 해당 픽셀의 구름탐지 자료를 활용하였다. 또한 GEMS 위성은 매시간 45분을 기준으로 동쪽에서 서쪽으로 30분 동안 스캔을 하는 구조로 각 Scan

line에서 관측하는 시각이 조금씩 변화하는 특성을 가진다. 따라서 시간에 따라 변동성이 큰 구름의 특성을 반영하고자 각 픽셀의 GEMS 스캔시간과 관측시각 차이가 가장 적은 AMI 구름 자료를 사용하였으며, 두 자료의 관측시각 차이는 최대 5분 이내 자료를 활용하였다. 따라서 하나의 GEMS 관측 시 겹치는 4개의 AMI 자료를 활용하였으며, Scan line 별로 저장하여 사용한 AMI 시간 Index는 Fig. 1(a)와 같다.

3.2. 천리안위성 융합 구름자료 생산

GEMS 구름 산출물의 경우 ECF가 0.2 이하이거나 CCP가 1013 hPa과 동일할 때를 청천역으로 분류하고 있으나, 본 연구에서는 지면과 가까운 하층운까지 제거하기 위해서 추가적으로 CCP가 1000 hPa 이상일 경우에도 구름으로 제거하였다. 따라서 GEMS 구름 산출물 기반의 구름탐지 조건은 ECF가 0.2 이하이면서 CCP가 1000 hPa 이하일 때로 설정하였다. AMI 구름탐지 자료의 경우 Confidence cloud와 Probably cloud 중 하나라도

해당될 경우에 구름으로 판단하였다. 해당 기준을 기반으로 시공간 일치화가 수행된 AMI 구름탐지 자료와 GEMS 구름탐지 조건을 활용하여 융합 구름자료를 생산하였으며 이는 총 두 가지의 단계로 구성된다.

첫 번째로 GEMS 구름탐지 기준에서 구름으로 탐지될 경우 해당 영역은 구름으로 분류하였다. 두 번째 단계는 GEMS 구름 자료는 구름 영역으로 구분하였으나, AMI 구름 자료가 해당 영역을 청천으로 분류한 영역은 청천역으로 재구분하였다. Fig. 1(b)는 위 과정을 통해 생산한 천리안위성 융합 구름자료 산출 예시로 2021년 3월 2일 0345 UTC의 자료이다.

3.3. GEMS 지표면 반사도 산출을 위한 대기보정

본 연구에서 대기보정은 Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum Vector (6SV) Radiative Transfer Model (RTM)을 활용하였다. 6SV는 모의하고자 하는 대기 및 기하 조건을 입력하면 해당 조건에 대한 3개의 대기보정 변환계수(xap, xb, xc)를 산출하는데,

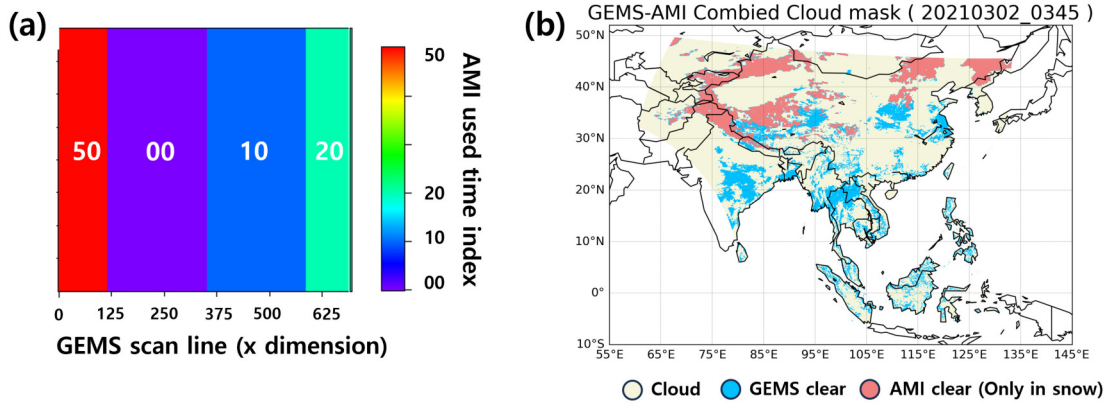


Fig. 1. Methodology for generating combined cloud data and example of outcomes. (a) AMI utilization time index by GEMS scan line used to generate combined cloud data. (b) Example of combined cloud data production (2021.03.02 0345 UTC).

Table 1. Range and interval of input variables when constructing LUT

Parameter (Unit)	Min	Max	Interval
SZA (°)	0	80	0~70 (5), 70~80 (2)
VZA (°)	0	80	5
RAA (°)	0	180	10
O3T (cm-atm)	0.25	0.35	0.05
DEM (km)	0	3.5	0.5
AOD	0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5		
Aerosol type	Continental		

이를 TOA 반사도에 적용하여 지표면 반사도를 계산할 수 있다. RTM을 통한 대기보정은 높은 정확도를 가진다는 장점이 있지만 복잡한 연산과정으로 긴 처리 시간이 소요된다. 따라서 대부분의 지표면 반사도 산출 연구에서는 이전에 생성해 놓은 조건표(Look Up Table, LUT)를 통해 대기보정을 수행하고 있다.

본 연구 또한 GEMS에서 발생 가능한 다양한 대기 및 기하 조건을 사전에 모의하여 LUT를 구축하였다. LUT 구축 시, 활용한 입력변수의 범위 및 간격은 Table 1과 같다. Table 1 내의 SZA, VZA, RAA, DEM은 각각 Solar Zenith Angle, Viewing Zenith Angle, Relative Azimuth Angle, Digital Elevation Model이다.

4. 연구결과

4.1. 융합 구름자료 기반 지표면 반사도 산출 결과

융합 구름자료 활용 시 지표면 반사도 산출물에서의 개선을 확인하고자 GEMS 구름 산출물을 단독으로 사용하여 Cloud masking을 수행한 지표면 반사도와 융합 구름자료를 활용하여 산출한 지표면 반사도를 정성적으로 비교하였다. Figs. 2(a, b)는 모두 2021년 3월 6일 0645 UTC에서 477 nm의 지표면 반사도 산출 결과로, Fig. 2(a)는 GEMS 구름 산출물만 기반 Cloud masking이고 Fig. 2(b)는 융합 구름자료 기반으로 Cloud masking을 수행했을 때의 결과물이다. GEMS 구름 산출물만 활용했을 때 고위도에 위치한 적설역에서 결측이 발생했던 히말라야 및 티벳고원(Fig. 2 내 주황색 박스)과 만주영역

(Fig. 2 내 빨간색 박스)에서 융합 구름자료를 활용했을 때 지표면 반사도의 결측이 개선되는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 추가적으로 융합 구름자료 활용을 통한 미산출 영역의 개선을 정량적으로 확인하고자 연구 기간(2021.03.01~2021.03.31) 동안 두 가지 Cloud masking 방법을 활용하여 계산된 지표면 반사도의 산출 비율 분포를 비교하였다. Figs. 3(a, b)는 연구기간 동안 픽셀별 지표면 반사도의 산출 비율을 나타낸 그림으로, Fig. 3(a)는 GEMS 구름 산출물만 단독으로 사용한 결과이며, Fig. 3(b)는 융합 구름자료를 활용했을 때의 결과이다. Fig. 2의 결과와 동일하게 고위도의 적설역(히말라야 및 티벳고원, 만주영역)에서 융합 구름자료를 활용했을 때 미산출비율이 상당히 개선되는 것을 확인하였으며, 이는 특정 픽셀에서 최대 97%의 개선을 보였다. Fig. 3(c)는 GEMS 구름 산출물만 단독으로 사용했을 때의 지표면 반사도 산출 비율(Fig. 3a)과 융합 구름자료를 활용했을 때의 지표면 반사도 산출 비율(Fig. 3b)의 차이이며, Fig. 3(d)는 연구기간 동안 snow flag에 의해 적설이 존재한다고 분류된 비율을 나타내는 그림이다. Figs. 3(c, d)를 통해 대부분의 적설역 존재 픽셀에서 지표면 반사도 미산출이 개선된 것을 확인하였으며, 특히 적설이 존재했던 비율이 90% 이상인 지역에서는 지표면 반사도 미산출이 약 50% 이상 개선되었다. 최종적으로 연구기간 내에 적설이 존재한 픽셀은 전체 관측 영역에서 약 20.2%이며, 이중에서 약 85% 영역의 미산출이 개선되었으며, 해당 비율은 전체 관측 영역에서 약 17%의 개선을 의미한다.

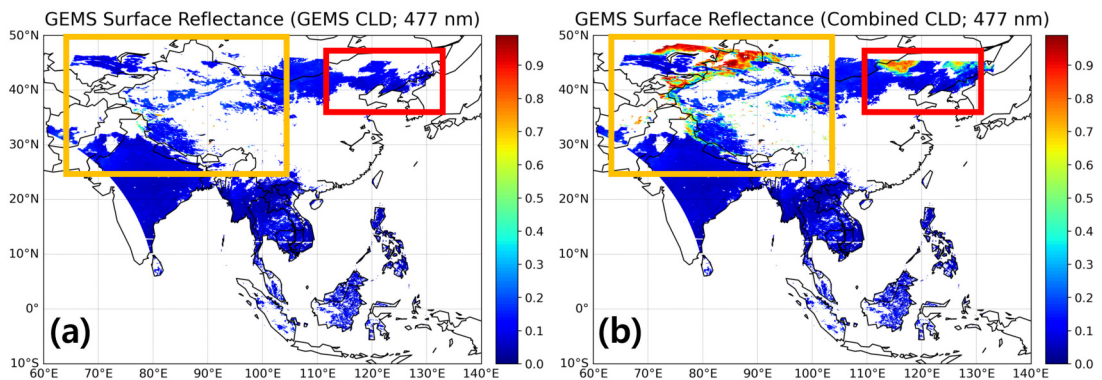


Fig. 2. Surface reflectance calculation results (2021.03.06 0645 UTC, 477 nm). (a) Surface reflectance with cloud masking based on GEMS cloud data. (b) Surface reflectance with cloud masking based on combined cloud data.

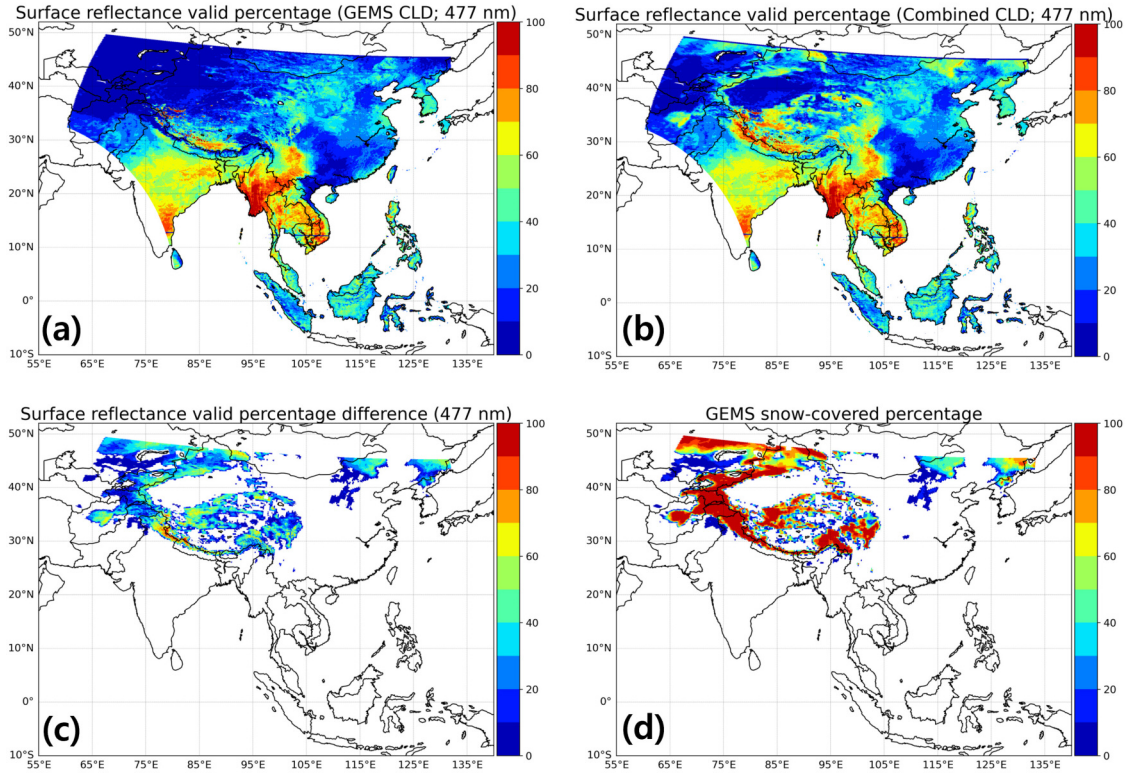


Fig. 3. Derivation of surface reflectance and distribution ratio of snow-covered during the research period. (a, b) Percentage of surface reflectance calculated within the study period (2021.03.01~2021.03.31). (a) GEMS cloud used. (b) Combined cloud data used. (c) Differences in surface reflectance calculation rates due to changes in cloud data. (d) Percentage of snow covered in the study period.

5. 결론

본 연구는 Near-UV 파장을 관측하는 위성에서 발생하는 구름 및 적설의 분류 한계를 극복하고자 GK-2A/AMI 구름 탐지 자료와 GEMS 구름 산출물을 기반으로 융합 구름자료를 생성하고 지표면 반사도 산출 시 Cloud masking 전처리에 있어 이의 적용성을 평가하였다. 융합 구름자료는 GEMS 구름 산출물이 구름으로 구분한 영역 중 AMI 구름탐지 자료가 청천으로 구분한 영역을 청천역으로 재구분하였다. 융합 구름자료를 활용하여 지표면 반사도를 산출했을 때 GEMS 구름 산출물만 단독으로 활용했을 때보다 적설역에서 발생했던 미산출이 개선되었으며 이는 전체 관측 영역에서 약 17%에 해당된다. 그러나 GEMS 자료에서 제공하는 Snow

flag인 NISE 자료는 GEMS 공간해상도에 비해 현저히 낮은 공간해상도(25 km)를 가지나, 두 자료 간 공간해상도 차이에 의해 발생하는 오차는 고려하지 못했다는 한계가 존재한다.

하지만 본 연구는 GEMS 위성을 활용한 지표면 반사도 산출 시 GEMS 구름 산출물을 단독으로 사용했을 때 지속적으로 결측이 발생했던 적설역에서의 결측 보안을 수행하였으며, 천리안 위성 간 자료 융합에 대한 활용 가능성을 확인한데 의의가 있다. 따라서 본 연구를 통해 개선된 지표면 반사도를 기반으로 타 Level-2 산출물의 품질향상을 기대할 수 있으며, 추후 두 천리안 위성 자료 간 시공간 일치화 고도화만 수행된다면 구름 뿐만 아니라 AOD 등의 다양한 산출물의 융합 또한 가능할 것으로 사료된다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2023-04-02-050).

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Byeon, Y., Choi, S., Jin, D., Seong, N. H., Jung, D., Sim, S. et al., 2021. Quality evaluation through inter-comparison of satellite cloud detection products in East Asia. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6–2), 1829–1836. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.6.2.5>
- Jin, D., Lee, K. S., Choi, S., Seong, N. H., Jung, D., Sim, S. et al., 2022. An improvement of snow/cloud discrimination from machine learning using geostationary satellite data. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 2355–2375. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2152886>
- Kleipool, Q. L., Dobber, M. R., de Haan, J. F., and Levelt, P. F., 2008. Earth surface reflectance climatology from 3 years of OMI data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D18308. <https://doi.org/10.1029/2008JD010290>
- Lee, K. S., Ahn, J. H., and Park, M. S., 2021. GOCI-II capability of improving the accuracy of ocean color products through fusion with GK-2A/AMI. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(5–2), 1295–1305. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.5.2.7>
- Lee, K. S., Jin, D., Yeom, J. M., Seo, M., Choi, S., Kim, J. J. et al., 2017. New approach for snow cover detection through spectral pattern recognition with MODIS data. *Journal of Sensors*, 2017, Article ID 4820905. <https://doi.org/10.1155/2017/4820905>
- Lin, J. T., Liu, M. Y., Xin, J. Y., Boersma, K. F., Spurr, R., Martin, R. et al., 2015. Influence of aerosols and surface reflectance on satellite NO₂ retrieval: Seasonal and spatial characteristics and implications for NO_x emission constraints. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(19), 11217–11241. <https://doi.org/10.5194/acp-15-11217-2015>
- Notarnicola, C., Duguay, M., Moelg, N., Schellenberger, T., Tetzlaff, A., Monsorno, R. et al., 2013. Snow cover maps from MODIS images at 250 m resolution, part 1: Algorithm description. *Remote Sensing*, 5(1), 110–126. <https://doi.org/10.3390/rs5010110>
- Stillinger, T., Roberts, D. A., Collar, N. M., and Dozier, J., 2019. Cloud masking for Landsat 8 and MODIS Terra over snow-covered terrain: Error analysis and spectral similarity between snow and cloud. *Water Resources Research*, 55(7), 6169–6184. <https://doi.org/10.1029/2019WR024932>
- Xia, M., Li, Y., Zhang, Y., Weng, L., and Liu, J., 2020. Cloud/snow recognition of satellite cloud images based on multiscale fusion attention network. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(3), 032609. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.032609>
- Yeom, J. M., Han, K. S., and Lee, G. L., 2009. The characteristics of visible reflectance and infra red band over snow cover area. *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(2), 193–203. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2009.25.2.193>
- Zhan, Y., Wang, J., Shi, J., Cheng, G., Yao, L., and Sun, W., 2017. Distinguishing cloud and snow in satellite images via deep convolutional network. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(10), 1785–1789. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2735801>
- Zhou, Y., Yang, Y., Gao, M., and Zhai, P. W., 2020. Cloud detection over snow and ice with oxygen A- and B-band observations from the Earth Polychromatic Imaging Camera (EPIC). *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(3), 1575–1591. <https://doi.org/10.5194/amt-13-1575-2020>