GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis Document

구름탐지
(Cloud Mask)

김희애, 이병일
국가기상위성센터

Version 1.0

2019. 04. 15.

국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	Preliminary version	0.0.1.0	2016.03.04	이병일 정성래 백선균
0.2	• Minor changes: Chapters 1, 2, 4, 6 and 7 • Major changes: Chapters 3 and 5	0.2.3.1	2016.11.30	이병일 정성래 백선균
0.3	• Minor changes: Proofreading all chapters as recommended IRT member • Major changes: – Re-arrange in section 3.2 and 3.3 • Added output format in section 3.2.7 – Changed output in section 4.2 – Added validation result in section 5.4 – Added plan in section 7.3.2 – Moved and modified section 3.3.2 to 7.3.3 – Correct the list of reference in Chapter 8	0.4.2.1	2017.09.27	이병일 정성래 백선균
0.4	• Minor changes: Edited some words or sentences in most of all chapters • Major changes: – Requirement table in section 2.1 – Data availability check in section 3.2.1 – Utilized surface emissivity in section 3.2.3 – Changed quality flag in section 3.2.5 – Changed output format in section 3.2.6 – Modified threshold test in section 3.3.2 – Changed assumption and limitation in chapter 6 – Modified pre-planned improvement in chapter 7	0.5.1.1	2018.04.30	이병일 정성래 백선균
1.0	• Minor changes: Edited some words or sentences in most of all chapters • Major changes: – Re-arrange the text structure – Requirement table in section 2.1 – Inversion layer correction in section 2.4 & 2.5 – Modified threshold test in section 2.5 – Changed the test data sets and outputs in section 3 – Added practical considerations in section 4	0.6.0.2	2019.04.15	김희애 강희정 정성래 정성훈

<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 태양천정각 및 태양산란각 검사 3

2.2.2 육/해상 검사 4

2.2.3 경계값 검사 4

2.2.4 품질검사 4

2.2.5 청천 반사도 및 청천 휘도온도 추정 5

2.3 입력자료 6

2.3.1 L1B 6

2.3.2 L2 7

2.3.3 보조 자료 7

2.4 이론적 배경 8

2.4.1 단일채널 경계값 검사 8

2.4.2 이중채널 경계값 검사 9

2.4.3 공간균질성 검사 10

2.4.4 역전층 보정 11

2.5 수학적 설명 11

2.5.1 가시채널 경계값 검사 11

2.5.2 적외채널 경계값 검사 13

2.5.3 공간균질성 검사 15

2.5.3 Sun-glint 검사 16

2.5.4 역전층 보정 16
2.6. 산출물 16
3. 모의자료 및 검증 19
3.1 모의 입력자료 및 검증자료 19
3.1.1 모의 입력자료 19
3.1.2 검증 자료 20
3.2 검증 방법 21
3.2.1 검증 지수 21
3.2.2 시공간 일치 방법 21
3.3 검증 결과 22
3.3.1 산출 결과 22
3.3.1 검증 결과 24
4. 현업운영 시 고려사항 26
4.1 수치계산 고려사항 26
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항 26
4.3 품질 평가 및 진단 26
4.4 예외사항 처리 26
4.5 검증 알고리즘 27
5. 가정 및 제한 27
5.1 성능 27
5.2 예상 센서 성능 27
5.3 개선을 위한 사전 계획 28
6. 참고문헌 29

<표 목차>

Table 1. Requirements of CLD products · 2
Table 2. Quality flags from the results of threshold tests · · · · · · · · · · · · · · 5
Table 3. AMI sensor specifications · 6
Table 4. List of threshold tests for visible channels · · · · · · · · · · · · · · · · 12
Table 5. List of threshold tests for Infrared channels · · · · · · · · · · · · · · · 14
Table 6. List of threshold tests for spatial uniformity · · · · · · · · · · · · · · · 16
Table 7. The results of cloud detection: Cloud mask flag · · · · · · · · · · · · · 17
Table 8. Intermediate results of each threshold test for visible channels · · · · · 17
Table 9. Intermediate results of each threshold test for infrared channels · · · · 18
Table 10. Intermediate results of each threshold test for spatial uniformity tests · 19
Table 11. List of channels used for cloud detection algorithm · · · · · · · · · · 20
Table 12. Validation indices used for cloud detection · · · · · · · · · · · · · · · 21
Table 13. Validation scores of cloud detection on August 2018 and January 2019 · 24

<그림 목차>

Figure 1. Flowchart of cloud detection algorithm for GK-2A.....3

Figure 2. Expected AMI observation schedule.....7

Figure 3. The result of cloud detection (left), and visible (0.64 ㎛) image (right) at 03:00 UTC on 7 July 2018 23

Figure 4. The intermediate results of each of the threshold tests at 0300 UTC on 7 July 2018: white(cloud), sky blue(unknown), blue(clear) 23

Figure 5. The time series of the validation scores of cloud mask with MYD35 L2 on August 2018 (upper) and January 2019 (lower): PC(green), POD(blue), FAR(red).....25

약어표

Acronyms	
AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
BTD	Brightness Temperature Difference
CLD	Cloud Detection
COMS	Communication Ocean Meteorological Satellite
CSR	Clear Sky Radiance
FAR	False Alarm Rate
FOV	Field of View
GSFC	Goddard Space Flight Center
GK-2A	Geo-KOMPSAT-2A
GSICS	Global Satellite-based Inter-Calibration System
IOT	In-Orbit Test
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PC	Proportion Correct
POD	Probability of Detection
RTM	Radiative Transfer Model
SRF	Spectral Response Function
SZA	Solar Zenith Angle
TIGR	Thermodynamic Initial Guess Retrieval

1. 개요

1.1 목적

본 문서는 천리안위성 2A호(GK-2A, 2018. 12. 5. 발사)의 차세대 기상영상기(AMI) 관측자료를 활용하여 각 화소 단위의 구름 존재 유/무를 결정하기 위한 구름탐지(CLD) 알고리즘의 기술문서이다. 구름탐지 알고리즘의 이론적 배경에서부터 알고리즘 흐름, 산출자료의 특성 등에 대한 자세한 설명과 물리적 의미를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 사용자

본 문서는 알고리즘 개선, 구름탐지 산출물의 활용, 유지·보수를 목적으로 하는 사용자를 대상으로 작성되었다.

1.3 내용

본 기술분석서 주요내용은 아래와 같다.

- 개요 : 구름탐지 알고리즘의 목적 및 사용자, 수정이력 등
- 알고리즘 소개 : 구름탐지의 입력 자료, 이론적 배경, 최종 산출물의 특성 등
- 시험자료 및 출력물 : 모의 입력자료, 산출결과
- 알고리즘 검증 : 검증방법 및 결과
- 현업운영 시 고려사항 : 수치계산, 프로그램 수행, 산출물 품질 등 현업에서 알고리즘 운영 과정에서 발행되는 문제점 및 고려사항
- 알고리즘의 한계 및 개선방안: 알고리즘의 개발과정에 필요한 가정, 개선방안

1.4 관련 문서

- CMDPS ATBD CLD v4.0 (2011. 4. 28.)
- GK-2A AMI CLD ATBD_v1.0 (2016. 3. 4.)
- GK-2A AMI CLD ATBD_v2.0 (2016. 11. 30.)
- GK-2A AMI CLD ATBD_v3.0 (2017. 9. 27.)

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

GK-2A AMI 구름탐지 알고리즘에서 산출되는 자료는 각 화소별 구름의 존재 유무 및 탐지된 구름의 품질정보(Quality flag)이다. 구름탐지 결과는 화소별로 구름(cloud), 구름 확률 높음(probably cloud), 그리고 청천(clear)으로 정의되며, GK-2A AMI 관측 모드에서 전구영역(FD)과 확장국지영역(ELA)의 관측 스케줄마다 산출된다. 구름탐지는 다른 기상요소 산출을 위한 가장 첫 단계인 장면분석 과정이며, 이 결과에 따라 타 알고리즘의 실행 여부가 결정된다. 예를 들어, 해수면온도, 지표면온도와 같은 알고리즘은 청천으로 판정된 화소에서, 그리고 구름정보 알고리즘은 구름 또는 구름 확률 높음으로 판정된 화소에서 구동된다. 황사/에어로졸/화산재 탐지, 적설/해빙 알고리즘 등과 구름탐지 결과를 산출과정 마지막 부분에서도 사용하여 품질검사를 진행하는 알고리즘도 있다. 따라서 구름탐지 결과는 타 산출물의 화소 별 생산여부와 정확도에 영향을 주게 된다. Table 1은 구름탐지 산출물에 대한 산출 범위, 목표정확도, 시 · 공간 해상도 등 산출 규격을 나타낸다.

Table 1. Requirements of CLD products

Product Name	Cloud Detection (Cloud Mask)	Comments
Product Measurement Range	NetCDF : 0~2	
Product Measurement Accuracy	POD > 87%, FAR < 10%	
Geographic Coverage	GK-2A/AMI coverage	
Temporal Coverage	FD : 10 min ELA : 2min	FD: Full Disk ELA: Extended Local Area
Horizontal Resolution	2 km	
Output	Cloud Mask - 0 : Cloud - 1 : Probably Cloud - 2 : Clear Intermediate product - Test1 ~ Test19	

2.2 알고리즘 흐름도

GK-2A AMI의 구름탐지 알고리즘은 채널에 따른 특성을 고려한 경계값 검사를 기본으로 개발되었다. 구름탐지 알고리즘은 태양천정각 검사, 육/해상 검사, 경계값 검사, 품질검사, 결과 출력, 청천 반사도(Clear Sky Reflectance) 및 청천 휘도온도(Clear Sky Brightness Temperature)를 추정하는 부분으로 구분되어 있다(Figure 1).

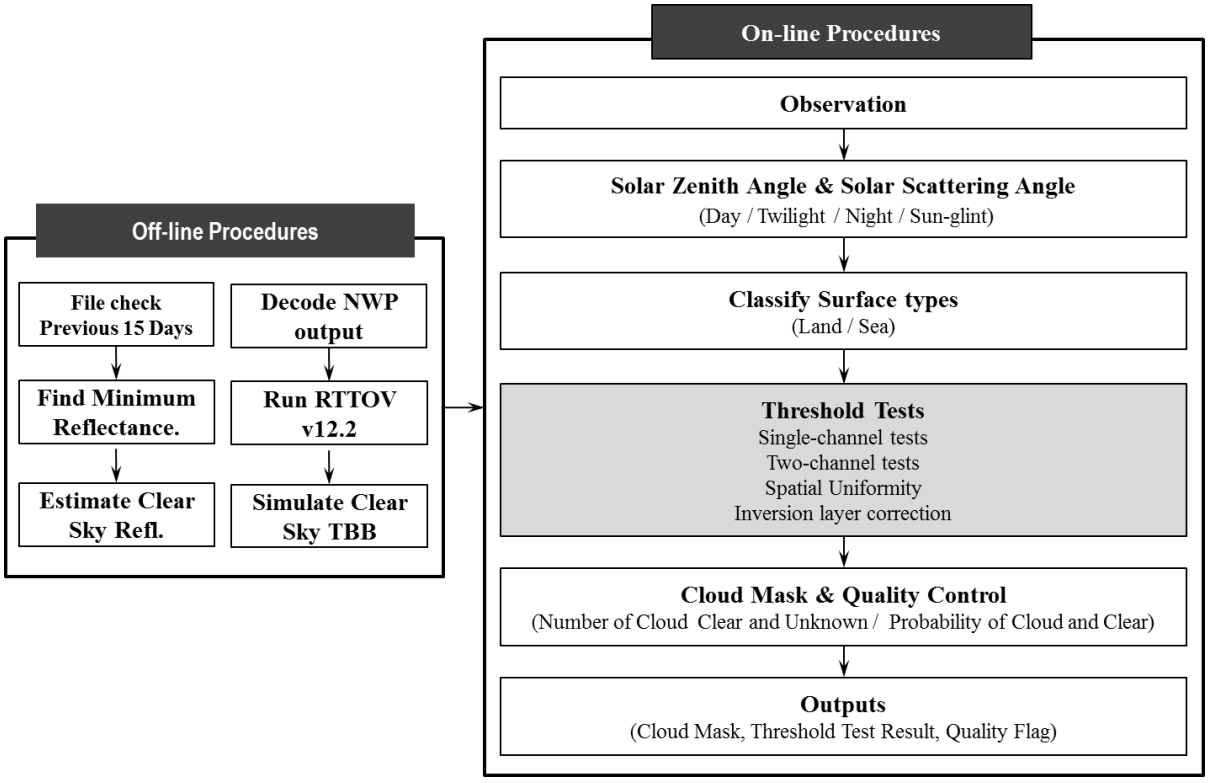

Figure 1. Flowchart of cloud detection algorithm for GK-2A

2.2.1 태양천정각 및 태양산란각 검사

위성에서 관측된 영상은 주간, 야간, 새벽/황혼 시간에 따라 관측된 특성이 다르기 때문에 시간 영역을 구분하여 각기 다른 경계값 검사를 수행한다. 또한 태양반사도가 큰 sun-glint 영역에서는 구름탐지의 정확도를 높이기 위하여 가시채널의 사용을 제한한다. 각 영역을 구분하기 위하여 아래와 같이 화소 단위의 태양천정각과 태양산란각을 이용한다.

- 주간 : solar zenith angle ≤ 85
- 야간 : solar zenith angle ≥95
- 여명기/황혼기 : 85 <solar zenith angle < 95
- Sun-glint : solar scattering angle ≤ 25

2.2.2 육/해상 검사

해상은 지면의 특성이 비교적 안정적이므로 반사도 및 휘도온도를 활용한 경계값 검사가 상대적으로 쉬운 반면, 육지는 해상에 비하여 식생, 사막, 나대지 등 다양한 지면정보를 포함하고 있으므로 경계값 검사에 주의를 기울여야 한다. 다양한 지면정보에 대한 영향을 고려하기 위하여 본 알고리즘에서는 일부 테스트와 경계값 적용 단계에서 육 · 해상을 구분하여 설정하였다.

2.2.3 경계값 검사

경계값 검사는 구름탐지 알고리즘에서 가장 중요한 부분이다. GK-2A의 구름탐지 알고리즘에서는 총 15개의 경계값 검사를 수행한다. 본 알고리즘에서 활용한 경계값 검사에 관한 상세한 내용은 2.4절에 상세히 기술하였다.

2.2.4 품질검사

경계값 검사의 결과는 각 화소 별로 구름(cloud), 청천(clear), 불확실 (unknown) 단계로 저장된다. 해당 화소에서 수행된 검사의 탐지 결과(cloud, clear, unknown) 개수와, 각각의 결과가 차지하는 비율을 이용하여 구름탐지의 정확도를 판별한다(Lutz, 2007). Table 2는 cloud, clear, unknown의 개수(N) 및 비율(P)을 종합하여 구름탐지 결과(cloud, probably cloud, clear)를 도출하는 방법을 보여주고 있다. 만약 하나의 테스트라도 구름으로 탐지하면 그 픽셀은 cloud 혹은 probably cloud 픽셀로 분류되며, 그 중에서 각 경계값 검사를 통해 구름으로 분류된 픽셀의 탐지 개수나 비율이 청천의 경우보다 높게 나타나면 그 픽셀은 cloud로 분류된다.

Table 2. Quality flags from the results of threshold tests

	Number of cloud	Number of unknown	Number of clear	Remark
1	N_cld > 0	N_ukn ≥ 0	N_clr ≥ 0	Cloud (N_cld ≥ N_clr or P_cld > P_clr)
2	N_cld > 0	N_ukn ≥ 0	N_clr ≥ 0	Probably Cloud
3	N_cld = 0	N_ukn = 0	N_clr = 0	Test Failed
4	N_cld = 0	N_ukn ≥ 0	N_clr ≥ 0	Clear

2.2.5 청천 반사도 및 청천 휘도온도 추정

청천 반사도를 산출하기 위하여 관측시간 이전 15일의 관측 자료를 활용한다. 청천반사도의 경우는 이전 15일 자료 중 최소 반사도를 추출하여 청천시의 반사도라고 가정하였다. 청천 휘도온도는 수치예보모델(GDAPS N1280)에서 생산되는 온도와 습도 프로파일, 지표면 정보를 입력으로 사용하여 복사전달모델(RTTOV v12.2)로 산출한다. 청천 복사량을 산출하기 위하여 아래와 같은 작업이 수행되며, 이 과정은 구름탐지 알고리즘과 분리되어 별도로 진행된다.

- 이전 15일의 가시채널(0.6㎛, 0.8㎛, 1.3㎛, 1.6㎛) 자료 리스트 작성
- 가시채널의 최솟값을 활용한 청천 반사도 추정
  - 육상: clear sky reflectance$_{0.6}$ = minimum reflectance of previous 15 days observation
  - 해상: clear sky reflectance$_{0.8}$ = minimum reflectance of previous 15 days observation
  - 육상/해상: clear sky reflectance$_{1.3}$ = minimum reflectance of previous 15 days observation
  - 해상: clear sky reflectance$_{1.6}$ = minimum reflectance of previous 15 days observation
- 적외채널의 청천 휘도온도 추정
  - 수치예보모델 자료 형식변환(T, Q 프로파일, 지표면온도)
  - RTTOV v12.2 복사전달모델 모의
  - 위성격자(2km) 해상도로 내삽

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

GK-2A에 탑재될 AMI 센서는 가시, 근적외, 적외 영역을 포함한 16개의 채널을 가지며, 10분 간격으로 전구관측이 가능하다. AMI 센서의 공간 해상도는 Table 3과 같이 가시채널 1km(0.6㎛는 0.5km), 적외 채널 2km이다. 또한, 구름탐지에 활용되는 모든 채널 자료는 GSICS 계수를 적용하여 편차를 제거한 후 사용될 것이다. 관측스케줄은 Figure 2와같이 매 10분마다 전구관측 1번, 확장한반도 5번, 한반도 5번 관측이 예상된다.

Table 3. AMI sensor specifications

Type	Band	Spectral Range (㎛)			Resolution (km)
		Min	Max	Center Wavelength	
VIS	1	0.4310	0.4790	**0.47**	1
	2	0.5025	0.5175	**0.51**	1
	3	0.6250	0.6600	**0.64**	0.5
	4	0.8495	0.8705	**0.86**	1
NIR	5	1.373	1.383	**1.38**	2
	6	1.601	1.619	**1.61**	2
IR	7	3.740	3.960	**3.83**	2
	8	6.061	6.425	**6.24**	2
	9	6.890	7.010	**6.95**	2
	10	7.258	7.433	**7.34**	2
	11	8.440	8.760	**8.59**	2
	12	9.543	9.717	**9.63**	2
	13	10.25	10.61	**10.40**	2
	14	11.08	11.32	**11.21**	2
	15	12.15	12.45	**12.36**	2
	16	13.21	13.39	**13.31**	2

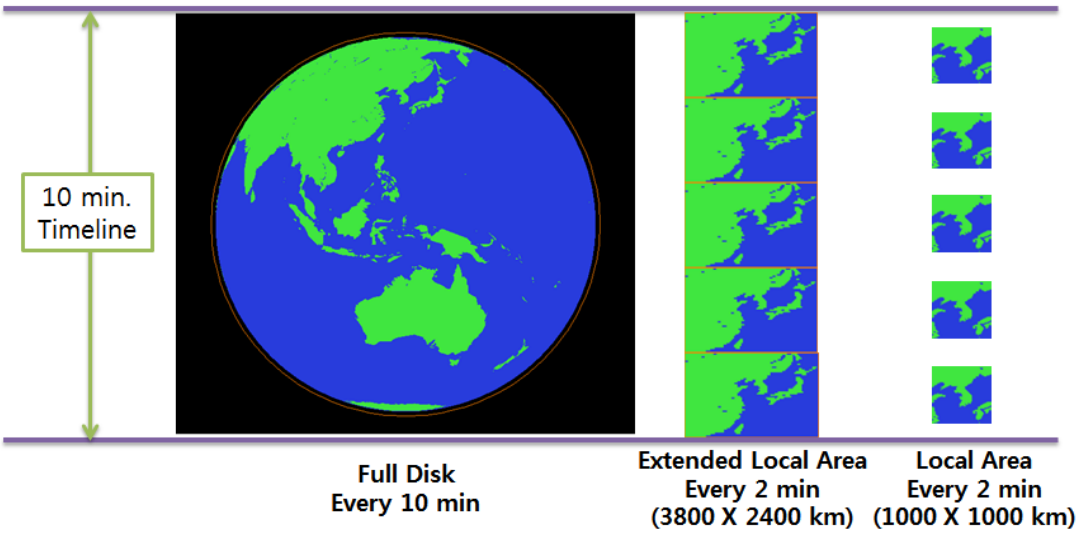

Figure 2. Expected AMI observation schedule

2.3.2 L2

해당사항 없음

2.3.3 보조 자료

구름탐지 알고리즘에 보조 자료로 필요한 정보는 관측된 각 화소의 위/경도 정보, 태양천정각, 육/해상 정보 등이다.

- 위/경도 : 0.5km, 1km, 2km
- 육/해상 : 0.5km, 1km, 2km
- 태양천정각 : 0.5km, 1km, 2km
- 위성천정각 : 0.5km, 1km, 2km
- Scattering Angle : 0.5km, 1km, 2km
- 청천 반사도 : 이전 15일 최솟값
- 청천 휘도온도 : RTTOV v12.2 복사모의
- 온도/습도 프로파일 : GDAPS N1280
- 지표면 온도 : GDAPS N1280

2.4 이론적 배경

구름탐지는 위성에서 관측된 L1B로부터 가장 먼저 산출되며, 대부분 기상산출물의 입력 자료로 이용된다. 그러므로 구름탐지는 빠른 계산속도와 높은 정확도가 요구된다. 빠른 계산속도를 위해 간단한 계산과정이 필요하여 경계값 검사를 이용한 구름탐지 방법이 많이 활용된다.

전통적인 경계값 검사를 이용한 구름탐지는 각 채널에서 관측되는 반사도, 휘도온도와 미리 정해진 일정 경계값을 비교하여 청천과 구름을 분류하는 것이 기본 원리이다. 구름탐지를 위한 경계값 검사는 일반적으로 단일채널을 이용한 검사, 이중채널 차이를 이용한 검사 등으로 이루어진다. 이와 더불어 공간균질성 검사를 통한 조각구름탐지, 시간변동성을 고려한 불연속 해소 등의 방법이 추가로 활용된다.

위성에서 관측되는 구름은 일반적으로 청천역에 비해서 높은 반사도와 낮은 휘도온도를 갖는다. 이 특성을 이용하여 가시(VIS) 및 적외(IR) 채널 경계값 검사로 구름을 탐지할 수 있다. 관측채널이 많은 경우 채널별 특성을 고려하여 단일 채널을 이용한 검사, 두 채널간의 휘도온도 차이를 이용한 검사 등 보다 다양한 검사를 수행하고 이를 조합하여 구름을 탐지할 수 있다. 이 방법을 적용하는 과정에서 가장 중요한 것은 개개의 검사에 사용되는 경계값을 결정하는 것이다. 경계값은 지표면의 조건, 수증기와 같은 대기의 조건, 태양입사각 및 위성관측각과 같은 관측조건에 따라 달라질 수 있으므로 모든 조건에서 적용될 수 있는 하나의 경계값을 선택하는 것은 매우 어렵다. 따라서 조건에 따라서 서로 다른 경계값을 적용하는 것이 일반적이다. 경계값을 구하는 방법으로는 분석자가 실제 영상을 보면서 조정해 나가는 경험적인 방법과 복사전달 모델을 통해 계산된 모의 자료를 이용하는 이론적인 방법이 있다.

본 구름탐지 알고리즘은 복사전달모델을 활용하여 이론적인 경계값을 도출하였으며, 그 경계값을 바탕으로 분석자가 실제 영상을 보면서 경계값을 조정해 나가는 경험적인 방법을 통하여 개발되었다.

2.4.1 단일채널 경계값 검사

단일채널 경계값 검사는 가장 간단하면서도 대부분의 두꺼운 구름을 탐지할 수 있는 방법이다. 이 방법은 대기창 영역에서 관측된 가시(0.6㎛, 0.8㎛) 및 적외채널

(10.4㎛)을 이용한 방법으로, 주간에는 가시와 적외채널을 동시에 이용하고 야간에는 적외채널만 이용한다. 단일 채널 경계값 검사를 수행하기 위해서는 해당 채널의 특성을 이해해야 한다. 가시채널의 반사도는 청천의 경우 반사도가 낮고 구름의 경우 반사도가 크다. 따라서 이 검사는 가시채널 반사도와 청천 반사도(이전 15일 합성장)를 비교하여 임의의 경계값보다 큰 경우 구름으로 탐지하게 된다. 해상의 경우 반사도가 매우 낮기 때문에 반사도가 높은 구름과의 구분이 비교적 용이하나 sun-glint 지역에서는 반사도가 클 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다. 한편 육지는 구름역에 비하여 비교적 반사도가 낮은 편이나 사막 등의 경우 일반 지표면에 비해 반사도가 높고, 적설 지역의 경우 구름과 구별되기 어려울 정도로 반사도가 높은 경우가 많다.

적외채널을 이용한 단일채널 경계값 검사를 수행할 경우 가시채널의 특성과 반대로 청천 화소에서는 휘도온도가 높게 나타나며 구름이 있는 화소에서는 휘도온도가 낮다. 이는 대기창 영역의 적외채널은 청천지역에서는 지표면 온도를, 구름역에서는 운정 온도를 관측하기 때문이다. 따라서 적외채널을 이용한 구름탐지 검사는 관측된 적외채널 휘도온도와 계산된 청천 휘도온도를 비교하여 정해진 경계값보다 낮을 때 구름, 높을 때 청천으로 결정하게 된다.

2.4.2 이중채널 경계값 검사

두 개 채널의 휘도온도 차(BTD)를 이용하는 이중 채널 경계값 검사는 구름이 존재할 경우 각 채널별로 그 반응이 다르게 나타나는 성질을 이용하는 것이다. 이중 채널 경계값 검사에서 대표적으로 사용되는 대기창 영역의 10.4㎛와 12.3㎛ 채널을 이용하는 BTD(10.4-12.3) 검사는 두 채널의 온도 차이가 얇은 권운이 존재하는 경우 청천역이나 두꺼운 구름이 존재하는 경우보다 높게 나타나는 성질을 갖는다(Saunder and Krieble, 1988; Inoue, 1985). 이는 적외창 영역에서 빙정의 흡수율(방출율)이 수적에 비해 높은 값을 보이며, 파장에 따른 흡수율의 차이가 훨씬 크기 때문이다(즉, 파장이 증가함에 따라 빙정의 굴절계수 허수값이 급격하게 증가함; Ackerman et al. 1990). 따라서 BTD(10.4-12.3) 값이 특정한 경계값보다 클 때는 구름의 영향을 받았다고 판단할 수 있다.

한편 가시채널이 가용한 주간에 비해서 야간에는 하층운 탐지가 매우 어렵다. 하층운은 청천과 유사한 온도를 가지기 때문에 단일채널을 이용해서는 그 형상이

뚜렷하게 나타나지 않는다. 이러한 야간의 하층운 탐지를 위해서는 적외채널과 단파적외채널(3.9㎛)의 채널 차 검사가 주로 사용된다. BTD(10.4-3.9) 값은 청천시나 두꺼운 구름이 존재할 경우 0에 가까운 값을 가지지만, 하층운이 존재하는 경우 일정 이상의 양의 값을 가지게 된다. 이는 단파적외채널의 구름 방출률이 적외채널에 비해 낮아 적외채널보다 단파적외채널에서 관측된 휘도온도가 낮기 때문이다.

BTD(10.4-8.6) 검사는 상층의 반투명 구름탐지에 활용될 수 있다. 8.6㎛ 채널은 상층 권운이 존재할 경우 작은 빙정입자들에 대하여 방출율이 10.4㎛보다 크기 때문에 두 채널의 차는 음의 값을 나타낸다. 이 특성을 활용하여 상층구름을 탐지하는데 활용된다.

또한 중층운을 탐지하기 위하여 BTD(10.4-6.2) 또는 BTD(10.4-7.3) 검사가 이용된다. 대부분의 중층운은 단일채널 경계값 검사에서 탐지되지만 단일채널 검사를 보완하기 위한 방법으로 활용될 수 있다. 6.2㎛와 7.3㎛ 채널은 중상층의 수증기에 반응하는 채널로 발달한 구름이 존재하는 경우 구름의 운정 온도를 관측하는 10.4㎛과 휘도온도가 비슷하여 BTD10.4-6.2와 BTD10.4-7.3의 값이 0에 가까워진다. 이 특성을 활용하여 발달된 구름을 탐지하는데 활용 가능하다.

마지막으로 상층운을 탐지하기 위하여 BTD(10.4-13.3) 검사를 이용한다. 13.3㎛ 채널은 대기 중의 이산화탄소를 흡수하며, 특히 중상층 대기에 민감하게 반응하기 때문에 청천역에서는 10.4㎛ 휘도온도가 13.3㎛ 보다 큰 값을 갖게 된다. 반면 상층운이나 높고 두껍게 성장한 구름에서는 BTD(10.4-13.3)의 차이가 작아지기 때문에 이 특성을 활용하여 상층운 혹은 발달된 구름을 탐지할 수 있다.

2.4.3 공간균질성 검사

한편 정지궤도 위성과 같이 공간해상도가 낮은 위성일수록 하나의 시야각 (FOV) 내에 구름의 일부분이 포함되는 경우에 단일채널 또는 이중채널 검사로는 구름탐지가 어려운 경우가 발생하게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 주로 사용되는 방법이 공간 일관성 검사이다. 예를 들어 3×3 화소 내 관측 값의 표준편차는 균질한 구름지역이나 청천지역의 경우 그 값이 작으나, 화소군 내에 구름 화소와 구름이 없는 화소가 함께 포함된 경우 그 값이 커진다. 이러한 특성을 이용하면 구름의 가장자리에 대한 구름탐지도 가능하다. 특히, 가시채널은 0.5km 또는 1km 해상도를 가지고 있으므로

2km의 해상도를 갖는 적외채널에 비하여 조각구름 등을 탐지하는데 효과적이다. 본 알고리즘에서는 보다 정확하게 구름을 탐지하기 위해서 가시채널의 공간균질성 정보를 활용하여 가시채널 구름정보를 산출하고, 그 결과를 각각 4×4 화소(3번 채널, 0.5km), 2×2 화소(4번 채널, 1km)에 대해서 평균하여 2km 공간해상도로 변환하였다.

2.4.4 역전층 보정

적외 채널을 이용한 검사는 지표와 대기의 온도 조건에 민감하게 반응하기 때문에, 구름탐지의 정확도를 높이기 위해서는 역전층 발생과 같이 일반적인 대기 연직 온도 구조를 따르지 않는 경우에 대해서 고려해야 한다. 따라서 본 알고리즘에서는 지표 온도에 민감한 10.4㎛ 채널과, 중층 대기에 민감한 7.3㎛ 채널을 이용하여 역전층에서의 구름탐지 결과를 보정해주었다. 역전층이 발생한 대기에서는 청천에서도 지표와 대기 중층의 온도차가 크지 않아 BTD(10.4−7.3) 값이 일반 대기 온도 구조에서와 같이 큰 양수 값을 보이지 않으므로, 이 경우 BTD(10.4−7.3)의 온도 조건을 다르게 적용하였다.

2.5 수학적 설명

구름탐지 알고리즘의 경계값 검사는 구름탐지 정확도 향상을 위하여 추가적인 경계값 검사를 수행하거나 또는 기존의 경계값 검사를 삭제할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 각 경계값 검사의 결과는 사용자 활용을 위하여 품질정보로 제공하고 있다.

2.5.1 가시채널 경계값 검사

GK−2A의 구름탐지는 경계값 검사를 통하여 산출되므로 어떠한 채널을 활용할 것이며, 각 경계값 검사에서 사용되는 경계값은 어떻게 결정할 것인지가 매우 중요하다. 가시채널의 경계값 검사는 태양빛이 존재하는 주간 및 여명기에 활용 가능하며, Table 4는 GK−2A 구름탐지 알고리즘에 활용되는 가시채널의 경계값 검사(test1a ~ 1e)들을 나타내고 있다. 다만 본 알고리즘의 모의자료로 활용되는 himawari8 위성의 AHI 센서는 1.38㎛을 보유하고 있지 않으므로, GK−2A 위성이 발사된 후 활용할 예정이다. 각 테스트에서 활용되는 경계값은 아래와 같이 산출된다.

- threshold1a_max = clear sky reflectance$_{0.6_land}$ + test1a_max
- threshold1a_min = clear sky reflectance$_{0.6_land}$ + test1a_min

- threshold1b_max = clear sky reflectance$_{0.8_sea}$ + test1b_max
- threshold1b_min = clear sky reflectance$_{0.8_sea}$ + test1b_min
- threshold1c_max = clear sky reflectance$_{1.3}$ + test1c_max
- threshold1c_min = clear sky reflectance$_{1.3}$ + test1c_min
- threshold1d_max = clear sky reflectance$_{1.6_sea}$ + test1d_max
- threshold1d_min = clear sky reflectance$_{1.6_sea}$ + test1d_min

육지 및 해양의 각 화소에서 산출된 청천 반사도는 지표면의 특성이 반영되어 있으므로 화소 기반으로 다른 값들이 적용된다. 각 경계값 검사를 통과한 화소들은 테스트 별로 Cloud, Clear, Unknown의 값을 가지며, 추후 품질분석에 활용된다. 0.6㎛와 0.8㎛ 채널은 각각의 해상도인 0.5km와 1km로 구름탐지를 수행하였으며, 구름탐지 결과는 품질정보를 만들기 위하여 2km 해상도로 변경하여 활용하였다. 가시채널을 이용한 경계값 검사에 대한 품질정보는 Table 4에 정리되어 있다.

Table 4. List of threshold tests for visible channels

Test		Logic	Results	Day		Twilight		Night	
				L	S	L	S	L	S
VIS	Test 1a	· R0.6 > threshold1a_max · R0.6 < threshold1a_min · All others	Cloud Clear Unknown	●					
	Test 1b	· R0.8 > threshold1b_max · R0.8 < threshold1b_min · All others	Cloud Clear Unknown		●				
	Test 1c	· R1.3 > threshold1c_max · R1.3 < threshold1c_min · All others	Cloud Clear Unknown	●	●				
	Test 1d	· R1.6 > threshold1d_max · R1.6 < threshold1d_min · All others	Cloud Clear Unknown		●				

* 여기서 R은 가시채널 반사도(reflectance)임

2.5.2 적외채널 경계값 검사

적외채널의 경계값 검사는 Table 5에 나타내었다. 가시채널과 다르게 적외채널은 지구에서 방출되는 복사를 관측하므로 주간, 야간, 여명기에 모두 활용가능하다. 그렇지만 3.9㎛는 주간에 태양반사 에너지를 포함하기 때문에 야간에만 활용하였다. Test2a에서 test2h까지 각각의 경계값은 다음과 같이 산출된다.

- threshold2a_max = clear sky brightness temperature$_{10.4}$ + test2a_max
- threshold2a_min = clear sky brightness temperature$_{10.4}$ + test2a_min
- threshold2b_land_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-3.9}$ + test2b_land_max
- threshold2b_land_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-3.9}$ + test2b_land_min
- threshold2b_sea_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-3.9}$ + test2b_sea_max
- threshold2b_sea_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-3.9}$ + test2b_sea_min
- threshold2c_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-6.2}$ + test2c_max
- threshold2c_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-6.2}$ + test2c_min
- threshold2d_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-7.3}$ + test2d_max
- threshold2d_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-7.3}$ + test2d_min
- threshold2e_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-8.6}$ + test2e_max
- threshold2e_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-8.6}$ + test2e_min
- threshold2f_max1 = clear sky brightness temperature$_{10.4-12.3}$ + test2f_max1
- threshold2f_max2 = clear sky brightness temperature$_{10.4-12.3}$ + test2f_max2
- threshold2f_min1 = clear sky brightness temperature$_{10.4-12.3}$ + test2f_min1
- threshold2f_min2 = clear sky brightness temperature$_{10.4-12.3}$ + test2f_min2
- threshold2g_max = clear sky brightness temperature$_{10.4-13.3}$ + test2g_max
- threshold2g_min = clear sky brightness temperature$_{10.4-13.3}$ + test2g_min

가시채널의 반사도와 마찬가지로 육지 및 해양의 각 화소에서 산출된 청천 휘도온도는 지표면의 특성이 반영되어 있으므로 화소 기반으로 다른 값들이 적용된다. 모든 경곗값 검사의 결과는 품질정보를 생산하기 위하여 Cloud, Clear, Unknown으로 생산된다.

Table 5. List of threshold tests for Infrared channels

Test		Logic	Results	Day		Twilight		Night	
				L	S	L	S	L	S
IR	Test 2a	· OBS(T10.4)−CSR(T10.4) > thhreshold2a_max · OBS(T10.4)−CSR(T10.4) < threshold2a_min · All others	Cloud Clear Unknown	●	●	●	●	●	●
	Test 2b (land)	· OBS(T10.4 − T3.9) > threshold2b_land_max · OBS(T10.4 − T3.9) < threshold2b_land_min · All others	Cloud Clear Unknown					●	
	Test 2b (sea)	· OBS(T10.4−T3.9) > threshold2b_sea_max · OBS(T10.4 − T3.9) < threshold2b_sea_min · All others	Cloud Clear Unknown						●
	Test 2c	· OBS(T10.4−T6.2)−CSR(T10.4−T6.2) < threshold2c_min · OBS(T10.4−T6.2)−CSR(T10.4−T6.2) > threshold2c_max · All others	Cloud Clear Unknown	●	●	●	●	●	●
	Test 2d	· OBS(T10.4−T7.3)−CSR(T10.4−T7.3) < threshold2d_min · OBS(T10.4−T7.3)−CSR(T10.4−T7.3) > threshold2d_max · All others	Cloud Clear Unknown	●	●	●	●	●	●
	Test 2e	· OBS(T10.4−T8.6)−CSR(T10.4−T8.6) < threshold2e_min · OBS(T10.4−T8.6)−CSR(T10.4−T8.6) > threshold2e_min · All others	Cloud Clear Unknown	●	●	●	●	●	●

	Test 2f	· OBS(T10.4) > 305K /OR/ OBS(T10.4-T12.3)-CSR(T10.4-T12.3) > threshold2f_max1 /OR/ OBS(T10.4-T12.3)-CSR(T10.4-T12.3) < threshold2f_min1 · OBS(T10.4-T12.3)-CSR(T10.4-T12.3) > threshold2f_min2 /AND/ OBS(T10.4-T12.3)-CSR(T10.4-T12.3) < threshold2f_max2 · All others	Cloud Clear Unknown	●	●	●	●	●	●
	Test 2g	· T10.4-T13.3 < threshold2g_min · T10.4-T13.3 > threshold2g_max · All others	Cloud Clear Unknown		●		●		●

* 여기서 T는 적외채널 휘도온도(brightness temperature)이며, OBS와 CSR은 각각 위성관측자료와 복사전달모델 모의자료를 의미한다.

2.5.3 공간균질성 검사

3×3 화소의 표준편차 검사인 test3a에서 test3d는 구름의 가장자리와 관측픽셀보다 작은 규모의 구름을 탐지하기 위하여 활용된다. 이 경곗값 검사는 육지와 해양의 경계를 포함하는 화소에 대해서는 수행하지 않는다. 다음의 방법으로 산출된 각 테스트의 경곗값보다 큰 화소에 대해서는 cloud, 그렇지 않은 화소에 대해서는 unknown으로 산출된다.

- threshold3a_max = clear sky reflectance$_{0.6}$ + test3a_max
- threshold3b_max = clear sky reflectance$_{0.8}$ + test3b_max
- threshold3c_max = clear sky reflectance$_{10.4}$ + test3c_max
- threshold3d_max = clear sky reflectance$_{12.3}$ + test3d_max

Table 6. List of threshold tests for spatial uniformity

Test		Logic	Results	Day		Twilight		Night	
				L	S	L	S	L	S
Spatial Uniformity	Test 3a	· R0.6 > threshold3a_max · All others	Cloud Unknown	●					
	Test 3b	· R0.8 > threshold3b_max · All others	Cloud Unknown		●				
	Test 3c	· T10.4 > threshold3c_max · All others	Cloud Unknown	●	●	●	●	●	●
	Test 3d	· T12.3 > threshold3d_max · All others	Cloud Unknown	●	●	●	●	●	●

2.5.3 Sun-glint 검사

주간의 scattering angle이 25도보다 작은 해양에서는 태양빛이 직접적으로 반사되어 구름이 과다하게 탐지되는 현상이 발생한다. 이를 방지하기 위하여 sun-glint 영역에서는 모든 가시채널 경곗값 검사를 수행하지 않는다.

2.5.4 역전층 보정

1) 위도 65°N 이상, 65°S 이하의 극지방에서 2) 관측된 10.4 ㎛ 채널의 휘도온도가 250K 이하이며, 3) 우선적으로 위의 검사를 거쳐서 산출된 구름탐지 결과 probably cloud로 분류된 화소에 대하여, BTD(10.4-7.3) 값이 특정 경계값 이상으로 나오는 경우 청천(clear)으로 재분류한다.

2.6. 산출물

위성에서 관측되는 각 화소별로 구름의 유/무로 표현되며, 구름 화소에 대하여 탐지된 구름의 신뢰도를 나타내기 위하여 3단계의 품질정보(Cloud, Probably Cloud, Clear)가 출력된다. 또한 구름탐지에 활용된 각 경계값 검사의 결과들도 중간산출물로 출력된다. Table 7은 구름탐지 결과가 출력되는 형식을 나타내고, Table 8에서 10까지는 중간산출물의 출력형식을 나타내고 있다.

Table 7. The results of cloud detection: Cloud mask flag

Length: 1 byte (8 bits)			
Name	Type	Value	Value Definitions
CLD	Byte	0 1 2	Cloud Probably Cloud Clear

Table 8. Intermediate results of each threshold test for visible channels

Length: 2 byte (16 bits)				
Name	Number of Bits	Bit values	Bit Value Definitions	
TTF1 (Threshold Test Flag1)	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	land, ch03(0.6), single channel
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	sea, ch04(0.8), single channel
	2	2	–	–
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	GK2A ch05(1.3) not use in himawari8
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch05(1.6), single, Himawari8(ch05), GK2A(ch06)
	6	2	–	–

Table 9. Intermediate results of each threshold test for infrared channels

Length: 2 byte (16 bits)				
Name	Number of Bits	Bit values	Bit Value Definitions	
TTF2 (Threshold Test Flag2)	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13(10.4), single with nwp_ch13
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch07 (10.4-3.9)
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch08 (10.4-6.2) with csr_ch13-11
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch10 (10.4-7.3) with csr_ch13-10
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch11 (10.4-8.6) with csr_ch13-11
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch15 (10.4-12.3) with csr_ch13-15
	2	0 1 2	Cloud Clear Unknown	ch13-ch16 (10.4-13.3)
	2	2	-	-

Table 10. Intermediate results of each threshold test for spatial uniformity tests

Length: 2 byte (16 bits)				
Name	Number of Bits	Bit values	Bit Value Definitions	
TTF3 (Threshold Test Flag3)	2	0 2	Cloud Unknown	ch3(0.6), standard deviation for 3×3 pixel boxes
	2	0 2	Cloud Unknown	ch3(0.8), standard deviation for 3×3 pixel boxes
	2	0 2	Cloud Unknown	ch13(10.4), standard deviation for 3×3 pixel boxes
	2	0 2	Cloud Unknown	ch15(12.3), standard deviation for 3×3 pixel boxes
	8	–	–	–

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

3.1.1 모의 입력자료

GK-2A AMI의 구름탐지 알고리즘 개발을 위하여 유사한 채널을 보유하고 있는 10분 간격의 Himawari8 AHI 자료를 모의 입력 자료로 활용하였다. Table 11은 구름탐지에 활용한 채널을 나타내고 있다. 그러나, 1.38㎛는 himawari8 AHI 채널에 포함되어 있지 않으므로 GK-2A 위성이 발사된 후 활용될 예정이다.

Table 11. List of channels used for cloud detection algorithm

AHI (Resolution)							
Num.	Wavelength (㎛)	Day		Twilight/Dawn		Night	
		Land	Sea	Land	Sea	Land	Sea
1	0.47 (1km)						
2	0.51 (1km)						
3	0.64 (0.5km)	●					
4	0.86 (1km)		●				
5	1.38 (2km)	●	●				
6	1.61 (2km)		●				
	2.23 (2km)						
7	3.83 (2km)					●	●
8	6.24 (2km)	●	●	●	●	●	●
9	6.95 (2km)						
10	7.34 (2km)	●	●	●	●	●	●
11	8.59 (2km)	●	●	●	●	●	●
12	9.63 (2km)						
13	10.40 (2km)	●	●	●	●	●	●
14	11.21 (2km)						
15	12.36 (2km)	●	●	●	●	●	●
16	13.31 (2km)		●		●		●

3.1.2 검증 자료

구름탐지에 대한 검증은 일반적으로 쉽지 않다(Ackerman and Cox, 1981; Rossow and Gander, 1993). 정량적인 검증을 위해서는 다른 위성에 탑재된 센서의 구름탐지 결과와 직접적인 화소 단위의 비교를 통해 이루어질 수 있다. 하지만 이러한 검증방식이 정량적인 정확도를 제공해 줄 수는 있기는 하나, 두 관측 자료가 구름에 대한 서로 다른 관측 특성을 가지고 있기 때문에 시공간 일치 자료를 생성하는 과정에서 불확실성을 포함하는 문제를 가지고 있다(Baum et al., 1995). 이러한 한계에도 불구하고 본

알고리즘의 정확도 검사를 위해 Terra와 Aqua 위성의 MODIS 센서 자료에서 산출된 구름탐지 결과와 비교하였다. MODIS 그룹은 공식적으로 구름탐지 결과를 제공하고 있으며 Terra/MODIS를 이용한 결과인 MOD35와 Aqua/MODIS 자료를 이용한 결과인 MYD35가 있다. MOD35와 MYD35의 구름탐지 결과는 1km 해상도로, 4단계 (cloudy, probably cloudy, probably clear, clear)로 구분하여 구름의 정보를 제공하고 있다.

3.2 검증 방법

3.2.1 검증 지수

구름탐지 결과의 검증을 위하여 같이 PC, POD, FAR 등의 검증스코어를 계산하였다(Table 12). 검증을 위한 참값은 MODIS 구름탐지 결과를 이용하였다. MODIS 구름탐지에 대한 설명은 3.2.2에서 기술하였다.

Table 12. Validation indices used for cloud detection

MODIS / GK-2A	Cloud	Clear	Total
Cloud	a	b	a+b
Clear	c	d	c+d
Total	a+c	b+d	a+b+c+d = n

① PC (Proportion Correct, Accuracy) = $\frac{a+d}{n}$

② POD (Probability of Detection) = $\frac{a}{a+c}$

③ FAR (False Alarm Rate) = $\frac{b}{a+b}$

3.2.2 시공간 일치 방법

GK-2A AMI와 MODIS의 구름탐지 결과는 시/공간적으로 해상도가 다르기 때문에 검증을 위하여 시공간 일치가 필요하다. 구름은 짧은 시간 동안 비교적 많이 변화하는 형상임을 감안하여 AMI 관측시각을 기준으로 하여 5분 이내에 관측된 MODIS 자료만을 선택하였다. 공간적으로는 AMI의 관측해상도가 2km이므로 공간 일치를 위하여 AMI 관측 화소의 위경도 위치에서 1km 미만의 거리에 있는 MODIS 화소의

구름탐지 결과를 선택하였다. MODIS는 구름탐지를 상당히 엄밀하게 판정하며, 본 연구에서는 이러한 판단을 근거로 구름탐지 분류 4단계 중 cloudy, probably cloud인 화소만을 구름으로 하고 나머지 probably clear와 clear는 청천으로 분류하였다.

3.3 검증 결과

3.3.1 산출 결과

Figure 3은 위의 3절에서 설명한 GK-2A 구름탐지 알고리즘을 활용하여 산출된 구름탐지 결과와 입력 자료로 활용된 himawari-8/AHI의 가시채널(0.64 ㎛) 영상을 나타낸다. 이 영상은 2018년 7월 7일 0300UTC 결과로 태풍 마리아(MARIA)가 태평양에 자리하고 있으며, 오호츠크해 부근의 저기압성 소용돌이 형태의 구름과 한반도 주변 장마전선으로 인한 구름이 존재하는 것을 볼 수 있다. 구름탐지의 정확도를 높이기 위해서는 대기 상/중/하층에 존재하는 구름들을 모두 탐지해야 한다. 사례영상에서는 태풍으로 인해 발달한 구름, 저기압 주변의 대류운, 해양의 조각구름 등 다양한 형태의 구름이 존재하여 구름탐지의 사례로 적합하다. 구름탐지 결과(Cloud: 흰색)는 가시영상과 비교했을 때 구름을 적절하게 탐지하고 있음을 보여준다. 하지만 하늘색으로 표현된 probably cloud를 구름이라고 가정하면 전반적으로 약간 과대탐지 함을 알 수 있다. 이는 향후 어떠한 경계값 검사에서 과대하게 구름이 탐지되는지 조사하여 경계값을 조정할 필요가 있음을 보여준다.

Figure 4는 15가지 구름탐지 경계값 검사 결과를 나타낸 것이다. 각 경계값 검사는 하층, 중층 또는 상층 구름을 탐지하기 적합하게 설정되어 있어 각 검사의 결과가 다름을 알 수 있다.

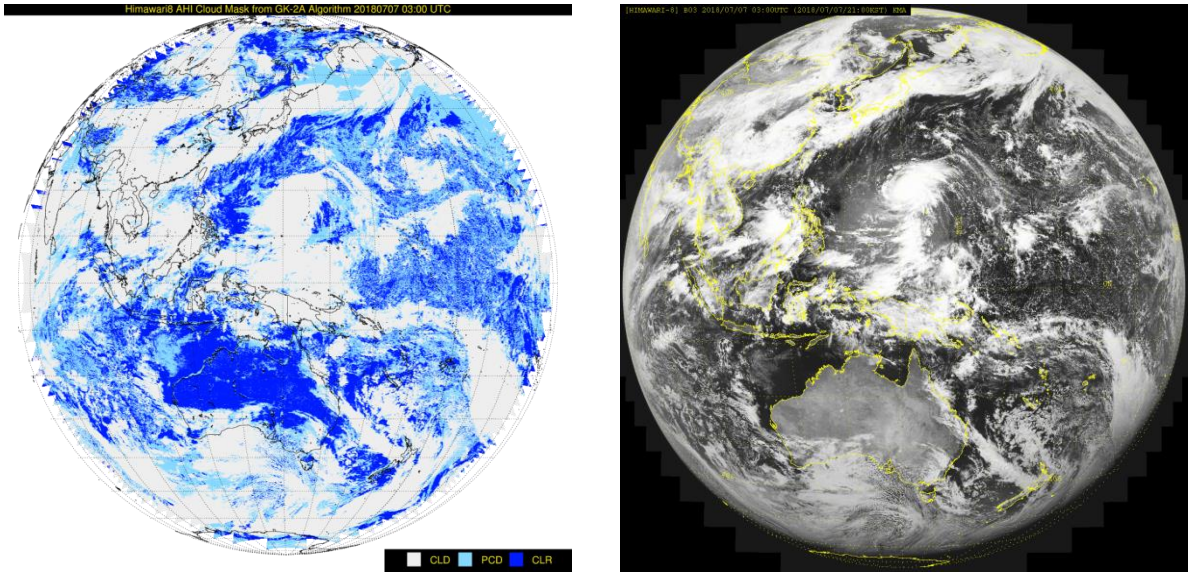

Figure 3. The result of cloud detection (left), and visible (0.64 ㎛) image (right) at 03:00 UTC on 7 July 2018

0.6㎛ (Land)	0.8㎛ (Sea)	1.3㎛ (Not used so far)	1.6㎛ (Sea)	10.4㎛
T10.4-T3.9 (Night only)	T10.4-T6.2	T10.4-T7.3	T10.4-T8.6	T10.4-T12.3
T10.4-T13.3	0.6 ㎛ STD (Land)	0.8㎛ STD (Sea)	10.4㎛ STD	12.3㎛ STD

Figure 4. The intermediate results of each of the threshold tests at 0300 UTC on 7 July 2018: white(cloud), sky blue(unknown), blue(clear)

3.3.1 검증 결과

Table 13과 Figure 5는 MODIS 구름탐지와의 검증 결과를 보여주고 있다. 검증 기간은 계절적 특성을 반영할 수 있도록 2018년 8월 1일-8월 10일(여름)과 2019년 1월 1-10일(겨울)로 선정하였으며, 10분 간격으로 산출된 결과를 모두 이용하였다. 위성천정각이 65° 미만인 영역에 대해서 검증을 수행한 결과 POD는 꾸준히 90% 이상으로 유지되었으며, FAR는 약 13% 정도로 나타났다. 비록 목표정확도와 비교했을 때 FAR 수치가 여전히 높은 경향이 있으나, 이는 앞서 언급했듯이 구름탐지 산출물 사용자들의 요구 사항을 반영하여 FAR가 높더라도 구름이 미탐지 되는 영역을 최소화시키는 방향으로 알고리즘이 설계되었기 때문이다. 그리고 두 기간의 결과를 비교하였을 때, (북반구 기준) 겨울철의 검증 결과가 불안정하게 나오는 것을 확인할 수 있다. 차가운 지표면온도의 영향으로 구름탐지의 정확도가 저하되는 경향이 있으므로 겨울철 구름탐지 산출물을 활용할 때 유의할 필요가 있다.

Table 13. Validation scores of cloud detection on August 2018 and January 2019

검증 자료	검증 기간	PC	POD	FAR
MYD35	2018.08.01 - 2018.08.10	0.85	0.92	0.13
	2019.01.01 - 2019.01.10	0.83	0.90	0.13

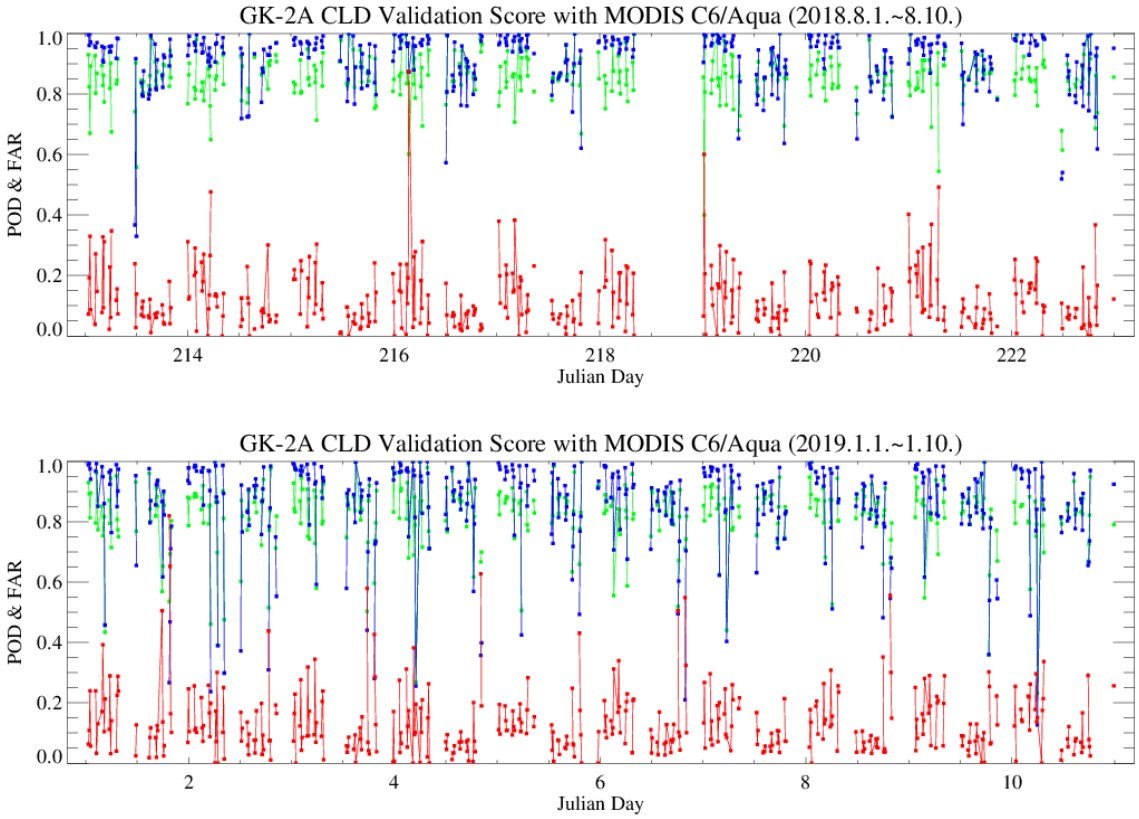

Figure 5. The time series of the validation scores of cloud mask with MYD35 L2 on August 2018 (upper) and January 2019 (lower): PC(green), POD(blue), FAR(red)

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

기상청에서 현업으로 운영하는 수치예보모델의 해상도나 결과파일의 형식이 변경될 경우, 보조자료로 사용하는 청천 휘도온도를 산출하는 프로그램이 변경되어야 한다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

구름탐지에 적용되는 경계값 검사 중 대부분이 청천 반사도, 청천 휘도온도 등 입력 보조 자료의 영향을 받으므로, 구름탐지가 수행되기 이전에 필요한 보조자료의 생산이 완료되어야 한다.

구름탐지 알고리즘은 Himawari8 AHI 센서의 각 채널 자료를 활용 경계값을 설정하였다. GK-2A AMI와 Himawari8 AHI의 센서반응함수(Spectral Response Function, SRF)가 다를 가능성이 있으므로, GK-2A AMI의 궤도상 시험 과정에서 각 채널 별 경계값을 조정하여 알고리즘 개선작업이 이루어져야 한다.

4.3 품질 평가 및 진단

청천 반사도를 산출하는 과정에서 이전 15일의 영상을 활용하기 때문에 자료의 누락 등으로 산출되는 청천 값의 차이가 발생하여 구름탐지 결과에 영향을 미칠 수 있다는 점을 고려해야 한다. 또한 적설, 사막, sun-glint 영역 등과 같이 반사도가 높은 지역이나 고지대, 극지방 등 지표면온도가 낮은 조건에서는 구름탐지의 정확도가 비교적 저하되는 경향이 있으므로 산출물 활용에 유의해야 한다.

4.4 예외사항 처리

알고리즘 수행의 필수 입력 자료인 가시 및 적외채널 관측이 잘못되었거나 누락되었을 시 알고리즘 수행이 불가하다. 자료의 크기, 파일명 등을 알고리즘 수행 전에 확인하여 에러가 발생하지 않도록 하여야 한다.

4.5 검증 알고리즘

구름탐지의 정확성 평가를 위해서는 객관적으로 구름의 유무를 판단할 수 있는 자료가 필요하나 지상 관측 등의 자료가 전무한 실정이다. 따라서 타 위성에서 산출된 구름정보를 활용하여 간접적으로 검증하여야 한다. 본 연구에서는 Terra/Aqua 위성의 MODIS 센서에서 산출되는 구름탐지 결과와 비교하였다. 간접 검증을 위하여 MODIS 구름탐지 결과를 참으로 두고 PC, POD, FAR와 같은 검증스코어를 산출하여 GK-2A AMI 구름탐지 알고리즘을 검증하였다. Terra와 Aqua 위성은 각각 1999년과 2001년에 발사되어 임무 수명이 지난 상태이므로, Suomi-NPP 또는 NOAA-20 (JPSS-1) 위성의 VIIRS 센서에서 산출되는 구름탐지 또는 CALIPSO 위성의 라이더 관측 자료를 활용하여 검증할 필요가 있다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

구름탐지 알고리즘에서 큰 문제점 중의 하나는 주/야간에 활용하는 채널의 차이로 발생하는 불연속이다. 최근 주/야간 불연속을 줄이고 구름탐지 효율을 높이기 위하여 정지기상위성의 장점을 활용한 구름 화소의 온도변화를 감시하는 연구들이 진행되고 있다. GK-2A AMI는 10분간 전구 1회, 확장한반도 5회, 그리고 한반도를 5회 관측하므로 같은 지역을 연속적으로 관측할 수 있는 장점이 있다. 즉, 주간 또는 야간에 구름으로 탐지된 화소의 온도가 해당시간 내에 일정한 경계값 이상으로 변화되는 경향을 감시하여, 해당 화소의 휘도온도가 상승한다면 구름의 이동 또는 소멸로 해당 화소가 청천 화소로, 하강한다면 구름의 발달을 의미하므로 주/야간의 경계에서 구름에 대한 불연속을 최소화할 수 있다. 향후 이 부분에 대한 알고리즘 개선을 진행할 예정이다.

5.2 예상 센서 성능

해당사항 없음.

5.3 개선을 위한 사전 계획

가시채널의 청천 반사도는 구름탐지에 있어서 결정적인 역할을 담당하기 때문에 아주 중요한 변수이다. 본 구름탐지 알고리즘에서는 가시채널의 청천 반사도를 이전 15일 관측 자료를 활용하여 산출하였다. 하지만 여름철 장마기간에는 항상 구름이 존재하므로 청천 반사도를 산출하기 어려워 구름탐지 결과에 오류가 발생할 수 있다. 정확한 청천 반사도를 산출하기 위한 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 합성기간을 늘리는 것이고, 두 번째는 복사전달모델을 활용하는 것이다. 하지만 첫 번째는 식생의 변화 등 지면상태가 변하는 것을 반영하지 못할 가능성이 있으며, 두 번째는 GK-2A 산출물을 생산하는 과정에서 부가적으로 산출되므로 구름탐지 결과를 입력 자료로 활용해야 하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 계절, 시간대 등 최적의 청천자료를 산출할 수 있는 합성기간 선정, 복사전달모델 수행방법에 대한 연구가 추가로 수행되어야 한다.

6. 참고문헌

Ackerrman, S. A., and S. K. Cox, 1981: Comparison of satellite and all-sky camera estimates of cloud cover during GATE, J. Appl. Meteor., 20, 581-587.

Ackerrman, S. A., W. L. Smith, J. D. Spinhirne, and H. E. Revercomb, 1990: The 27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: Spectral properties of cirrus cloud in the 8-12㎛ window, Mon. Wea. Rev., 118, 2377-2388.

Baum, B. A., T. Uttal, M. Poellot, T. P. Ackerman, J. M. Alvarez, J. Intrieri, D. O'C. Starr, J. Titlow, V. Tovinkere, and E. Clothiaux, 1995: Satellite remote sensing of multiple cloud layers, J. Atmos. Sci., 52, 4210-4230.

Berk, A., G. P. Anderson, P. K. Acharya, and E. P. Shettle, 2008: MODTRAN 5.2.0.0 user's manual, report, AIR FORCE RESEARCH LABORATORY Space Vehicles Directorate, AIR FORCE MATERIEL COMMAND, HANSCOM AFB, MA.

Derrien, M., 2013: Algorithm Theoretical Basis Document for "Cloud Products", CMa-PGE01 v3.2, CT-PGE02 v2.2 & CTTH-PGE03 v2.2, SAF/NWC/CDOP2/MFL/SCI/ATBD/01, Issue 3, Rev. 2.1.

Heidinger, A., 2011: Algorithm Theoretical Basis Document Version 2.0, NOAA/NESDIS/STAR.

Inoue, T., 1985: On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus cloud by bi-spectral measurements in the 10 ㎛ window region, J. Meteor. Soc. Japan, 63, 88-99.

Lutz.H. J., M. Konig, and J. Schmetz, 2007: Cloud detection for MSG - Algorithm Theoretical Basis Document, Issue v2, EUM/MET/REP/07/0132.

NIMR, 2009: Development of COMS Meteorological Data Processing System, Final Report, 164-218.

Rossow, W. B., and L. C. Garder, 1993: Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. J. Clim. 6, 2341-2369.

Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiance from AVHRR data, Int. J. of Remote Sens., 9, 123-

150.

Seemann, S. W., E. E. Borbas, R. O. Knuteson, G. R. Stephenson, and H.-L. Huang, 2008: Development of a Global Infrared Land Surface Emissivity Database for Application to Clear Sky Sounding Retrievals from Multi-spectral Satellite Radiance Measurements. J. Appl. Meteor. Climatol., Vol. 47, 108-123.

Liu, Y., J. R. Key, R. A. Frey, S. A. Ackerman, and W. P. Menzel, 2004: Nighttime polar cloud detection with MODIS, *Remote sensing of environment*, 92(2), 181-194.