

GK-2A AMI

Algorithm Theoretical Basis

Document

에어로졸 · 황사 탐지
(Aerosol Detection ProductS, ADPS)

Version 2.0

2021. 12. 31.



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	최초 작성	0.1.0.0	2015.03.23.	이권호
0.2	장별 순서 변경	0.2.0.0	2016.01.16.	이권호
0.3	육·해상 알고리즘 통합	0.3.0.1	2016.12.12.	이권호
0.4	알고리즘 개선, 시험 검증	0.4.1.1	2017.11.12.	이권호
0.5	에어로졸 알고리즘 임계값 설정	0.5.3.9	2018.04.30.	지준범
0.6	구름탐지 알고리즘 세부조정 개선	0.5.5.1	2018.11.20.	지준범
0.7	임계값 조정 및 ATBD 수정	0.5.6.1	2019.01.15.	지준범
0.8	구름탐지 L2 적용	0.5.7.1	2019.03.25.	지준범
0.9	에어로졸 탐지 임계값 미세 조정	0.5.8.1	2019.04.15.	지준범
1.0	에어로졸 탐지 알고리즘 개선	0.5.9.1	2019.04.25.	지준범
2.0	- 천리안위성 2A호 구름탐지 (GK2A CLD-flag) 적용방법 추가 - 천리안위성 2A호 배경합성장 (GK2A COMPADP) 계산방법 변경 추가 - 화산재, 황사 탐지 경계값 추가 및 개선 사항 추가 - 고농도 에어로졸 사례별 정성적 비교분석, 정량적 검증 결과 추가	1.6.2.1	2021.12.31	안소이

<목차>

1. 개요.....	1
1.1 목적	1
1.2 사용자	1
1.3 내용	1
1.4 관련 문서	2
2. 알고리즘 소개.....	3
2.1 개요	3
2.2 알고리즘 흐름도.....	3
2.3 입력자료.....	4
2.3.1 천리안위성 2A 호 L1B.....	4
2.3.2 천리안위성 2A 호 L2.....	5
2.3.3 보조 자료	6
2.4 이론적 배경.....	8
2.5 수학적 설명.....	8
2.5.1 청천화소 테스트.....	8
2.5.2 에어로졸 종류 구분 테스트.....	11
2.6. 산출물.....	14
3. 자료 및 검증.....	16
3.1 입력자료 및 검증자료.....	16
3.2 검증 방법.....	16
3.3 정성적 결과.....	17
3.3.1 화산 사례	18
3.3.2 황사 사례	22
3.3.3 미세먼지 사례	25
3.4 정량적 검증.....	27
4. 현업운영 시 고려사항.....	29
4.1 수치계산 고려사항.....	29
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항.....	29

4.3 품질 평가 및 진단.....	29
4.4 예외사항 처리.....	30
4.5 검증 알고리즘.....	30
5. 가정 및 제한.....	30
5.1 성능	30
5.2 예상 센서 성능.....	30
5.3 개선을 위한 사전 계획.....	31
6. 참고문헌.....	32

<표 목차>

표 2.3.1. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘을 위한 L1B 입력자료	4
표 2.3.2. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘을 위한 GK-2A L2 구름탐지 정보	6
표 2.3.3. 천리안위성 2A호 배경합성장 (COMPADP) 계산방법에 따른 특징	7
표 2.6.1. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS) 산출물 설명	13
표 3.1.1. 천리안위성 2A호 AMI 채널의 설명	16
표 3.4.1. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 산출물과 MODIS 자료와의 검증결과 (2020년 4월)	26
표 3.4.2. 개선 전과 후, 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS)와 MODIS 자료와의 검증 비교 결과	26

<그림 목차>

그림 2.2.1. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘 자료처리 흐름도	4
그림 2.3.3. 천리안위성 2A호 배경합성장 (COMPADP) 알고리즘 자료처리 흐름도.	7
그림 2.3.4. 천리안위성 2A호 화산재 위치 정보 (a)와 화산위치 영역 (b) 정보.	8
그림 2.5.1. 구름제거 기준 설정 경계값 결정을 위한 (좌) 0.64 μm 에서의 반사도, (우) 11 μm 의 밝기온도의 히스토그램.	10
그림 2.5.2. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS)를 위한 자료처리 과정	11
그림 3.3.1. 2020년 1월 12일 필리핀 타알 (Taal)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재탐지/양/고도 비교 결과 (a) 14:00 UTC (b) 15:00 UTC (c) 16:00 UTC (d) 17:00 UTC (e) 18:00 UTC	17
그림 3.3.2. 2020년 1월 12일 필리핀 타알 (Taal)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 ADPS의 화산재 탐지 비교 검증 결과 (a) MetOp-A/IASI 이산화황 농도 (b) MetOp-A/IASI 이산화황 고도	18
그림 3.3.3. 2020년 7월 31일부터 8월 2일까지 일본 니시노시마 (Nishinoshima)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산재 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재탐지/양/고도 비교 결과 7월 31일 (a) 12:00 UTC (b) 16:00 UTC (c) 20:00 UTC, 8월 1일 (d) 00:00 UTC (e) 04:00 UTC	19
그림 3.3.4. 2020년 7월 30일부터 8월 2일까지 일본 니시노시마 (Nishinoshima)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산재 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재 탐지 비교 결과 7월 31일 (c) CALIPSO 에어로졸 광학두께 (Column_Optical_Depth_Aerosols_532)와 천리안위성 2A호 화산재탐지 지수 (TVAP)의 시공간 일치성을 통한 정량적 검증 (d) CAPLISO 위성의 532 nm total attenuated backscattering (CAL_LID_L2_05kmAPro-V3-40.2020-08-01T04-06-05ZD) 결과 (Red Dotted Circle)	20
그림 3.3.5. 2021년 4월 15일 06:00 UTC (15:00 KST) (원) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교	

.....	21
그림 3.3.6. 2021년 4월 26일 08:00 UTC (17:00 KST) (원) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교	22
그림 3.3.7. 2021년 5월 7일 00:00 UTC (09:00 KST) (원) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교	23
그림 3.3.8. 2020년 3월 17일 00:00 UTC (09:00 KST) (원) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교	24
그림 3.3.9. 2020년 4월 20일 00:00 UTC (09:00 KST) (원) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교	24
그림 3.4.1. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 (ADPS) 산출물과 MODIS 자료와의 검증결과 (2020년 4월)	26

약어표

ABI	Advanced Baseline Imager
ADP	Aerosol Detection Product
AERONET	AErosol RObotic NEtwork
AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
AOD	Aerosol Optical Depth
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
BT	Brightness Temperature
BTD	Brightness Temperature Differences
CALIPSO	Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
CSI	Critical Success Index
DAOD	Dust aerosol optical depth
DEM	Digital Elevation Model
DN	Digital Number
FAR	False Alarm Rate
GK-2A	GEO-KOMPSAT 2A
GOCI	Geostationary Ocean Color Imager
GSTAR	GIST Aerosol Retrieval
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

IR	InfraRed
JMA	Japan Meteorological Agency
MI	Meteorological Imager
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
NIR	Near InfraRed
PC	Proportion Correct
POD	Probability Of Detection
RGB	Red-Green-Blue
TOA	Top of the Atmosphere
TVAP	Three band Volcanic Ash Product
UM	Unified Model
VFM	Vertical Feature Mask
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VIS	Visible

1. 개요

에어로졸은 대기에 부유하는 작은 고체 또는 액체 입자를 의미하고 태양광을 산란하거나 흡수함으로써 지구 복사 수지와 물 순환 및 기후변화에 영향을 미치는 지구대기 시스템의 중요 요소이다 (IPCC, 2013; Charlson et al., 1987). 그리고 특정 형태의 에어로졸은 구름 입자와 상호작용으로 구름 물리적 특성 변화를 통하여 복사 특성과 강우 과정에 영향을 미친다 (Rosenfeld, 2000). 이와 같은 에어로졸이 지구 환경에 미치는 복잡한 영향 이해를 위해서는 에어로졸의 특성과 분포에 관한 정보 산출이 정량화되어야 하고 인공위성을 이용한 원격 탐사는 가장 단시간 간격으로 광범위한 영역을 관측하는 이점이 있고 지역적 및 전 지구적인 분포 파악이 가능하다. 최근까지 인공위성으로 에어로졸을 관측한 연구결과는 미국과 일본 및 유럽 등을 비롯한 위성 보유국을 중심으로 많이 발표되었고 국내에서도 최근에 천리안 위성 자료를 이용한 에어로졸 원격 탐사에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Lee et al., 2009). 현재 천리안위성 2A호 (GEO-KOMPSAT 2A, GK-2A) 위성을 이용한 에어로졸 탐지 결과는 더욱 진보된 관측 방법과 기기적 특성으로 인하여 고품질의 산출물을 생산할 수 있을 것이고 관련 분야에서 많은 활용이 기대된다.

1.1 목적

본 기술서는 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS)를 위한 자료 해석 및 처리를 위한 방법론을 구체적으로 기술하였고 위성 영상의 해당 화소별 화산재 및 황사와 미세먼지(연무) 구분 알고리즘에 대한 기초 설명서이다.

1.2 사용자

본 알고리즘 기술서는 ADPS 알고리즘의 물리적 배경을 이해하고 산출물을 계산하는 과정에서 사용자의 이해를 도모하기 위함이다. ADPS 산출물의 예상 사용자로는 기상 예보자, 대기질 관리자, 보건당국, 재해방지 관련 기관, 항공운항 관련 기관, 군(軍) 등이 예상된다.

1.3 내용

알고리즘 소개: 천리안위성 2A호 위성의 특성과 ADPS 산출물을 상세히 설명한다. ADPS 알고리즘에 대한 물리적 이론 배경과 입·출력자료의 특징을 기술한다.

시험자료 및 출력물: 시험자료에 대한 설명과 ADPS 알고리즘의 실행과정을 설명하고 산

출 결과물에 대한 정확도 검증에 대하여 기술한다.

현업운영시 고려사항: 수치계산과 프로그래밍 과정 그리고 QA/QC 진단 및 예외 사례 처리에 관한 내용을 기술한다.

가정 및 제한: ADPS 알고리즘에서 사용된 가정과 현재 접근방법의 한계에 대하여 설명하고 알고리즘 개선을 위한 제한점 극복방안에 대하여 제시한다.

1.4 관련 문서

- 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘 과학코드 분석서
- 천리안위성 2A ADPS 알고리즘 시험보고서
- 천리안위성 2A ADPS 현업화 발표자료 ('21.05)

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

기상 예보자가 한반도 주변에서 발생하는 에어로졸의 수송에 대한 정보를 미리 제공하기 위해 위성을 활용하여 에어로졸을 신속하게 탐지하는 것이 필요하다. 따라서 많은 조건표나 복잡한 계산 과정이 필요한 다른 위성 알고리즘과는 다르게 위성 관측자료를 이용하여 일련의 간단한 테스트로 구성한다. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지(ADPS) 알고리즘의 개발단계에서는 에어로졸 입자의 탐지 과정에서 화산재, 황사, 미세먼지 입자에 대한 구분을 위한 원형 알고리즘을 개발하였고, 후에 다양한 에어로졸 사례를 이용하여 추가로 개선한 사항을 바탕으로 알고리즘의 수행 시간을 단축하고 보다 효율적인 연산 과정을 수행하였다.

2.2 알고리즘 흐름도

천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지의 전체적인 자료처리 흐름도는 그림 2.2.1과 같다. 이는 에어로졸 탐지 이전 단계인 자료 준비 과정과 각 에어로졸 종류를 구분하는 계산하는 과정으로 나뉜다. 준비 과정의 제일 첫 단계에서는 위성 자료를 읽고 육지와 해양에 해당하는 화소를 구분한 이후 진행한다. 이 때, 육지와 해양을 구분할 수 있는 육지 마스크 (Land/Sea mask)는 수치고도데이터 (DEM)를 이용하여 일정 고도 이상의 값을 가지는 화소를 육지로 가정하여 제거하는 방법을 사용한다. 또한 해양에서 sun-glint에 해당하는 화소는 산란각 정보를 이용하여 제거하였다.

그리고 청천화소값을 얻기 위하여 구름을 제거하는 과정을 거치게 되는데 여기서 사용되는 구름 제거 방법은 느슨한 경계값과 적외 채널을 중심으로 사용하게 된다. 그 이유는 구름 탐지에 사용되는 경계값 방법이 에어로졸을 구름으로 오인하는 경우가 발생하여 중요한 에어로졸 정보임에도 불구하고 구름으로 제거되는 점을 방지하기 위함이다. 따라서 에어로졸 탐지를 수행할 경우 구름 제거를 위하여 널리 사용되고 있는 방법으로 GOES-R ABI 에서 통용되고 있는 방법을 차용하여 선택적으로 사용하였고, 그 이후 청천화소로 결정된 화소는 ADPS 알고리즘이 적용되어 에어로졸 탐지결과로서 Aerosol mask의 형태로 저장된다.

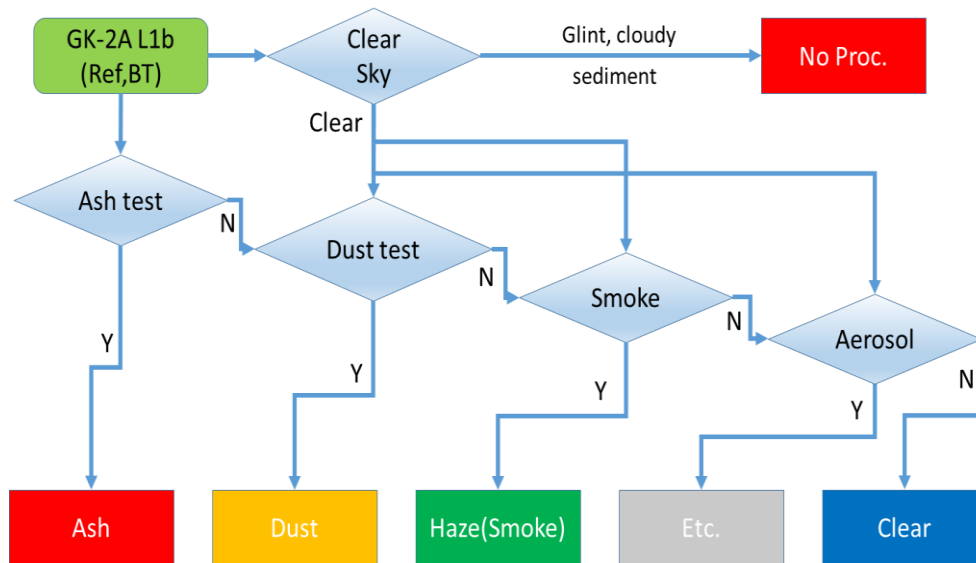


그림 2.2.1. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘 자료처리 흐름도.

2.3 입력자료

2.3.1 천리안위성 2A호 L1B

천리안위성 2A호 ADPS 산출물은 GK-2A/AMI의 채널 정보에 최적화하여 알고리즘이 개발되었다. ADPS 알고리즘 수행에 필요한 입력 자료로서 위성 센서의 특성 정보는 가시채널 반사도(reflectance)와 적외채널 밝기온도 (BT) 값이다 (표 2.3.1 참조). 에어로졸 탐지의 기본 원칙은 육지와 해양의 구름이 없는 청천화소 (clear sky pixel)를 대상으로 대기 중 에어로졸 성분의 유무 및 에어로졸 타입 결정한다.

또한 해양 영역이란 육지(land surface)를 제외한 해수(ocean water)가 차지하고 있는 영역을 말한다. 청천 화소란 구름(cloud)으로 탐지된 영역을 제외한 영역을 말하기 때문에 구름탐지 산출물의 활용 또는 자체적인 구름탐지 기법이 사용될 수 있다. 단 구름탐지 산출물의 활용이 가능한 경우는 구름탐지 산출과정에서 에어로졸 영역이 구름으로 오인 되지 않는 경우에 한한다. 주요 에어로졸 성분이란 에어로졸 입자에 대한 개별적 화학종 (수용성, 금속성, 유기성 물질 등)이 아닌 위성이 관측하는 대기 영역에 존재하는 모든 에어로졸 중 주로 존재하는 에어로졸 입자의 타입 (type)이다. 여기에서는 황사와 화산재 및 미세먼지 (연무) 입자로 분류된 에어로졸로 정의한다.

표 2.3.1. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘을 위한 GK-2A L1B 입력자료

채널	중심파장[μm]	자료	용도
----	-----------------------	----	----

1(VIS)	0.4702	Calibrated L1b reflectance	구름제거, 에어로졸 탐지
2(VIS)	0.5086	Calibrated L1b reflectance	구름제거, 에어로졸 탐지
3(VIS)	0.6394	Calibrated L1b reflectance	구름제거, 에어로졸 탐지
4(VIS)	0.8630	Calibrated L1b reflectance	구름제거, 에어로졸 탐지
5(NIR)	1.3740	Calibrated L1b reflectance	상층운(cirrus) 제거
6(NIR)	1.6092	Calibrated L1b reflectance	구름제거, 에어로졸 탐지
7(IR)	3.8316	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 에어로졸 탐지
8(IR)	6.2104	Calibrated L1b brightness temperature	
9(IR)	6.9413	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거
10(IR)	7.3266	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 화산재 탐지
11(IR)	8.5881	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 화산재 탐지
12(IR)	9.6210	Calibrated L1b brightness temperature	
13(IR)	10.3593	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 에어로졸 탐지
14(IR)	11.2285	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 황사/화산재 탐지
15(IR)	12.3651	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 황사/화산재 탐지
16(IR)	13.2870	Calibrated L1b brightness temperature	구름제거, 황사/화산재 탐지

2.3.2 천리안위성 2A호 L2

에어로졸 탐지의 경우 구름제거를 보완하기 위하여 천리안위성 2A호 CLD-AUX (L2) 구름탐지 플래그 정보를 이용한다. 이는 천리안위성 2A호의 구름탐지 산출물로

다양한 채널들의 정보를 활용하여 11가지의 구름 플래그 정보를 산출한다. 원형 알고리즘에서는 기존의 구름탐지 산출물의 결과 (확실한 구름, 구름가능, 청천)를 활용하였으나 개선된 버전에서는 구름탐지의 정밀하게 분류된 자료를 활용하여 보다 산출물의 정확도를 높이기 위함이다.

표 2.3.2. 천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘을 위한 GK-2A L2 구름탐지 정보

천리안위성 2A호 구름탐지 (CLD)	천리안위성 2A호 구름탐지 플래그 (CLD-AUX)	천리안위성 2A호 구름탐지 플래그 적용 범위	
0: Cloudy 1: Probably cloudy 2: Clean	0: Cloudy (high confidence)		
	1: Cloudy (confidence)		
	2: Probably cloud (low confidence)		
	3: Probably cloud (low)		
	4: unknown		
	5: unknown		
	6: Probably clear (low confidence)	황사 (Dust)	
	7: Probably clear (low)		
	8: test failed		
	9: clear (low confidence)		
	10: clear (low)		
	11: clear (high confidence)		연무 (haze)

2.3.3 보조 자료

에어로졸 탐지에 필요한 보조 자료는 화소별 위·경도, 위성관측각, 위성천정각, 태양천정각, 태양 방위각, 산란각 그리고 육지마스크 등의 자료가 사용되었다. 위성자료와 함께 제공되는 복사 보정된 천리안위성 2A호 L1B와 위경도 자료 (Lat_2km.bin, Lon_2km.bin) 및 육지마스크 (LandSea_2km.bin) 자료가 사용되었다.

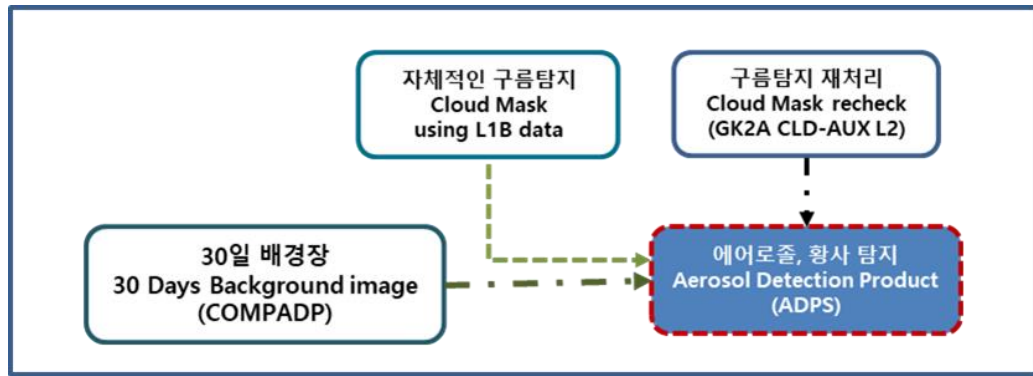


그림 2.3.3. 천리안위성 2A호 배경합성장 (COMPADP) 알고리즘 자료처리 흐름도

채널별 지표면의 반사도와 밝기온도는 동일 시각에 관측된 이전 30일 자료를 이용하여 간단한 구름을 제거하는 알고리즘을 적용하여 적외채널의 경우 최대 밝기온도 그리고 가시채널의 경우는 최소 반사도를 찾아 지표면 배경장으로 사용하고 있다. 하지만 현업에서 에어로졸 탐지 산출물을 활용한 결과, 계절이 변화함에 따라 기온의 일교차가 심해지면서 중국 남부지방과 한반도에 오там지가 증가하였고, 육상과 해상의 불연속이 심하게 나타났다. 또한 봄에 집중되었던 대표적인 에어로졸 이벤트가 최근에 가을과 겨울에도 빈번하게 발생함에 따라서 가을과 겨울의 탐지 정확도를 높이는 것이 필요하였다. 개선방법으로는 지표면 배경장의 계산방법을 변경하여 기존의 방식인 이전 30일 자료의 적외채널의 최대밝기온도의 계산방법을 평균배경장의 적외채널의 밝기온도로 변경하여 계절별로 민감하게 변화하는 에어로졸의 오탐지를 개선하였다. 구름화소 제거와 에어로졸 탐지할 때 사용하는 0.47, 0.51, 0.64, 0.86 μm 가시채널 (1~4번) 과 8.6, 10.4, 11.2, 12.3 μm 의 적외채널 (11, 13, 14, 15번) 에 대하여 탐지하기 이전 30일 배경장 (COMPADP)을 산출하여 적용하였다.

표 2.3.3. 천리안위성 2A호 배경합성장 (COMPADP) 계산방법에 따른 특징

배경장 합성방법	특징	장점	단점
적외채널 최댓값	가을, 겨울에 따뜻하게 산출됨	봄, 여름에 에어로 졸 탐지율을 높임	가을, 겨울에 오탐지가 증가함
적외채널 평균값	가을, 겨울의 최신정보를 반영	가을, 겨울에 오탐 지가 감소함	봄, 여름에 탐지율 을 낮춤

화산재는 오염된 구름과 황사의 특징이 유사하기 때문에 구름과 황사가 화산재로 오탐지될 수 있다. 따라서 최근 화산이 발생하였던 지점정보를 이용하여 화산재 탐

지 지역을 제한하였고 화산재 위치정보 (Vmask_2km.bin)는 화산발생위치를 기준으로 반경 200 km 외의 위성 화소에서는 화산재 에어로졸이 탐지되어도 오염지로 제거하도록 하였다.

(a) 화산위치 정보

(b) 화산위치 영역

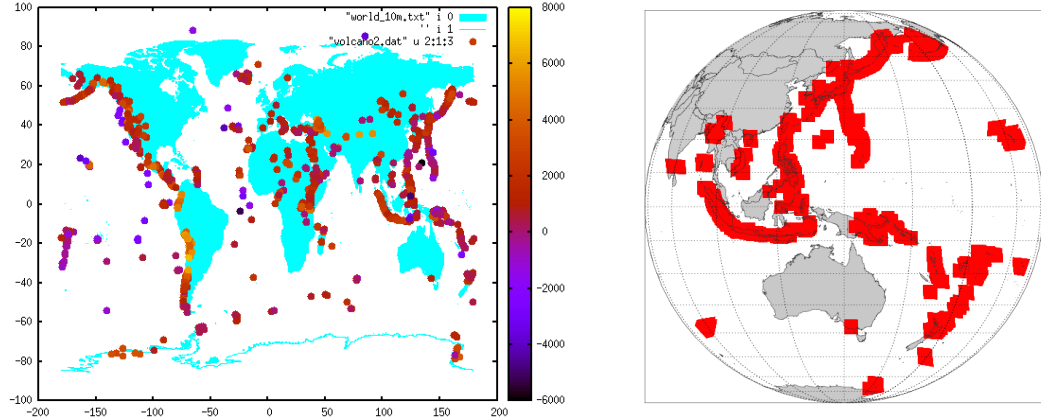


그림 2.3.4. 천리안위성 2A호 화산재 위치 정보 (a)와 화산위치 영역 (b) 정보

2.4 이론적 배경

천리안위성 2A호 ADPS는 구름이 제거된 화소에 한하여 에어로졸 타입 구분을 통하여 화산재와 황사 및 미세먼지 (연무)로 구분된다. GK-2A L1B 자료의 구름제거 과정은 가시채널 반사도 경계값 테스트와 적외채널 밝기온도 경계값 테스트 및 균등화소 테스트를 통하여 구름화소를 제거한다. 이와 유사한 방법이 MODIS (MOD04, MYD04) 에어로졸 알고리즘 (Ackerman et al. 1998; Remer et al., 2005)과 GOES-R/ABI 알고리즘 (NOAA, 2010)으로서 알려진 바가 있다.

2.5 수학적 설명

천리안위성 2A호 ADPS는 청천화소를 결정하는 것으로부터 시작된다. 이를 위하여 일련의 구름제거 테스트가 적용되고 일반적인 구름탐지 산출물과는 경계값 기준이 다소 완화된 상태를 사용한다.

2.5.1 청천화소 테스트

① Sun-glint test

$$\theta_{sg} = \cos^{-1}[(\cos(\theta_0) \times \cos(\theta_s)) + (\sin(\theta_0) \times \sin(\theta_s) \times \cos(\phi))]$$

$$\theta_{sg} < 20 \text{ or } \theta_{sg} < 40 \text{ and } \rho_{0.68} > B\rho_{0.68} + 0.18 \quad (1)$$

여기서 θ_{sg} 는 sun-glint 각, θ_0 는 태양 천정각, θ_s 위성 관측각, $\rho_{0.68}$ 은 $0.68 \mu\text{m}$ 채널의 반사도, $\rho_{0.68}$ $0.68 \mu\text{m}$ 채널의 배경 반사도를 의미함

② thick cloud test (VIS = 0.51, 0.64, $0.86 \mu\text{m}$)

$$\rho_{vis} < 0.35 \quad (2)$$

③ high cloud test

$$BT_{10.4} < 265 - ABS(\frac{lat}{5}), BT_{10.4} < BBT_{10.4} - 12 \quad (3)$$

여기서 $BT_{10.4}$ 는 $10.4 \mu\text{m}$ 의 밝기온도, lat은 위도, $BBT_{10.4}$ 는 $10.4 \mu\text{m}$ 의 배경 밝기온도, ABS는 Absolute Value의 약자임

④ Relative thermal contrast test

$$MAX(BT_{10.4})_{3 \times 3} - BT_{10.4} - 3 \times \gamma \times \sigma_{3 \times 3}(BT_{10.4}) < 3.2 (ocean)$$

$$MAX(BT_{10.4})_{3 \times 3} - BT_{10.4} - 3 \times \gamma \times \sigma_{3 \times 3}(BT_{10.4}) < 4.1 (Land) \quad (4)$$

여기서 $BT_{10.4}$ 3×3 화소의 밝기온도 최대값 (MAX), 표준편차 (σ), 기온감률 (γ)임

⑤ Relative BTD ($BT_{10.4} - BT_{12.3}$) test

$$(BT_{10.4} - BT_{12.4}) - (BBT_{10.4} - BBT_{12.4}) > 0.7 (ocean)$$

$$(BT_{10.4} - BT_{12.4}) - (BBT_{10.4} - BBT_{12.4}) > 1.0 (Land) \quad (5)$$

⑥ cirrus water vapor test

$$CORR(BT_{10.4}, BT_{7.4})_{3 \times 3} > 0.95 \quad (6)$$

여기서 CORR은 상관계수를 의미함

⑦ Spatial uniformity test

$$\sigma_{3 \times 3}(BT_{10.4}) > 2\% * MEAN_{3 \times 3}(BT_{10.4}) (Ocean)$$

$$\sigma_{3 \times 3}(BT_{10.4}) > 3\% * MEAN_{3 \times 3}(BT_{10.4}) (Land) \quad (7)$$

$$\sigma_{3 \times 3}(\rho_{0.86}) < 2\% \quad (8)$$

여기서 $MEAN_{3 \times 3}$ 는 3×3 화소의 평균을 의미함

⑧ snow/ice test

$$NDSI = \frac{\rho_{ch4} - \rho_{ch5}}{\rho_{ch4} + \rho_{ch5}} < 0.4 \quad (9)$$

여기서 NDSI는 Normalized Difference Snow Index를 의미함

구름을 포함하고 있는 화소의 제거를 위하여 가시채널의 반사도와 적외채널의 밝기온도 (3×3 화소) 표준편차의 히스토그램 분석을 통해 결정된 경계값을 사용하였

다 (그림 2.5.1 참조).

청천 화소의 각 채널별 위성자료는 주로 디지털 넘버(DN) 또는 복사량(radiance)의 형태이며 주요 입력 자료로 사용된다. 이 경우 가시채널 복사량은 반사도로 전환하고 적외채널 복사량은 밝기온도로 전환하여 사용된다 (표 2.3.1, 그림 2.5.2 참조). 각 화소별 위경도 자료와 위성과 태양사이의 기하정보(zenith angle, azimuth angle)와 위성이 관측한 복사량에 대한 Q/C flag가 사용된다. 에어로졸 탐지의 대상은 대기 에어로졸을 황사와 화산재 및 미세먼지(연무) 타입으로 크게 3 종류로 대분류하며 산출과정은 주로 각 채널별 자료를 이용한 경계값 테스트 (threshold test) 및 화소별 균일화 테스트 (spatial uniformity test)를 사용한다. 일련의 테스트에 사용되는 경계값은 위성 채널별 특성 및 환경조건에 따라 달라질 수 있으므로 천리안위성 2A호 위성의 특성에 맞는 경계값 조건을 확립한 후 ADPS 알고리즘에 적용된다.

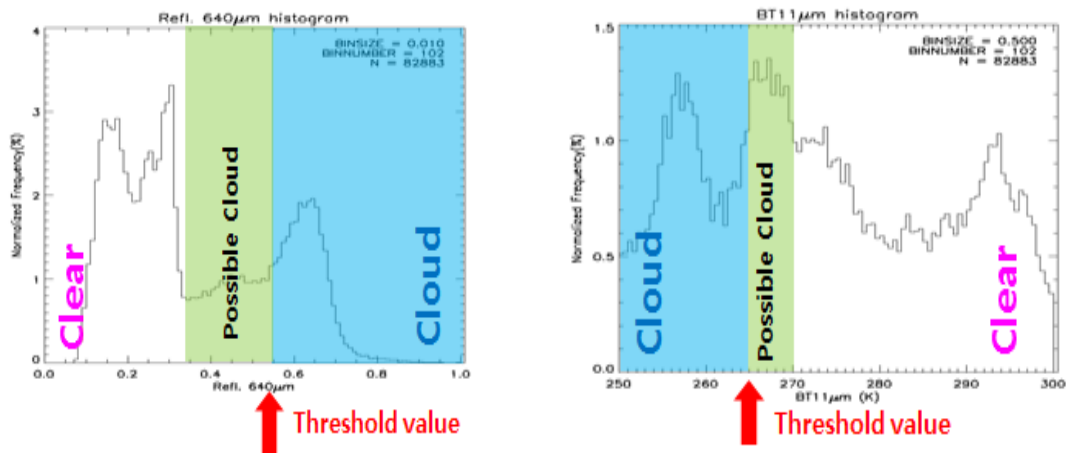


그림 2.5.1. 구름제거 기준 설정 경계값 결정을 위한 (좌) 0.64 μm 에서의 반사도, (우) 11 μm 의 밝기온도의 히스토그램.

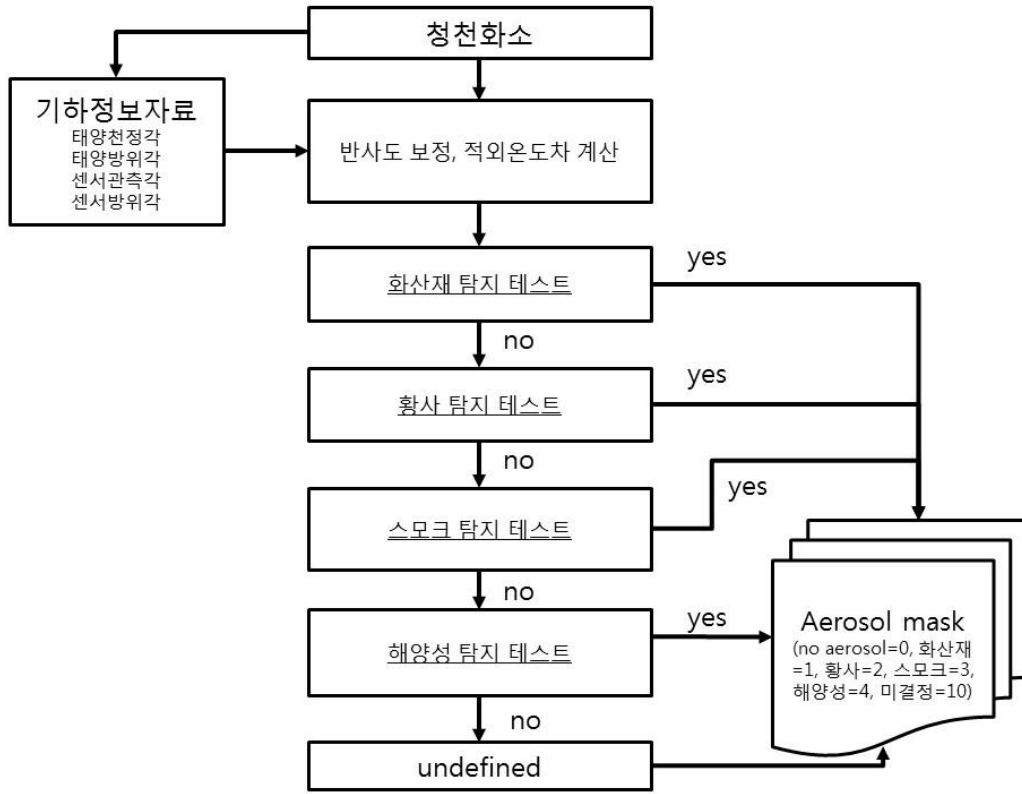


그림 2.5.2. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS)를 위한 자료처리 과정

2.5.2 에어로졸 종류 구분 테스트

에어로졸 종류 구분을 위하여 사용한 테스트는 주로 적외채널차(BTD)와 반사도 비에 대한 경계값 테스트가 사용되며 각 변수의 정의는 다음과 같다.

$$BTD_{10.4-12.3} = BT_{10.4} - BT_{12.3} \quad (10)$$

$$BTD_{8.6-10.4} = BT_{8.6} - BT_{10.4} \quad (11)$$

$$BTD_{11.2-10.4} = BT_{11.2} - BT_{10.4} \quad (12)$$

$$BTD_{3.9-10.4} = BT_{3.9} - BT_{10.4} \quad (13)$$

$$BTR_{\frac{10.4}{8.6}} = \frac{BT_{10.4}}{BT_{8.6}} \text{ \& } BBTR_{\frac{10.4}{8.6}} = \frac{BBT_{10.4}}{BBT_{8.6}} \quad (14)$$

$$BTR_{\frac{10.4}{12.3}} = \frac{BT_{10.4}}{BT_{12.3}} \text{ \& } BBTR_{\frac{10.4}{12.3}} = \frac{BBT_{10.4}}{BBT_{12.3}} \quad (15)$$

$$TVAP = 60 + 10 (BTD_{12.3-10.4}) + 3 (BTD_{3.9-10.4}) \quad (16)$$

$$L_{3.9} = \text{Blackbody} (BT_{10.4}, 3.9\mu m) \quad (17)$$

$$\rho_{3.9} = \frac{P_{3.9} - L_{3.9}}{F_0(3.9\mu m) \times \cos\theta_0 - L_{3.9}} \quad (18)$$

$$R_{3.9/0.68} = \frac{\rho_{3.9}}{\rho_{0.68}} \quad (19)$$

여기서 BT는 적외채널의 밝기온도를 의미하고 BTD는 적외채널들의 밝기온도차 그리고 BTR은 적외채널들의 밝기온도비이다. BBT는 배경장의 적외채널의 밝기온도이고 배경장은 동일시각에 관측된 이전 30일 적외채널 자료의 평균 밝기온도이며 지표면의 밝기온도를 의미한다. 이에 대한 밝기온도의 차이와 비는 각각 BBTD, BBTR이다. L은 적외채널의 밝기온도 (BT10.4)를 흑체복사로 가정하였을 때 3.9 μm 채널의 복사량이고, $F_0(3.9\mu m)$ 는 3.9 μm 채널의 대기의 복사량이며 θ_0 는 태양의 천정각을 의미한다. $P_{3.9}$ 는 3.9 μm 채널의 관측된 복사량이고 ρ 는 반사도로서 3.9 μm 의 반사도 ($\rho_{3.9}$)는 대기의 흑체복사량이 보정된 지표면에 도달하는 복사량에 대하여 위성에서 관측되는 복사량으로 산출할 수 있으며 R은 가시채널의 반사도비이다. Ellrod et al. (2003)은 TVAP 방법을 제안하였고 3개의 열적외채널 자료를 이용하여 화산재를 탐지할 수 있음을 보고하였으며 본 알고리즘에서는 3.8, 10.4, 12.3 μm 적외채널을 이용하여 화산재 탐지의 경계값을 최적화하였다.

황사는 주간과 야간을 구분하여 수행하며 미세먼지 탐지는 주간에만 탐지를 한다. 기본적으로 주간의 경우 가시광선 및 근적외선 채널의 관측과 적외복사 영역의 채널을 같이 활용하여 탐지의 정확도를 높이고, 야간에는 가시 및 근적외 채널 정보를 활용할 수 없으므로 적외복사 채널 정보만을 활용하여 황사탐지를 수행한다. Hansell et al.(2007)은 8.6, 11.2, 12.3 μm 를 조합하여 새로운 황사 지수, D^* 를 제안하였으며, 다음과 같이 정의한다.

$$D^* = \exp \left\{ \frac{[(BTD_{11-12})-C]}{[(BTD_{8.6-11})-E]} \right\} \quad (20)$$

여기서 D^* 를 계산하기 위해 사용된 상수 C, E는 각각 -0.5, 15로 둔다 (Hansell et al., 2007). D^* 는 적외채널만을 이용한 조합으로 주간에서 야간까지 황사 탐지에 유용하게 사용하여 에어로졸 유형을 구분하는데 정확도를 높일 수 있다 (천리안위성 2A호 D^* 산출물 제공).

미리 정의된 변수를 이용하여 에어로졸 종류 구분을 위한 단계별 테스트와 최신 황사, 미세먼지, 화산사례를 바탕으로 다음과 같이 계수를 설정하였다.

(1) 화산재 탐지 (Ash detection)

$$BT_{10.4} < 280 \text{ (daytime)}, BT_{10.4} < 290 \text{ (nighttime)} \quad (21)$$

$$BTD_{10.4-12.3} < -1.0 \text{ (daytime)}, BTD_{10.4-12.3} < -2.0 \text{ (nighttime)} \quad (22)$$

$$BTD_{8.6-10.4} < 0.0 \text{ (daytime)}, BTD_{8.6-10.4} < 0.0 \text{ (nighttime)} \quad (23)$$

$$BTD_{8.6-12.3} < 5.0 \text{ (daytime)}, BTD_{8.6-12.3} < 5.0 \text{ (nighttime)} \quad (24)$$

$$3.0 < BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < 4.0 \text{ (daytime)}, \\ 2.0 < BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < 3.0 \text{ (nighttime)} \quad (25)$$

$$0.0 < BTD_{8.6-10.4} - BBT_{8.6-10.4} < 2.0 \text{ (daytime)}, \\ -1.3 < BTD_{8.6-10.4} - BBT_{8.6-10.4} < 0.0 \text{ (nighttime)} \quad (26)$$

$$1.0 < BTD_{3.9-10.4} < 20.0 \text{ (daytime, nighttime)} \quad (27)$$

$$1.0 < BTD_{3.9-12.3} < 30.0 \text{ (daytime, nighttime)} \quad (28)$$

$$TVAP < 75K \text{ (daytime)}, TVAP < 70K \text{ (nighttime)} \quad (29)$$

$$R_{3.9/0.66} > 0.1 \text{ (daytime only)} \quad (30)$$

(2) 황사 탐지 (dust detection)

* 육상 (Land)

$$BT_{10.4} > 243 \text{ (daytime)}, BT_{10.4} > 243 \text{ (nighttime)} \quad (31)$$

$$BTD_{10.4-12.3} < 0.5 \text{ (daytime)}, BTD_{10.4-12.3} < 0.5 \text{ (nighttime)} \quad (32)$$

$$BTD_{8.6-10.4} > -0.8 \text{ (daytime)}, BTD_{8.6-10.4} > -0.8 \text{ (nighttime)} \quad (33)$$

$$BTD_{11.2-10.4} > 0.5 \text{ (daytime)}, BTD_{11.2-10.4} > 0.5 \text{ (nighttime)} \quad (34)$$

$$BTR_{10.4-12.3} < 1.0005 \text{ (daytime)}, BTR_{10.4-12.3} < 1.0005 \text{ (nighttime)} \quad (35)$$

$$BTR_{10.4-8.6} > 1.025 \text{ (daytime)}, BTR_{10.4-8.6} > 0.99 \text{ (nighttime)} \quad (36)$$

$$BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < -0.6 \text{ (daytime)}, \\ BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < -0.5 \text{ (nighttime)} \quad (37)$$

$$D^* > 0.93 \text{ (daytime)}, D^* > 0.93 \text{ (nighttime)} \quad (38)$$

$$BTD_{10.4-12.3} < BBTR_{10.4-12.3} \quad (39)$$

$$BTR_{10.4-8.6} < BBTR_{10.4-8.6} \quad (40)$$

* 해상 (Ocean)

$$BT_{10.4} > 243 \text{ (daytime)}, BT_{10.4} > 243 \text{ (nighttime)} \quad (41)$$

$$BTD_{10.4-12.3} < 0.5 \text{ (daytime)}, BTD_{10.4-12.3} < 0.5 \text{ (nighttime)} \quad (42)$$

$$BTD_{8.6-10.4} > -0.9 \text{ (daytime)}, BTD_{8.6-10.4} > -0.9 \text{ (nighttime)} \quad (43)$$

$$BTD_{11.2-10.4} > 0.5 \text{ (daytime)}, BTD_{11.2-10.4} > 0.5 \text{ (nighttime)} \quad (44)$$

$$BTR_{10.4-12.3} < 1.002 \text{ (daytime)}, BTD_{10.4-12.3} < 1.002 \text{ (nighttime)} \quad (45)$$

$$BTR_{10.4-8.6} > 0.99 \text{ (daytime)}, BTD_{10.4-8.6} > 0.99 \text{ (nighttime)} \quad (46)$$

$$BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < -1.0 \text{ (daytime)},$$

$$BTD_{10.4-12.3} - BBT_{10.4-12.3} < -1.0 \text{ (nighttime)} \quad (47)$$

$$D^* > 0.93 \text{ (daytime)}, \quad D^* > 0.93 \text{ (nighttime)} \quad (48)$$

$$BTD_{10.4-12.3} < BBTR_{10.4-12.3} \quad (49)$$

$$BTR_{10.4-8.6} < BBTR_{10.4-8.6} \quad (50)$$

(3) 미세먼지 탐지 (Haze detection, only daytime)

$$\rho_{0.47} > 0.07 \quad (51)$$

$$\rho_{0.86} > 0.07 \quad (52)$$

$$R_{0.47/0.68} > 0.90 \text{ (land only)} \quad (53)$$

$$R_{0.68/0.86} > 1.15 \text{ (ocean only)} \quad (54)$$

ADPS 산출물 알고리즘에서 사용되는 경계값들은 최적화를 위해 변경될 수 있으며 각 경계값들은 테스트를 통해 최종 선정하였다.

2.6. 산출물

천리안위성 2A호 ADPS 산출물은 GK-2A/AMI 관측영역에 대해 2 km × 2 km의 공간해상도와 약 10분 간격의 시간해상도로 산출된다. 에어로졸 탐지는 구름이 제거된 화소에 대하여 화산재, 황사 및 미세먼지 탐지과정을 수행하여 해당 에어로졸 타입에 대한 정보를 제공한다. ADPS 산출물은 이후 에어로졸 광학두께 및 화산재 특성정보 (화산재양, 고도) 산출을 위한 입력 자료로 활용된다. ADPS 산출물은 에어로졸의 종류에 따른 에어로졸 형태별 정보와 Q/C flag를 생산한다.

표 2.6.1. 천리안위성 2A호 에어로졸· 황사 탐지 (ADPS) 산출물 설명

이름	설명
----	----

Aerosol Detection ProductS (ADPS)	황사, 화산재, 미세먼지, 기타 미량 에어로졸에 대한 화소별 정보		
	Type	0	불확실한 에어로졸 (undefined or mixed, etc)
		1~2	야간 화산재탐지 (Night ash)
			주간 화산재탐지 (Daytime ash)
		3.00~3.99	황사 (Dust)
		5.00~5.99	미세먼지 (Haze)
		6	청천 (clean)
		-999	결측 (No data)
Q/C flag	자료처리 과정 중 발생한 QC요소 기록 (0:산출불능, 1:나쁨, 2:보통, 3:좋음)		
	flag	Conditions	
	0	None : sunglint 영역, 영역 외, 구름 판별시, 에어로졸 탐지불능	
	1	Low confidence : CLD flag L2 구름판별시 ADPS 탐지(etc)	
	2	Medium Low confidence : CLD flag L2 구름판별시 ADPS 탐지 (화산재, 미세먼지)	
	3	Good confidence : CLD L2 flag 청천시 ADPS 탐지, CLD L2 구름판별시 ADPS 탐지(황사)	

3. 자료 및 검증

3.1 입력자료 및 검증자료

에어로졸 탐지에 필요한 입력자료는 천리안2A호 L1B 16개 채널자료가 사용되었다.

표 3.1.1. 천리안위성 2A호 AMI 채널의 설명

GK-2A/AMI	Band Name	Band Width	Spatial Resolution (km)
1 (blue)	VIS0.47	0.075	1
2 (green)	VIS0.51	0.063	1
3 (red)	VIS0.64	0.125	0.5
4 (VIS)	VIS0.86	0.088	1
5 (NIR)	NIR1.37	0.030	2
6 (NIR)	NIR1.6	0.075	2
7 (IR)	SWIR3.8	0.500	2
8 (IR)	WV6.3	1.038	2
9 (IR)	WV6.9	0.500	2
10 (IR)	WV7.3	0.688	2
11 (IR)	IR8.7	0.500	2
12 (IR)	IR9.6	0.475	2
13 (IR)	IR10.5	0.875	2
14 (IR)	IR11.2	1.000	2
15 (IR)	IR12.3	1.250	2
16 (IR)	IR13.3	0.75	2

천리안위성 2A호 ADPS 산출물 중 화산재 탐지의 결과와 검증 자료는 극궤도 위성에서 산출하고 있는 화산재탐지 산출물인 MetOp-A/IASI의 이산화황 농도, 높이와 CALIPSO의 에어로졸 고도 산출물과 검증비교를 수행하였다. 또한 황사, 미세먼지 탐지 산출물은 지상관측자료인 AERONET (Aerosol Robotic Network), 극궤도 위성인 MODIS L2 (MOD04, MYD04), 등 위성 산출물 자료를 활용하여 에어로졸 탐지 유무에 대한 검증에 활용하였다

3.2 검증 방법

천리안위성 2A호 ADPS 산출물의 정확도 검증을 위한 정성적인 방법은 위성 산출물의 결과의 정확도 여부를 장면 분석적인 측면에서 결과물의 정확도 성공 여부를 판단

하게 된다. 여기서 ADPS 산출물은 본 연구에서 개발된 에어로졸 탐지 산출물이고 검증 자료는 위에서 언급된 타 위성자료로서 각각의 비교를 통하여 검증량 (POD, FAR, PDFD, PC, CSI)을 계산한다.

3.3 정성적 결과

천리안위성 2A호 ADPS 산출물은 청천 대기 중에 존재하는 에어로졸의 종류별 요소를 관심지역내의 지도상에 표출한다. 최초 개발 버전에서는 화산재와 황사, 미세먼지(연무) 및 불확실한 에어로졸로 구분되며 지도 표출시 각기 다른 색으로 표현하여 구분한다 (불확실한 에어로졸은 표출하진 않지만 에어로졸 광학두께에는 계산하여 표출함).

3.3.1 화산 사례

3.3.1.1 필리핀 타알 (Taal) 화산 (2020년 1월 13일)

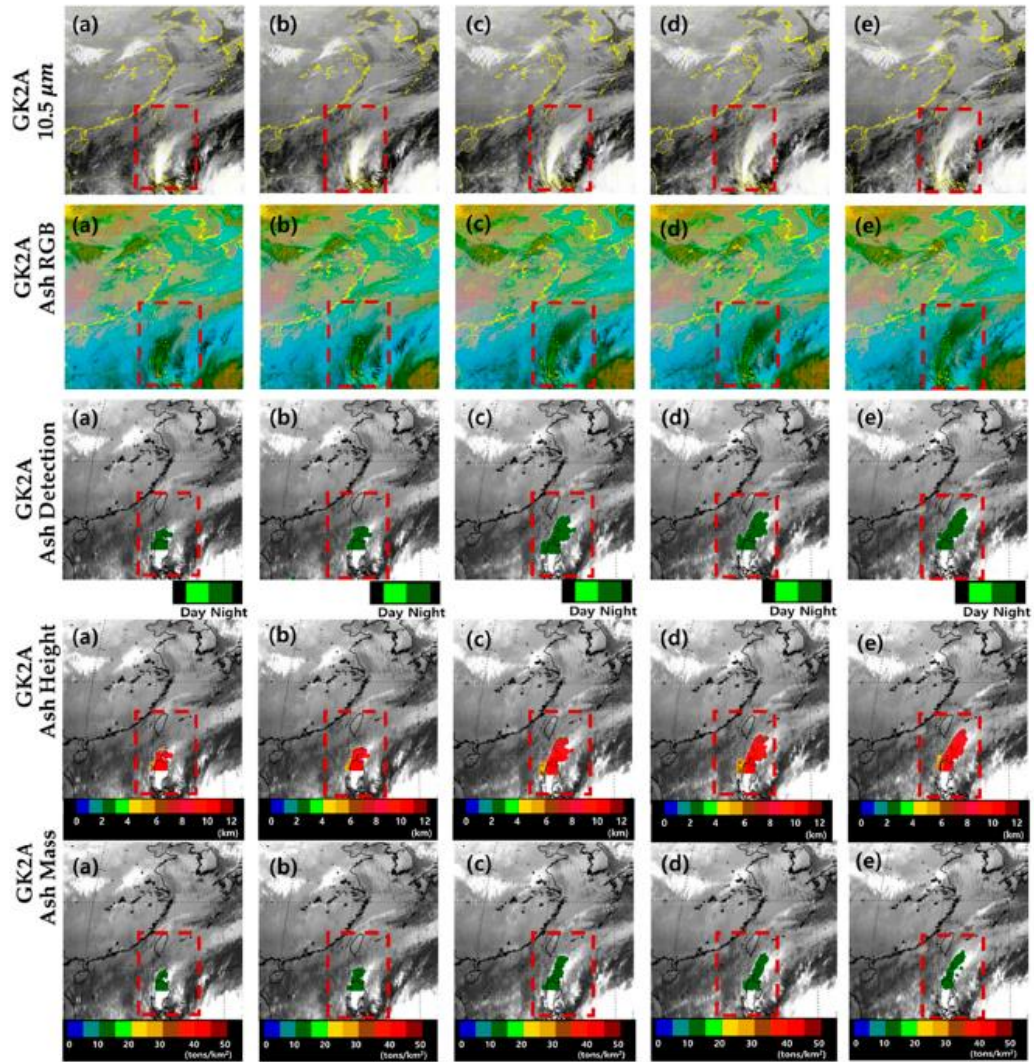


그림 3.3.1. 2020년 1월 12일 필리핀 타알 (Taal)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산재 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재 탐지/양/고도 비교 결과 (a) 14:00 UTC (b) 15:00 UTC (c) 16:00 UTC (d) 17:00 UTC (e) 18:00 UTC

2020년 1월 12일 필리핀에 위치한 타알 (Taal) 화산에서 폭발이 일어났다. 특히 필리핀 타알 화산 근처에 큰 호수인 크레이터 호 (Crater Lake)가 위치하고 있어 다량의 수증기 유입으로 인하여 더 큰 폭발을 일으켰다. 기존의 화산재 탐지는 야간에 해상만 탐지하여 오탐지를 줄이는 방향으로 개발하였으나, 개선된 버전은 주간 뿐만 아니라 야간에도 육상에 화산재를 탐지할 수 있게 수정하여 보다 빠르게 모니터링할 수 있게 개선하였다. 그림 3.3.1는 2020년 1월 12일 필리핀 타알 화산을 중심으로

천리안위성 2A호의 10.5 μm 채널과 화산재 RGB, 개선된 화산재 탐지 (ADPS)를 비교 분석한 결과이다. 화산 폭발 이후의 모습으로 (a) 14:00 UTC 야간임에도 불구하고 육상과 해상에 동시에 화산이 탐지되었고, 폭발 된 후 1시간마다 모니터링 한 결과 화산재 구름이 퍼져나가는 모습을 보다 빠르게 관측할 수 있었고, 연속성을 보여주었다.

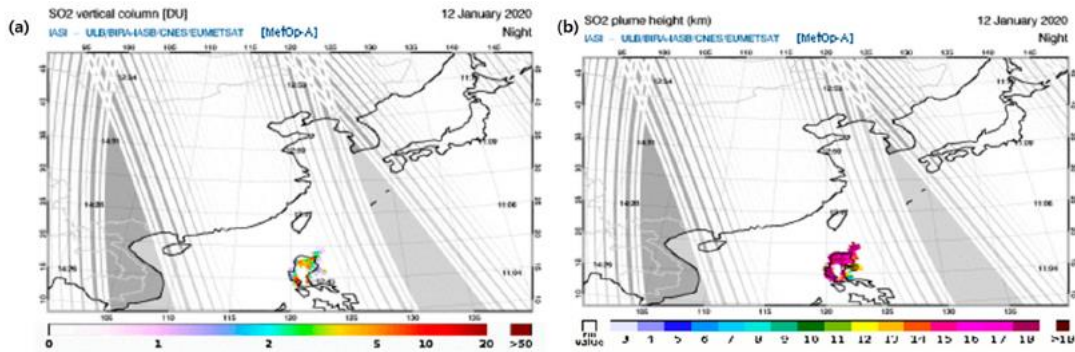


그림 3.3.2. 2020년 1월 12일 필리핀 타알 (Taal)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 ADPS의 화산재 탐지 비교 검증 결과 (a) MetOp-A/IASI 이산화황 농도 (b) MetOp-A/IASI 이산화황 고도

정량적 검증으로는 화산이 폭발할 때 발생하는 이산화황 농도와 고도의 결과를 이용하여 타알 화산의 정확도를 확인하였다. 화산이 폭발할 당시 필리핀 지역을 지나가 관측을 하여야만 하기 때문에, 그 시간에 지나간 위성 중에서 극궤도 위성인 MetOp-A/IASI의 이산화황 농도와 고도를 이용하여 검증을 수행하였다. 이산화황은 필리핀 타알 화산을 중심으로 북동쪽으로 퍼져나가는 모습을 확인하였으며 농도는 3~10 DU (Dobson Unit)으로 관측되었다. 또한 이산화황 고도는 12~19 km로 나타내었는데 천리안위성 2A호의 화산재 고도 역시 12 km로 관측되어 비슷한 값을 나타내었다.

3.3.1.2 일본 니시노시마 (Nishinoshima) 화산 (2020년 7월 31일)

2020년 7월 30일부터 8월 2일까지 일본에 위치한 니시노시마 (Nishinoshima) 화산에서 폭발이 일어났다. 전의 필리핀 타알 화산사례와는 다르게 폭발이 크게 일어나지 않았으나 지속시간이 긴 화산이었다. 니시노시마는 동경에서 남-남동쪽으로 1000 km 떨어진 곳에 위치하고 있으며 과거뿐만 아니라 현재에도 화산이 활발하게 발생하고 있는 곳이다.

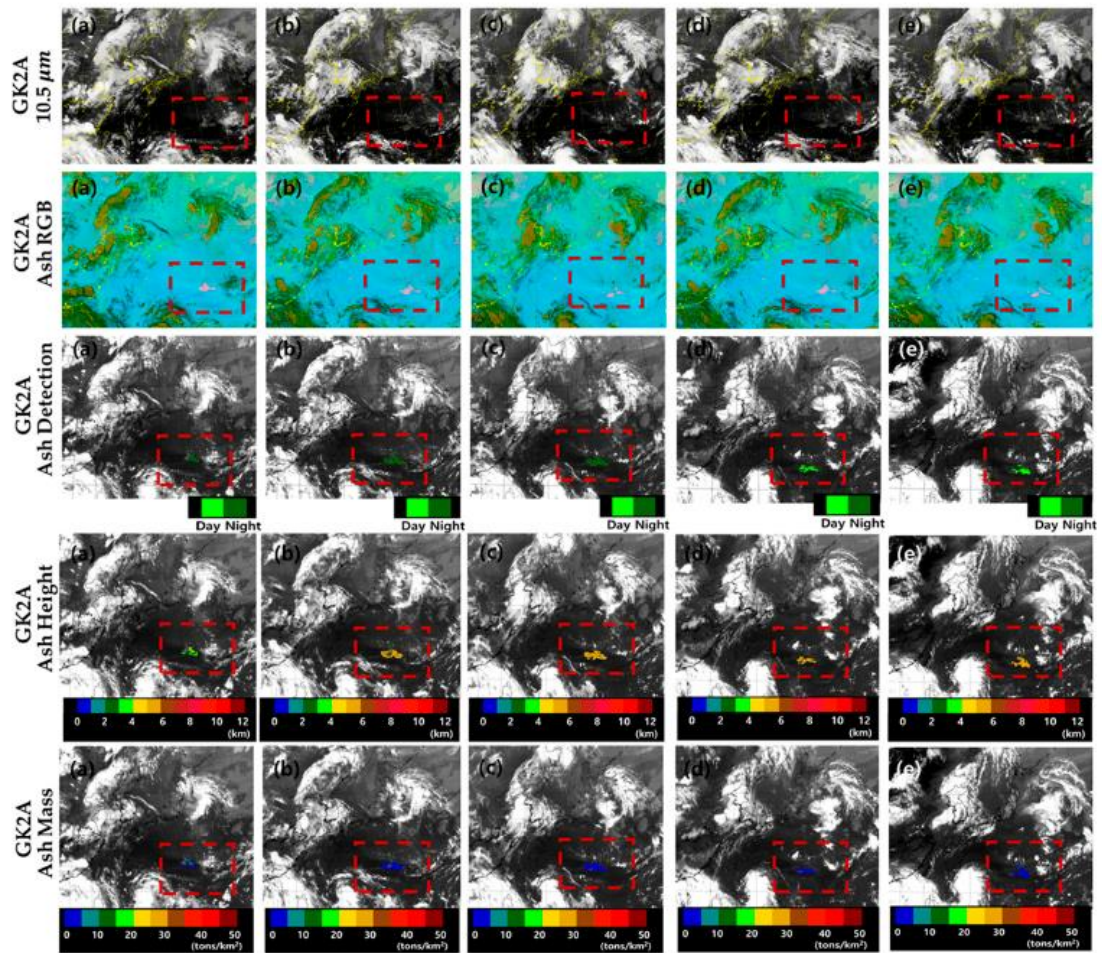


그림 3.3.3. 2020년 7월 31일부터 8월 2일까지 일본 니시노시마 (Nishinoshima)화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산재 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재 탐지 비교 결과 7월 31일 (a) 12:00 UTC (b) 16:00 UTC (c) 20:00 UTC, 8월 1일 (d) 00:00 UTC (e) 04:00 UTC

화산 폭발이 4일동안 지속되었고, 수증기와 화산재구름과 섞여서 약하게 방출하여 그 곳에서 삼각형 모양으로 구름을 형성하여 ‘삼각형 화산구름’이라는 특성을 나타내 기도 하였다. 7월 31일 12:00 UTC에 화산을 탐지하기 시작할 때는 약한 강도로 탐지되었으나 시간이 가면 갈수록 화산재 탐지의 픽셀이 증가하였다. 기존 알고리즘 버전에는 화산재 탐지의 주간과 야간의 경계값을 동일하게 사용하였으나, 주간과 야간의 연속성을 높이기 위하여 주간과 야간의 경계값을 이분화 하여 정확도를 높이기 위하여 개선하였다. 또한 천리안위성 2A호 화산재 고도 결과 4~6 km의 범위로 관측되었고, 화산재 양도 0~5 tons/km^2 으로 적은 양을 방출하여 강한 폭발의 화산보다는 약한 폭발을 가진 화산이라는 것을 확인할 수 있었다.

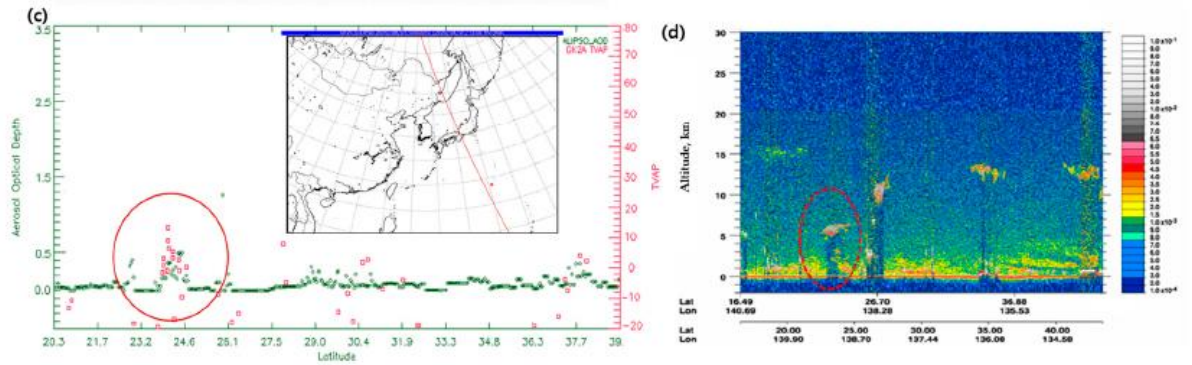


그림 3.3.4. 2020년 7월 30일부터 8월 2일까지 일본 니시노시마 (Nishinoshima) 화산 폭발시, 천리안위성 2A호 10.5 μm 와 화산재 RGB (Ash RGB), ADPS의 화산재 탐지 비교 결과 7월 31일 (c) CALIPSO 에어로졸 광학두께 (Column_Optical_Depth_Aerosols_532)와 천리안위성 2A호 화산재탐지 지수 (TVAP)의 시공간 일치를 통한 정량적 검증 (d) CAPLISO 위성의 532 nm total attenuated backscattering (CAL_LID_L2_05kmAPro-V3-40.2020-08-01T04-06-05ZD) 결과 (Red Dotted Circle)

일본 니시노시마 화산의 정량적 검증으로는 CALIPSO 위성을 이용하여 수행하였다. CALIPSO 위성 역시 극궤도 위성으로 그 지역을 화산 폭발할 당시 (2020년 8월 1일 04:06 UTC 장면 분석에 이용) 지나가야만 관측이 가능하다. (c)는 CALIPSO 에어로졸 광학두께 (Column_Optical_Depth_Aerosol_532)의 자료와 천리안위성 2A호의 화산재 탐지의 대표적인 지수인 TVAP를 계산하여 시공간 일치를 통하여 분석한 결과를 나타내었다. 에어로졸 광학두께의 범위는 0~0.5로 낮은 농도를 나타내었으나 화산재 탐지 지수도 함께 올라가는 경향성을 나타내어 AOD의 농도는 화산재로 인한 농도임을 유추할 수 있었다. 또한 (d)는 CALIPSO/CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization)에서 관측된 total attenuated backscattering 지수로 똑같은 위치에서 높은 에어로졸의 후방산란을 나타내었고, 5 ~ 6.5 km의 위치에서 에어로졸의 존재를 통하여 천리안위성 2A호에서 관측된 화산재 고도와 비슷한 값을 보여 화산재 탐지의 예보에 있어서 의미 있는 결과라고 할 수 있다.

3.3.2 황사 사례

3.3.2.1 봄에 발생한 강한 황사 (2021년 4월 15일)

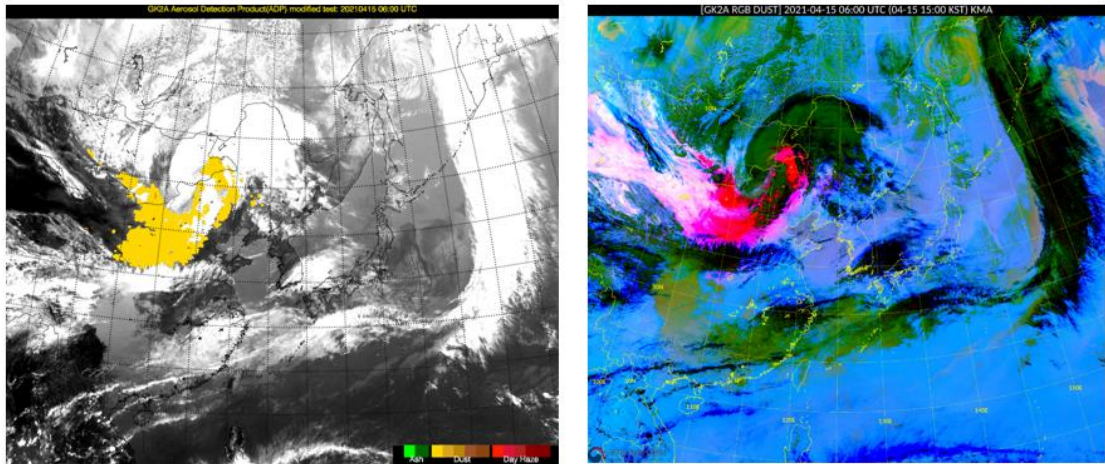


그림 3.3.5. 2021년 4월 15일 06:00 UTC (15:00 KST) (왼) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교 분석

2021년 4월 15일 06:00 UTC (15:00 KST)에 개선된 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS) 결과와 황사 RGB의 비교 분석 결과이다. 황사 한반도 유입 시기와 예측 농도(모델 기반)는 14일 고비사막에서 발원하여 발해만을 경유하여 한반도에 유입되었으며 KIM-ADAM3에서 농도가 다소 높을 것이라고 예상하였다. 황사 산출물은 노란색으로 표현하고 있으며 황사 (Dust) RGB는 진한 분홍색으로 표현하고 있다. 동아시아 지역을 비교하여 분석한 결과 황사 탐지한 픽셀과 황사 RGB의 진한 분홍색이 동일한 위치에서 관측되고 있으며, 이전에 구름에 의해 제거되어 탐지하지 못했던 황사 픽셀이 구름과 구분되어 잘 탐지되고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3.2.2 봄에 발생한 강한 황사 (2021년 4월 26일)

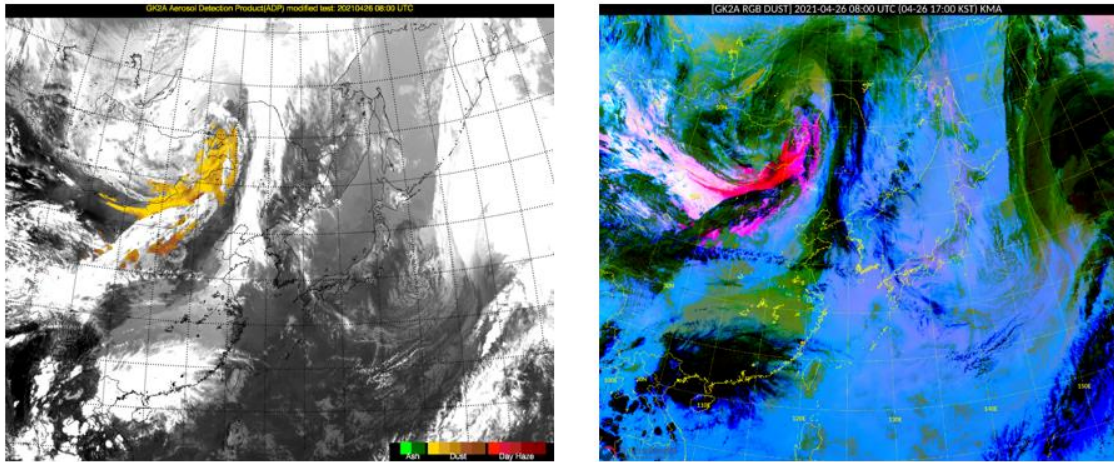


그림 3.3.6. 2021년 4월 26일 08:00 UTC (17:00 KST) (왼) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교 분석

2021년 4월 26일 08:00 UTC (17:00 KST)에 개선된 천리안위성 2A호 에어로졸·황사 탐지 (ADPS) 결과와 황사 RGB의 비교 분석 결과이다. 황사 한반도 유입시기 및 예측농도 (모델기반)은 25일부터 몽골 남부와 중국 북부 고비사막에서 황사가 발원하였고, 특히 26일 중국 북부지역에서도 황사가 발원하였다. 1차적으로 지나가는 황사는 남서, 북동 방향의 띠가 북서쪽에서 남동쪽으로 12시간 정도 이동하였으며, 한반도 중부 상층을 지나고, 일부 지역에서는 하층까지도 영향을 미쳤다. 천리안위성 2A호 황사 산출물은 노란색으로 표현하고 있으며 황사 (Dust) RGB는 진한 분홍색으로 표현하고 있다. 동아시아 지역을 비교하여 분석한 결과 황사탐지한 픽셀과 황사 RGB의 진한 분홍색이 동일한 위치에서 관측되고 있으며, 이전에 구름에 의해 탐지되지 않았던 황사 픽셀도 구름과 구분되어 잘 탐지되고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3.2.3 봄에 발생한 강한 황사 (2021년 5월 7일)

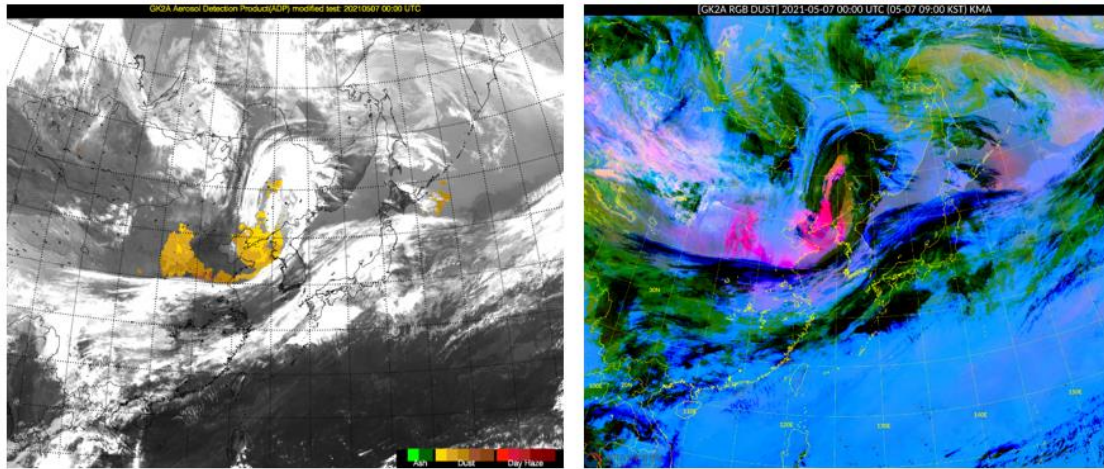


그림 3.3.7. 2021년 5월 7일 00:00 UTC (09:00 KST) (왼) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교 분석

2021년 5월 7일 00:00 UTC (09:00 KST)에 개선된 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 결과와 황사 RGB의 비교 분석 결과이다. 5월 4일 중국 북부에서 발원한 황사는 6일부터 한반도에 영향을 주었으며, 특히 6일에는 몽골 남부와 중국 북부(고비사막)에서 황사가 발원하였다. 특히 7일은 서해 5도를 시작으로 서해안와 한반도 서쪽 지역을 지나면서 영향을 주었다. 천리안위성 2A호 황사 산출물은 노란색으로 표현하고 있으며 진할수록 강한 황사를 나타내는 반면 황사 (Dust) RGB는 진한 분홍색으로 표현하고 있다. 동아시아 지역을 비교하여 분석한 결과 황사 탐지한 픽셀과 황사 RGB의 진한 분홍색이 동일한 위치에서 관측되고 있으며, 육상과 해상의 불연속이 해소되어 연속적으로 나타나고 있다.

3.3.3 미세먼지 사례

3.3.3.1 봄에 발생한 미세먼지 사례 (2020년 3월 17일)

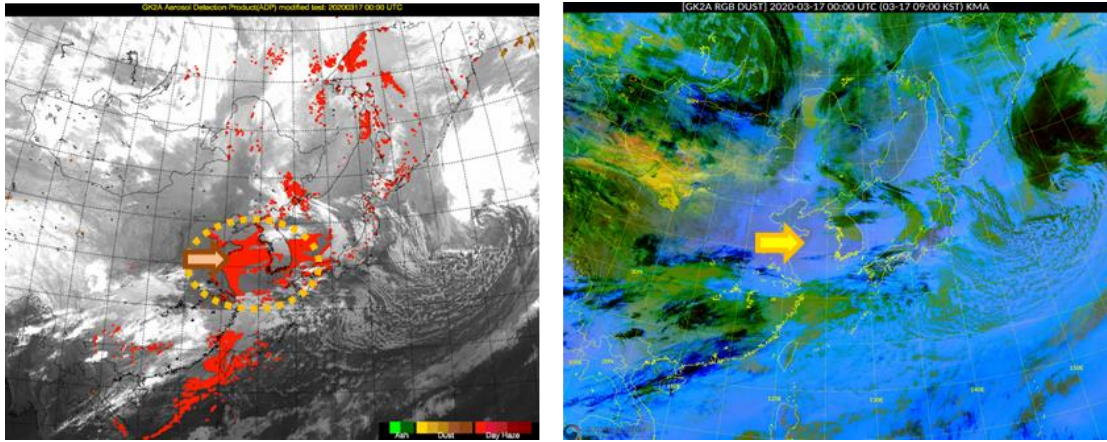


그림 3.3.8. 2020년 3월 17일 00:00 UTC (09:00 KST) (왼) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교 분석

2020년 3월 17일 00:00 UTC (09:00 KST)에 개선된 천리안위성 2A호 에어로졸 (미세먼지) 탐지 (ADPS) 결과와 황사 RGB의 비교 분석 결과이다. ADPS 결과는 3월 17일 중국에서 발생한 연무를 서해안을 거쳐 한반도에 영향을 주었고, 황사 RGB는 연한 분홍색으로 나타나 동일한 위치에서 미세먼지 탐지의 신호를 나타내었다.

3.3.3.2 봄에 발생한 미세먼지 사례 (2020년 4월 20일)

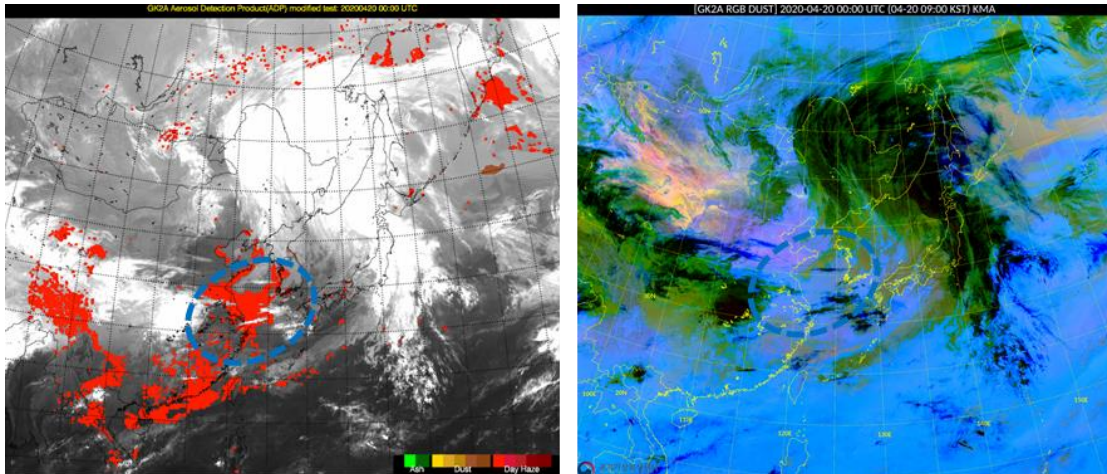


그림 3.3.9. 2020년 4월 20일 00:00 UTC (09:00 KST) (왼) 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) (오) 천리안위성 2A호 황사 (Dust) RGB 비교 분석

2020년 4월 20일 00:00 UTC (09:00 KST)에 개선된 천리안위성 2A호 에어로졸 (미세먼지) 탐지 (ADPS) 결과와 황사 RGB의 비교 분석 결과이다. ADPS 결과는 4월 20일 중국 남부에서 발생한 미세먼지를 서해안에 거쳐 한반도에 영향을 주었고, 황사 RGB는 연

한 분홍색으로 나타나 동일한 위치에서 미세먼지 탐지의 신호를 나타내었다.

3.4 정량적 검증

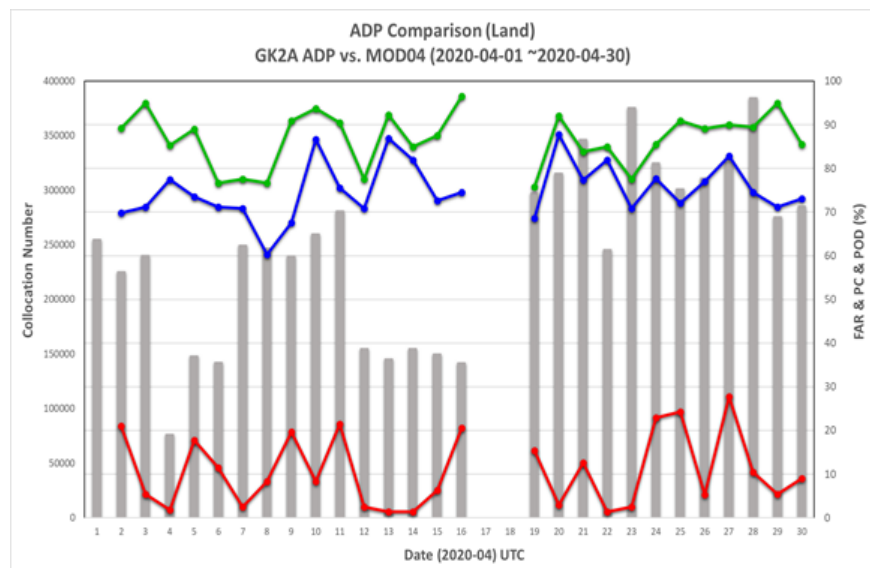
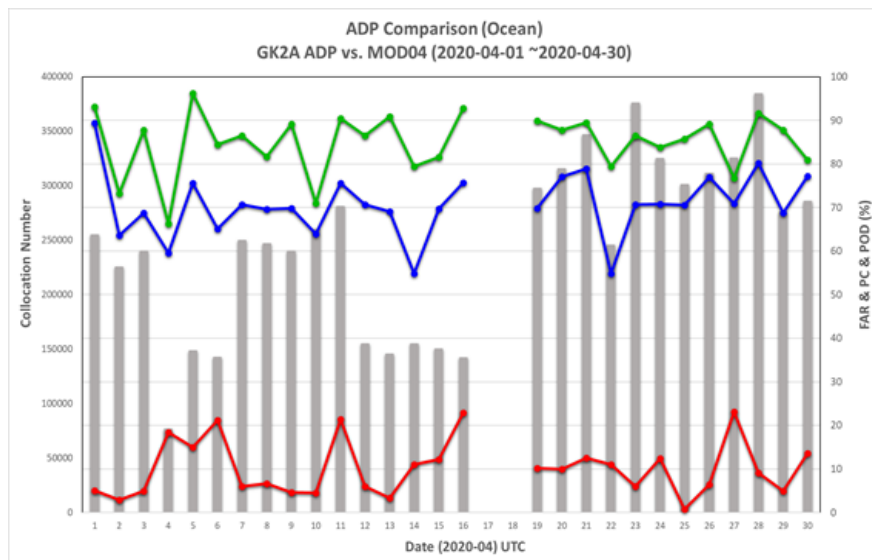
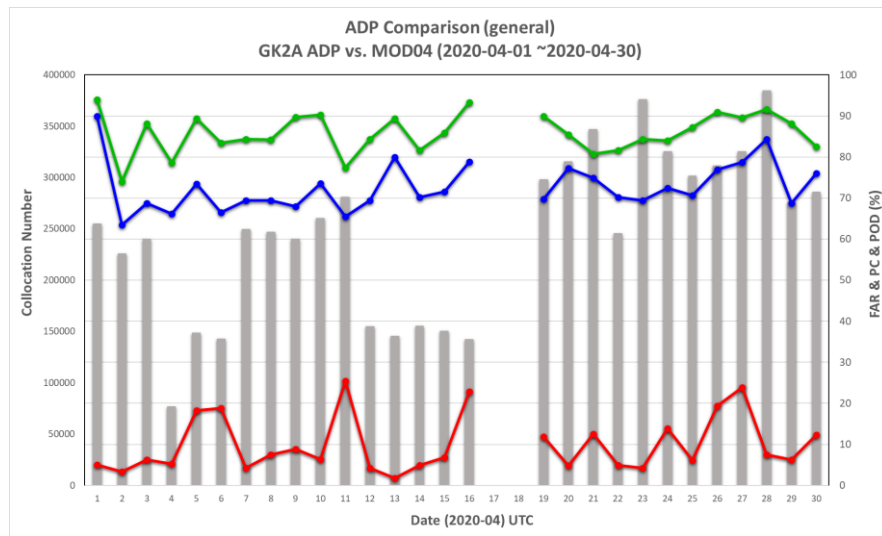


그림 3.4.1. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 산출물과 MODIS 자료와의 검증 결과 (2020년 4월)

정량적 검증은 MODIS L2 AOD 자료를 검증자료를 이용하여 장기간 검증을 수행하였다. 정량적 지표는 POD, FAR, PC와 시공간 일치 픽셀갯수를 표에 나타내었고, 육·해상 구분없이 (general), 육상 (Land), 해상 (Ocean)을 나누어 결과를 그림 3.4에 나타내었다.

표 3.4.1. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 산출물과 MODIS 자료와의 검증 결과 (2020년 4월)

Period	2020.04.01.00:00~2020.04.30.23:50	
Index	Skill Score	
목표정확도	POD	0.70~0.80
	FAR	0.30~0.40
Land + Ocean	POD	0.72
	FAR	0.09
육상 (Land)	POD	0.87
	FAR	0.03
해상 (Ocean)	POD	0.77
	FAR	0.09

Terra, Aqua MODIS는 한반도에 2번을 관측하는 제한적 정보만 제공하지만 위성과의 정량적 검증결과를 비교를 통하여 많이 활용되고 있으며 정량적 목표정확도와 검증결과를 표 3.4.1에 나타내었다. 육상과 해상의 정확도 비교 결과는 육지는 87 %, 해상은 77 %로 ADPS 산출물의 목표정확도는 POD 70~80 %, FAR 30~40 %로 일부 영역의 목표정확도 만족하지만 해상의 정확도를 높이는 것이 필요하다고 분석된다.

표 3.4.2. 개선 전과 후, 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 과 MODIS 자료와의 검증 비교 결과

Period	2020.04.01.00:00~2020.04.30.23:50	
Index	Skill Score	
목표정확도	POD	0.70~0.80
	FAR	0.20~0.30
육상 (Land)	POD	0.72 (개선 전)/ 0.75 (개선 후)
	FAR	0.42 (개선 전)/ 0.11 (개선 후)
해상 (Ocean)	POD	0.60 (개선 전)/ 0.70 (개선 후)

	FAR	0.12 (개선 전)/ 0.10 (개선 후)
--	-----	---------------------------------

동일한 기간 동안 개선의 효과를 확인하기 위하여 산출물 개선 전과 후의 정량적인 검증 결과를 확인하였다 (표 3.4.2). 육상의 POD는 개선 전과 후의 차이가 미비하나 FAR의 결과가 0.42 에서 0.11로 낮아져 오탐지가 줄어드는 결과를 나타내었다. 또한 개선 전에는 해양에서 POD가 낮아 목표정확도를 달성하지 못하였으나 개선 후 0.70로 목표정확도를 만족하는 결과를 보였다. 하지만 ADPS 산출물의 검증은 ADPS 산출물의 연속 생산과 함께 지속적으로 수행될 것이며 이를 통해 산출물 검증 통계 분석 결과를 획득할 수 있을 것이다.

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

천리안위성 2A호 ADPS 알고리즘은 각 화소별 계산을 위한 충분한 메모리 확보 및 저장소의 고려가 필요하다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

타 그룹에서 산출된 구름정보 L2 자료를 이용할 경우 동일한 날짜와 시간의 자료가 존재해야 한다. 천리안위성 2A호 에어로졸·황사탐지 (ADPS) 알고리즘은 육상과 통합적으로 적용되어 컴퓨터 계산이 수행된다. 또한 향후 시간적 검사를 수행할 경우에는 이전의 시간 결과물로부터의 배경장 (GK2A-COMPADP) 정보가 필요하다.

4.3 품질 평가 및 진단

천리안위성 2A호 ADPS 산출물의 품질평가 및 진단을 위한 절차는 다음과 같다.

- 천리안위성 2A호 ADPS 산출 결과와 에어로졸 타입별 화소수의 총합 점검.
- 천리안위성 2A호 ADPS 산출 결과를 표시한 이미지의 검사를 통한 이상점 점검.
- 천리안위성 2A호 ADPS 산출 결과가 관심 영역 이외의 지역에서 결과 산출 여부 점검.
- 경계값 테스트에 사용되는 경계값에 근접하는지 여부에 대한 플래그 작성 여부 점검 (낮음=0, 중간=1, 높음=2).
- 천리안위성 2A호 ADPS 산출결과와 연속적 프로세스가 되고 있는지에 대한 연속성 점검.

4.4 예외사항 처리

예외사항으로는 주/보조 입력 자료의 입력자료 (예, L1B 자료)로서 사용 불량 및 전달 오류 시 플래그에 기록한다. 향후 cloud mask의 플래그에 따른 정확성과 오류 시 플래그에 기록한다.

4.5 검증 알고리즘

천리안위성 2A호 ADPS 산출물은 에어로졸의 타입에 대한 에어로졸 탐지 (aerosol mask)로서 현재 사용 가능한 검증용 자료는 GK2A Dust RGB 합성 영상과 MODIS AOD, AERONET 등 자료가 있다. 에어로졸 탐지영역에 대한 화소별 에어로졸 탐지의 성능은 에어로졸 화소의 탐지유무를 이분하여 검증하는 방법이 주로 활용되고 있다. 검증 알고리즘은 실시간 탐지 알고리즘과 동일한 시간에 바로 검증지수를 산출할 수 있으나 검증 자료의 수신과 검증자료수를 고려하여 일정기간의 시간지연을 고려하여 수행된다.

5. 가정 및 제한

ADPS 알고리즘에서는 다음과 같은 가정과 제한사항이 존재한다.

- ADPS 알고리즘의 입력 자료와 보조 자료는 GK-2A/AMI의 관측 자료로 가정함.
- 주요 에어로졸 타입이 혼합되어 있는 경우에 대한 명확한 구분 방법은 현재 알고리즘에서는 제한적임.
- 여명기/황혼기에서의 불연속성은 경계값을 이용한 방법의 적용으로 인하여 현재까지 제한적임.

5.1 성능

ADPS 알고리즘의 성능 실험을 위한 가정은 다음과 같다.

- ADPS 알고리즘에서 사용되는 물리적 변수값은 GK-2A 발사 이후 환경변화로 인한 수 정보완이 가능함.

5.2 예상 센서 성능

ADPS 알고리즘은 센서로부터 제공되는 L1B 관측값이 정확히 보정되어 제공되는 것으로 간주한다. 센서가 관측한 자료 중 조정 가능한 잡음과 보정 오차는 경계값 조정

에 사용될 수 있다. 그러나 센서의 수행 능력 오류 및 기하보정 오차로 인한 입력자료 이상에 대한 문제는 연속성 점검에 오차를 발생할 수 있다.

5.3 개선을 위한 사전 계획

타 위성자료의 ADPS 알고리즘 (예: ABI, AHI 등)에서 사용되고 있는 방법론에 대한 테스트를 통해서 보완점을 개선할 수 있다.

6. 참고문헌

- Ackerman, S. A., 1989. Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to tract dust outbreaks. Remote sensing of environment, 27(2), 129-133.
- Change, I. C., 2013. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. edited, USA: Cambridge University Press.
- Charlson, R. J., Lovelock, J. E., Andreae, M. O., and Warren, S. G., 1987. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. Nature, 326(6114), 655-661.
- Ellrod, G. P., Connell, B. H., and Hillger, D. W., 2003. Improved detection of airborne volcanic ash using multispectral infrared satellite data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D12).
- Fullerton, D. G., Bruce, N., and Gordon, S. B., 2008. Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 102(9), 843-851.
- Gordon, H. R., and Wang, M., 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. Applied Optics, 33(3), 443-452.
- Hansell, R., Ou, S., Liou, K., Roskovensky, J., Tsay, S., Hsu, C., and Ji, Q., 2007. Simultaneous detection/separation of mineral dust and cirrus clouds using MODIS thermal infrared window data. Geophysical Research Letters, 34(11).
- Herman, J., Bhartia, P., Torres, O., Hsu, C., Seftor, C., and Celarier, E., 1997. Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 102(D14), 16911-16922.
- King, M. D., Kaufman, Y. J., Tanré, D. and Nakajima, T., 1999. Remote sensing of tropospheric aerosols from space: Past, present, and future. Bulletin of the American Meteorological society, 80(11), 2229-2259.
- Koepke, P., 1984. Effective reflectance of oceanic whitecaps. Applied Optics, 23(11), 1816-1824.
- Lee, K., and Kim, Y., 2010. Satellite remote sensing of Asian aerosols: a case study of clean, polluted, and Asian dust storm days. Atmospheric Measurement Techniques, 3(6), 1771.
- Lee, K. H., Kim, Y. J., and von Hoyningen-Huene, W. 2004. Estimation of aerosol optical thickness over northeast Asia from Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor (SeaWiFS) data during the

- 2001 ACE-Asia intensive observation period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D19).
- Lee, K. H., Li, Z., Kim, Y. J., and Kokhanovsky, A. 2009. Atmospheric aerosol monitoring from satellite observations: a history of three decades. *Atmospheric and biological environmental monitoring*, edited, pp. 13-38, Springer.
- Lee, K. H., Ryu, J. H., Ahn, J. H., and Kim, Y. J. 2012. First retrieval of data regarding spatial distribution of Asian dust aerosol from the Geostationary Ocean Color Imager. *Ocean Science Journal*, 47(4), 465-472.
- Lee, K. H., Wong, M. S., Chung, S.-R., and Sohn, E., 2014. Improved volcanic ash detection based on a hybrid reverse absorption technique. *Atmospheric Research*, 143, 31-42.
- Maignan, F., Br n, F.-M. and Lacaze, R., 2004. Bidirectional reflectance of Earth targets: Evaluation of analytical models using a large set of spaceborne measurements with emphasis on the Hot Spot. *Remote sensing of environment*, 90(2), 210-220.
- Nagaraja Rao, C., Stowe, L., and McClain, E. 1989. Remote sensing of aerosols over the oceans using AVHRR data Theory, practice and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 10(4-5), 743-749.
- NOAA NESDIS/STAR, 2010. ABI aerosol detection product. Version 2.0, Sep. 30, 2010.
- Ramanathan, V., Crutzen, P., Kiehl, J., and Rosenfeld, D., 2001. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 294(5549), 2119-2124.
- Remer, L. A., Kaufman, Y., Tanr , D., Mattoo, S., Chu, D., Martins, J. V., Li, R.-R., Ichoku, C., Levy, R., and Kleidman, R. 2005. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. *Journal of the atmospheric sciences*, 62(4), 947-973.
- Rosenfeld, D., 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, 287(5459), 1793-1796.
- Vaughan, M. A., Powell, K. A., Winker, D. M., Hostetler, C. A., Kuehn, R. E., Hunt, W. H., Getzewich, B. J., Young, S. A., Liu, Z., and McGill, M. J. 2009. Fully automated detection of cloud and aerosol layers in the CALIPSO lidar measurements. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 26(10), 2034-2050.
- von Hoyningen-Huene, W., Freitag, M., and Burrows, J. 2003. Retrieval of aerosol optical thickness over land surfaces from top-of-atmosphere radiance. *Journal of Geophysical Research*:

Atmospheres, 108(D9).

Yamaguchi, N., Ichijo, T., Sakotani, A., Baba, T., and Nasu, M. 2012. Global dispersion of bacterial cells on Asian dust. *Scientific reports*, 2, 525.