

GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis
Document

적설/해빙
(Snow Cover/Sea-Ice
Cover)

한경수 부경대학교

진동현 부경대학교

이경상 부경대학교

Version 2.0

2021. 12. 29.

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	적설 및 해빙 ATBD 초본 완성	0.1.0.0	2015.03.30	한경수 이경상
0.2	적설 및 해빙 알고리즘 수정에 따른 ATBD 수정	0.2.0.0	2016.01.30	한경수 이경상
0.3	모의 입력 자료(Himawari-8 AHI) 변환에 따른 알고리즘 수정 및 ATBD 수정	0.4.0.0	2016.11.30	한경수 진동현
0.4	일 합성 기법 추가 및 알고리즘 수정에 따른 ATBD 수정	0.4.2.1	2017.11.15	한경수 진동현
0.5	적설 및 해빙 알고리즘 통합에 따른 ATBD 통합	0.4.4.1	2018.12.10	한경수 진동현
1.0	ATBD 내 영어단어 한글화 수행에 따른 단어 수정	0.5.6.1	2019.04.12	한경수 진동현
1.1	적설 및 해빙 분광 라이브러리 및 경계값 변경에 따른 수정	2.1.0.4	2021.02.08.	김현수 이승희
2.0	적설 및 해빙 분광 라이브러리 변경에 따른 수정	2.3.1.4	2021.12.29.	이승희

<목차>

1. 개요.....	1
1.1 목적	1
1.2 사용자.....	1
1.3 내용	1
1.4 관련 문서.....	1
2. 알고리즘 소개.....	2
2.1 개요	2
2.2 알고리즘 흐름도	3
2.2.1. 적설 탐지.....	3
2.2.2. 해빙 탐지.....	4
2.3 입력자료	5
2.3.1 Level 1B (L1B)	5
2.3.2 Level 2.....	7
2.3.3 보조 자료.....	7
2.4 이론적 배경	10
2.4.1 태양 천정각을 활용한 반사도 보정 (적설 및 해빙 탐지).....	10
2.4.2 고정 경계값 기법 (Static threshold method)	11
2.4.3 분광 라이브러리(조건표) 만드는 방법 (적설 및 해빙 탐지).....	13
2.4.4 Dynamic Wavelength Warping (DWW) 기법 (적설 및 해빙 탐지).....	19
2.4.5 IST_0 기법 (해빙 탐지)	20
2.4.6 일 합성 기법 (적설 및 해빙 탐지).....	20
2.5 수학적 설명	21
2.5.1 태양 천정각을 활용한 반사도 보정 (적설 및 해빙 탐지).....	21
2.5.2 고정 경계값 기법	22
2.5.3 DWW 기법 (적설 및 해빙 탐지).....	29
2.5.4 IST_0 method	32
2.5.5 일 합성 기법 (적설 및 해빙 탐지).....	33

2.6. 산출물.....	33
3. 모의자료 및 검증.....	40
3.1 모의 입력자료 및 검증자료.....	40
3.1.1 모의 입력 자료 및 산출 결과.....	40
3.1.2 검증 자료.....	42
3.2 검증 방법.....	43
3.3 검증 결과.....	45
4.1 수치계산 고려사항.....	52
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항.....	52
4.3 품질 평가 및 진단.....	52
4.4 예외사항 처리.....	53
4.5 검증 알고리즘.....	53
5. 참고문헌.....	53
6. [첨부] 적설/해빙 산출에 사용되는 경계값.....	55
1) GK2A_Coef_namelist.v4.1 (~ 2021.10.21.)	55
2) GK2A_Coef_namelist.v4.1 ~ v4.2 (2021.10.22. ~)	57

<표 목차>

Table 2.1 SC input data on GK-2A/AMI L1B data	5
Table 2.2 SI input data on GK-2A/AMI L1B data	6
Table 2.3 Ancillary data on SC/SI algorithm	8
Table 2.4 Content of the SC/SI Scene product file	34
Table 2.5 GK-2A AMI snow cover and sea ice pixel information	35
Table 2.6 GK-2A AMI snow cover and sea ice quality flag pixel information	35
Table 2.7 Content of the Daily SCSI product file	37
Table 2.8 GK-2A AMI daily snow cover and sea ice pixel information	37
Table 2.9 GK-2A AMI daily snow cover and sea ice quality flag pixel information	38
Table 3.1 The information of the channel data utilized in this algorithm	40
Table 3.2 Contingency table of comparison between two categorical data ..	44
Table 3.3 Used criteria in comparing two data	44
Table 3.4 Snow cover/Sea-ice temporal, spatial resolution and required product accuracy	45
Table 3.5 Validation results using GMASI data	46

〈그림 목차〉

Figure 2.1. Flow chart of the Snow Cover (SC) algorithm.....	3
Figure 2.2. Flow chart of Sea Ice (SI)algorithm	4
Figure 2.3. Satellite based long-term snow cover and sea-ice cover data.	10
Figure 2.4. Time series of visible reflectance before (left) and after solar zenith angle (right) on January 29 in 2005. (COMS Algorithm Theoretical Basis Document V4.0, 2012).....	10
Figure 2.5. GK-2A AMI cloud mask of sea ice candidate area on 20160211.0050 UTC (a), Himawari-8 AHI RGB image (b).....	12
Figure 2.6. Snow spectral libraries depending on the SZA and DEM(v4.1).	15
Figure 2.7. Snow spectral libraries depending on the SZA and DEM(v4.2).	16
Figure 2.8. Cloud spectral libraries depending on $T_{11.0 \mu m}(TBB_{11})$ and $R_{0.64 \mu m}$. (v4.1)	17
Figure 2.9. Cloud spectral libraries depending on $T_{11.0 \mu m}(TBB_{11})$ and $R_{0.64 \mu m}$. (v4.2)	18
Figure 2.10. Two type of similarity and the warping path between time series, (a) shows the time rigid similarity used by Euclidean distance(L_p), (b) shows the time flexible similarity by DTW, (c) shows warping path(green line) (Zhang et al., 2015).....	20
Figure 2.11. Before(left) and after(right) normalization using the SZA, average and standard deviation of the snow cover channel reflectance along wavelength.....	22
Figure 2.12. NDSI histogram with snow and snow-free land.	23
Figure 2.13. NDSI histogram of sea ice and ice-free water.	23
Figure 2.14. $1.6 \mu m$ anomaly histogram.	25
Figure 2.15. NDSI - NDVI scatter plot in forest (Threshold indicated as orange dash line).....	26
Figure 2.16. $0.86 \mu m$ reflectance histogram of the sea-ice and ice-free water histogram.	27
Figure 2.17. Brightness Temperature Difference [$T_{11.0 \mu m} - T_{3.8 \mu m}$] histogram between snow and cloud.....	27

Figure 2.18. The histogram of the cloud re-check test.....	28
Figure 2.19. Re-classified snow and sea ice areas through cloud re-check test and AHI RGB image (20170104.0300 UTC).	28
Figure 2.20. The warping path of DWW method at study (Salagar M. and P. Kulkarni, 2013).....	29
Figure 2.21. DWW calculation result, distribution of snow spectral library and profile value according to wavelength and BTD when warping path is 1 to 1 fitting line.....	31
Figure 2.22. DWW calculation result, distribution of snow spectral library and profile value according to wavelength and BTD when warping path is not 1 to 1 fitting line.	31
Figure 2.23. The scatter plot of $\text{BDT}[T_{11\ \mu\text{m}} - T_{12\ \mu\text{m}}]$ and $T_{11\ \mu\text{m}}$	32
Figure 2.24. Daily composite of snow cover depending on snow rate (20170102).....	33
Figure 2.25. Daily composite of sea ice depending on sea ice rate (20170104).....	33
Figure 3.1. GK-2A AMI snow cover and sea ice image; (a) 20170101.0400 UTC, (b) 20170102.0400 UTC, (c) 20170103.0200 UTC.....	41
Figure 3.2. GK-2A AMI daily snow cover and sea ice image; (a) 20170101, (b) 20170102, (c) 20170103, (d) 20170104, (5) 20170105..	42
Figure 3.3. GMASI data on 01 January, 2017.	43
Figure 3.4. The quality degradation region of Himawari-8 AHI ($\text{VZA} > 70^\circ$).	45
Figure 3.5. Validation result full-disk image between Daily SC and GMASI SC product; (a)20170101, (b)20170102, (C)20170103, (d)20170104, (e)20170105.	46
Figure 3.6. Validation result extended image between Daily SC and GMASI SC product on 20170101 and JMA RGB image (20170101.0300 and 20170101.0500 UTC).....	47
Figure 3.7. Validation result extended image between Daily SC and GMASI SC product on 20170102 and JMA RGB image (20170102.0300 and 20170102.0500 UTC).....	48
Figure 3.8. Validation result extended image between Daily SC and GMASI	

SC product on 20170103 and JMA RGB image (20170103.0300 and 20170103.0500UTC).....	48
Figure 3.9. Validation result full-disk image between Daily SI and GMASI SI product; (a)20170101, (b)20170102, (C)20170103, (d)20170104, (e)20170105.	49
Figure 3.10. Validation result extended image between Daily SI and GMASI SI product on 20170103 and JMA RGB image (20170103.0100 and 20170103.0300UTC).....	50
Figure 3.11. Validation result extended image between Daily SI and GMASI SI product on 20170104 and JMA RGB image (20170104.0100 and 20170104.0300UTC).....	51
Figure 3.12. Comparison image between sea ice and VIIRS sea ice data (left), AHI RGB image (right).....	51

약어표

ABI	Advanced Baseline Imager
AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BT	Brightness Temperature
BTD	Brightness Temperature Difference
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DTW	Dynamic Time Warping
DWW	Dynamic Wavelength Warping
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAR	False Alarm Ratio
GK-2A	GEO-KOMPSAT 2A
GMAI	Global Multisensor Automated Snow/Ice Map
GOES-E	Geostationary Operational Environmental Satellite-East
GOES-W	Geostationary Operational Environmental Satellite-West
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme
IST	Ice Surface Temperature
JMA	Japan Meteorological Administration
MODIS	MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBAR	Nadir BRD-Adjusted Reflectance
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NSIDC	National Snow and Ice Data Center
LST	Land Surface Temperature
OSI SAF	Ocean and Sea Ice Satellite Application Facilities
POD	Probability Of Detection (POD)
SC	Snow Cover

SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
SI	Sea Ice
SSMIS	Special Sensor Microwave Imager/Sounder
SST	Sea Surface Temperature
SZA	Solar Zenith Angle
TOA	Top Of Atmosphere
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VZA	Viewing Zenith Angle

1. 개요

1.1 목적

적설 및 해빙 탐지 기술 분석서(Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD)는 정지궤도 기상위성인 GEO-KOMPSAT 2A(GK-2A)의 Advanced Meteorological Image (AMI)로 획득한 Level-1B 채널 자료, GK-2A/AMI Cloud Mask 자료 및 보조 자료를 활용하여 생산되는 적설·해빙 산출물의 산출 과정에 대한 자세한 설명과 물리적 기반을 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 사용자

기존의 알고리즘을 수정하거나 유지·보수하고자 하는 사람을 포함한 모든 사용자

1.3 내용

적설·해빙 탐지 기술분석서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 개요: 적설·해빙탐지 알고리즘의 목적, AMI 센서의 특성 및 산출물에 대한 간단한 기술
- 알고리즘 소개: 적설·해빙탐지에 필요한 입력 자료부터 이론적 배경 및 최종 산출물에 대한 소개
- 가정과 한계: 알고리즘의 전체 평가 및 개선을 위한 향후 계획

1.4 관련 문서

NMSC, 2018, ‘영상 장면분석표면분야 알고리즘 개발(5)’ 최종보고서

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

적설 및 해빙 산출물은 구름 자료 다음으로 산출되는 자료로서 Land Surface Temperature (LST), Sea Surface Temperature (SST), Surface Albedo와 같은 산출물의 입력 자료로 활용된다. 이러한 적설 및 해빙 산출물은 크게 광학 위성 및 Microwave 위성 자료를 활용하여 산출되며, GK-2A/AMI는 광학 위성 기반 센서로 본 알고리즘은 적설 및 해빙의 광학 특성을 활용하여 적설 및 해빙을 탐지한다. 적설 및 해빙은 일반 지표 및 해양의 다른 산출물들과는 달리 가시 영역에서 높은 반사도 값을 가지며, 파장에 따라 적설 및 해빙은 고유한 패턴을 가진다. 이에 본 알고리즘은 적설 및 해빙을 구분하기 위해 적설 및 해빙의 파장에 따른 고유한 반사도 변화 패턴을 활용하는 알고리즘인 Dynamic Wavelength Warping (DWW) 기법을 사용하였다. DWW 기법은 본 알고리즘이 적설 및 해빙으로 구분하고자 하는 화소의 파장에 따른 반사도 값 변화 패턴과 사전에 구축된 적설 및 구름의 분광 라이브러리의 파장에 따른 반사도 값 변화 패턴을 비교하여 적설 및 해빙을 구분하는 기법으로 Lee *et al.*(2017)이 해당 기법을 기반으로 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 자료를 이용하여 적설 탐지 수행 및 평가를 하였다.

해빙은 크게 적설로 덮여있는 얼음과 적설로 덮이지 않은 순수한 얼음으로 나뉘는데, 적설로 덮여있는 얼음 영역은 DWW 기법을 활용하였으며, 순수한 얼음 영역은 IST₀ 기법을 활용하였는데, 이 기법은 복잡한 산출 과정이 필요한 Ice Surface Temperature (IST) 산출이 생략된 동적 경계값 기법이다.

또한 본 알고리즘은 10분 단위로 생산되는 적설 및 해빙 자료를 활용하여 일 합성 적설 및 해빙 자료를 산출하며, 이는 일 합성 기간 내 적설 및 해빙의 비율로 적설 및 해빙을 구분하였다.

2.2 알고리즘 흐름도

2.2.1. 적설 탐지

적설 탐지 알고리즘의 흐름도는 Figure 2.1과 같다. 적설 탐지 알고리즘은 크게 전처리 과정, 이전 영상(Previous scene)의 적설 자료를 활용하는 과정, 구름 자료를 통해 구분된 청천역 및 구름 영역의 적설 탐지로 나뉜다. 또한 일 합성 기간 내 산출된 적설 자료를 활용하여 일 합성 적설 자료를 산출한다.

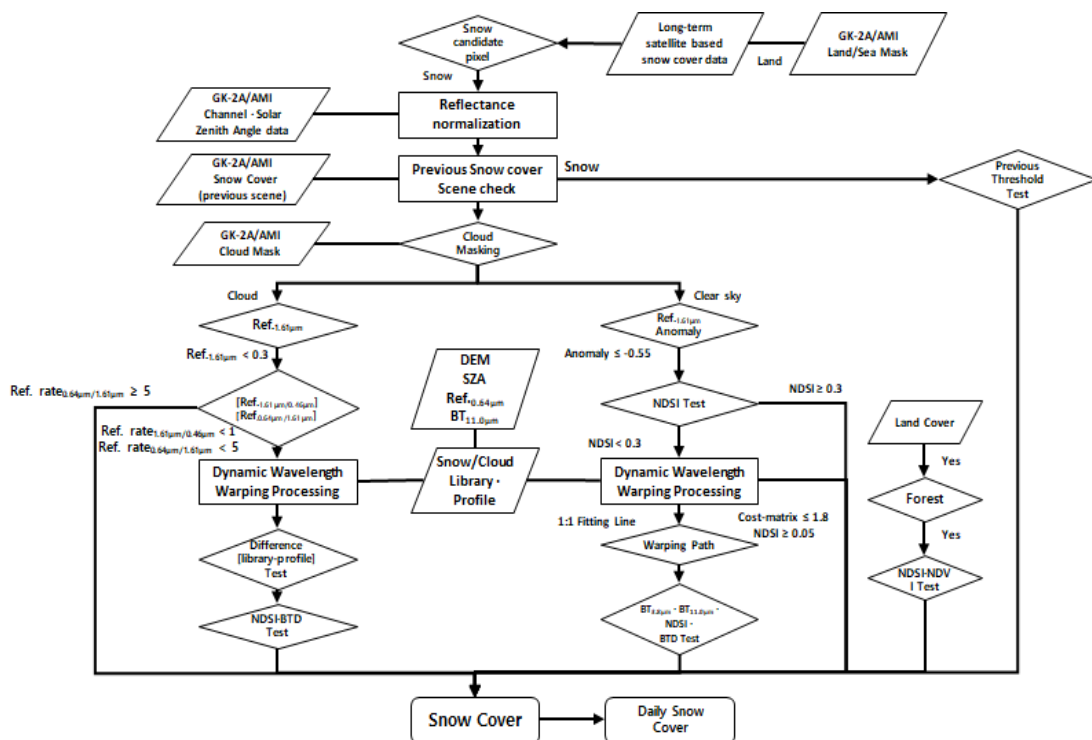


Figure 2.1. Flow chart of the snow Cover(SC) detection algorithm

적설 탐지 알고리즘의 전처리 과정은 사전에 구축된 장기간 위성 기반 적설 자료를 활용하여 적설 후보 영역을 구분하는 과정과 태양 천정각을 활용한 반사도 정규화 과정이 포함된다. 이전 적설 자료(Previous scene snow cover data)를 활용한 적설 구분은 10분 전 적설 자료를 활용해 간단한 테스트를 수행함으로써 적설을 구분하며 이를 통해 알고리즘 구동 시간을 효율적으로 운용할 수 있다. 또한 본 알고리즘은 GK-2A AMI Cloud Mask를 활용하여 구름 영역을 구분하며 구분된 청천역 지역과 구름 영역에 대해 적설 탐지 알고리즘을 수행한다. 구름 영역의 적설 탐지 알고리즘(Cloud re-check)은 실제 적설 영역이지만 구름으로 오탐지된 지역을 적설로 재구분하는 기능을 수행한다. 청천역의 적설 유

무를 구분하는 메인 알고리즘은 $1.61\mu\text{m}$ anomaly test를 실시하여 적설 후보 화소와 일반 지표를 구분한다. $1.61\mu\text{m}$ anomaly test 수행 이후, Normalized Difference Snow Index (NDSI)를 활용해 1차로 적설 영역을 구분한다. 다음으로는 1차에서 적설 영역으로 구분되지 않은 화소에 한해 DWW 알고리즘을 수행하여 적설을 탐지하였다.

또한 MODIS global land cover 자료를 통해 구분된 산림지역에 대해 적설 탐지 test를 NDSI · Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) test를 통해 추가 실시하였으며 청천역에서 구분된 적설 화소에 대해 구름 재구분 (Snow re-check) test를 수행하였다.

2.2.2. 해빙 탐지

해빙 탐지 알고리즘의 산출 과정은 Figure 2.2와 같다. 해빙 탐지 알고리즘 또한 적설 탐지 알고리즘과 같이 전처리 과정, 10분 전 적설 자료를 활용한 해빙 탐지, 구름 자료를 통해 구분된 청천역 및 구름 영역의 해빙 탐지로 나뉜다. 또한 일 합성 기간 내 산출된 해빙 자료를 활용하여 일 합성 해빙 자료를 산출한다.

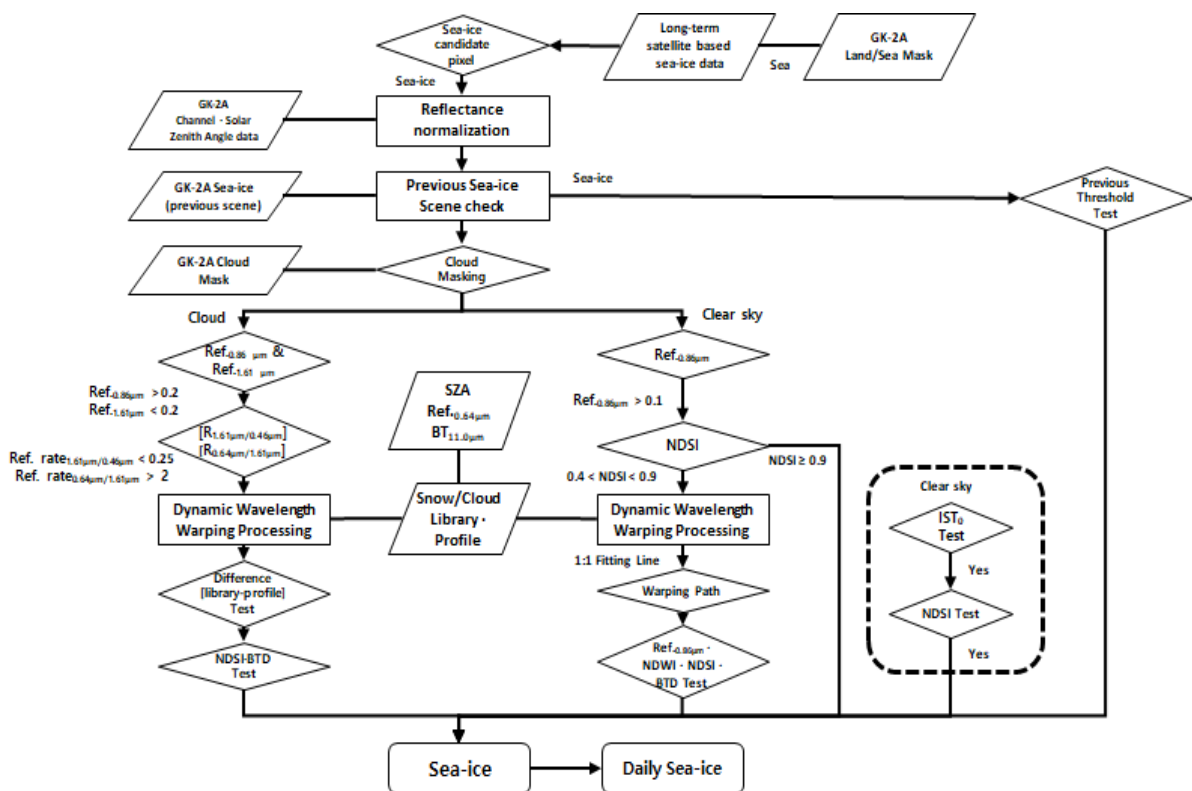


Figure 2. 2. Flow chart of Sea Ice(SI) algorithm

본 알고리즘의 첫 번째 단계로 장기간 위성 기반 해빙 자료 및 Land/Sea

mask를 활용하여 해빙 후보 화소 및 육상과 바다를 구분한다. 해빙 후보로 구분된 화소에 대해 태양 천정각(Solar Zenith Angle, SZA)을 이용해 반사도 정규화를 실시하며 GK-2A Cloud mask를 활용해 high confidence clear는 청천역으로 구분하여 해빙 탐지를 실시한다. 한편, cloud mask 중 low confidence cloud의 경우는 cloud re-check을 실시한다.

청천역의 해빙탐지는 먼저 $0.86\mu\text{m}$ 반사도 및 NDSI를 이용하여 해빙, 해빙이 아닌 바다, 해빙 후보 화소로 구분한다. 또한, DWW 및 IST_0 를 통해 구분된 해빙 화소에 대해 구름 재구분(ice re-check) test를 수행한다.

2.3 입력자료

2.3.1 Level 1B (L1B)

적설 알고리즘을 수행하기 위해 사용될 GK-2A AMI 센서 자료는 대기 상한(Top of Atmosphere, TOA) 반사도(reflectance)인 1,2,3,4,5,6번 채널 및 밝기 온도(Brightness Temperature, BT)인 7, 14번 채널 자료이다 (Table 2.1). TOA 반사도 및 밝기 온도는 GK-2A AMI 공통 모듈을 활용해 계산한다.

Table 2.1 SC Input data on GK-2A/AMI L1B

Data	Description	Purpose
Channel 01	AMI band No.01 TOA reflectance	DWW algorithm input data
		$1.61\mu\text{m}$ anomaly test
		Cloud re-check test
Channel 02	AMI band No.02 TOA reflectance	DWW algorithm input data
		$1.61\mu\text{m}$ anomaly test
Channel 03	AMI band No.03 TOA reflectance	DWW algorithm input data
		$1.61\mu\text{m}$ anomaly test
		NDSI test
Channel 04	AMI band No.04 TOA reflectance	Cloud re-check test
		DWW algorithm input data
Channel 04	AMI band No.04 TOA reflectance	DWW algorithm input data
		$1.61\mu\text{m}$ anomaly test

Channel 05	AMI band No.05 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test
Channel 06	AMI band No.06 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test NDSI test Cloud re-check test
Channel 07	AMI band No.07 TOA brightness temperature	DWW algorithm input data BTD test Cloud re-check test
Channel 14	AMI band No.14 TOA brightness temperature	DWW algorithm input data BTD test Cloud re-check test

해빙 탐지 알고리즘을 수행하기 위한 GK-2A AMI 입력 자료는 대기 상한 반사도인 채널 1,2,3,4,5,6번 자료와 밝기 온도인 채널 7, 14, 15번 자료이다 (Table 2.2).

Table 2.2 SI input data on GK-2A/AMI L1B

Data	Description	Purpose
Channel 01	AMI band No.01 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test Cloud re-check test
Channel 02	AMI band No.02 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test
Channel 03	AMI band No.03 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test NDSI test Cloud re-check test

Channel 04	AMI band No.04 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test
Channel 05	AMI band No.05 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test
Channel 06	AMI band No.06 TOA reflectance	DWW algorithm input data 1.61 μm anomaly test NDSI test Cloud re-check test
Channel 07	AMI band No.07 TOA brightness temperature	DWW algorithm input data BTD test Cloud re-check test
Channel 14	AMI band No.14 TOA brightness temperature	DWW algorithm input data BTD test Cloud re-check test IST ₀ Test
Channel 15	AMI band No.15 TOA brightness temperature	IST ₀ Test

2.3.2 Level 2

본 알고리즘은 적설 및 해빙 탐지에 앞서 구름 영역을 구분하기 위해 Cloud mask를 활용하였다. Cloud mask는 공간해상도 2km, 시간해상도 10분으로 본 알고리즘과 같은 시·공간해상도 가지며, Cloud mask는 high/low confidence cloudy와 high confidence clear의 정보를 포함하고 있다. 본 알고리즘은 high confidence cloudy는 구름 영역으로 구분하며 low confidence cloudy는 cloud re-check을 통해 적설 및 해빙을 재구분하는 테스트를 추가적으로 수행한다. High confidence clear는 청천역 알고리즘을 활용해 적설 및 해빙을 구분한다.

2.3.3 보조 자료

적설 및 해빙 탐지 알고리즘을 수행하기 위한 보조 자료는 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Ancillary data on SC/SI algorithm

Data	Description	Purpose
Land/Sea mask	Information of land and sea	Discrimination between land and sea (SC & SI)
SZA	Solar Zenith Angle	Discrimination between day and night (SC & SI)
Land cover	MODIS 500 m global land cover	Snow detection on forest (SC)
DEM	SRTM 30 m DEM data	Selection of snow spectral library (SC)
Snow/Cloud spectral library	Snow/Cloud reflectance along wavelength	DWW algorithm input data (SC & SI)
Long-term snow cover/sea ice	Long-term satellite based snow cover/sea ice data	Discrimination between snow cover/sea ice candidate area (SC & SI)

Land/Sea mask는 GK-2A AMI 관측 영역 중 육상과 해양을 구분하기 위해 활용하였다. Land/Sea mask의 sea는 육상 내 호수, 강 정보 또한 제공한다.

SZA은 GK-2A AMI 공통모듈에서 산출된 자료를 활용한다.

토지 피복 자료(land cover)는 MODIS의 MCD12Q1 자료를 활용하였다. MCD12Q1 자료는 MODIS land cover 자료로 1860개의 전 지구 훈련 자료와 함께 Terra와 Aqua 위성에 탑재된 MODIS 센서의 채널 자료 및 Enhanced Vegetation Index (EVI), Nadir BRD-Adjusted Reflectance (NBAR) 자료 등을 활용하여 산출된다 (Friedlet *et al.*, 2010). 총 5개의 구조(scheme)에 따라 분류된 land cover를 제공하고 있으며 본 알고리즘에서는 International

Geosphere-Biosphere Programme(IGBP) global vegetation classification scheme에 따라 분류된 land cover를 사용하였다. 이 구조는 Loveland and Belward(1997)에 의해 제시된 방법으로 NDVI를 기반으로 무감독 분류를 활용하여 17개의 항목(Class)으로 분류하였다. 자료의 공간 해상도는 500m, 시간해상도는 1년이며 전 지구를 대상으로 geographic map projection type으로 제공 중이다. 본 알고리즘의 관측 영역은 AMI 전구 영역이기 때문에 전구 영역으로 MCD12Q1 자료를 최적화(re-mapping)하였다.

Digital Elevation Model(DEM)은 고도를 나타내는 자료로서 SRTM DEM 30m 자료를 활용하였다. GK-2A AMI 관측 영역은 히말라야 산맥과 티벳 고원이 존재하는 등 최대 8,753 m의 고도가 존재하며 이는 고도차에 의해 생기는 그림자 등의 지형효과로 인해 적설 영역의 반사 특성이 일정하게 나타나지 않는다. 본 알고리즘은 DEM에 의한 지형 효과를 고려하기 위해 DEM을 활용하였다. SRTM DEM은 geographic map projection type으로 제공되며 본 알고리즘에서 활용하기 위해 GK-2A AMI 관측 영역에 맞게 재구성(re-mapping)하였다.

적설/구름 분광 라이브러리(snow/cloud spectral library)의 경우 2020년 10월부터 2021년 5월까지의 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite(VIIRS) Level 2 Snow Cover 산출물의 적설 및 구름 자료로 구축하여 업데이트 하여 2021년 12월 6일부터 적용하였으며, 이 자료는 DWW 알고리즘에서 활용한다. DWW 알고리즘은 두 자료의 유사도를 판별하는 기법으로 기준(reference)자료로 적설/구름 분광 라이브러리를 활용한다.

장기간 위성 기반 적설 및 해빙 자료는 적설 및 해빙 후보 영역을 1차로 구분하기 위해 활용하며, 적설의 경우 북반구는 1980년부터 2014년까지의 National Snow and Ice Data Center (NSIDC)의 Northern Hemisphere EASE-Grid 2.0 Weekly Snow Cover 자료를, 남반구는 2000년부터 2016년까지 MODIS Monthly CMG 적설 자료를 이용하여 구축하였다. 해빙의 경우 북반구 지역은 1980년부터 2014년까지 NSIDC의 EASE-Grid 2.0 Weekly sea ice 자료를 이용하였으며 남반구 지역은 Ocean and Sea Ice Satellite Application Facilities(OSI SAF)자료를 1982년부터 2009년까지 수집하여 구축하였다. 북반구, 남반구의 적설 및 해빙 자료 모두 한번이라도 적설 또는 해빙 화소로 구분된 경우, 해당 영역은 적설 또는 해빙 후보 영역으로 구분하였으며, 12월부터 02월은 겨울, 03월부터 05월은 봄, 06월부터 08월은 여름, 09월부터 11월은 가을로 계절에 따라 장기간 위성 기반 적설 및 해빙 자료를 구축하였다.

구축된 장기간 위성 기반 적설 및 해빙 자료는 Figure 2.3과 같다.

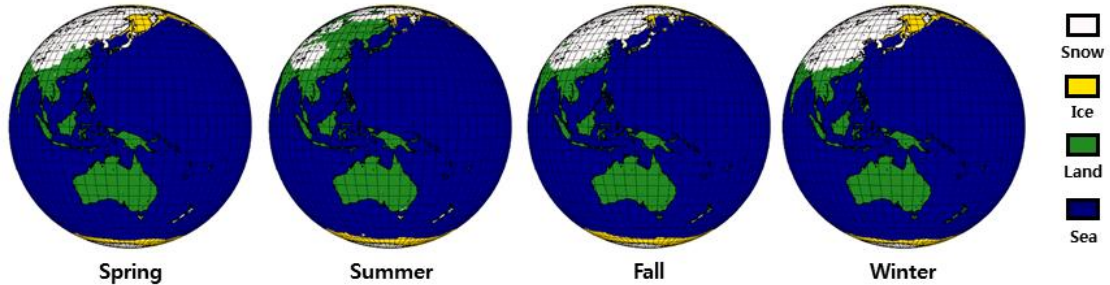


Figure 2.3. Satellite based long-term snow cover and sea-ice cover data.

2.4 이론적 배경

2.4.1 태양 천정각을 활용한 반사도 보정 (적설 및 해빙 탐지)

GK-2A AMI는 위성 특성 상 같은 지역에 대해 시각에 따라 태양 천정각이 달라진다. 또한 반사도는 태양 천정각에 따라 변동성이 존재하기 때문에 태양 천정각을 활용하여 반사도를 정규화함으로서 태양 천정각에 따른 반사도 변동성을 감소시켰다(Figure 2.4). 본 반사도 보정은 천리안 기상 위성(COMS MI)의 적설 및 해빙 탐지 기법에도 활용된 기법으로 반사도 보정을 수행한 경우 시각에 따른 반사도 변동성이 감소한다. 본 보정 기법은 적설 및 해빙 탐지 알고리즘 전에 수행된다.

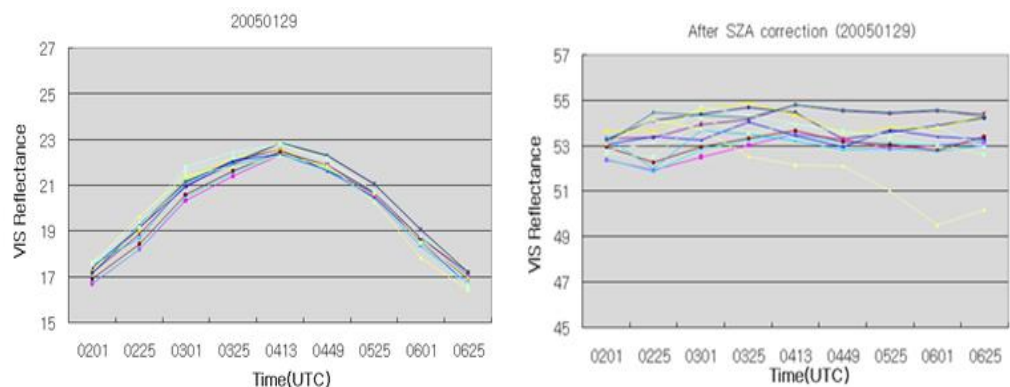


Figure 2.4. Time series of visible reflectance before (left) and after solar zenith angle (right) on January 29 in 2005. (COMS Algorithm Theoretical Basis Document V4.0, 2012).

2.4.2 고정 경계값 기법(Static threshold method)

2.4.2.1 Normalized Difference Snow Index (NDSI) (적설 및 해빙 탐지)

NDSI는 적설 및 해빙 화소를 탐지하는데 쓰이는 지수 중 하나로 본 알고리즘에서는 적설 및 해빙 탐지에 활용하였다. NDSI는 MODIS, VIIRS 및 Landsat 위성의 적설 탐지 알고리즘에도 활용된다. NDSI는 적설역이근적외 및 적외 영역보다 가시 영역에서 반사도가 높게 나타나는 특징을 이용한다. 또한 구름이 근적외 · 적외영역과가시영역 모두 높은 반사도를 보이는 특징에 따라 눈과 구름을 구분할 때에도 사용된다(Dorothy K. Hall, 2001).

2.4.2.2 $R_{1.61\mu m}$ anomaly (적설 탐지)

적설은 $1.61\mu m$ 반사도를 제외한 $0.46, 0.51, 0.64, 0.86\mu m$ 반사도에서 높은 반사도 값을 가진다. 본 알고리즘은 $1.61\mu m$ 반사도만 값의 차이가 나는 점을 활용한 $1.61\mu m$ anomaly test를 수행하여 적설이 아닌 일반 지표를 구분하였다. $1.61\mu m$ anomaly test는 Lee et al. (2017)이 극궤도 위성인 Terra/MODIS 채널 자료를 기반으로 적설이 아닌 일반 지표를 구분하는 데 활용하였다.

2.4.2.3 NDSI-NDVI test (적설 탐지)

산림이 존재하는 산악 지역은 산림이 존재하지 않는 지역에 비해 적설의 반사도가 낮게 나타나고 이러한 특징으로 인해 위성 자료를 활용한 적설 탐지 시, 구름과 적설의 구분 다음으로 산림지역에서의 적설탐지는 snow cover mapping에서 가장 큰 문제점으로 작용하고 있다 (Klein et al., 1998).

이에 본 적설탐지 알고리즘은 MODIS landcover 자료를 활용하여 상록 침엽수림(evergreen needleleaf forest), 상록 활엽수림(evergreen broadleaf forest), 온대성 혼성림(Mixed forest) 영역을 대상으로 식생의 분포를 정규화한 NDVI와 적설 및 해빙 탐지에 활용하는 NDSI의 관계를 활용하였다. 해당 기법은 National Aeronautics and Space Administration(NASA)의 MODIS, VIIRS에서 산림지역 적설 탐지에 활용하고 있다(hall et al., 2002; Hall et al., 2015).

2.4.2.4 $R_{0.86\mu m}$ test (해빙 탐지)

해빙이 아닌 바다는 해빙보다 물에 의해 에너지 흡수가 크게 일어나는 특성을 가진다. 그 중 $0.86\mu m$ 반사도(R)는 해빙이 아닌 바다에서 해빙 영역보다 극히 낮은 값을 보이는 광학적 특징을 가지며, 본 알고리즘에서는 이를 활용하여 해빙 탐지를 수행하였다.

2.4.2.5 밝기 온도 차이(Brightness Temperature Difference, BTD) (적설 및 해빙 탐지)

밝기 온도 차이는 위성을 활용한 구름 탐지에 주로 활용되는 기법 중 하나이다. 본 알고리즘은 밝기 온도 차이 중 $11\mu m$ 와 $3.8\mu m$ 밝기 온도의 차이를 활용하며 이는 물과 얼음 구름(ice cloud) 입자로부터 두 파장의 흡수 차이를 이용한다 (Steve Ackerman, *et al.*, 2006). 밝기 온도 차이 test는 MODIS 구름 산출에도 활용되고 있다. 본 알고리즘은 밝기 온도 차이를 활용하여 적설 및 해빙으로 구분된 화소에 대해 구름 영역인 경우 구름으로 재구분하는 snow/ice re-check test에 적용하였다.

2.4.2.6 Cloud re-check (적설 및 해빙 탐지)

적설 및 해빙 탐지 알고리즘은 선행 자료로 Cloud mask (CLD) 자료를 활용한다. Cloud mask는 high confidence cloud, low confidence cloud, high confidence clear로 정보가 나타나는데, 구름 자료 분석 결과 청천역화소인 high confidence clear 외 low confidence cloud 영역은 RGB 영상과 비교 시 실제 적설 및 해빙 영역이지만 구름으로 오탐지된 영역이 다수 존재하였다(Figure 2.5).

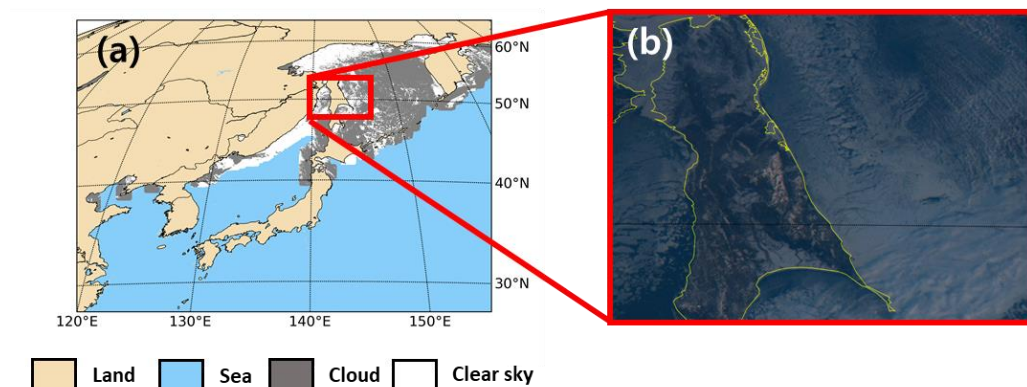


Figure 2.5. Cloud mask of sea ice candidate area on 20160211.0050 UTC (a), Himawari-8 AHI RGB image (b).

이에 본 알고리즘은 GK-2A AMI Cloud mask 중 low confidence cloud 화소를 대상으로 적설 및 해빙으로 재구분하는 test인 cloud re-check을 수행하였다.

2.4.2.7 이전 영상을 활용한 적설 및 해빙 탐지 기법 (적설 및 해빙 탐지)

본 알고리즘은 GK-2A AMI cloud mask를 활용한 구름 영역 구분을 수행한 뒤, $R_{1.61\mu m}$, $R_{0.51\mu m}$, $T_{3.8\mu m}$ 및 $T_{11.2\mu m}$ 를 활용하여 경험적인 값을 산출하였으며, 4개의 위성 자료를 통해 산출된 이전 영상의 값과 현재 영상의 NDSI를 활용해 적설 및 해빙 탐지를 수행하였다. 이전 영상의 자료를 활용하기 때문에 4개의 위성자료를 활용해 산출된 값은 10분 단위로 산출되는 scene에 보조 자료로서 산출된다.

또한 일 합성 기법 수행 시 산출하고자 하는 날짜에서 적설 및 해빙으로 구분되었으나, bad quality로 구분된 화소에 대해 이전 날 적설 및 해빙 자료가 confidently snow 또는 sea ice일 경우 이를 활용해 probably snow 또는 probably sea ice로 재구분하였다.

이전 영상을 활용한 적설 및 해빙 탐지는 주 알고리즘(main algorithm)이 수행되기 때문에 확실한 적설 및 해빙 화소인 경우에만 적설 및 해빙으로 구분하였다.

2.4.3 분광 라이브러리(조건표) 만드는 방법 (적설 및 해빙 탐지)

조건표를 만들기 위해서는 VIIRS와 천리안 위성의 시·공간 일치가 선행되어야 한다. GK-2A의 공간해상도는 채널마다 다르기 때문에, 500m, 1km의 해상도를 가지는 채널들은 2km로 re-sampling 하여 사용하였다. VIIRS L2 Snow Cover의 공간해상도는 375m로 2km의 해상도를 가지는 GK2A의 적외 채널과의 공간 일치를 위해 VIIRS의 위·경도를 기준으로 가장 가까운 GK2A의 위·경도와 일치시켰다. 또한, 관측 시각은 VIIRS의 관측 시각을 10분 단위로 반올림하여 GK-2A와 일치시켰다.

VIIRS L2 Snow Cover는 NDSI_Snow_Cover와 NDSI, Basic_QA 등의 산출물이 포함되어 있다. Basic_QA는 관측자료의 품질을 나타내는 것으로 이 값이 cloud와 bad quality인 것을 제외하고 good quality인 것만을 사용하였다.

또한, NDSI_Snow_Cover는 0에서 100 사이의 값으로 적설지수를 나타내는데, 조건표 생성에는 NDSI가 30 이상인 것만을 사용하였다.

조건표는 적설 조건표와 구름 조건표 두 가지로 산출한다.

먼저, Snow 조건표는 태양 반사도의 영향을 크게 받으므로 태양천정각의 범위에 따라 7개의 조건표를 생성하며, 그 범위는 다음과 같다.

[0~50 ° , 50~55 ° , 55~60 ° , 60~65 ° , 65~70 ° , 70~75 ° , 75~80 °]

태양천정각에 따라 분류된 후 고도(DEM)별로 7개의 값을 산출한다. 그 고도의 범위는 다음과 같다.

[0~ 500m, 500~1000m, 1000~1500m, 1500~2000m, 2000~2500m, 2500~3000m, 3000~8753m]

다음으로, Cloud 조건표는 0.64 μm 의 반사도를 기준으로 7개의 조건표를 생성하며, 그 범위는 다음과 같다.

[0,0~0.4, 0.4~0.5, 0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~0.9, 0.9~1.0]

반사도에 따라 분류된 후 11 μm 의 TBB에 따라 7개의 값을 산출하며, 그 범위는 다음과 같다.

[0~230K, 230~240K, 240~250K, 250~260K, 260~270K, 270~280K, 280~320K]

앞에서 언급한 바와 같이 태양 천정각 및 DEM에 따라 7개의 적설 분광 라이브러리(49개의 값)를 구축하였다. Figure 2.6은 기존에 만들었던 v4.1(2020년 1월(1개월))이고, Figure 2.7은 새로 구축한 v4.2(2020년 10월~2021년 5월, 8개월)을 나타낸다.

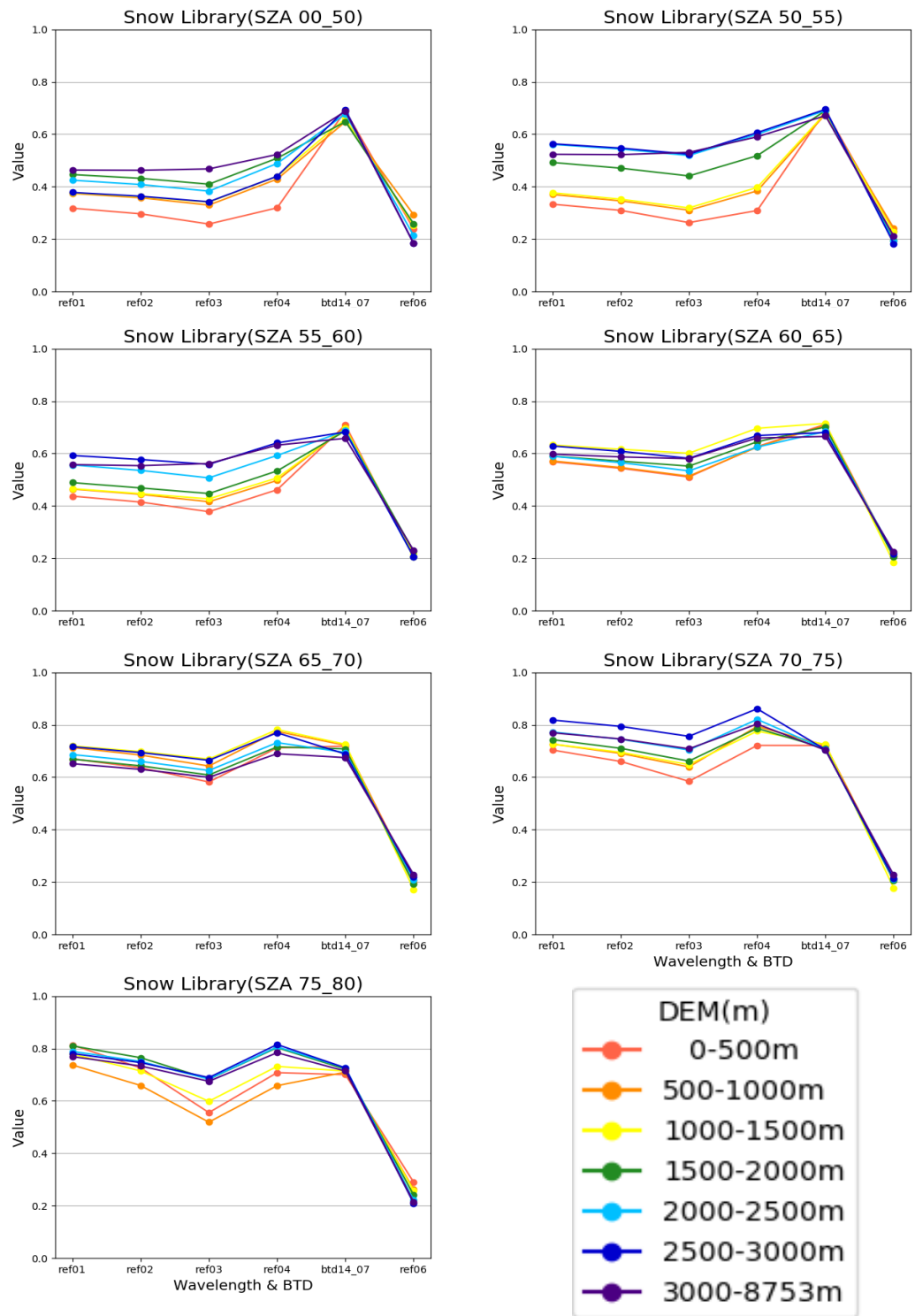


Figure 2.6. Snow spectral libraries depending on the SZA and DEM(v4.1)

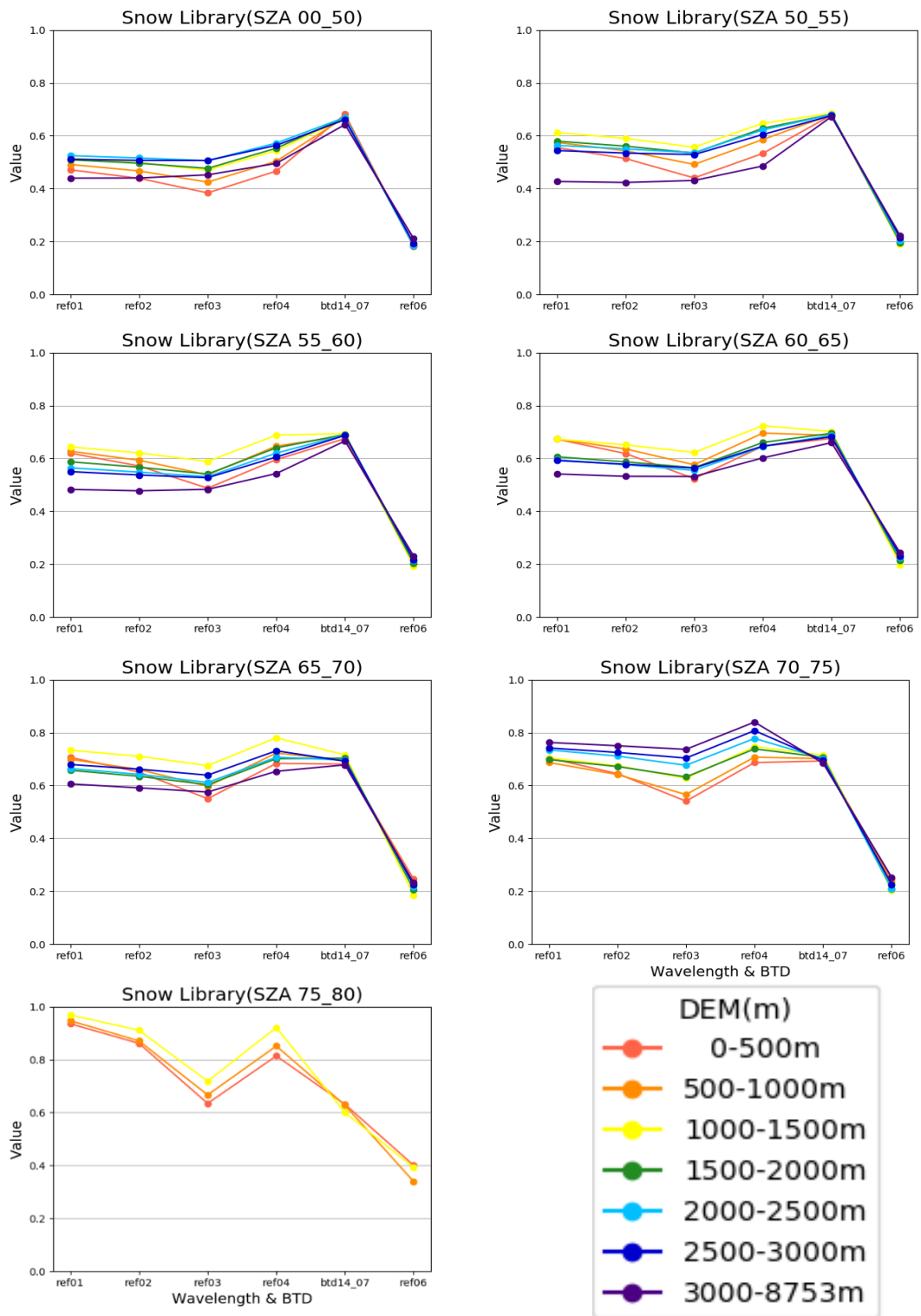


Figure 2.7. Snow spectral libraries depending on the SZA and DEM(v4.2)

구름 라이브러리는 $0.64\ \mu\text{m}$ 의 반사도와 $11\ \mu\text{m}$ 의 TBB에 따라 7개의 조건표 (49개의 값)를 v4.1 (Figure 2.8)과 v4.2 (Figure 2.9)과 같이 생성하였다.

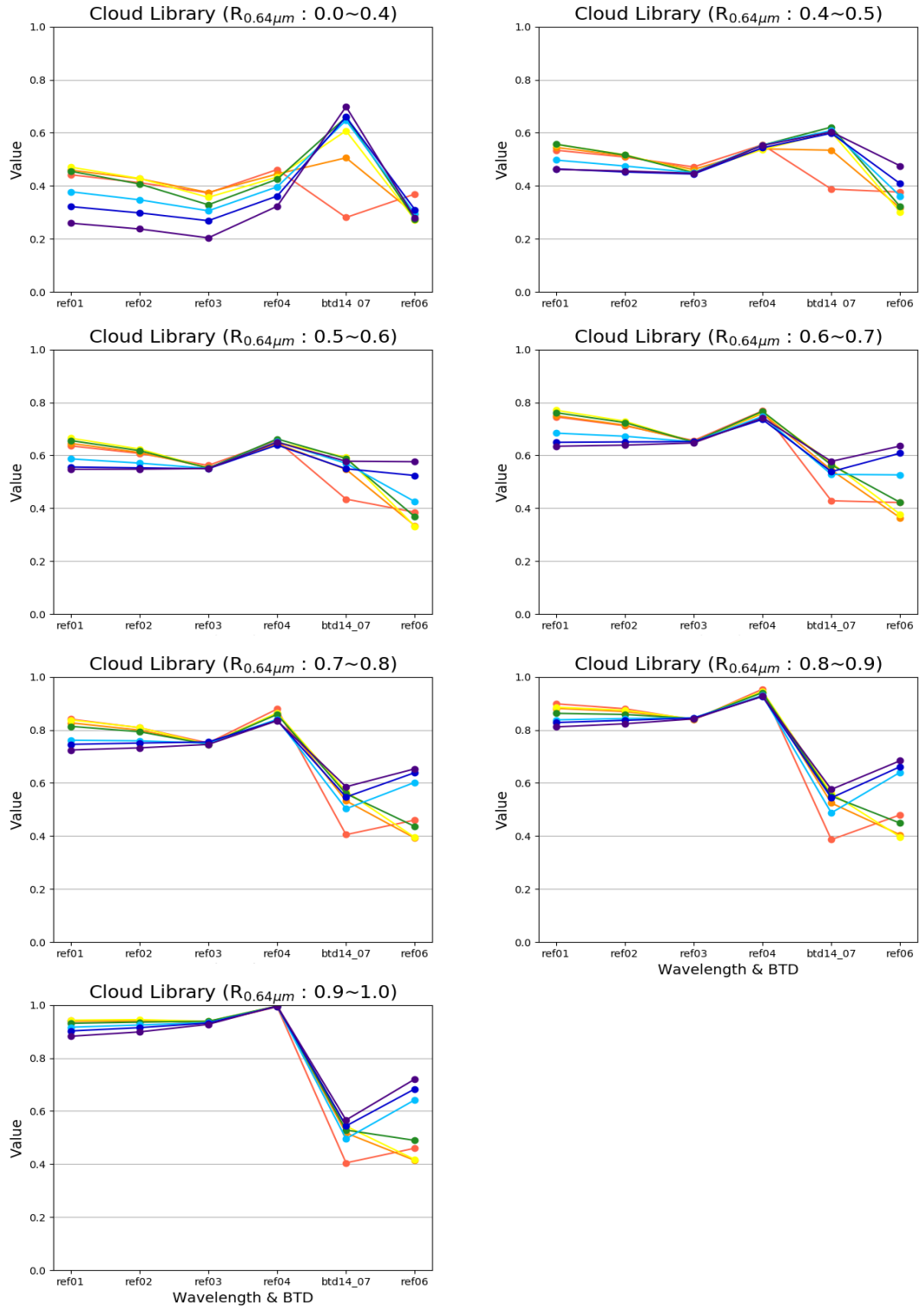


Figure 2.8. Cloud spectral libraries depending on $T_{11.0\ \mu\text{m}}$ (TBB₁₁) and $R_{0.64\ \mu\text{m}}$ (v4.1)

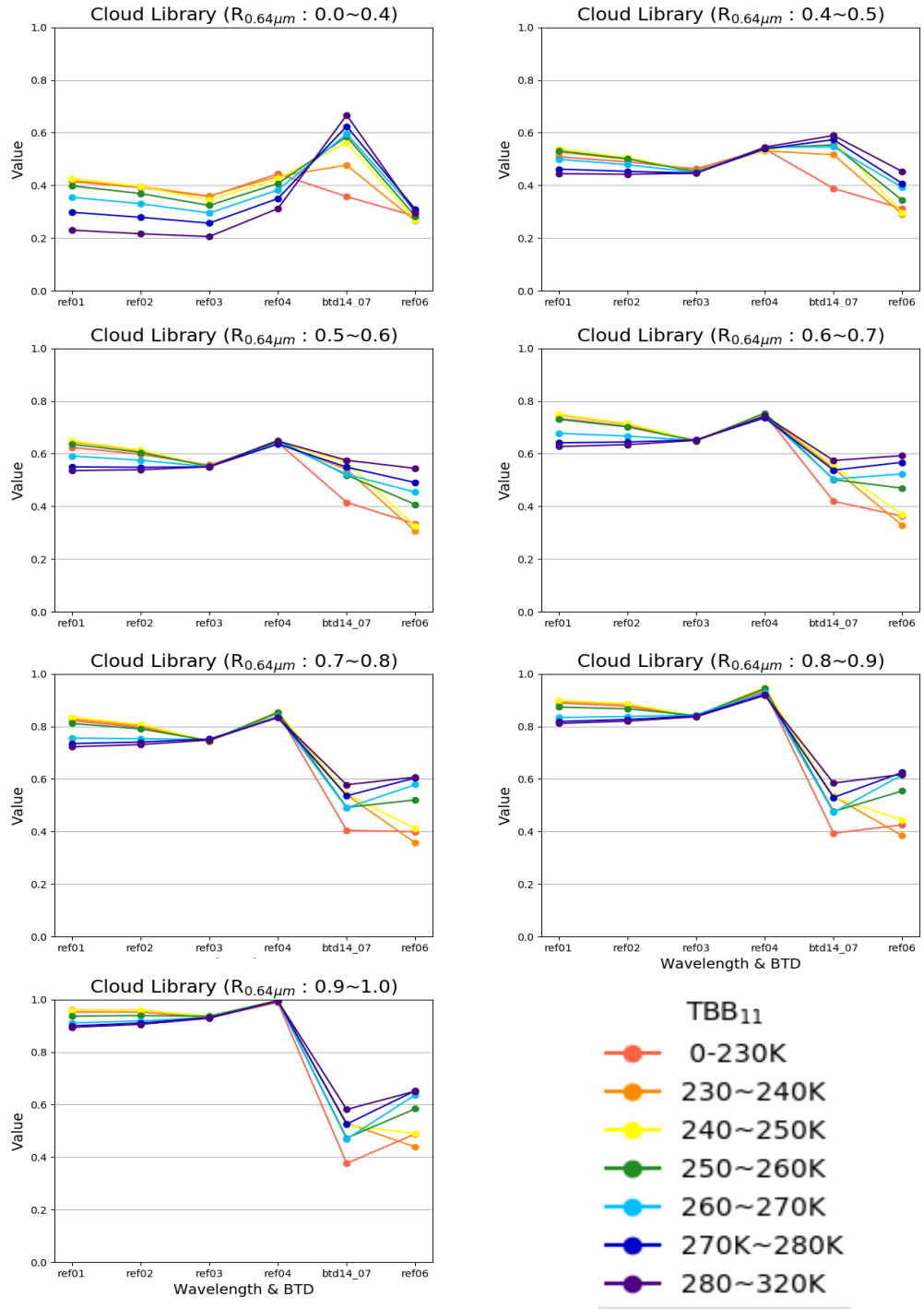


Figure 2.9. Cloud spectral libraries depending on $T_{11.0\ \mu m}$ (TBB₁₁) and $R_{0.64\ \mu m}$ (v4.2)

선진 기관에서는 해빙 탐지를 위해 Ice Surface Temperature (IST)를 사용하는데, IST 산출을 위해서는 복사전달모델 수행을 통한 IST 계수가 필요하며, 계수를 산출하는 것은 복잡한 과정에 있다. 그러나 IST_0 기법은 IST 산출을 위한 계수가 필요하지 않으며, 본 기법은 Jin *et al.* (2017)이 MODIS 자료를 활용하여 해빙 탐지를 위해 활용하였다.

2.4.4 Dynamic Wavelength Warping (DWW) 기법 (적설 및 해빙 탐지)

적설 및 해빙은 태양 천정각을 활용하여 반사도 보정을 수행하였으나, 여전히 태양 천정각 외 다른 요소들에 의해 반사도 변동성이 존재한다. 이에 따라 고정 경계값 기법으로 적설 및 해빙을 탐지하기에는 잠재적인 미탐지 및 오탐지 가능성이 존재한다. 이에 본 연구에서는 파장에 따른 반사도 변화 패턴을 활용하는 DWW 기법을 활용하여 적설 및 해빙 탐지를 수행하였다. DWW 기법은 기준(reference) 자료와 관측 자료의 파장에 따른 반사도 및 밝기 온도 차(Brightness Temperature Difference, BTD)의 변화 패턴을 추적하여 관측 자료의 유사도를 결정하는 알고리즘으로 Lee *et al.* (2017)은 이를 활용하여 MODIS 자료를 기반으로 적설 탐지를 수행하였다. DWW 기법은 시간적으로 연속적인 자료를 비교하여 두 종류의 자료가 얼마나 유사한가를 판별하는 알고리즘으로 PetiJean *et al.* (2012)은 DTW 기법을 위성 영상 시계열 분석에 활용하였다. DWW 기법은 DTW 기법의 시간 대신 파장을 활용하였다.

Figure 2.10는 DTW 기법을 요약한 그림으로서, DWW 기법과 주 시스템은 동일하다. 본 알고리즘에서 활용하는 DWW 기법은 Figure 2.10의 Data X는 기준 자료로 적설/구름 분광라이브러리(spectral library)이며, Data Y는 관측된 영역의 반사도 및 밝기 온도 차이를 프로파일(profile)이다. Cost-matrix는 두 자료의 파장에 따른 반사도 및 밝기 온도 차이를 활용하여 계산되며, Cost-matrix를 통해 생성된 warping path가 적설 분광 라이브러리와 1:1인 경우, 해당 화소는 적설로 구분하였다.

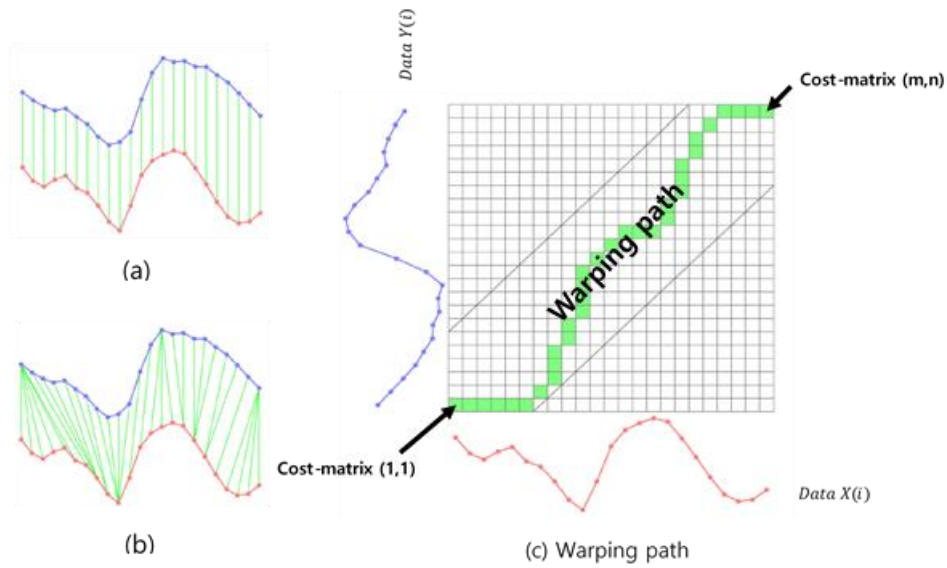


Figure 2.10. Two type of similarity and the warping path between time series, (a) shows the time-rigid similarity used by Euclidean distance (L_p), (b) shows the time-flexible similarity by DTW, (c) shows warping path (green line) (Zhang et al., 2015).

본 알고리즘에서 DWW 기법을 수행하기 위한 기준(reference) 자료는 반사도 및 밝기 온도 차에 따른 프로파일과 적설/구름 분광 라이브러리이다. 프로파일은 적설 및 해빙 후보 화소의 파장 및 밝기 온도 차이($T_{11.0 \mu m} - T_{3.8 \mu m}$)에 따른 반사도 및 정규화된 밝기 온도 차이이다.

2.4.5 IST_0 기법 (해빙 탐지)

선진 기관에서는 해빙 탐지를 위해 Ice Surface Temperature (IST)를 사용하는데, IST 산출을 위해서는 복사전달모델 수행을 통한 IST 계수가 필요하며, 계수를 산출하는 것은 복잡한 과정에 있다. 그러나 IST_0 기법은 IST 산출을 위한 계수가 필요하지 않으며, 본 기법은 Jin *et al.* (2017)이 MODIS 자료를 활용하여 해빙 탐지를 위해 활용하였다.

2.4.6 일 합성 기법 (적설 및 해빙 탐지)

본 알고리즘은 10분 자료로 산출되는 scene 자료 및 일 합성 자료인 daily 자료로 두 종류의 자료를 산출하며, 일 합성의 경우 scene으로 산출되는 적설 및

해빙 자료를 활용하여 산출한다. MODIS는 5분 자료로 산출되는 Level-2 swath 자료를 활용해 일 합성을 수행하고 있으며, 일 합성 수행 시 적설이 한 번이라도 존재 할 경우, 일 합성 자료 또한 적설로 구분하고 있다 (Hall *et al.*, 2012). MODIS의 경우 극궤도 위성으로 일 합성 기간 내 같은 지역을 최대 2회 관측을 수행하기 때문에 MODIS Level-2 swath 자료의 오탐지 화소가 일 합성 자료에 반영될 확률이 높다. 그러나 GK-2A AMI는 정지궤도 위성으로서 10분 마다 자료가 산출되며, 일 합성 기간 내 최대 144개의 Level-2 자료를 생산할 수 있기 때문에 본 알고리즘에서 활용하는 일 합성 기법은 일 합성 기간 내 적설 및 해빙의 빈도를 활용한 비율을 기반으로 적설 및 해빙 일 합성을 수행하였다.

2.5 수학적 설명

2.5.1 태양 천정각을 활용한 반사도 보정 (적설 및 해빙 탐지)

태양 천정각을 이용한 반사도 정규화는 Equation 2.1과 같다.

$$\rho' = \frac{\rho}{\cos(SZA)} \quad \text{Equation 2.1}$$

ρ 는 채널 반사도, ρ' 는 태양 천정각을 이용해 정규화된 채널 반사도이다. Figure 2.11은 1,670,324개의 VIIRS 적설 영역의 채널 자료를 추출한 자료를 정규화 하기 전(왼쪽)과 정규화 후(오른쪽)으로 나타내

었다. 태양 천정각을 활용한 반사도 보정을 수행한 결과, 같은 화소의 시각에 따른 반사도 변동성이 감소하였으며 특히 적설 영역은 반사도가 높은 값을 보이나 정규화 전 반사도 값이 낮게 분포하는 특징으로 인하여 적설과 적설이 아닌 일반 지표와의 반사도 차이가 크지 않게 나타나는 문제점이 있었으나, 정규화 이후 적설 영역의 반사도가 높은 값을 보이며 이에 따라 적설과 적설이 아닌 일반 지표의 구분이 가능해졌다.

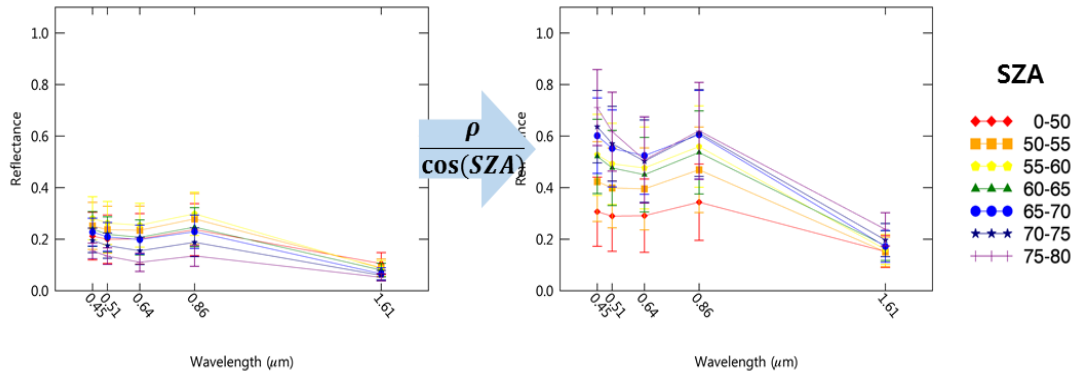


Figure 2.11. Before(left) and after(right) normalization using the SZA, average and standard deviation of the snow cover channel reflectance along wavelength.

2.5.2 고정 경계값 기법

2.5.2.1 NDSI (적설 및 해빙 탐지)

NDSI는 적운형 구름과 적설, 해빙을 구분하는데 용이하며 NDSI 산출식은 Equation 2.2와 같다.

$$NDSI = \frac{R_{Channel\ No.3} - R_{Channel\ No.6}}{R_{Channel\ No.3} + R_{Channel\ No.6}} \quad \text{Equation 2.2}$$

$R_{Channel\ No.3}$ 은 $0.64\ \mu m$, $R_{Channel\ No.6}$ 은 $1.61\ \mu m$ 의 반사도이다. 순수한 적설의 경우 NDSI가 0.4보다 큰 값을 가지며, Figure 2.12은 적설과 적설이 아닌 일반 지표의 NDSI 히스토그램이다. 본 알고리즘에서는 히스토그램을 활용하여 NDSI가 0.2 이상인 경우 적설로, NDSI가 0.1보다 작은 경우, 적설이 아닌 일반 지표로 구분하였다.

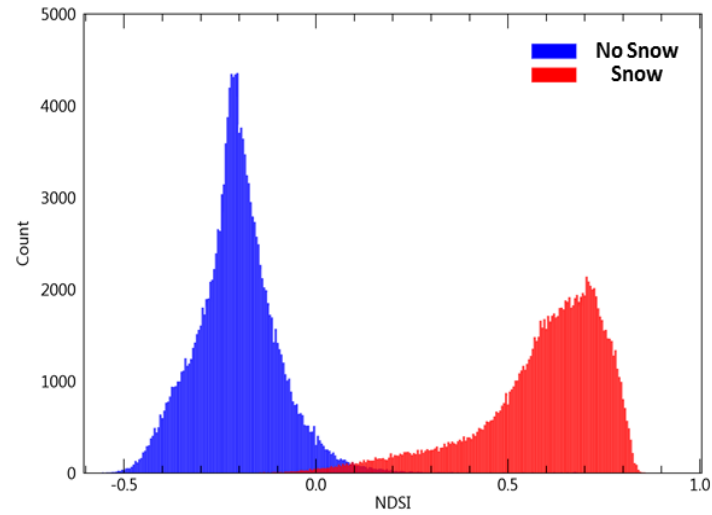


Figure 2.12. NDSI histogram with snow and snow-free land.

Figure 2.13은 해빙(sea ice)과 해빙이 아닌 바다(ice-free water)의 NDSI 분포를 나타낸 히스토그램이며, 본 알고리즘에서는 이를 활용하여 NDSI가 0.9 이상인 경우 해빙으로, 0.4 이하의 값을 가지는 화소는 해빙이 아닌 바다로 구분하였다.

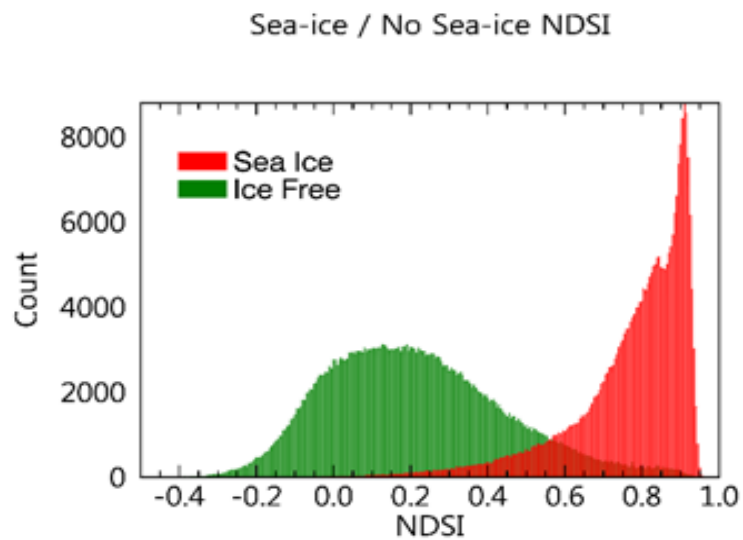


Figure 2.13. NDSI histogram of sea ice and ice-free water.

2.5.2.2 R_{1.61 μm} anomaly (적설 탐지)

본 알고리즘에서 1.61 μm anomaly test는 적설 후보 화소와 일반지표를 구분하기 위해 수행하였다. 1.61 μm anomaly 산출 과정은 다음과 같다.

$$R_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^6 R_{channel\ number(i)}}{6} \quad \text{Equation 2.3}$$

$$R_{difference\ 1} = Channelrefelctance - R_{mean} \quad \text{Equation 2.4}$$

$$R_{difference\ 2} = (R_{difference\ 1})^2 \quad \text{Equation 2.5}$$

$$R_{standard-deviation} = \sqrt{\frac{\frac{\sum_{i=1}^6 R_{difference\ 2}}{6}}{6}} \quad \text{Equation 2.6}$$

$$R_{anoamly} = \frac{(R_{Channel\ No.6} - R_{mean})}{R_{standard-deviation}} \quad \text{Equation 2.7}$$

R_{mean}은 채널 1번부터 6번까지(0.46 ~ 1.61 μm)의 반사도 평균을 의미하며, R_{difference1}은 각 채널 반사도와 반사도 평균(R_{mean})의 차이를 의미한다. R_{difference2}는 R_{difference1}의 제곱이며, R_{standard-deviation}은 채널 반사도 평균의 표준편차이다. R_{anomaly}는 R_{mean}과 R_{Channel No.5}를 이용하여 Equation 2.7과 같이 계산하여 산출되는 anomaly 값이며, Figure 2.14은 적설과 적설이 아닌 일반 지표에 대한 히스토그램이다. 이를 기반으로 R_{1.61 μm anoamly}가 -0.55보다 클 경우, 해당 화소를 일반 지표로 구분하였다.

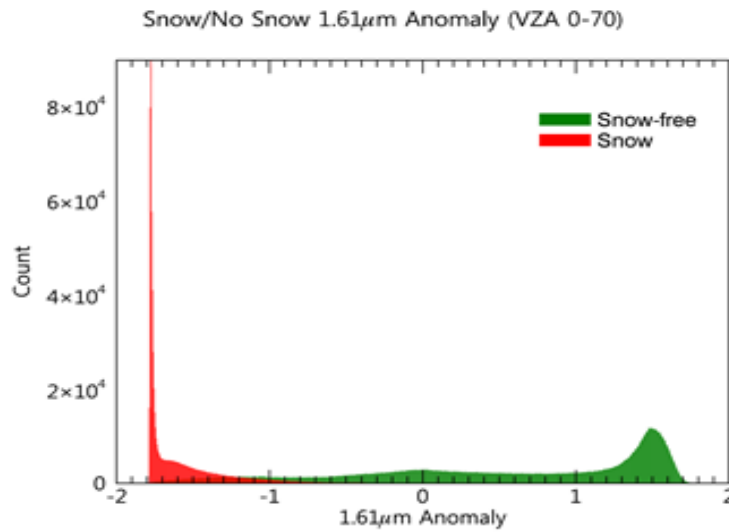


Figure 2.14. 1.6 μ m anomaly histogram.

2.5.2.3 NDSI-NDVI test (적설 탐지)

NDSI-NDVI test는 landcover를 통해 분류된 산림 지역에 한해 적설 탐지를 수행하였다. Figure 2.15는 NDSI와 NDVI의 산림 지역 적설 영역과 적설 영역이 아닌 일반 지표 영역 화소를 추출(sampling)하여 나타낸 산점도(scatter plot)이다. 적설 영역의 NDSI는 0.4 이상의 화소가 다수 분포하나 0.0에서 0.4까지는 적설 영역이 아닌 일반 지표 화소도 분포하는 것을 확인할 수 있다. 이에 본 알고리즘에서는 NDSI-NDVI 산점도를 활용하여 산림 지역에서 적설 탐지를 수행하였으며, NDSI의 범위가 0.0부터 0.2는 Equation 2.8을 활용하였으며, NDSI의 범위가 0.2부터 0.7은 Equation 2.9를 활용하여 적설 탐지를 수행하였다.

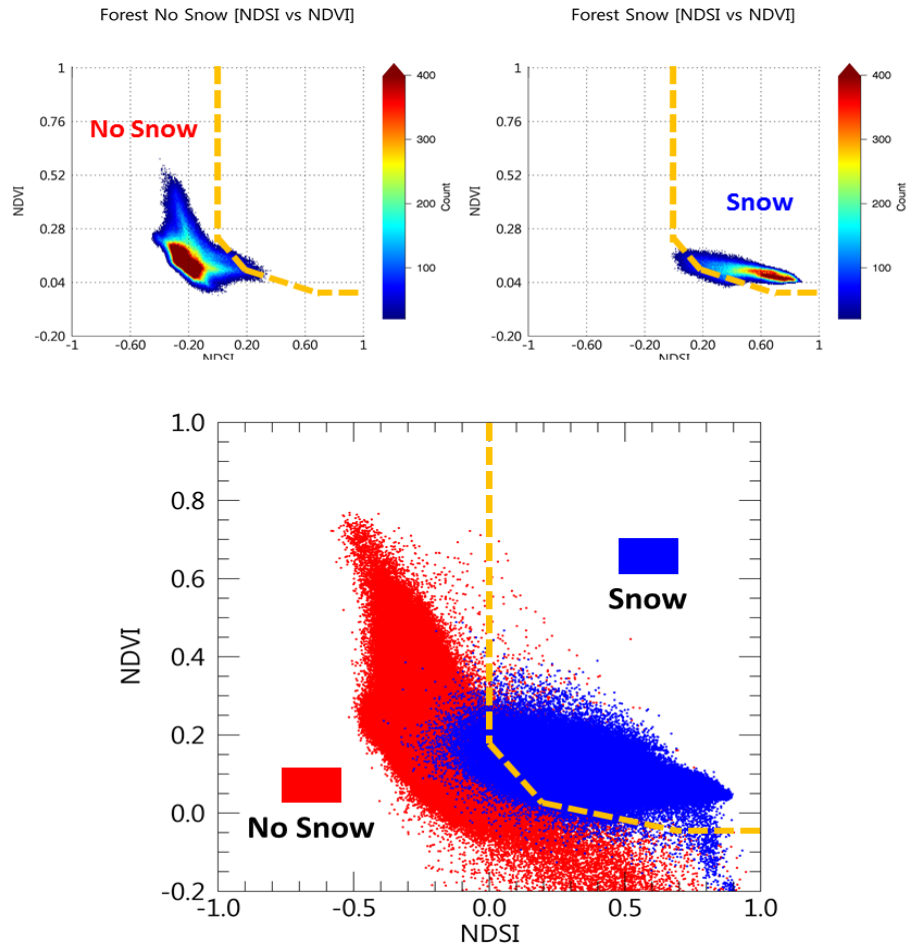


Figure 2.15. NDSI – NDVI scatter plot in forest (Threshold indicated as orange dash line)

$$NDVI_{threshold} \geq -1.0 \times NDSI + 0.2 \quad \text{Equation 2.8}$$

$$NDVI_{threshold} \geq -0.1 \times NDSI + 0.02 \quad \text{Equation 2.9}$$

2.5.2.4 $R_{0.86\mu m}$ test (해빙 탐지)

Figure 2.16은 해빙 (sea ice)과 해빙이 아닌 바다(ice-free water)의 $R_{0.86\mu m}$ 히스토그램이다. 본 알고리즘에서는 Figure 2.16을 참고하여 $R_{0.86\mu m}$ 가 0.1보다 작은 경우 해빙이 아닌 바다로 분류하였다.

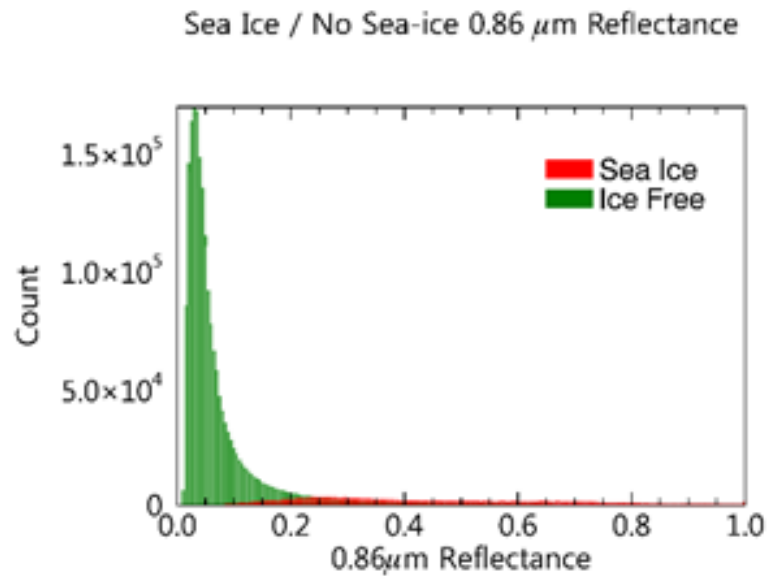
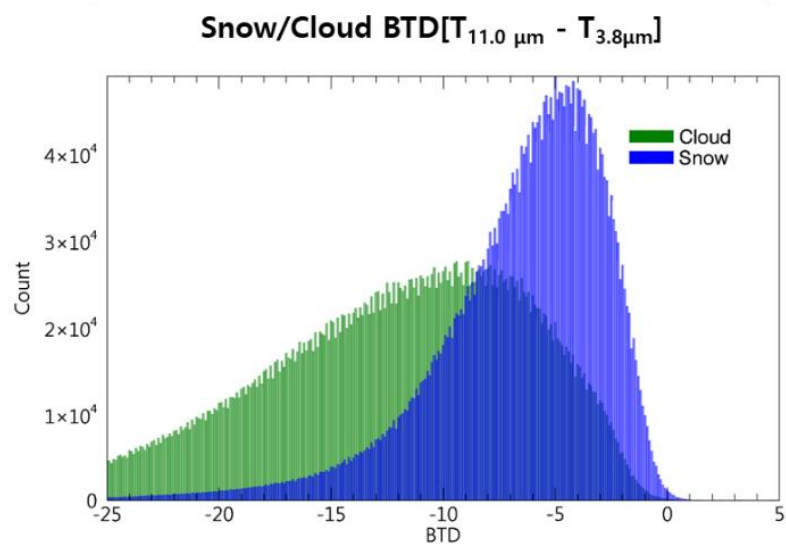


Figure 2.16. The histogram of the cloud re-check test.

2.5.2.5 밝기 온도 차이(BTD) (적설 및 해빙 탐지)

밝기 온도 차이를 활용한 기법은 청천역에서 수행한 적설 및 해빙 탐지 알고리즘에서 구분한 적설 및 해빙 화소를 대상으로 구름 영역인지 재확인하는 기



법이다.

Figure 2.17. Brightness Temperature Difference

[$T_{11.0 \mu\text{m}} - T_{3.8 \mu\text{m}}$] histogram between snow and cloud.

Figure 2.17은 적설과 구름의 밝기 온도 차이 히스토그램이며, 본 알고리즘은 이를 참고하여 밝기 온도 차이가 -13.0 미만인 화소는 구름으로 재구분하였다.

2.5.2.6 Cloud re-check (적설 및 해빙 탐지)

본 알고리즘의 cloud re-check test의 경우, 고정 경계값 기법을 활용하여 GK-2A AMI cloud mask의 low confidence cloud 영역을 재 구분한다. Figure 2.18은 cloud re-check test 고정 경계값 기법 설정 시, 활용한 히스토그램이다. Figure 2.19는 cloud re-check test를 통해 재 구분된 적설 및 해빙 영역이며 RGB 영상과 비교 시 해당 영역이 실제 적설 및 해빙 영역을 cloud re-check test를 통해 적설과 해빙으로 재 구분 하였다.

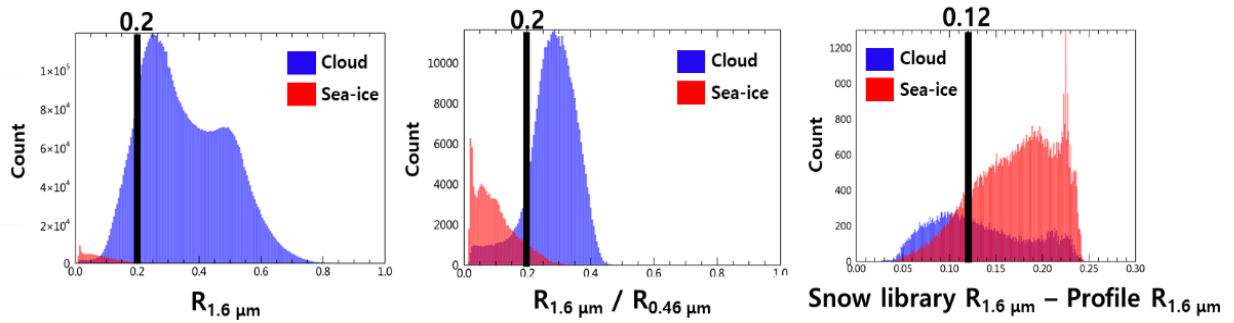


Figure 2.18. The histogram of the cloud re-check test.

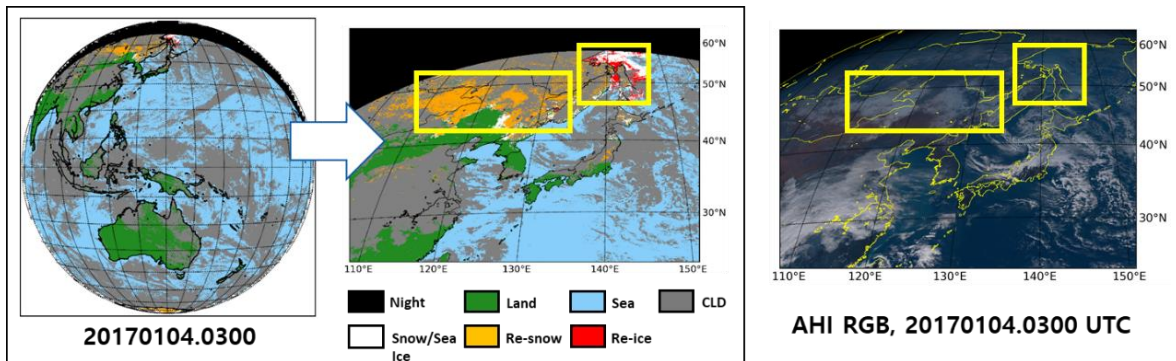


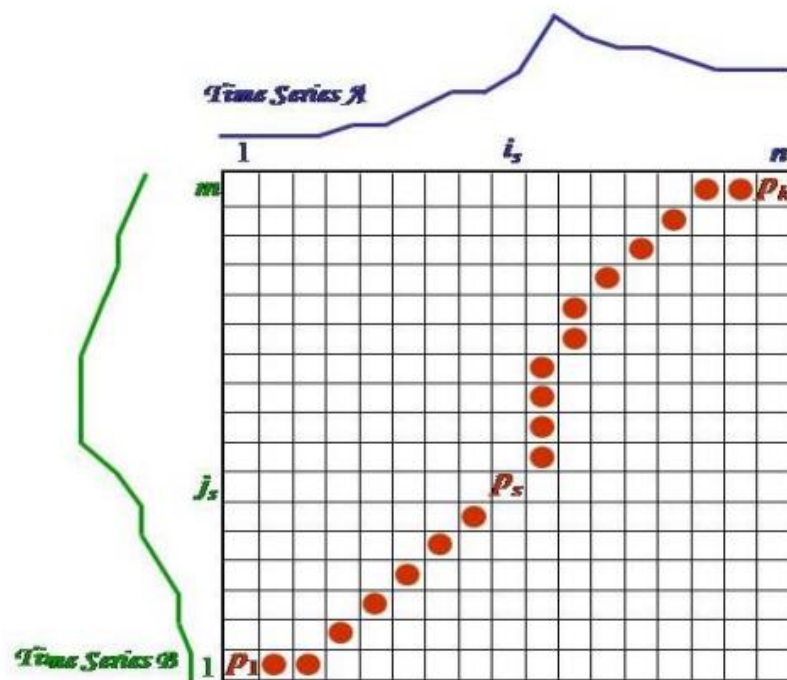
Figure 2.19. Re-classified snow and sea ice areas through cloud re-check test and AHI RGB image (20170104.0300 UTC).

2.5.2.7 이전 영상을 활용한 적설 및 해빙 탐지 기법 (적설 및 해빙 탐지)

본 알고리즘에서 활용하는 이전 영상을 활용한 적설 및 해빙 탐지 기법은 scene 및 일 합성 기법 모두 경험적으로 산출하였으며, scene의 경우 이전 scene의 4개의 위성 채널 자료 및 현재 scene의 NDSI를 활용하였으며, 일 합성 기법은 이전 날의 quality flag 및 현재 날짜의 quality flag를 활용하였다.

2.5.3 DWW 기법 (적설 및 해빙 탐지)

DWW 기법 수행 시, 두 자료(기준 자료 및 관측 자료)를 활용하여 계산된 cost-matrix를 통해 산출된 warping path를 활용한다. Figure 2.20는 자료 A(Data A) 및 자료 B(Data B)를 (1,1)부터 (m,n)까지 cost-matrix를 산출한 뒤, (m,n)부터 (1,1)까지 cost-matrix 중 최소값을 가지는 영역을 찾아가는 그림이다.



DWW 기법의 cost-matrix 산출 및 warping path 산출은 다음과 같다. 자세한 설명에 앞서 Figure 2.20의 Time Series A는 분광 라이브러리, Time Series B는 관측 자료인 프로파일로 (i,j)은 노드로, Ps는 각 노드의 cost-matrix로 정의하며 본 알고리즘은 m과 n이 R_{0.46 μm}, R_{0.51 μm}, R_{0.64 μm}, R_{0.86 μm}, R_{1.38 μm}, R_{1.61 μm} 및 밝기 온도 차이의 개수인 7로 고정하였다. 첫 번째 과정은 cost-matrix를 산출하는 과정으로 제일 처음 점인 (1,1)은 두 자료의 유클리드 거리이다.

- 각 노드들의 유클리드 거리(d)를 계산한다.

$$d(i,j) = \sqrt{(Time\ series\ A_i - Time\ series\ B_j)^2} \quad \text{Equation 2.10}$$

- (1,1)의 cost-matrix(G)는 (1,1)의 유클리드 거리와 같다.

$$G(1,1) = d(1,1) \quad \text{Equation 2.11}$$

- 1행의 cost-matrix를 계산한다.

$$G(i,1) = G(i-1,1) + d(i,1) (i = 1\sim 7) \quad \text{Equation 2.12}$$

Figure 2.20. The warping path of DWW method at study (Salagar M. and P. Kulkarni, 2013).

- 1열의 cost-matrix를 계산한다.

$$G(1,j) = G(1,j-1) + d(1,j) (j = 1\sim 7) \quad \text{Equation 2.13}$$

- 2열부터 7열까지 cost-matrix를 왼쪽에서 오른쪽, 아래에서 위로 계산한다.

$$G(i,j) = \min[g(i-1,j), g(i-1,j-1), g(i,j-1)] + d(i,j) \quad \text{Equationn 2.14}$$

- G(7,7)부터 cost-matrix의 최소값을 찾아가는 warping path 경로를 설정한다.

본 알고리즘에서 활용한 DWW 기법의 warping path는 (m,n)부터 (m-1,n), (m-1,n-1), (m,n-1)의 cost-matrix 중 최소값을 찾아가는 경로로 (1,1)까지 수행되는 경로를 말한다. Warping path가 설정된 후, warping path가 1:1인 경우 적설 또는 해빙으로 탐지하였으며, 추가로 cost-matrix도 활용하였다.

Figure 2.21은 적설 분광라이브러리와 실제 적설 영역인 관측 프로파일과 이를 통해 warping path가 1:1인 경우를 나타낸 그림이며, Figure 2.22은 실제로 적설이 아닌 영역의 관측 프로파일을 활용해 warping path가 1:1이 아닌 경우이다.

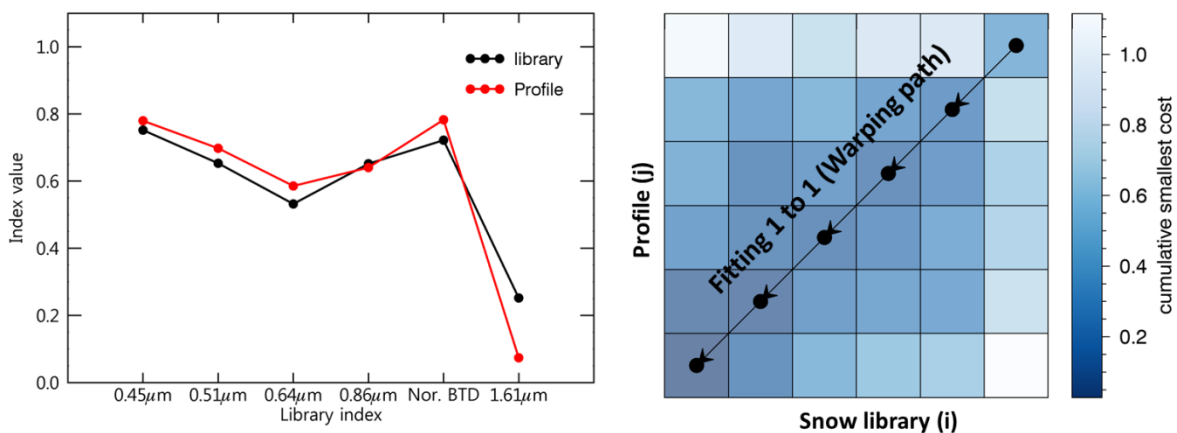


Figure 2.21. DWW calculation result, distribution of snow spectral library and profile value according to wavelength and BTD when warping path is 1 to 1 fitting line.

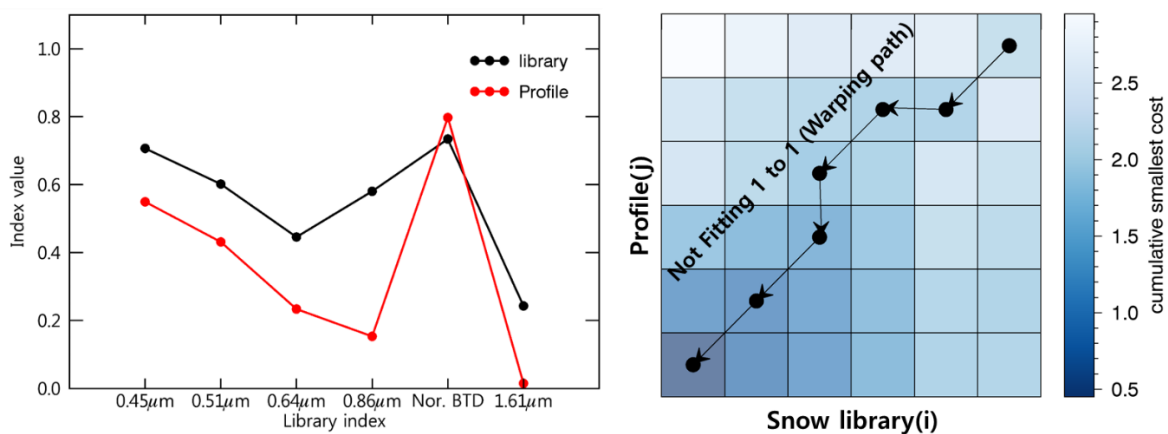


Figure 2.22. DWW calculation result, distribution of snow spectral library and profile value according to wavelength and BTD when warping path is not 1 to 1 fitting line.

2.5.4 IST_0 method

IST_0 기법은 IST , $T_{11\mu m}$ 및 $BTD[T_{12\mu m} - T_{11\mu m}]$ 의 상호 관계를 활용한 동적 경계값 기법으로 Figure 2.23과 같이 IST 에 따른 $T_{11\mu m}$ 와 $BTD[T_{12\mu m} - T_{11\mu m}]$ 의 관계가 선형 관계를 보인다는 특징을 활용하였다. 이를 활용하여 Equation 2.14와 같은 1차 관계식을 산출하였고, $T_{11\mu m}$ 가 IST_0 이하의 값을 가지는 화소의 경우 해빙으로 구분하였다.

$$IST_0 = \alpha \times BTD(T_{11\mu m} - T_{12\mu m}) + b \quad \text{Equation 2.14}$$

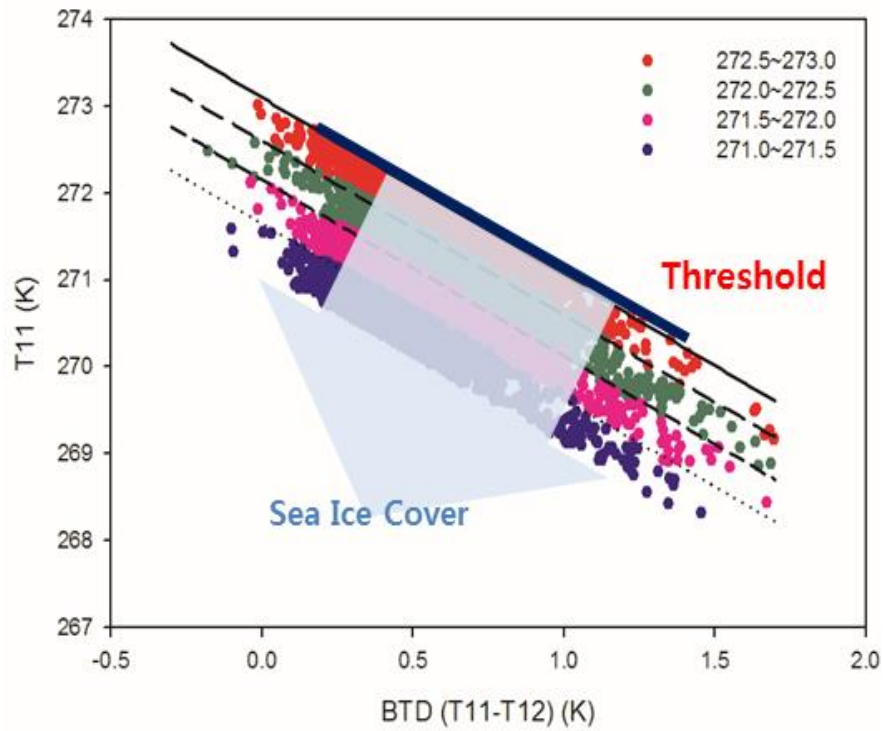


Figure 2.23. The scatter plot of $BTD[T_{11\mu m} - T_{12\mu m}]$ and $T_{11\mu m}$.

2.5.5 일 합성 기법 (적설 및 해빙 탐지)

본 알고리즘의 일 합성 기법에서 활용하는 일 합성 기간 내 적설 및 해빙 비율의 경계값은 경험적 방법으로 설정하였다. Figure 2.24 및 Figure 2.25는 적설 및 해빙 비율에 따른 일 합성 영상으로서 Figure 2.22는 적설 비율 값이 높아질수록 중국 지역의 오염지 영역이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, Figure 2.25 또한 해빙 비율 값이 높아질수록 오염지 영역이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 본 알고리즘은 이러한 경험적 결과를 바탕으로 적설 및 해빙 비율을 결정하였다.

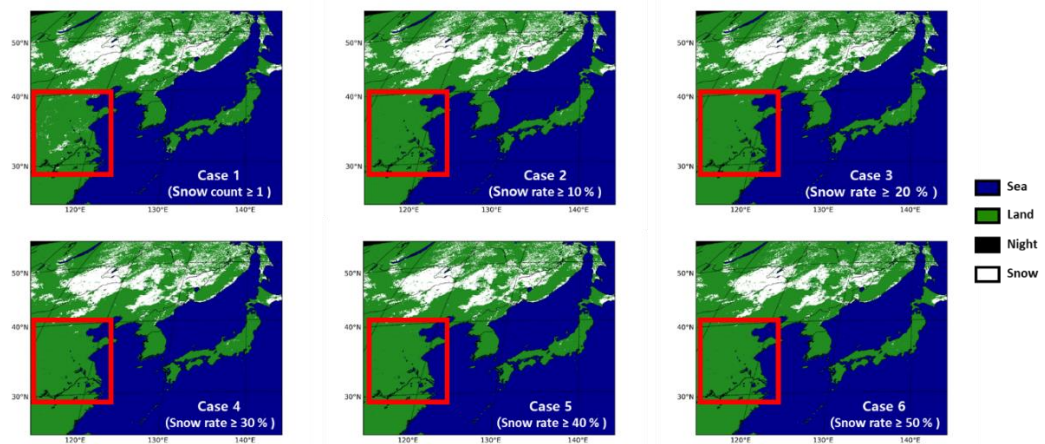


Figure 2.24. Daily composite of snow cover depending on snow rate (20170102).

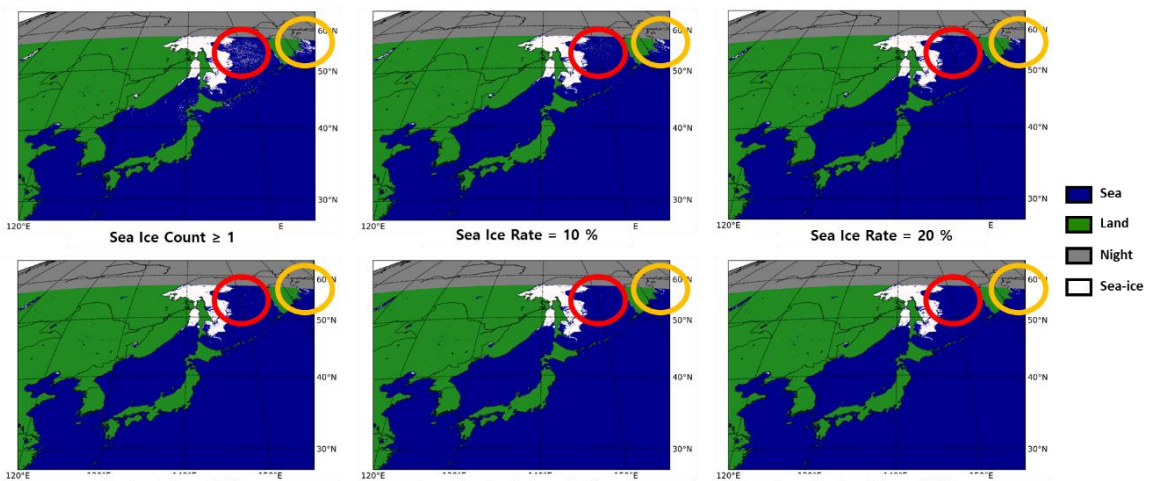


Figure 2.25. Daily composite of sea ice depending on sea ice rate (20170104).

2.6. 산출물

적설 및 해빙 산출물은 시간해상도가 10분 단위 자료와 1일 단위 자료로 나눌 수 있다. 10분 단위 자료는 하나의 NetCDF 파일로 산출되며, NetCDF 파일 내에 3개의 정보를 담고 있다. NetCDF 파일의 파일 이름은 gk2a_ami_le2_scsi_fd020ge_YYYYMMDDhhmn.nc 파일로 YYYY는 연도(year), MM은 월(month), DD는 일(day), hh는 시간(hour) 및 mn(minute)은 분을 의미한다. 10분 단위 자료의 3개 정보는 아래와 같으며 (Table 2.4) 각 정보의 화소 정보는 표로 정리하였다.

- GK-2A AMI snow cover and sea ice (SCSI) (Table 2.5)
- GK-2A AMI snow cover and sea ice quality flag(DQF_SCSI) (Table 2.6)
- GK-2A AMI SCSI threshold (SCSI_Threshold)

Table 2.4. Content of the SC/SI Scene product file

Name	Variable type	Scale factor	Description	Valid range
GK-2A AMI snow cover and sea ice (SCSI)	1-byte unsigned integer	—	Snow cover and sea ice (Scene)	0~5
GK-2A AMI snow cover and sea ice quality flag (DQF_SCSI)	1-byte unsigned integer	—	Snow cover and sea ice quality flag (Scene)	0~12
GK-2A AMI SCSI threshold	2-byte signed integer	0.01	Using previous scene test	-7000 ~ 2000

Table 2.5. GK-2A AMI snow cover and sea ice pixel information

Name	Pixel index	Information
GK-2A AMI snow cover and sea ice (SCSI)	0	Night
	1	Snow
	2	Snow-free land
	3	Cloud
	4	Sea ice
	5	Ice-free water
	6~215	Spare
	216	No spectral library
	217~254	Spare
	255	Fill-value

Table 2.6. GK-2A AMI snow cover and sea ice quality flag pixel information

Name	Pixel index	Information
GK-2A AMI snow cover and sea ice quality flag (DQF_SCSI)	1	High confidence cloud
	2	Low confidence cloud
	3	High confidence clear (land)
	4	High confidence clear (sea)
	5	Snow (Good quality)
	6	Snow (Bad quality)

7	Sea ice (Good quality)
8	Sea ice (Bad quality)
9	Snow (Cloud re-check)
10	Sea ice (Cloud re-check)
11	Cloud (Snow re-check)
12	Cloud (Ice re-check)
13~254	Spare
255	Fill-value

1일 단위의 적설 및 해빙 자료는 하나의 NetCDF 파일이며, 파일 이름은 gk2a_ami_le3_scsi_fd020ge_YYYYMMDD0000.nc로 나타내며, 파일 이름 내 정보는 10분 단위 자료와 같다. 1일 합성의 기준은 해당 날짜의 00UTC부터 23:50UTC까지의 자료이다. 예를 들어

gk2a_ami_le3_scsi_fd020ge_202112220000.nc의 자료는 2021년 12월 22일 00:00UTC부터 23:50UTC까지의 적설/해빙 산출물을 합성한 자료임을 의미한다.

일 합성 NetCDF 파일 또한 파일 내에 4개의 정보를 담고 있다. 1일 단위 자료의 4개 정보는 아래와 같으며(Table 2.7) 각 정보의 화소 정보는 표로 정리하였다.

- GK-2A AMI snow cover and sea ice daily composite (SCSI) (Table 2.8)
- GK-2A AMI snow cover and sea ice daily composite quality flag(DQF_SCSI) (Table 2.9)
- GK-2A AMI daily snow cover count
- GK-2A AMI daily sea ice count

Table 2.7. Content of the Daily SCSI product file

Name	Variable type	Scale factor	Description	Valid range
GK-2A AMI daily snow cover and sea ice (SCSI)	1-byte unsigned integer	–	Snow cover and sea ice (Daily)	0~5
GK-2A AMI daily snow cover and sea ice quality flag (DQF_SCSE)	1-byte unsigned integer	–	Snow cover and sea ice quality flag (Daily)	0~10
GK-2A AMI daily snow cover count	1-byte unsigned integer	–	Snow cover count during a day	0~144
GK-2A AMI daily sea ice count	1-byte unsigned integer	–	Sea ice count during a day	0~144

Table 2.8 GK-2A AMI daily snow cover and sea ice pixel information

Name	Pixel index	Information
GK-2A AMI daily snow cover and sea ice (SCSI)	0	Night
	1	Snow
	2	Snow-free land
	3	Cloud
	4	Sea ice

5	Ice-free water
6~215	Spare
216	No spectral library
217~254	Spare
255	Fill-value

Table 2.9 GK-2A AMI daily snow cover and sea ice quality flag pixel information

Name	Pixel index	Information
GK-2A AMI daily snow cover and sea ice quality flag (DQF_SCSI)	0	Night
	1	Probably snow
	2	Confidently snow
	3	Snow but bad quality
	4	Snow-free land
	5	Probably sea ice
	6	Confidently sea ice
	7	Sea ice but bad quality
	8	Ice-free water
	9	Snow/Sea ice but VZA > 70°
	10	Cloud
	11~255	Spare

GK-2A AMI 적설 및 해빙 자료의 품질 평가는 10분 단위로 산출하는 scene은 NDSI를 활용해 quality flag를 지정하였으며, 일 합성 적설 및 해빙 자료는 일 합성 기간 내 적설 및 해빙 빈도수에 따른 비율로 quality flag를 결정하였다.

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

3.1.1 모의 입력 자료 및 산출 결과

3.1.1.1 모의 입력 자료

본 알고리즘의 모의 입력 자료는 일본의 정지궤도 위성인 Himawari-8 Advanced Himawari Imager(AHI) 자료를 활용하였다. Himawari-8 AHI는 아시아, 태평양 지역의 가시 및 적외 영역 TOA radiance를 산출하는 16개의 채널을 가지고 있으며, 미국의 GOES-R ABI, 우리나라의 GK-2A AMI와 비슷한 분광 특징 및 공간 특성을 가진다. Himawari-8 AHI는 GK-2A AMI와 같이 10분 단위로 전구 관측을 수행하며, 500 m, 1 km, 2 km의 공간해상도를 가진다. Table 3.1은 본 알고리즘에서 활용하는 GK-2A AMI 및 Himawari-8 AHI 채널 자료이다. 모의 입력자료와 GK-2A AMI 자료의 차이는 1.38 μm 채널 자료의 유무이다. GK-2A AMI는 1.38 μm 채널 자료가 채널 번호 5번에 존재하나, 모의 입력 자료인 Himawari-8 AHI는 1.38 μm 채널 자료가 없다. 현재는 2018년 12월 5일 발사되어 2019년 7월 25일부터 정식운영을 시작한 GK-2A AMI를 이용하여 적설 및 해빙 탐지에 사용하고 있다.

Table 3.1 The information of the channel data utilized in this algorithm

GK-2A AMI			Himawari-8 AHI		
Channel No.	Central wavelength (μm)	Spatial resolution (km)	Channel No.	Central wavelength (μm)	Spatial resolution (km)
1	0.45	1	1	0.45	1
2	0.51	1	2	0.51	1

3	0.64	0.5	3	0.64	0.5
4	0.86	1	4	0.86	1
6	1.61	2	5	1.61	2
7	3.8	2	7	3.8	2
14	11.2	2	14	11.2	2
15	12.3	2	15	12.3	2

3.1.1.2 산출 결과

적설/해빙 산출물은 10분 단위의 전구영역(Full Disk, FD)으로 산출하지만, 이미지는 전구(Full Disk, FD), 동아시아(East Asia, EA), 한반도(Korea, KO)의 세가지의 영역으로 산출하며 산출결과는 Figure 3.1과 같다.

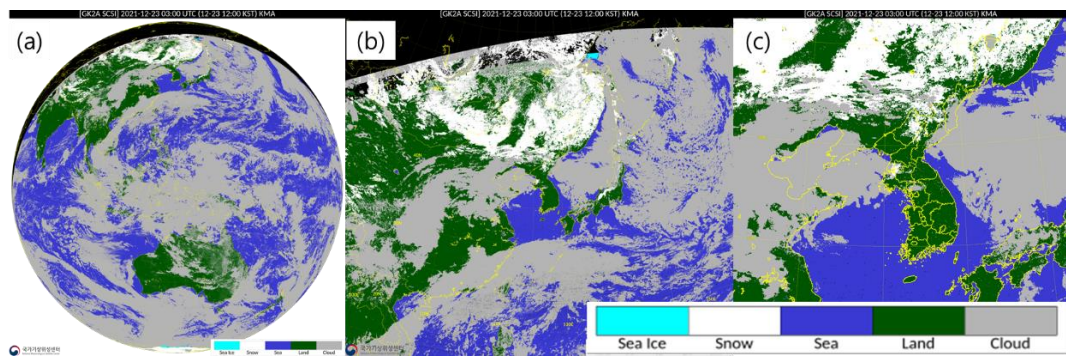


Figure 3.1. 2021.12.23.0300UTC GK-2A AMI snow cover and sea ice(SCSI) image; (a) Full Disk(FD), (b) East Asia(EA), (c) Korea(KO)

또한, 1일 합성 산출물의 산출결과는 Figure 3.2와 같다.

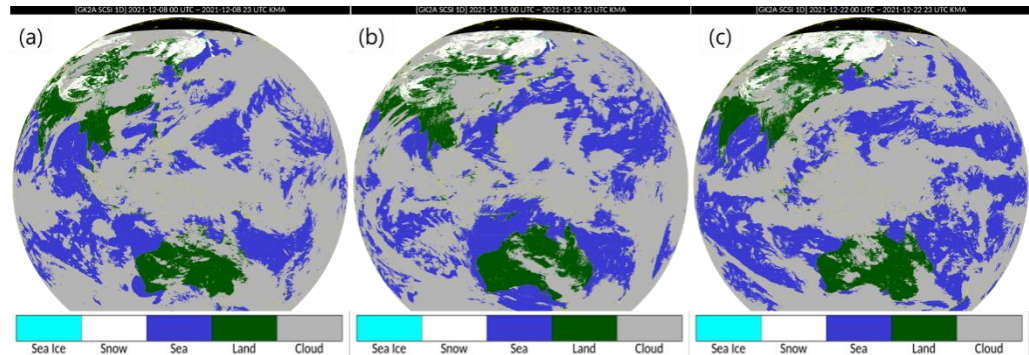


Figure 3.2. GK-2A AMI daily snow cover and sea ice(SCSI) image;

(a) 20211208, (b) 20211215, (c) 20211222

3.1.2 검증 자료

Global Multisensor Automated Snow/Ice Map (GMASI) 자료는 가시 및 근적외 위성과 Microwave 위성 등 다양한 위성에서 산출한 적설과 해빙 자료를 합성한 자료이다. 공간해상도는 4 km이며 산출주기는 1일이다. GMASI 자료 산출 시 활용한 적설 및 해빙 자료는 아래와 같다.

- Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) onboard METOP-A satellite
- Imager onboard Geostationary Operational Environmental Satellite-East (GOES-EAST)
- Imager onboard Geostationary Operational Environmental Satellite-West (GOES-WEST)
- Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) onboard Meteosat-8
- Special Sensor Microwave Image/Sounder (SSMIS) onboard Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) satellites F-16, -17, and

GMASI 자료는 geographic map으로 자료를 제공하고 있으며 영상은 Figure 3.3과 같다.

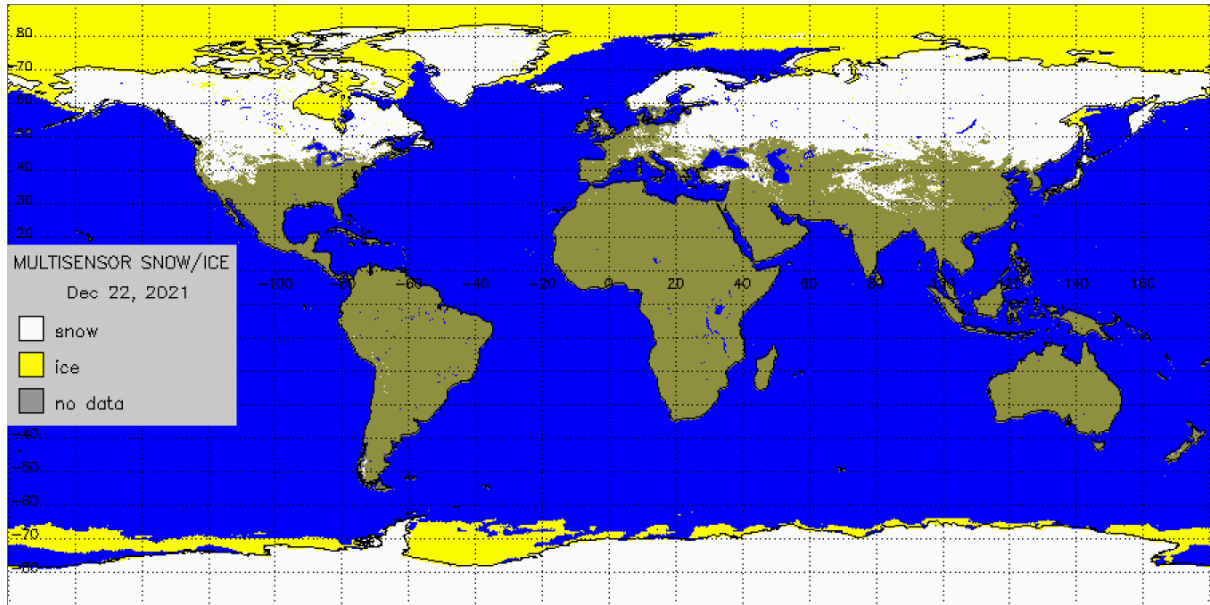


Figure 3.3. GMASI data on 22 December, 2021

3.2 검증 방법

적설 및 해빙 탐지 검증은 양적 또는 질적 표출보다는 존재의 유무를 판단하는 검증이며, 본 알고리즘은 광범위한 범위에서 실측 자료의 획득이 어렵기 때문에 타 위성 자료를 이용한 대리검정을 수행하였으며, 정량적 검증을 위하여 GMASI 자료를 사용하였다. GMASI 자료는 Section 3.1.2에 언급한 바와 같이 geographic map으로 자료가 제공되기 때문에 검증 수행 시, 두 자료를 활용한 검증 시 match-up을 수행하였다. Match-up은 두 자료의 특정 화소들에 대해 위·경도를 이용하여 최근접 영역을 찾는 방식으로 수행하였으며, 최근접 화소들에 대해 1:1 비교를 통해 검증을 수행하였다.

또한 본 알고리즘은 산출한 일 합성 적설 및 해빙 자료를 검증하기 위하여 위성간의 상호 대리검정에 활용되는 Table 3.2에서 나타나는 지표들을 사용하였다. 또한 이를 이용하여 POD(Probability of Detection)와 FAR(False Alarm Rate)를 계산하고 이를 이용해 적설 및 해빙 탐지 알고리즘의 정확도를 정량적인 수치로 표현하였다. POD는 생산자 정확도로 실제 위성 영상에서 특정 범주에 속하는 화소 중 특정 범주로 분류한

화소의 백분율을 나타내는 통계치로 미탐지(omission error)를 측정하는 역할을 한다. FAR는 사용자의 오탐지율을 의미하며 특정 범주로 분류한 화소 중 오탐지된 화소의 백분율을 나타낸다. 지수들의 계산식은 Table 3.3과 같다.

검증 수행 시, 일 합성 적설 및 해빙 자료와 quality flag 자료를 활용하였으며 적설 및 해빙 화소 중 Probably & Confidently 화소를 대상으로 검증을 수행하였다. 또한 일 합성 기간 내 모든 Scene에서 특정 화소가 야간($SZA > 80^\circ$)인 화소와 일 합성 기간 내 특정 화소의 50 % 이상이 구름으로 분류된 화소 및 위성 방위각(Viewing Zenith Angle, VZA)이 특정값 이상인 화소에서 Figure 3.4와 같이 AHI 자료의 품질 저하가 나타나는 scene이 있어 VZA이 70° 이상 시 검증에서 제외하였다.

Table 3.2 Contingency table of comparison between two categorical data

Estimation	Validation	
	Yes	No
Yes	A (hit)	B (false)
No	C (miss)	D (cor-reject)

Table 3.3 Used criteria in comparing two data

Criteria	Description
POD	$A/(A+C)$
FAR	$B/(A+B)$

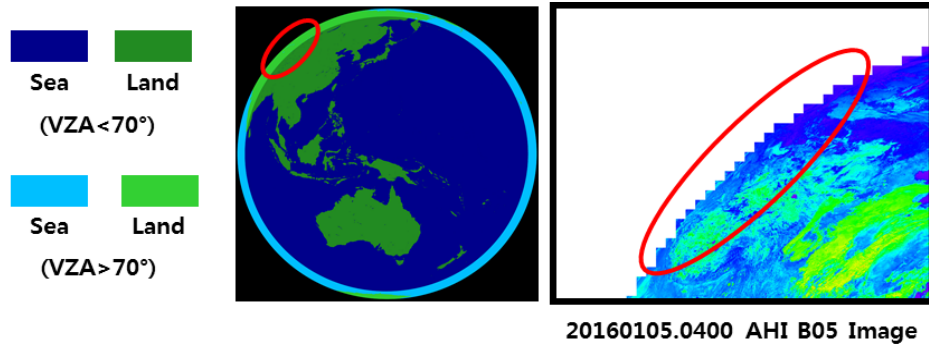


Figure 3.4. The quality degradation region of Himawari-8 AHI (VZA > 70°).

3.3 검증 결과

본 알고리즘의 검증 요구 정확도는 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 Snow cover/Sea-ice temporal, spatial resolution and required product accuracy

Retrieve Data	Temporal Resolution	Spatial Resolution	Objective Accuracy
Snow Cover (SC)	1-day	2 × 2 km	POD ≥ 85% FAR ≤ 25%
Sea-ice (SI)	1-day	2 × 2 km	POD ≥ 85% FAR ≤ 25%

본 연구에서 산출한 일 합성 적설 및 해빙 자료를 검증하기 위해 북반구 겨울기간 총 5일에 대하여 GMASI 자료와 비교를 수행하였으며 그 결과는 Table 3.5와 같다. GMASI 자료와 비교 한 결과 POD는 97.14%로 GMASI에서 탐지한 대부분의 적설 및 해빙 영역을 본 알고리즘도 탐지하였고 오탐지율인 FAR는 1.96%로 낮게 나타났다.

Table 3.5 Validation results using GMASI data

Date	Hit	False	Miss	Cor- Reject	POD / FAR (%)
20170101	243,828	583	8,031	704,611	96.81 / 0.23
20170102	252,761	9,202	9,333	709,814	96.43 / 3.51
20170103	267,495	6,673	10,058	726,626	96.37 / 2.43
20170104	298,802	5,268	7,423	737,072	97.57 / 1.73
20170105	275,174	5,145	4,447	523,997	98.40 / 1.83
Total	1,338,060	26,871	39,292	3,402,120	97.14 / 1.96

본 연구에서는 북반구 겨울기간인 2017년 1월 1일부터 5일까지 총 5일의 10분 단위 자료(scene) 자료 및 일 합성(daily) 자료 산출 및 GMASI 자료를 활용한 검증 수행하였다. 비교 결과 영상은 Figure 3.5와 같다. 검증 결과, 러시아 및 만주 지역에서 두

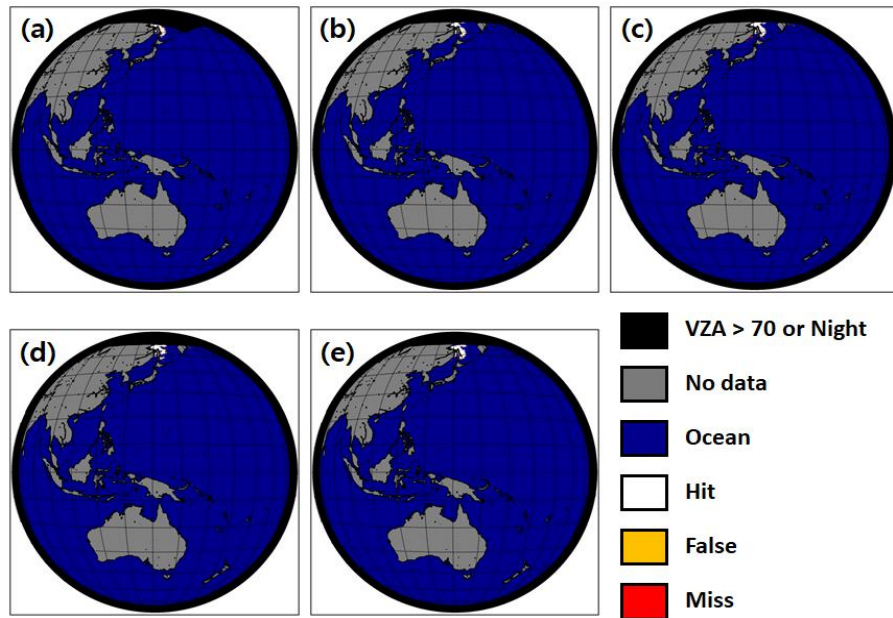


Figure 3.5. Validation result full-disk image between Daily SC and GMASI SC product; (a)20170101, (b)20170102, (c)20170103, (d)20170104, (e)20170105.

자료 모두 적설로 탐지한 영역이 다수 존재하였다.

정성적 검증 결과, 일부 미탐지 및 오탐지 영역이 존재하여 해당 영역에 대해 추가 분석을 수행하였으며 해당 영역에 대해 정확한 적설 및 해빙 영역 판단을 위해 Japan Meteorological Administration(JMA)에서 제공하는 Himawari-8 AHI True color RGB 영상을 활용하였다.

Figure 3.6은 2017년 01월 01일 비교 검증 영상과 03 UTC, 05 UTC True color RGB 영상이다. 빨간 박스 지역은 본 알고리즘이 미탐지한 영역으로 RGB 영상과 비교 결과, 해당 영역은 적설이 아닌 지역으로 판단되며 GMASI가 오탐지한 영역이다.

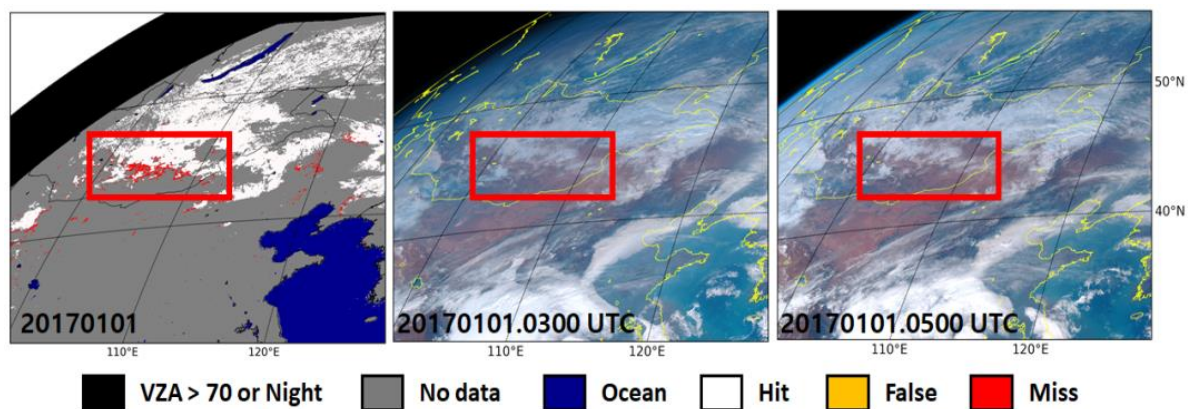


Figure 3.6. Validation result extended image between Daily SC and GMASI SC product on 20170101 and JMA RGB image(20170101.0300 and 20170101.0500 UTC).

Figure 3.7은 2017년 01월 02일 비교 검증 영상과 03 UTC, 05 UTC True color RGB 영상이다. 빨간 박스 영역은 GMASI는 적설 영역, 본 알고리즘은 적설이 아닌 일반 지표로 탐지한 영역으로 True color RGB 영상과 비교 시, 적설이 아닌 일반 지표로 판단되며 GMASI가 오탐지한 영역이다. 주황 박스 영역은 GMASI는 적설이 아닌 일반 지표, 본 알고리즘은 적설로 탐지한 영역으로 RGB 영상 분석 결과, 본 알고리즘이 오탐지한 영역이다.

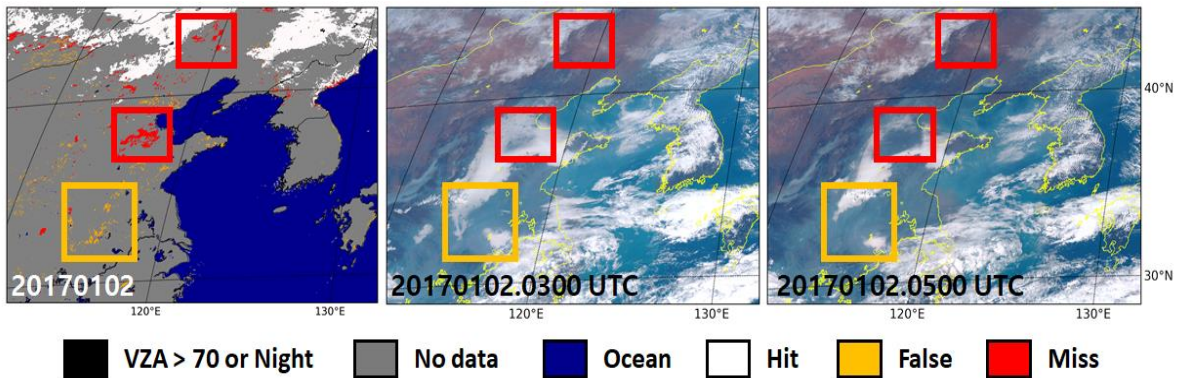
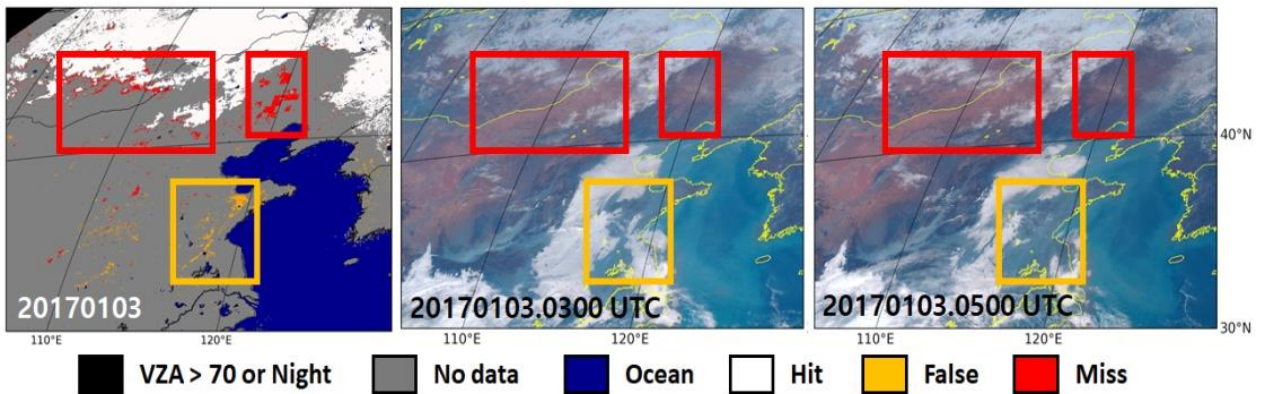


Figure 3.7. Validation result extended image between Daily SC and GMASI SC product on 20170102 and JMA RGB image(20170102.0300 and 20170102.0500 UTC).

Figure 3.8는 2017년 01월 03일 비교 검증 영상과 03 UTC 및 05 UTC True color RGB 영상이다. 빨간 박스 영역은 GMASI는 적설로, 본 알고리즘은 적설이 아닌 일반 지표로 탐지한 영역으로 RGB 상 적설이 아닌 영역으로 GMASI가 오탐지한 영역이다. 주황 박스 영역은 GMASI는 적설이 아닌 일반 지표, 본 알고리즘은 적설로 탐지한 영역으로 RGB 비교 결과, 본 알고리즘이 오탐지한 영역이다.



해빙 탐지 검증은 적설과 마찬가지로 북반구 겨울기간인 2017년 01월 01일부터 05일까지 총 5일의 10분 자료(scene) 자료 및 일 합성(daily) 자료 산출 및 GMASI 해빙 자료를 활용하여 검증을 수행하였다. 검증 결과 영상은 Figure 3.9와 같다.

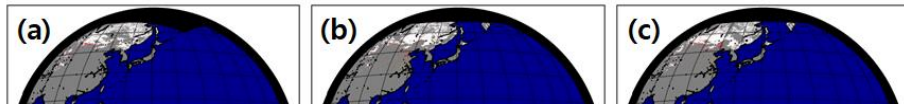


Figure 3.8. Validation result extended image between Daily SI and GMASI SI product on 20170103 and JMA RGB image(20170103.0100 and 20170103.0300 UTC).

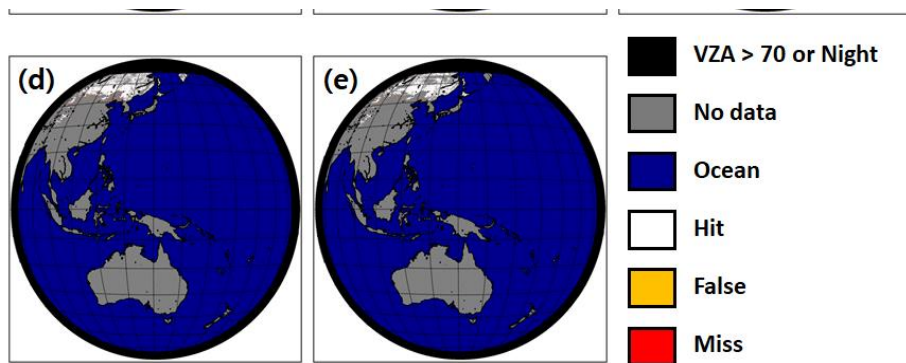


Figure 3.9. Validation result full-disk image between Daily SC and GMASI SC product; (a)20170101, (b)20170102, (C)20170103, (d)20170104, (e)20170105.

검증 결과, Himawari-8 AHI 관측 영역의 북반구 해빙 분포 지역은 오호츠크해에 주로 분포하며 일부 발해만에도 해빙이 존재하였다.

GMASI 해빙 자료는 단일 및 다중채널을 사용한 고정 경계값 기법을 기반으로 해빙 자료를 산출 및 이를 활용하여 일 합성을 수행하기 때문에 기존 연구에서 나타났던 미탐지 및 오탐지의 가능성이 여전히 존재하고 있다. 따라서 Himawari-8 AHI RGB 영상을 사용하여 추가적으로 정성적 검증을 수행하였다

본 연구의 결과와 GMASI 해빙 자료와 비교 시 대부분의 지역에서 일치하고 있었으

나 해빙의 가장자리를 따라 본 알고리즘이 오탐지한 지역이 존재하였다. 오탐지한 지역의 해빙 여부를 판단하기 위하여 해당 날짜의 RGB 영상과 하루 전 동일지역의 RGB 영상을 비교 분석하였다. RGB 영상 분석 시, 구름의 경우 공간 분포의 유동성이 큰 반면 해빙은 유동성이 낮아 동일한 형태로 나타나는 특징을 활용하였다. 분석 결과 Figure 3.10의 빨간색 사각형은 AHI RGB 영상과 비교 시 24시간 동안 동일한 형태를 나타내고 있었으며 해당 영역은 해빙의 경계를 따라 해빙과 해빙이 아닌 영역이 혼재되어 있는 영역 또한 존재하였으며 결과적으로 GMASI 해빙 자료가 해당 해빙 영역을 미탐지 하였다.

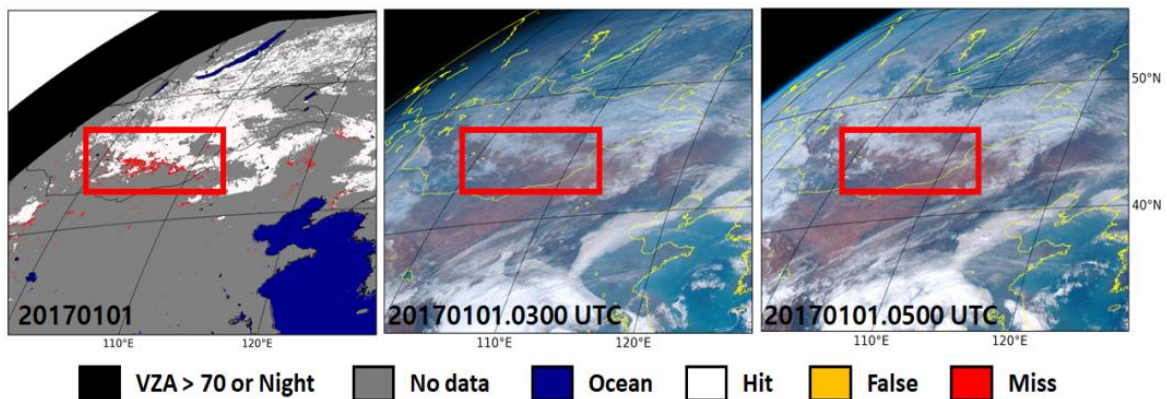


Figure 3.10. Validation result full-disk image between Daily SC and GMASI SC product; (a)20170101, (b)20170102, (c)20170103, (d)20170104, (e)20170105.

Figure 3.11은 2017년 01월 04일 비교 검증 영상과 01UTC, 03UTC True color RGB 영상이다. 타원 영역의 주황색 화소는 GMASI는 해빙이 아닌 바다로, 본 알고리즘은 해빙으로 탐지한 영역으로 True color RGB 영상과 비교 시, 해빙으로 판단되며 GMASI가 미탐지한 영역이다. 이는 Figure 3.10 및 Figure 3.11에서 모두 나타나며 공통적으로 해빙과 해빙이 아닌 바다 경계에서 발생하였다. 해당 오탐지 영역은 검증기간 내 해빙 자료에서 모두 나타났기 때문에 본 알고리즘에서 산출한 scene 자료와 VIIRS 해빙 자료를 활용해 추가 분석을 실시하였다.

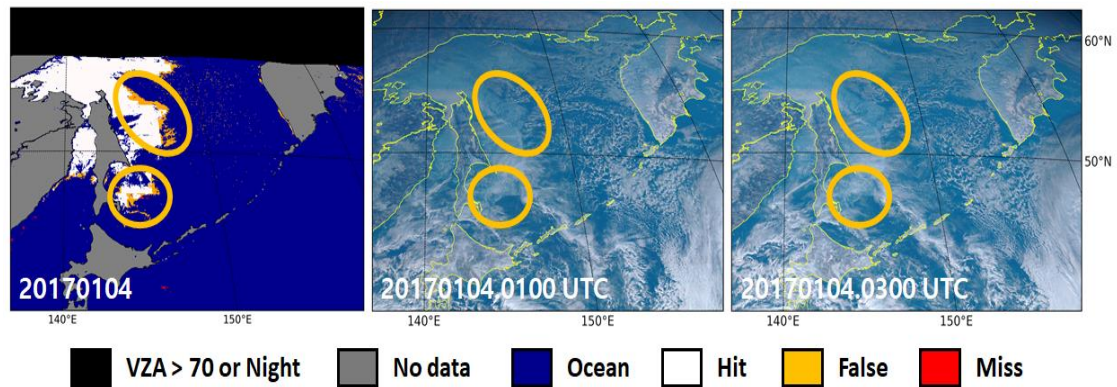
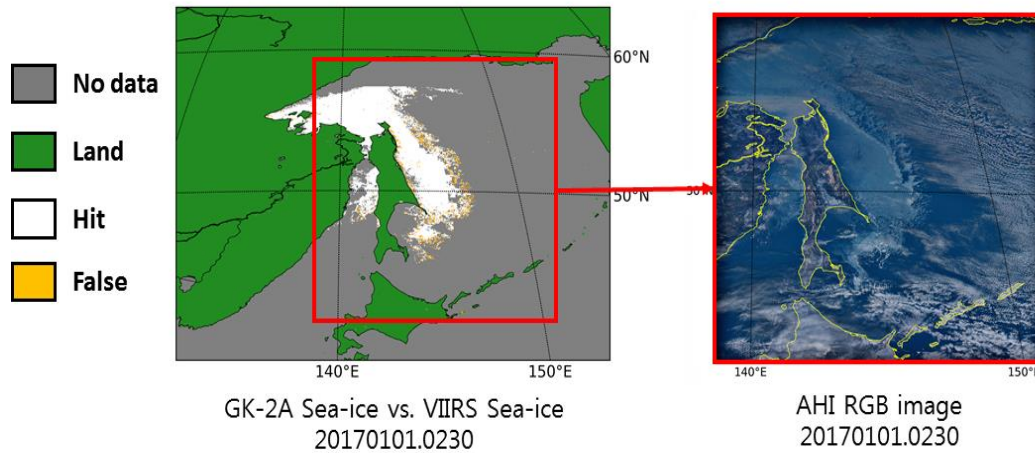


Figure 3.11. Validation result extended image between Daily SI and GMASI SI product on 20170104 and JMA RGB image (20170104.0100 and 20170104.0300 UTC).

Figure 3.12는 5일 중 2017년 01월 01일에 대한 상세분석 결과이다. GMASI와 RGB 영상의 비교 분석과 더불어, VIIRS 해빙 자료를 이용해 해빙의 가장자리에 대한 비교 분석을 실시하였다. 시간대는 VIIRS 해빙 자료가 해당 지역을 지나는 02:30 UTC를 기준으로 설정하였다. VIIRS 해빙 자료는 750m 공간해상도를 가지기 때문에 비교적 상세하게 비교를 실시할 수 있었다. 비교 결과, VIIRS는 해당 영역을 해빙으로 탐지하였으며, 본 알고리즘과 높은 일치도를 보였다.

Figure 3.12. Comparison image between GK-2A AMI sea ice and VIIRS sea ice data (left), AHI RGB image (right).



4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

본 알고리즘은 적외 영역의 채널 자료를 활용하나 주로 가시 영역 채널 자료를 활용하기 때문에 채널 반사도 자료가 정확히 입력되는지 확인이 중요하다. 특히 채널 06 번인 $R_{1.61\mu m}$ 는 적설 및 해빙 탐지에 가장 중요한 역할을 하기 때문에 해당 채널 자료의 확인은 가장 중요하다.

적설 및 해빙의 반사도는 태양 천정각의 영향을 많이 받기 때문에 전처리 과정에서 수행되는 태양 천정각을 활용한 반사도 정규화를 수행하며 본 알고리즘은 정규화가 수행된 반사도를 기반으로 적설 및 해빙 탐지를 수행하기 때문에 태양 천정각이 중요하다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

적설 및 해빙 탐지 알고리즘의 입력 자료는 가시 영역 및 근 적외 영역의 채널 자료이기 때문에 채널 자료의 quality flag를 확인해야 한다.

4.3 품질 평가 및 진단

아래 사항들은 본 알고리즘의 성능을 진단하기 위해 수행한다.

- 모든 화소들의 radiance와 calibrated reflectance와 같은 입력자료를 확인한다.

- in-situ 관측 자료에서 실시간 산출된 산출물들을 자동으로 모니터링한다.
- 주기적으로 test 물리적인 값의 결과를 모니터링한다.

4.4 예외사항 처리

태양 천정각이 83° 이상인 경우, 해당 화소는 야간으로 분류하며, GK-2A AMI Cloud mask 중 high confidence cloud는 구름으로 분류한다.

4.5 검증 알고리즘

적설 및 해빙 산출물의 검증 시, 검증 예외사항을 확인 후, 수행해야 한다.

5. 참고문헌

- Ackerman, S. A., K. I. Strabala, W. P. Menzel, R. A. Frey, C. C. Moeller, L. E. Gumley, B. A. Baum, S. W. Seemann and H. Zhang, 2006: Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (MOD35). MODIS Atmosphere web site, 129 pp.
- Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote sensing of Environment*, 114(1), 168–182.
- Hall D. K. (2001). *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea ice-Mapping Algorithms*.
- Hall, D. K., George A. Riggs, Vincent V. Salomonson, Nicolo E. Digirolamo, Klaus J. Bayr. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment* 83 (2002) 181–194.
- Hall, D. K., George A. R. and Miguel O. R. (2015). *VIIRS Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*. NASA Goddard Space Flight Center.
- Jin D. H., K. S. Lee, S. W. Choi, M. J. Seo, D. L. Lee, C. Y. Kwon, H. H. Kim, E. K. Lee and K. S. Han, 2017, Determination of dynamic threshold for sea-ice detection through relationship between $11\ \mu\text{m}$ brightness temperature and $11\text{--}12\ \mu\text{m}$ brightness temperature difference, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.33, No.2, 2017,

pp.243~248.

- Klein, A. G., D. K. Hall and G. A. Riggs. (1998). Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model, *Hydrological Processes*, 12:1723–1744.
- Lee, K. S., Jin, D., Yeom, J. M., Seo, M., Choi, S., Kim, J. J., & Han, K. S. (2017). New Approach for Snow Cover Detection through Spectral Pattern Recognition with MODIS Data. *Journal of Sensors*, 2017.
- Loveland, T. R., & Belward, A. S. (1997). The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: first results. *International Journal of Remote Sensing*, 18(15), 3289–3295.
- Petitjean, F., Inglada, J., & Gançarski, P. (2012). Satellite image time series analysis under time warping. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 50(8), 3081–3095.
- Salagar, M., Kulkarni, P., & Gondane, S. (2013, August). Implementation of dynamic time warping for gesture recognition in sign language using high performance computing. In *2013 International Conference on Human Computer Interactions (ICHCI)* (pp. 1–6). IEEE.
- Zhang, Z., Tang, P., & Duan, R. (2015). Dynamic time warping under pointwise shape context. *Information sciences*, 315, 88–101.

6. [첨부] 적설/해빙 산출에 사용되는 경계값

1) GK2A_Coef_namelists.nml(v4.1) (~ 2021.10.21.)

```
&Options
nml_gk2a_obs_time = '202110220010'
nml_gsics_option= .false.

nml_num_ref = 7
nml_num_prof = 7
nml_num_ch = 6

nml_non_val_thres_1 = -9.99
nml_non_val_thres_2 = -999.
nml_night_thres = 83.
nml_fix_low_rch = 0.001
nml_fix_high_rch = 1.
nml_fix_high_sza_thres = 90.
nml_fix_high_sza = 89.
nml_fix_low_btd = -80.
nml_fix_high_btd = 20.
nml_sc_rch_161_thres = 0.3
nml_sc_rate_b06_b01_thres_1 = 1.
nml_sc_rate_b06_b01_thres_2 = 0.2
nml_sc_rate_b03_b06_thres = 4.
nml_sc_diff_dist_5_1_thres = -0.2
nml_sc_diff_dist_5_2_thres = 0.05
nml_sc_diff_dist_6_1_thres = 0.
nml_sc_diff_dist_5_3_thres = 0.13
nml_sc_diff_dist_6_2_thres = -0.14
nml_sc_btd_b14_b07_thres_1 = -13.
nml_sc_dww_sza_thres_1 = 70.
nml_sc_dww_b07_low_thres = 270.
nml_sc_dww_b07_high_thres = 280.
nml_sc_dww_ndsi_thres_1 = 0.3
nml_pre_thres_1 = -999.
nml_pre_thres_2 = 0.1
nml_pre_thres_3 = 0.6
nml_sc_ano_161_thres = -0.55
nml_sc_forest_1_1_ndsi_thres = 0.25
nml_sc_forest_1_2_ndsi_thres = 0.
nml_sc_forest_1_2_ndvi_thres = 0.1
nml_sc_forest_2_1_b04_thres = 0.25
nml_sc_forest_2_2_ndsi_1_thres = -0.25
nml_sc_forest_2_2_ndsi_2_thres = 0.25
nml_sc_ndsi_thres = 0.3
```

```

nml_sc_costmatrix_thres = 1.8
nml_sc_dww_ndsi_thres_2 = 0.05
nml_sc_dww_ndsi_thres_3 = 0.05
nml_sc_dww_sza_thres_2 = 75.
nml_sc_fil_bt07_thres = 280.
nml_sc_fil_btd_thres = -10.
nml_sc_forest_fil_sza_thres = 60.
nml_sc_forest_fil_bt14_thres = 268.
nml_sc_btd_b14_b07_thres_2 = -15.
nml_si_ist_zero_coef_1 = -2.056
nml_si_ist_zero_coef_2 = 273.1
nml_si_rch_b04_thres_1 = 0.2
nml_si_rch_b06_thres_1 = 0.2
nml_si_rate_b03_b06_thres = 2.
nml_si_rate_b06_b01_thres = 0.25
nml_si_diff_dist_6_1_thres = 0.3
nml_si_diff_dist_5_1_thres = 0.05
nml_si_diff_dist_6_2_thres = 0.12
nml_si_ndsi_fil_thres_1 = 0.45
nml_si_btd_b14_b07_fil_thres_1 = -7.
nml_si_rch_b04_thres_2 = 0.1
nml_si_ndsi_thres_1 = 0.4
nml_si_ndsi_thres_2 = 0.9
nml_si_btd_b14_b07_thres_1 = -10.
nml_si_ndwi_thres_1 = 0.45
nml_si_rch_b04_thres_3 = 0.15

nml_non_val_thres_3 = -999
nml_background_thres = 0
nml_land_thres = 1
nml_sea_thres = 0
nml_cloud_thres_1 = 0
nml_cloud_thres_2 = 1
nml_cloud_thres_3 = 2
nml_pre_sc = 1
nml_pre_si = 4
nml_library_none = 0
nml_forest_thres_1 = 1
nml_forest_thres_2 = 2
nml_forest_thres_3 = 5
nml_si_dww_match = 1
nml_sc_si_iteration = 1

```

2) GK2A_Coef_namelists.nml(v4.1 ~ v4.2) (2021.10.22.~)

#계수 조정하면서 버전 업그레이드를 하지 않아 적용 날짜를 기준으로만 구분됨.

&Options

nml_gk2a_obs_time = '202110220330'

nml_gsics_option= .false.

nml_num_ref = 7

nml_num_prof = 7

nml_num_ch = 6

nml_non_val_thres_1 = -9.99

nml_non_val_thres_2 = -999.

nml_night_thres = 83.

nml_fix_low_rch = 0.001

nml_fix_high_rch = 1.

nml_fix_high_sza_thres = 90.

nml_fix_high_sza = 89.

nml_fix_low_btd = -80.

nml_fix_high_btd = 20.

nml_sc_rch_161_thres = 0.36

nml_sc_rate_b06_b01_thres_1 = 1.

nml_sc_rate_b06_b01_thres_2 = -99.

nml_sc_rate_b03_b06_thres = 99.

nml_sc_diff_dist_5_1_thres = -0.2

nml_sc_diff_dist_5_2_thres = 0.

nml_sc_diff_dist_6_1_thres = 0.2

nml_sc_diff_dist_5_3_thres = 0.13

nml_sc_diff_dist_6_2_thres = 0.25

nml_sc_btd_b14_b07_thres_1 = -10.

nml_sc_dww_sza_thres_1 = 70.

nml_sc_dww_b07_low_thres = 270.

nml_sc_dww_b07_high_thres = 280.

nml_sc_dww_ndsi_thres_1 = 0.3

nml_pre_thres_1 = -999.

nml_pre_thres_2 = -999.

nml_pre_thres_3 = 0.6

nml_sc_ano_161_thres = 0.

nml_sc_forest_1_1_ndsi_thres = 0.1

nml_sc_forest_1_2_ndsi_thres = 0.5

nml_sc_forest_1_2_ndvi_thres = 0.2

nml_sc_forest_2_1_b04_thres = 0.25

nml_sc_forest_2_2_ndsi_1_thres = 0.25

nml_sc_forest_2_2_ndsi_2_thres = 0.25

nml_sc_ndsi_thres = 0.3

nml_sc_costmatrix_thres = 1.8

```
nml_sc_dww_ndsi_thres_2 = 0.05
nml_sc_dww_ndsi_thres_3 = 0.05
nml_sc_dww_sza_thres_2 = 65.
nml_sc_fil_bt07_thres = 280.
nml_sc_fil_btd_thres = -10.
nml_sc_forest_fil_sza_thres = 60.
nml_sc_forest_fil_bt14_thres = 268.
nml_sc_btd_b14_b07_thres_2 = -15.
nml_si_ist_zero_coef_1 = -2.823
nml_si_ist_zero_coef_2 = 276.0971
nml_si_rch_b04_thres_1 = 0.2
nml_si_rch_b06_thres_1 = 0.2
nml_si_rate_b03_b06_thres = 2.
nml_si_rate_b06_b01_thres = 0.25
nml_si_diff_dist_6_1_thres = 0.3
nml_si_diff_dist_5_1_thres = 0.05
nml_si_diff_dist_6_2_thres = 0.12
nml_si_ndsi_fil_thres_1 = 0.45
nml_si_btd_b14_b07_fil_thres_1 = -7.
nml_si_rch_b04_thres_2 = 0.2
nml_si_ndsi_thres_1 = 0.4
nml_si_ndsi_thres_2 = 0.6
nml_si_btd_b14_b07_thres_1 = -6.
nml_si_ndwi_thres_1 = 0.6
nml_si_rch_b04_thres_3 = 0.7

nml_non_val_thres_3 = -999
nml_background_thres = 0
nml_land_thres = 1
nml_sea_thres = 0
nml_cloud_thres_1 = 0
nml_cloud_thres_2 = 1
nml_cloud_thres_3 = 2
nml_pre_sc = 1
nml_pre_si = 4
nml_library_none = 0
nml_forest_thres_1 = 1
nml_forest_thres_2 = 2
nml_forest_thres_3 = 5
nml_si_dww_match = 1
nml_sc_si_iteration = 1
```