

GK-2A AMI

Algorithm Theoretical Basis

Document

화산재

(Volcanic Ash)

지준범, 이권호, 이규태

강릉원주대학교

Version 1.0

2019. 04. 25.



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	내용수정	0.3.0.1	2016.12.22.	이권호
0.4	알고리즘 개선, 시험 검증	0.4.1.1	2017.11.12.	이권호
0.5	VAP 알고리즘 개선	0.5.1.1	2018.04.30.	지준범
0.6	VAP LUT 산출방법 개선	0.5.2.1	2018.11.20.	지준범
0.7	알고리즘 설명 수정	0.5.3.1	2019.01.15.	지준범
0.8	산출결과 그림 수정	0.5.4.1	2019.03.25.	지준범
0.9	VAP 산출 알고리즘 및 조건표 개선	0.5.5.1	2019.04.15.	지준범
1.0	GK-2A VAP LUT 개선	0.5.6.1	2019.04.25.	지준범

<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 L1B	4
2.3.2 L2	5
2.3.3 보조 자료	6
2.4 이론적 배경	6
2.5 수학적 설명	8
2.6 산출물	9
3. 모의자료 및 검증	10
3.1 모의 입력자료 및 검증자료	10
3.2 검증 방법	11
3.3 검증 결과	11
4. 현업운영 시 고려사항	16
4.1 수치계산 고려사항	16
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항	16
4.3 품질 평가 및 진단	16
4.4 예외사항 처리	16
4.5 검증 알고리즘	16
5. 가정 및 제한	18
5.1 성능	18
5.2 예상 센서 성능	18
5.3 개선을 위한 사전 계획	19
6. 참고문헌	20

<표 목차>

표 2.3.1. 화산재 알고리즘을 위한 주요 입력자료.....	5
표 2.2.1. GK-2A ADP L2 산출물.....	5
표 2.4.1. 화산재 알고리즘의 종류.....	7
표 2.6.1. 화산재 산출물.	9
표 3.1.1 GK-2A/AMI, MODIS, Himawari-8/AHI 채널의 비교.	10

<그림 목차>

그림 2.2.1. 화산재 산출을 위한 자료처리 과정.	4
그림 2.5.1. 화산재 입자의 광학두께와 유효반경을 위한 조건표 적용 사례.	8
그림 3.3.1. MODIS를 이용한 화산재 산출물(위), SCIAMACHY AAI(가운데), CALIPSO extinction profile (아래) (Lee et al., 2016).	12
그림 3.3.2. 2018년 3월 6일 0000, 0100, 0230UTC의 GK-2A 화산재 산출물(왼쪽)과 JMA 화산재 RGB 영상.	13
그림 3.3.3. 2018년 3월 6일 0230, 0400UTC의 GK-2A 화산재 산출물(화산재 고도(왼쪽) 화산재 양(오른쪽)).	14
그림 3.3.4. 2017년 3월 25일 캄차카반도 화산폭발 사례에 대한 AQUA/MODIS RGB 합성 영상.	15
그림 3.3.5. 2017년 3월 25일 캄차카반도 화산폭발 사례 분석 결과 (좌) GOME-2 AAI, (중) AHI 화산재 고도, (우) AHI 화산재 양.	15

약어표

AAI	UV-Absorbing Aerosol Index
ABI	Advanced Baseline Imager
ADP	Aerosol Detection Product
AERONET	AErosol RObotic NEtwork
AHI	Advanced Himawari Imager
AMI	Advanced Meteorological Imager
AOD	Aerosol Optical Depth
AOT	Aerosol Optical Thickness
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BT	Brightness Temperature
BTD	Brightness Temperature Differences
CALIOP	Cloud-Aerosol LIdar with Orthogonal Polarization
CALIPSO	Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
GK-2A	GEO-KOMPSAT 2A
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
IR	InfraRed
JMA	Japan Meteorological Agency
LUT	Look-Up-Table
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
NIR	Near InfraRed
NWP	Numerical Weather Prediction
RA	Reverse Absorption
RMSE	Root Mean Square Error
SBDART	Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer
SCIAMACHY	SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartography

TIR	Thermal-infrared
TOA	Top of the Atmosphere
TVAP	Three band Volcanic Ash Product
UM	Unified Model
UV	Ultraviolet
VA	Volcanic Ash
VAAC	Volcanic Ash Advisory Center
VAP	Volcanic Ash Product
WVC	Water Vapor Correction

1. 개요

화산분출물은 수증기, 이산화탄소(CO_2), 이산화황(SO_2), 염산 (HCl), 불화수소 (HF) 그리고 재(ash) 등으로 구성된다. 이 중 염산과 불화수소는 수증기가 응축된 물과 반응하여 산성비의 원인이 되고 기체성분의 이산화황은 천천히 액체성분의 황산 에어로졸로 변한다. 화산재 입자는 이러한 에어로졸을 입자표면에서 흡수하며 대기 중을 이동하거나 지표로 침강하여 토양과 수계의 산성화에 영향을 미치며 농업, 건축물, 보건, 에너지, 교통, 수자원, 환경과 같이 인간의 삶과 관련된 모든 분야에서 위협이 된다. 화산재는 화산 폭발로 인하여 마그마, 지표, 가스 그리고 수증기 등이 대기 중으로 배출되어 기류에 따라 확산되는 에어로졸의 일종으로서 인체에 유해하고 항공안전에 심각한 영향을 끼칠 수 있으므로 빠른 시간내에 분포 영역을 탐지하여 예보 및 조기경보 등에 활용할 필요가 있다. 한반도 인근 지역은 불의 고리 (Ring of Fire)라고 하는 환태평양 지진대와 화산대가 근접해 있고 한반도와 가장 근접한 활화산은 주로 일본에 위치하며 활화산이 활동하고 있으므로 인접지역의 대규모 화산폭발로 인한 영향을 조기에 파악하는 시스템을 구축할 필요성이 있다.

1.1 목적

본 기술서는 GK-2A 화산재 관련 산출물 (VAP; 화산재 고도, 양)을 위한 자료 해석 및 처리를 위한 방법론을 구체적으로 기술하였고 화산재 탐지 화소에 대한 적외채널 영역에서의 산출 알고리즘에 대한 기초 설명서이다.

1.2 사용자

본 알고리즘 기술문서의 사용자는 VAP 알고리즘의 물리적 배경을 이해하고 산출물을 산출하는 과정에 대한 이해를 목적으로 하는 자이다. VAP 산출물의 예상 사용자로는 기상예보자, 대기질 관리자, 보건당국, 재해방지 관련 기관, 항공운항 관련 기관 그리고 군(軍) 등이 예상된다.

1.3 내용

알고리즘 소개: GK-2A 모의 영상자료의 특성과 VAP 산출물을 상세히 설명한다. VAP 알고리즘에 대한 물리적 이론 배경과 입·출력자료의 특징을 기술한다.

시험자료 및 출력물: 시험자료에 대한 설명과 VAP 알고리즘의 실행과정을 설명한다. 그

리고 산출결과물에 대한 정확도 검증에 대해서 기술한다.

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

가정 및 제한: VAP 알고리즘에서 사용된 가정과 현재 접근방법의 한계에 대하여 설명한다. 그리고 알고리즘 개선을 위한 제한점 극복방안에 대하여 제시한다.

1.4 관련 문서

- VAP 알고리즘 과학코드 분석서
- VAP 알고리즘 시험보고서

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

GK-2A VAP 산출물은 화산재 화소로 최종 결정된 화소에 대해서만 자료처리를 수행한다. 화산재 영역으로 결정된 화소는 적외채널에서의 밝기온도 정보와 NWP 자료에서 제공되는 온도 프로파일 정보를 사용하여 해당 화소에서의 상단 고도(Top Height) 정보를 생성한 후 미리 계산된 조건표 자료와 위성 관측 자료의 최적화 비교 과정을 통하여 유효고도/광학두께/양을 결정한다.

2.2 알고리즘 흐름도

VAP 산출물을 위한 전체적인 자료처리 흐름도는 그림 2.2.1과 같고 전체 과정은 에어로졸 탐지이전 단계인 자료준비 과정과 에어로졸 탐지 알고리즘이 선행 자료처리 과정으로서 적용된다. 준비과정의 제일 첫 단계에서는 원시자료 (모의 영상자료 등)를 읽어서 해양에 해당하는 화소만을 선택하여 이후 프로세스를 진행한다. 육지와 해양을 구분할 수 있는 육지마스크 (land mask)는 수치고도지도 (DEM)로부터 일정 고도 이상의 값을 가지는 화소를 육지로 가정하여 제거하는 방법을 사용한다. 이전에 화산재 탐지 화소로 결정된 화소는 화산재 광학두께 결정단계에서 적외채널 밝기온도값과 조건표와의 비교를 통해 최적화된 에어로졸 광학두께 값을 결정한다. 화산재 탐지에 사용되는 GK-2A/AMI 채널은 가시채널 반사도 및 적외채널 밝기온도 값을 사용하여 주야간 화산재 탐지가 가능하게 한다. 특히 $1.38 \mu\text{m}$ 는 cirrus 구름탐지에 유용함으로 기존의 화산재 탐지에서 cirrus로 인한 오 탐지 원인을 제거한다. 그리고 $13.3 \mu\text{m}$ 밴드 자료는 광학적으로 비교적 얇은 화산재 구름의 탐지에 사용되고 나머지 밴드 자료는 화산재 구름의 미세물리와 조성을 산출하는데 사용된다.

화산재 구름의 고도와 농도 산출은 일반적인 운정고도 알고리즘과 유사하지만, 일반적인 구름이 아닌 화산재 구름을 대상으로 하므로 화산재 구름에 대한 화산재 구름의 영향이 있는 픽셀을 선정하는 화산재 탐지 화소를 먼저 설정하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 화산재 탐지가 선행되어야 하나 화산재와 먼지 에어로졸의 미세물리적 특성이 비슷한 경우 이를 구분하기가 쉽지는 않으므로 다양한 환경조건의 분석이 필요하다. 화산재로 분류된 화소에 대해서는 먼저 조건표와 수치예보 (NWP) 자료 (압력 및 온도 연직 분포, 지표온도, 방출률 등)를 사용하여 화산재 고도정보를 결정한다.

그리고 선택된 고도정보에 대한 조건표를 적용하여 적외채널의 밝기온도값에 따른

위성 관측값과 조건표상의 계산된 값과의 비교를 수행하고 최소 편차를 가지는 경우의 조건표값에 해당하는 화산재 광학두께와 유효반경값을 동시에 결정한다. 최종적으로 화산재 광학두께와 유효반경 정보를 활용하여 각 화소별 화산재에 대한 총량을 g/m^2 단위로 계산한다.

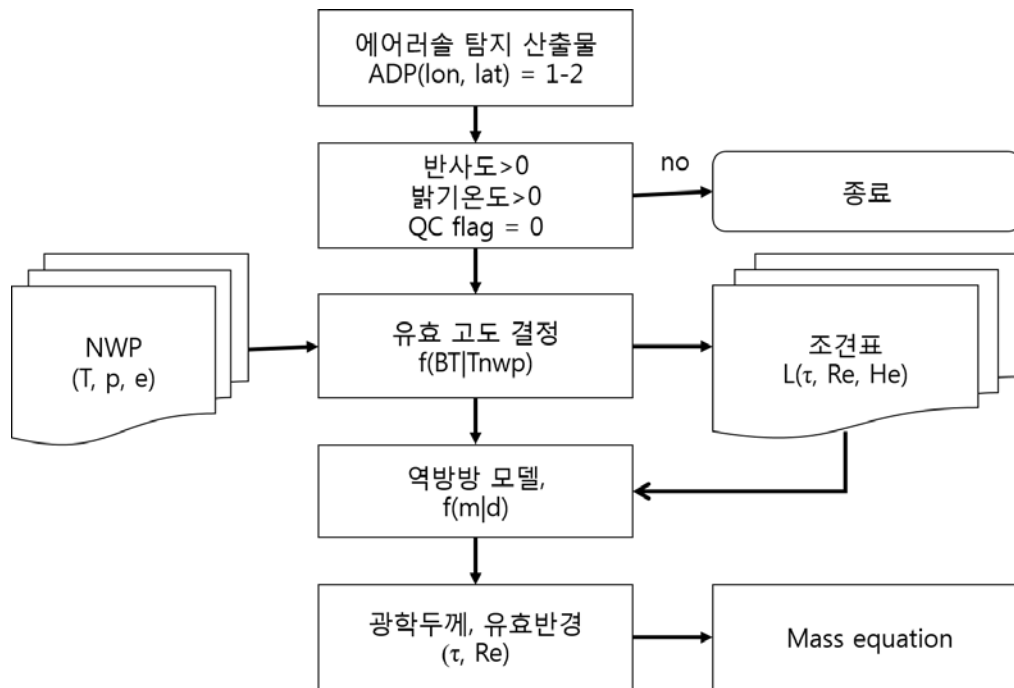


그림 2.2.1. 화산재 산출을 위한 자료처리 과정.

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

GK-2A VAP 산출물은 GK-2A/AMI의 채널정보에 최적화하여 알고리즘이 개발되었다. VAP 알고리즘 수행에 필요한 입력자료로서 위성센서의 특성정보는 적외채널 밝기온도 (BT)값이다 (표 2.3.1 참조). 구름탐지 산출물의 활용이 가능한 경우는 구름탐지 산출과정에서 화산재 영역이 구름으로 오인 되지 않는 경우에 한한다. 화산재 성분이란 에어로졸 탐지 단계에서 광학적 특성 조건이 화산재 입자와 유사한 조건을 가지는 화소를 화산재 타입으로 구분한 에어로졸 탐지정보이다.

표 2.3.1. 화산재 알고리즘을 위한 주요 입력자료.

채널	중심파장[μm]	자료	용도
7(IR)	3.8316	Calibrated L1b brightness temperature	화산재 탐지
14(IR)	11.2285	Calibrated L1b brightness temperature	화산재 탐지, 화산재 광학두께/고도/양
15(IR)	12.3651	Calibrated L1b brightness temperature	화산재 탐지, 화산재 광학두께/고도/양
16(IR)	13.2870	Calibrated L1b brightness temperature	화산재 탐지, 화산재 광학두께/고도/양

2.3.2 L2

ADP 산출물은 GK-2A/AMI 관측영역에 대해 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 의 공간해상도와 약 10분 간격의 시간해상도로 산출된다. 에어로졸 탐지는 구름이 제거된 화소에 대하여 화산재와 황사 및 미세먼지 탐지과정을 수행하여 해당 에어로졸 타입에 대한 탐지를 제공한다. ADP 산출물은 이후 에어로졸 광학두께 및 화산재 특성정보 산출을 위한 입력 자료로 활용된다. ADP 산출물은 에어로졸의 타입에 대한 에어로졸 탐지로서 에어로졸 타입별 정보와 Q/C flag를 생산한다.

표 2.3.2. GK-2A ADP L2 산출물.

이름	설명			산출물 자료의 차원
Aerosol Detection Product (ADP)	황사, 화산재, 미세먼지, 기타 미량 에어로졸에 대한 화소별 정보			격자(경도, 위도)
	Type	0	etc(undefined or mixed)	
		1,2	ash	
		3.xx~4.xx	dust	
		5.xx	haze	
		6	clean	
		-999	No data	

Q/C flag	자료처리 과정 중 발생한 QC요소 기록 (0:산출불능, 1:나쁨, 2:보통, 3:좋은)		격자(경도, 위도)
	flag	conditions	
	0	None : sunglint 영역, ROI 영역외, 구름 판별시, 에어로졸 탐지불능	
	1	Low confidence : CLD L2 구름판별시 ADP 탐지(etc)	
	2	Medium Low confidence : CLD L2 구름판별시 ADP 탐지(화산재, 미세먼지(연무))	
	3	Good confidence : CLD L2 청천시 ADP 탐지, CLD L2 구름판별시 ADP 탐지(황사)	

2.3.3 보조 자료

GK-2A L1B 위성자료와 함께 제공되는 복사 보정된 L1B 자료 전환 테이블 (gk2a_calibration_table.txt), 바이너리 형식의 위도, 경도 자료 (Lat_2km.bin, Lon_2km.bin) 그리고 육지마스크 (LandSea_2km.bin)자료를 사용하였다. GK-2A 위성의 위치벡터(북위 0°, 동경 127.2°, 고도 36,000 km) 와 각 화소별 경·위도 값으로부터 위성관측각을 계산하였고 해당 관측시각에서의 태양 고도각 및 상대방위각을 별도로 계산하여 사용하였다.

2.4 이론적 배경

화산재 탐지 방법은 해당 위성탐재 센서에서 가용한 분광정보를 이용하여 현재까지 많은 변형된 방법이 개발되고 있다. 현재까지 알려진 VAP 알고리즘은 표 2.4.1과 같고, 이들 알고리즘 중 모든 VAP 알고리즘의 시초로 할 수 있는 Prata (1989)는 위성영상의 두 적외온도차를 이용하여 처음으로 화산재 탐지 가능성을 제시하였으며 그 이후로 변형된 알고리즘의 제안이 이루어지고 있다. 적외온도차 방법은 비교적 간단하며 현재까지도 영국에 있는 화산재해 예보 센터 (VAAC)에서 사용되고 있다.

표 2.4.1. 화산재 알고리즘의 종류.

알고리즘	알고리즘 특성	참고문헌
RA (Reverse Absorption)	2밴드 적외차 (11, 12um)	Prata (1989)
Ratio	2밴드 적외비 (11, 12um)	Holasek and Rose (1991)
4 밴드	적외밴드 온도+가시밴드 반사도	Mosher (2000)
TVAP (Three band Volcanic Ash Product)	3밴드 적외온도 (3.9, 11, 12um)	Ellrod et al. (2003)
PCI	다중 채널 주성분 분석	Hilger and Clark (2002)
WVC (Water Vapor Correction)	2밴드 적외+수증기 보정	Yu et al. (2002)
RAT (Ratio)	3밴드 적외 (3.9, 11, 12um)	Pergola et al. (2004)
3 밴드	3밴드 (3.9, 11, 12um)	Pavolonis et al. (2006)
하이브리드	다중 채널 (0.66, 3.9, 11, 12um)	Lee et al., (2014, 2016)

GOES-R/ABI 화산재 탐지 알고리즘에서 제시된 화산재 탐지가 가능한 파장영역으로는 7.4, 8.5, 11.2, 12.3, 13.3 μm 로 주로 적외선 영역의 자료를 사용하므로 야간에도 탐지가 가능하다. 13.3 μm 밴드 자료는 광학적으로 비교적 얇은 화산재 구름의 탐지에 사용되고 나머지 밴드 자료는 구름 미세물리와 조성을 산출하는데 사용된다.

화산재 구름의 고도와 농도 산출은 운정고도 알고리즘과 유사하지만 일반적인 구름이 아닌 화산재 구름을 대상으로 하므로 화산재 구름에 대한 화산재 구름의 영향이 있는 픽셀을 선정하는 화산재 구름탐지를 먼저 설정하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 화산재 탐지가 선행되어야 하는데 화산재와 황사와 같은 먼지입자의 미세물리적 특성이 비슷한 경우 이를 구분하는 것이 쉽지는 않다.

VAP 산출 알고리즘의 주요 입력 자료는 에어로졸 탐지 알고리즘에서 필요한 자료와 에어로졸 탐지결과 산출물이 사용된다. 따라서 복사보정 (radiative calibration)과 기하보정 (geometrical calibration)이 수행된 각 화소별 가시채널 반사도, 적외채널 밝기온도, 위·경도 그리고 위성-태양의 기하각 (geometrical angles) 정보가 사용된다.

2.5 수학적 설명

VAP 알고리즘의 입력자료는 복사보정과 기하보정이 수행된 가시채널 반사도와 적외채널 밝기온도가 사용되며 에어로졸 탐지 알고리즘의 일부분이다. 각 화소별 위경도 자료와 위성과 태양간의 기하정보와 위성이 관측한 복사량에 대한 Q/C flag가 사용된다. 보조 입력 자료는 NWP 자료(압력 및 온도 연직분포, 해수온도, 방출률 등)가 사용되고 화산재로 구분된 화소에 대한 위성 관측자료로부터 속성정보를 산출하기 위하여 사용된다.

화산재 속성정보 산출과정은 기상학적 구름의 운정고도 알고리즘과 유사하나일반적인 구름이 아닌 화산재 구름을 대상으로 하므로 화산재 구름에 해당하는 화소값에 만 적용된다. 화산재 구름의 고도는 유효온도 (T_{eff})와 NWP 온도 프로파일 자료와의 비교를 통하여 얻어진다. NWP 온도 프로파일은 상층부에서부터 검색하여 유효온도와 비슷한 두 지점의 자료에 가중치를 주어 다음과 같은 식으로 고도를 결정한다.

$$Z_{ash} = Z_1 + \left(\frac{T_{eff} - T_1}{T_2 - T_1} \right) (Z_2 - Z_1) \quad (1)$$

여기서 Z_{ash} 는 화산재 구름의 고도, T_1 과 T_2 는 T_{eff} 주위의 경계값이며 Z_1, Z_2 는 이에 해당하는 고도이다..

화산재 입자의 광학두께와 유효반경을 결정하는 방법은 $11 \mu m$ 밝기온도와 적외채널 밝기온도차 (BTD11-12)와 조건표로부터 결정한다 (그림 2.5.1 참조).

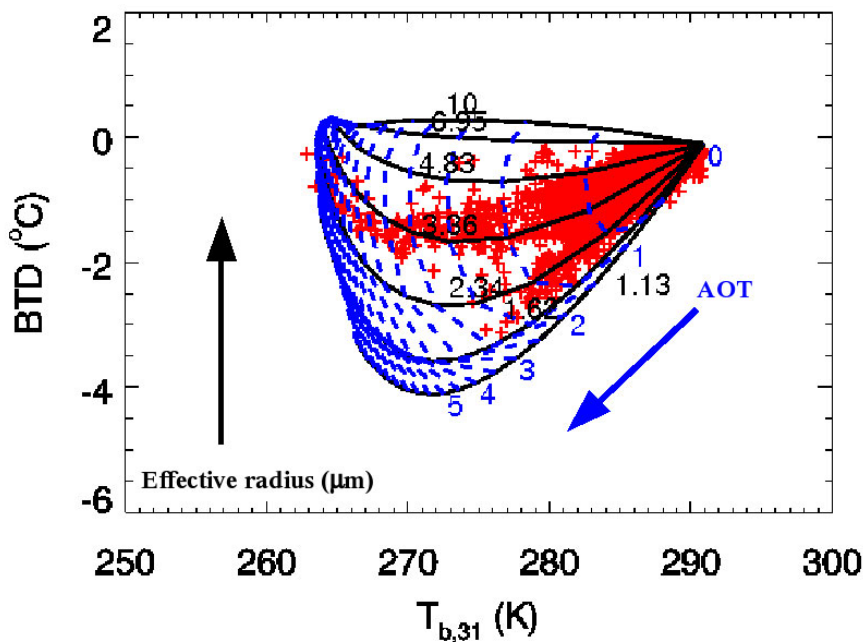


그림 2.5.1. 화산재 입자의 광학두께와 유효반경을 위한 조건표 적용 사례.

화산재 입자의 총량은 입자의 유효반경(r_e)과 광학두께, 입자의 밀도의 함수로서 식 (2)와 같이 정의된다.

$$m = (1 \times 10^6) \frac{4}{3} \pi \rho_{ash} \int_{r_1}^{r_2} r_e^3 n(r) dr \quad (2)$$

여기서 ρ_{ash} 는 화산재의 밀도로서 2.6 g/cm^3 (Neal et al., 1994)이고 입자의 총 개수($n(r)$)은 광학두께와 소산계수로부터 다음과 같이 정의된다.

$$N_0 = \frac{\tau_{11}}{\sigma_{ext,11}} (1 \times 10^6) \frac{4}{3} \pi \rho_{ash} \int_{r_1}^{r_2} r_e^3 n(r) dr \quad (3)$$

2.6. 산출물

GK-2A VAP 산출 알고리즘은 GK-2A/AMI 자료를 이용한 화산재 산출로 구성되어있고 출력 자료는 공간해상도가 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 이며 시간해상도는 10분이다. GK-2A VAP 산출물은 화산재 에어로졸 탐지결과에 대하여 해당 화소별 조건표를 이용한 역산 방법을 적용하여 화산재에 대한 수치자료를 제공한다.

표 2.6.1. 화산재 산출물.

이름	설명		산출물 자료의 차원
volcanic ash product (VAP)	화산재 산출물 • 고도: km 단위 • 총량: g/m^2 단위		화산재 속성정보 리스트 (경도, 위도, 속성정보)
VAP quality flag	0:none, 1: bad, 2:good		화산재 속성정보 리스트 (경도, 위도, 속성정보)
	bit	Conditions	
	0	None : adps /= ash	
	1	bad confidence : vah < 0 or vah > 10 km, vam < 0 or vam > 30 g/m^2	
	2	good confidence : 0 < vah < 10 km, 0 < vam < 30 g/m^2	

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

VAP 산출에 필요한 입력자료는 Himawari-8 AHI L1B 자료가 사용 가능하다. 히마와리 위성 발사 이전에는 주로 MODIS L1B 자료와 천리안 L1B 자료를 이용하여 GK-2A 위성의 유사채널 정보로서 VAP 알고리즘의 설계 및 테스트를 수행하였다. 히마와리 위성의 성공적인 발사 이후 L1B 자료가 가능하였던 2015년 8월 이후부터는 VAP 산출 알고리즘의 모의 입력자료로서 Himawari-8/AHI 16개 채널정보 자료가 사용되었으며 해당 알고리즘의 입출력 및 자료 산출과정을 모두 Himawari-8/AHI 자료에 맞추어 수정되었다.

표 3.1.1 GK-2A/AMI, MODIS, Himawari-8/AHI 채널의 비교.

GK-2A/AMI (μm)	MODIS (μm)	Himawari-8/AHI (μm)
Ch. 1 : 0.4702	Ch. 3 : 0.466	Ch. 1 : 0.46
Ch. 2 : 0.506	Ch. 4 : 0.554	Ch. 2 : 0.51
Ch. 3 : 0.6394	Ch. 1 : 0.674	Ch. 3 : 0.64
Ch. 4 : 0.8630	Ch. 2 : 0.857	Ch. 4 : 0.86
Ch. 5 : 1.3740	Ch. 26 : 1.382	
Ch. 6 : 1.6092	Ch. 6 : 1.629	Ch. 6 : 1.6
		Ch. 5 : 2.3
Ch. 7 : 3.8316	Ch. 20 : 3.788	Ch. 7 : 3.9
Ch. 8 : 6.2104	Ch. 27 : 6.765	Ch. 8 : 6.2
Ch. 9 : 6.9413	Ch. 27 : 6.765	Ch. 9 : 7.0
Ch. 10 : 7.3266	Ch. 28 : 7.337	Ch. 10 : 7.3
Ch. 11 : 8.5881	Ch. 29 : 8.529	Ch. 11 : 8.6
Ch. 12 : 9.6210	Ch. 30 : 9.734	Ch. 12 : 9.6
Ch. 13 : 10.3593	Ch. mix : 30+31	Ch. 13 : 10.4
Ch. 14 : 11.2285	Ch. 31 : 11.019	Ch. 14 : 11.2
Ch. 15 : 12.3651	Ch. 32 : 12.032	Ch. 15 : 12.3
Ch. 16 : 13.2870	Ch. 33 : 13.365	Ch. 16 : 13.3

VAP 산출물에 대한 검증자료는 CALIPSO VFM의 화산재 고도를 이용한다. 그러나 이 자료는 관측영역이 좁고 관측주기가 길어 실제 화산탐지 영역내의 자료 확보가 어렵다. 화산재의 탐지 자료로 GOME 자료를 활용하여 탐지영역에 대한 검증이 부가적으로 수행된다.

3.2 검증 방법

VAP 산출물의 정확도 검증을 위한 방법은 정량적인 방법이 사용되며 검증량은 상관 계수, BIAS, RMSE(Root Mean Square Error)이다. 여기서 산출물은 본 연구에서 개발된 화산재 고도와 양이고 검증자료는 위에서 언급된 타 위성자료(공개된 표준 산출물)이다. VAP 산출결과물의 연속 산출이 가능한 시점 이후 충분한 산출물이 획득되면 상기의 검증 및 검증결과에 대한 통계분석 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 검증 결과

화산재 탐지 및 속성정보의 비교검증 자료가 매우 제한적이므로 여기에서는 기존의 연구사례를 통하여 제시된 결과를 소개하고자 한다. 그림 3.3.1은 MODIS를 이용한 화산재 산출물(위), SCIAMACHY AAI(가운데), CALIPSO extinction profile(아래)로서 화산재 탐지 산출 결과 중에서 유일하게 타 위성 자료와의 비교가 가능한 경우이다 (Lee et al., 2016). MODIS 화산재 탐지결과는 SCIAMACHY AAI와 비교할 때 비슷한 양상의 화산재 구름이 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 두 자료간의 공간해상도 차이가 발생하므로 보다 정량적인 분석은 한계가 있다.

MODIS 화산재 탐지결과에 CALIPSO 위성의 궤도가 표시되어 있으며, 화산재 구름을 통과하면서 관측된 CALIPSO 라이다 관측결과는 MODIS 화산재 고도 산출 결과와 비교가 가능하였다. 라이다 관측결과 화산재 구름의 고도는 약 2.5-4km 정도 위치에서 관측이 되었고 MODIS 고도 산출결과 (검은색 닫힌 점)는 라이다가 관측한 화산재 영역내에 대부분 존재하는 것으로 나타났다.

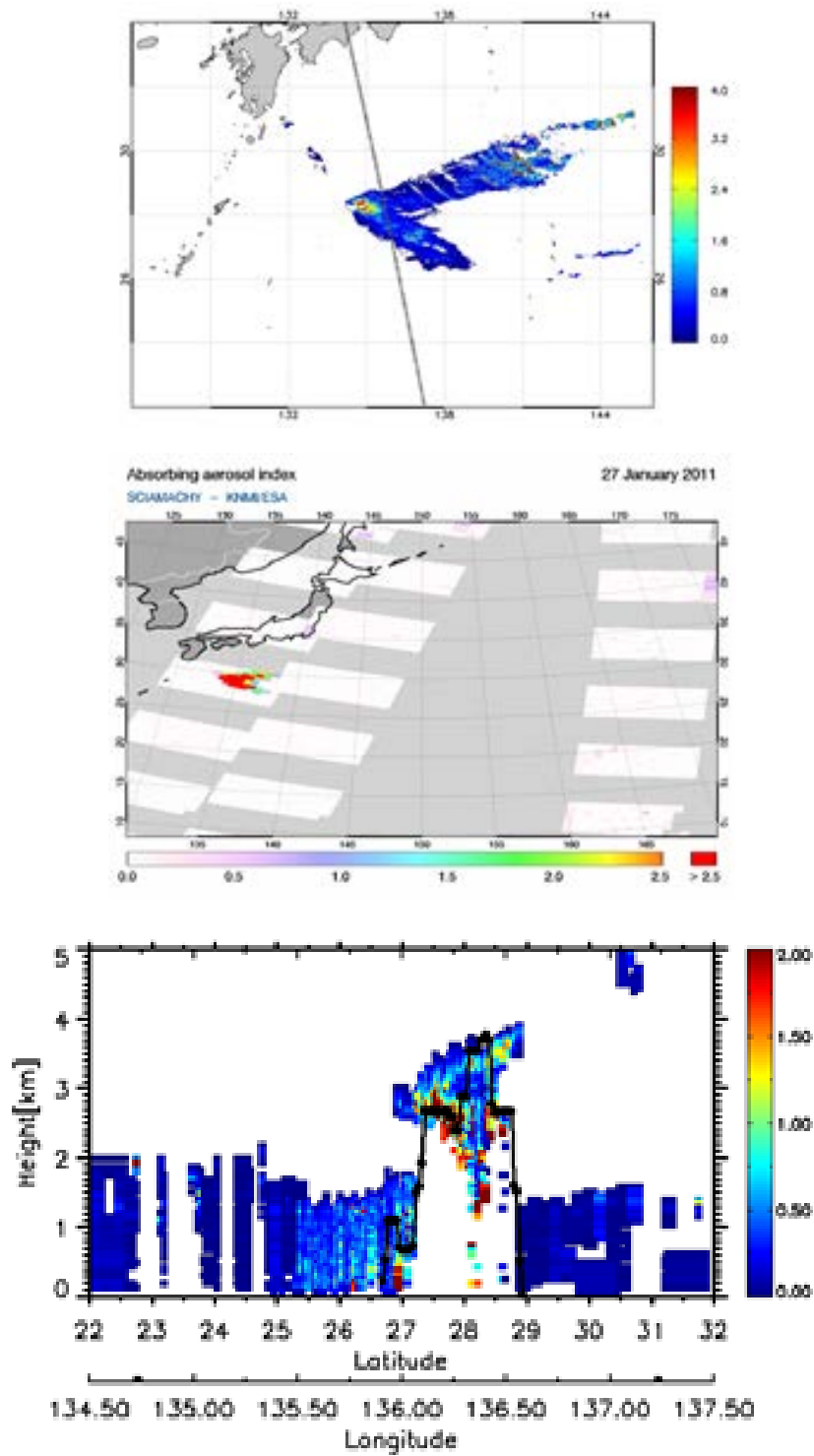


그림 3.3.1. MODIS를 이용한 화산재 산출물(위), SCIAMACHY AAI(가운데), CALIPSO extinction profile (아래) (Lee et al., 2016).

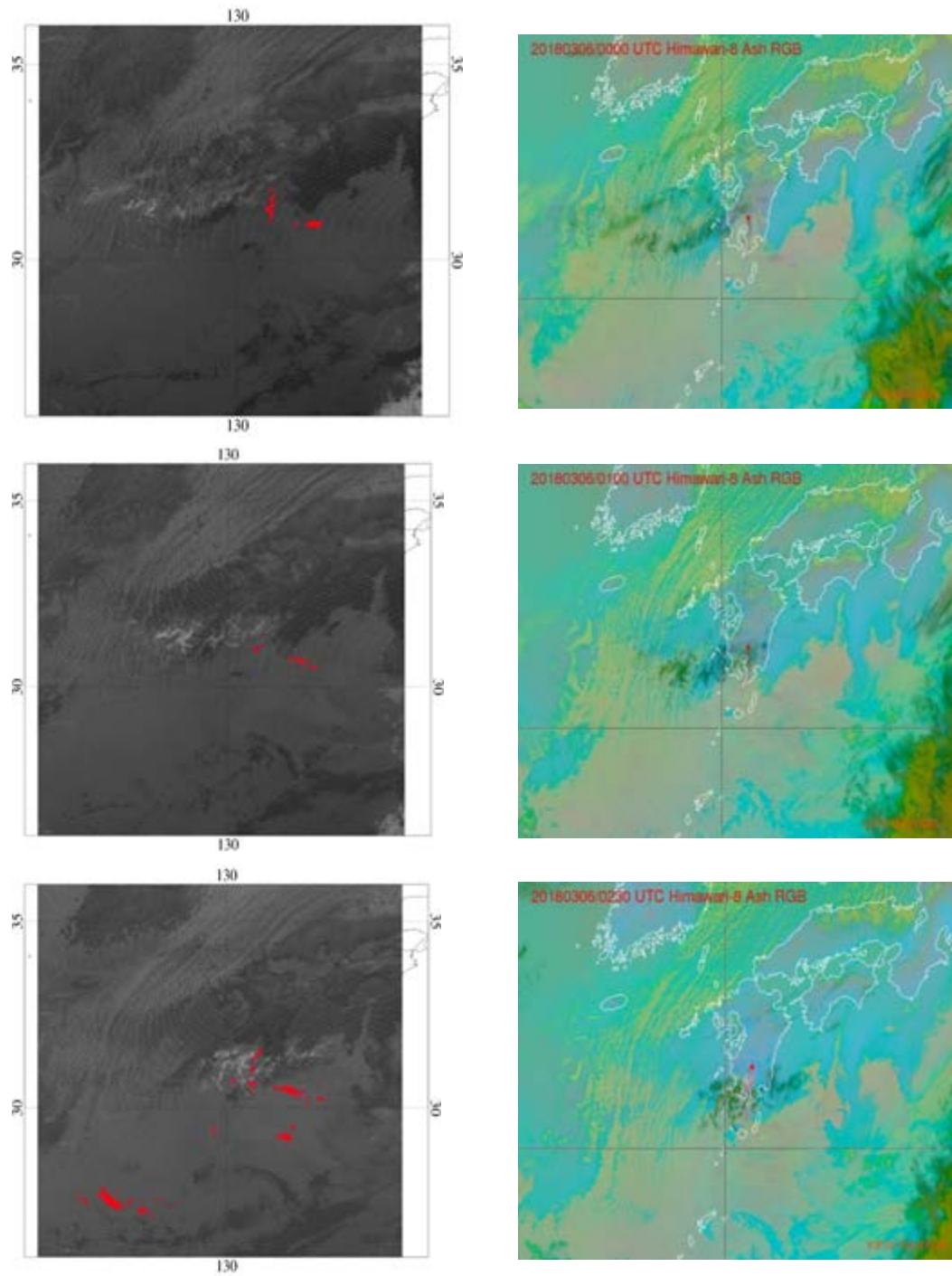


그림 3.3.2. 2018년 3월 6일 0000, 0100, 0230UTC의 GK-2A 화산재 산출물(왼쪽)과 JMA 화산재 RGB 영상.

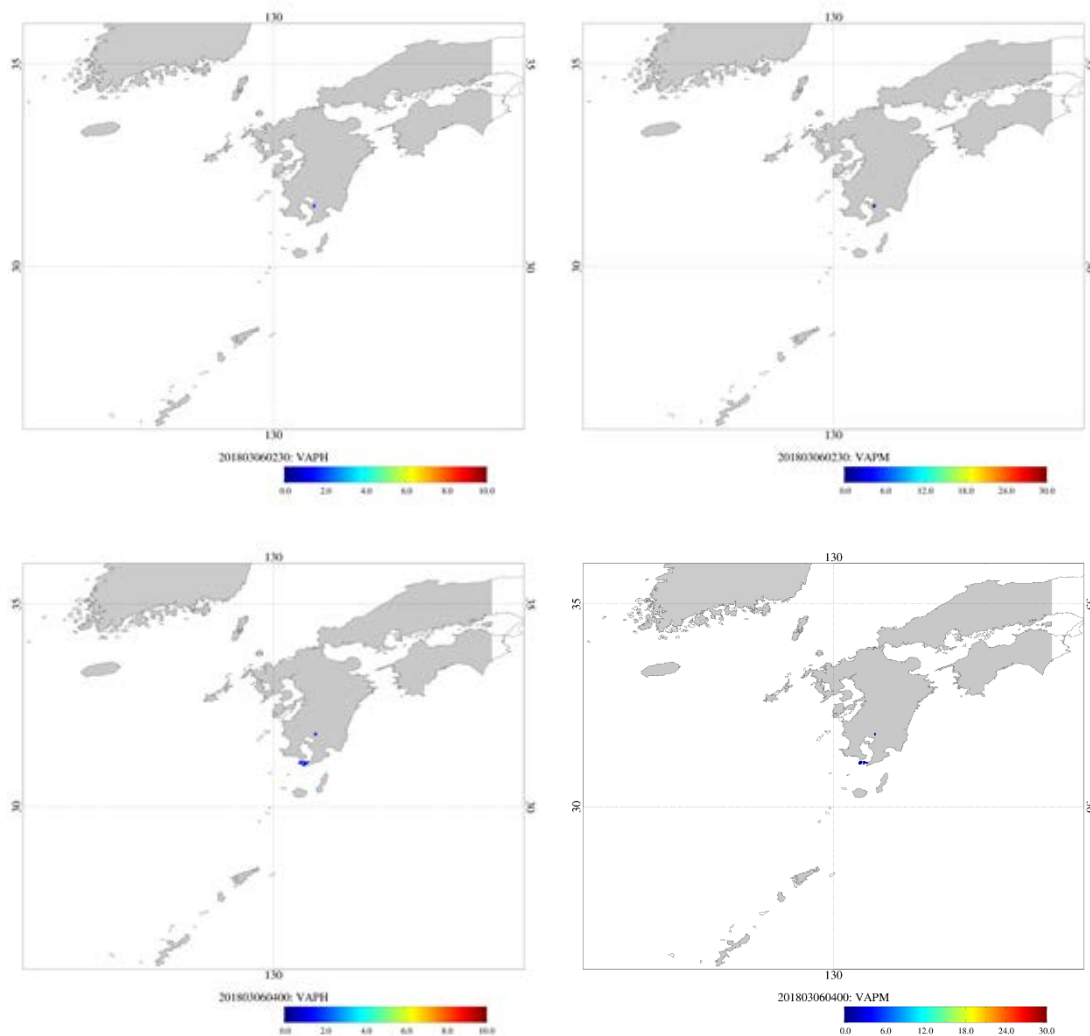


그림 3.3.3. 2018년 3월 6일 0230, 0400UTC의 GK-2A 화산재 산출물(화산재 고도(왼쪽)와 화산재 양(오른쪽)).

VAP 검증을 위한 제한점은 다음과 같다. 즉 화산재 고도와 양에 관한 국내외 사례의 검증자료가 존재하지 않는다. 외국사례에서도 VAP 알고리즘의 정확도는 관측 자료 (in-situ observation) 또는 민감도 시험 (sensitivity study)를 통하여 수행한 결과를 사용한다. 화산재 화소 (ash plume pixel)에 대한 위치의 탐지율(detection rate)에 대한 비교를 타 위성 자료(GOME-2 AAI)와 상대비교(관능비교) 함으로서 현재 산출물로 비교 검증 가능하다. 적외채널을 이용하여 탐지하는 방법론의 특성상 화산 발생지역이 강설지나 얼음이 위치하거나 구름이 혼합된 지역에서는 탐지능력의 한계가 발생한다. 그리고 고위도 지역에서는 화산재 구름의 고도가 높은 경우 정지궤도에서 바라보는 정 위치가 다소 이동할 가능성이 있으므로, 추후 고도화 작업을 통하여 보정을 하는 것이 필요하다.

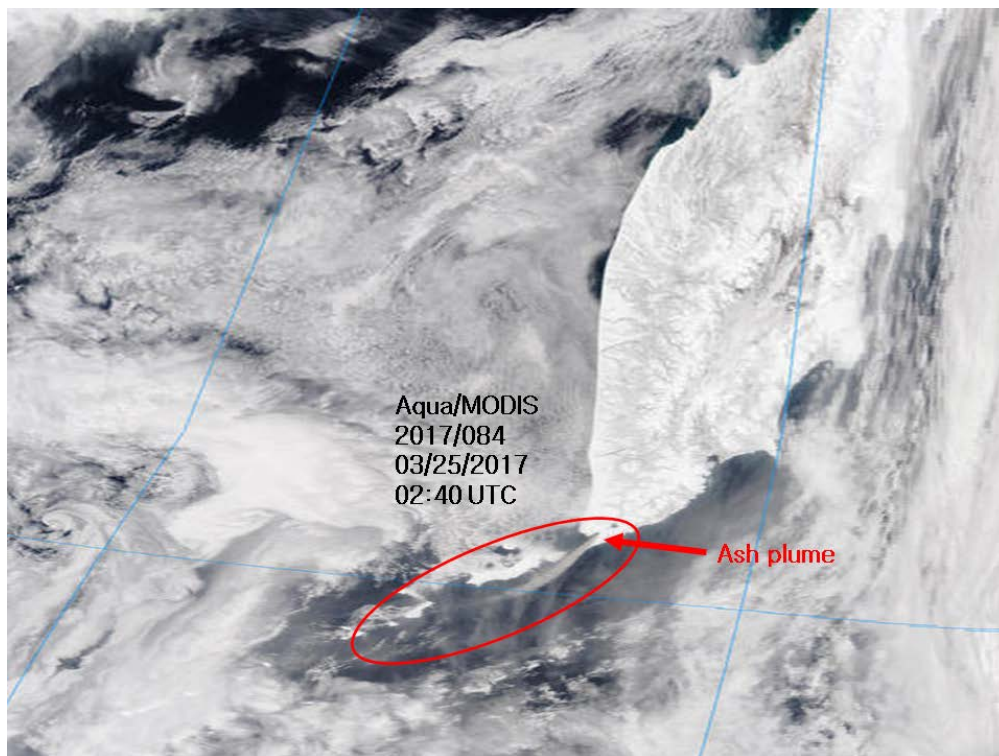


그림 3.3.4. 2017년 3월 25일 캄차카반도 화산폭발 사례에 대한 AQUA/MODIS RGB 합성 영상.

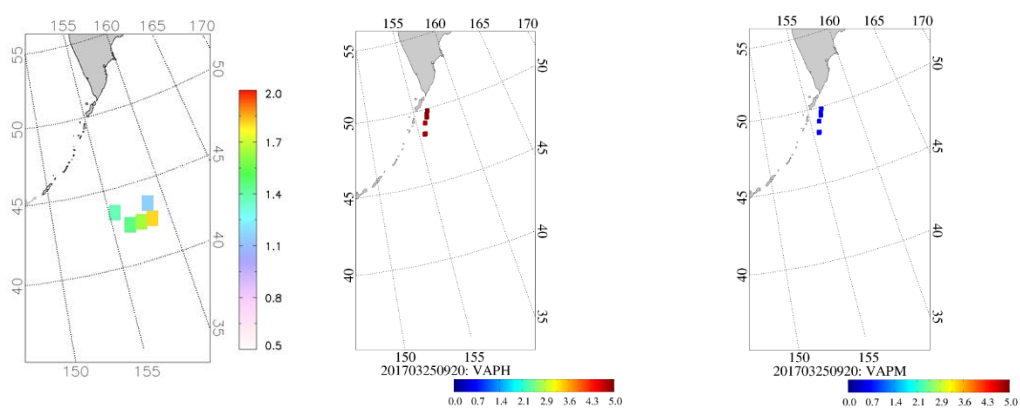


그림 3.3.5. 2017년 3월 25일 캄차카반도 화산폭발 사례 분석 결과
(좌) GOME-2 AAI, (중) AHI 화산재 고도, (우) AHI 화산재 양.

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

VAP 산출 알고리즘은 각 화소별 계산을 위한 충분한 메모리 확보 및 저장소의 고려가 필요하다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

VAP 알고리즘은 배경장 산출 및 ADP 수행후 계산이 수행된다. 현업화단계에서 알고리즘의 결합 또는 산출물의 결합이 이루어진다.

4.3 품질 평가 및 진단

VAP 산출물의 품질평가 및 진단을 위한 절차는 다음과 같다.

- VAP 산출결과에 대한 유효 화소수의 총합 점검.
- VAP 산출결과를 표시한 이미지의 검사를 통한 이상점 점검.
- VAP 산출결과가 육상이나 관심영역 이외의 지역에서 결과 산출 여부 점검.
- 음의 VAP 산출값 점검.
- VAP 산출결과에의 연속적 프로세스가 되고 있는지에 대한 연속성 점검.

4.4 예외사항 처리

예외사항으로는 주/보조 입력자료의 사용 불량, 전달 오류 시 플래그에 기록한다.

4.5 검증 알고리즘

GK-2A VAP 산출물을 위한 검증은 위성자료와의 직접적인 비교를 위한 truth 자료로 사용될 지상 관측 자료의 확보가 불가능하다. 대안으로 지상에서 관측된 라이다 또는 레이다 자료로부터 화산재 영역을 탐지한 결과물이 있어야 하나 화산재 구름이 지상관측 지점을 지나가야만 가능하므로 활화산 근처 지역을 대상 지역으로 초점을 맞추어야 한다는 한계점이 있다. 기존의 지구관측위성으로부터 제공되는 자외선 흡수성 에어로졸 지수(AAI), 위성에 탑재된 라이다 관측 자료로부터 화산재 구름의 위치와 광학적 특성값을 활용하는 방법과 확산모델결과와 비교하는 방법이 사용될 수 있다. VAP 탐지 산출물은 화산재로 탐지되는 화소에 대한 정보로서 현재 사용가능한 검증용 자료로는 OMI AAI자

료, CALIPSO VFM 자료가 있으며, 이들과의 시공간적 비교를 통하여 산출물의 정확도 검증이 가능하다.

5. 가정 및 제한

VAP 알고리즘에서는 다음과 같은 가정과 제한사항이 존재한다.

- VAP 알고리즘의 입력자료로 사용되는 모의자료와 보조 자료는 GK-2A/AMI의 관측자료로 가정함.
- 위성 센서의 관측화소보다 적은 구름이나 미확인 대상으로 인한 가시채널 반사도의 증가는 VAP 알고리즘의 오차의 원인이나 이에 대한 명확한 보정방법은 현재 알고리즘에서는 제한적임.

GK-2A 위성의 VAP 산출 알고리즘은 기존의 경험적 방법들의 장점을 이용하여 주야간 탐지 가능한 하이브리드 알고리즘이 적용된다. 그러나 화산재 탐지에 이용되는 적외차 온도 방법에 오차의 원인으로 작용하는 위성 자료의 복사보정 오류, 위성의 자세 오류, 육지의 방사율, 구름 가장자리 효과, 다중 층 효과 그리고 화산재와 비슷한 성분 (예: 규소를 포함하는 사막 먼지 등) 등에 대한 오차원인이 존재하기 때문에 보다 많은 사례에 대한 분석결과 해석 과정이 필요하다.

한반도 인근 지역은 일본을 제외하고는 활화산 활동이 극히 제한적이고 규모도 작기 때문에 사례연구가 제한적이나 화산재 탐지 정확도를 높이기 위하여 비슷한 제원의 다른 위성센서 자료를 이용한 알고리즘의 시험이 필요하다. 또한 이렇게 다양하게 수집된 자료는 정밀한 보정 과정을 거쳐서 널리 활용되어야 할 것이다. VAP 탐지 산출물의 파생된 산출물로서 광학두께나 입자크기 분포, 총량 등은 민감도 실험을 통하여 충분히 산출가능성이 밝혀졌으나 검증 자료의 확보가 매우 제한적이므로 충분한 사례 확보가 필요하다.

5.1 성능

VAP 알고리즘의 성능 실험을 위한 가정은 다음과 같다.

- VAP 알고리즘에서 사용되는 물리적 변수값은 GK-2A 발사 이후 환경변화로 인한 수정 보완이 가능함.

5.2 예상 센서 성능

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

GK-2A 위성 기상탑재체인 AMI 센서의 가시채널 및 적외채널을 활용한 VAP 알고리즘에 대한 개념 설계 및 예비 산출물에 대한 알고리즘 설계 및 개발을 수행하였다. VAP 알고리즘은 이전의 에어로졸 탐지결과에 크게 의존하므로, 에어로졸 탐지 알고리즘 개선이 보다 정확한 VAP 산출물을 생산할 수 있다.

6. 참고문헌

- Allen, D. A., Hyland, A., and Hillier, D., 1990. The source of luminosity at the Galactic Centre. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 244, 706-713.
- 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).
- Gangale, G., Prata, A. J., and Clarisse, L., 2010. The infrared spectral signature of volcanic ash determined from high-spectral resolution satellite measurements. *Remote sensing of environment*, 114(2), 414-425.
- Gesell, G. 1989. An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data An extension to the APOLLO software package. *International Journal of Remote Sensing*, 10(4-5), 897-905.
- Hillger, D. W., and Clark, J. D., 2002. Principal component image analysis of MODIS for volcanic ash. Part I: Most important bands and implications for future GOES imagers. *Journal of Applied Meteorology*, 41(10), 985-1001.
- Holaske, R. E., and Rose, W. I., 1991. Anatomy of 1986 Augustine volcano eruptions as recorded by multispectral image processing of digital AVHRR weather satellite data. *Bulletin of Volcanology*, 53(6), 420-435.
- Lee, K.-H., Lee, K.-T., and Chung, S.-R., 2016. Time-resolved observation of volcanic ash using COMS/MI: A case study from the 2011 Shinmoedake eruption. *Remote sensing of environment*, 173, 122-132.
- 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.
- Mosher, F. R. 2000. Four channel volcanic ash detection algorithm. paper presented at Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 10 th, Long Beach, CA.
- Naeger, A. R., and Christopher, S. A. 2014. The identification and tracking of volcanic ash using the Meteosat Second Generation (MSG) Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI). *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(2), 581.
- Neal, C. A., McGimsey, R. G., Gardner, C. A., Harbin, M. L., Nye, C., and Keith, T., 1995. Tephra-fall deposits from the 1992 eruptions of Crater Peak, Mount Spurr Volcano, Alaska; a preliminary report on distribution, stratigraphy, and composition. *US Geol. Surv. Bull*, 2139, 65-79.

- Pavolonis, M., and Sieglaff, J., 2010. GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) algorithm theoretical basis document for volcanic ash (detection and height). NOAA CSTAR Tech. Doc. Ver, 2, 72.
- Pavolonis, M. J., Feltz, W. F., Heidinger, A. K., and Gallina, G. M., 2006. A daytime complement to the reverse absorption technique for improved automated detection of volcanic ash. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 23(11), 1422-1444.
- Pergola, N., Tramutoli, V., Marchese, F., Scaffidi, I., and Lacava, T., 2004. Improving volcanic ash cloud detection by a robust satellite technique. *Remote sensing of environment*, 90(1), 1-22.
- Prata, A. 1989. Observations of volcanic ash clouds in the 10-12 μm window using AVHRR/2 data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(4-5), 751-761.
- Prata, A., and Grant, F. 2001. Retrieval of microphysical and morphological properties of volcanic ash plumes.
- Prata, F., Bluth, G., Rose, B., Schneider, D., and Tupper, A. 2001. Comments on “Failures in detecting volcanic ash from a satellite-based technique”. *Remote sensing of environment*, 78(3), 341-346.
- Sokolik, I. N., and Toon, O. B. 1999. Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, 104(D8), 9423-9444.
- Tilstra, L., Graaf, M. D., Aben, I., and Stammes, P., 2012. In-flight degradation correction of SCIAMACHY UV reflectances and Absorbing Aerosol Index. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D6).
- Tupper, A., Carn, S., Davey, J., Kamada, Y., Potts, R., Prata, F., and Tokuno, M. 2004. An evaluation of volcanic cloud detection techniques during recent significant eruptions in the western ‘Ring of Fire’. *Remote sensing of environment*, 91(1), 27-46.
- Yu, T., Rose, W. I., and Prata, A., 2002. Atmospheric correction for satellite-based volcanic ash mapping and retrievals using “split window” IR data from GOES and AVHRR. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D16).