

GK-2A AMI

Algorithm Theoretical Basis

Document

황사 광학두께

(Dust Aerosol Optical Depth)

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	내용 변경	0.3.0.1	2016.12.22.	이권호
0.4	알고리즘 개선, 시험 검증	0.4.1.1	2017.11.12.	이권호
0.5	DAOD LUT 산출 방법 개선	0.5.3.9	2018.04.30.	지준범
0.6	알고리즘 개선 및 ATBD 수정	0.5.6.1	2018.11.20.	지준범
0.7	DAOD 알고리즘 설명 수정	0.5.7.1	2019.01.15.	지준범
0.8	DAOD 산출 알고리즘 설명 수정	0.5.8.1	2019.03.25.	지준범
0.9	DAOD 알고리즘 및 조건표 개선	0.5.9.1	2019.04.15.	지준범
1.0	GK-2A DAOD LUT 개선	0.5.10.1	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	4
2.3.3 보조 자료	5
2.4 이론적 배경	6
2.5 수학적 설명	7
2.6 산출물	7
3. 모의자료 및 검증	9
3.1 모의 입력자료 및 검증자료	9
3.2 검증 방법	10
3.3 검증 결과	10
4. 현업운영 시 고려사항	13
4.1 수치계산 고려사항	13
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항	13
4.3 품질 평가 및 진단	13
4.4 예외사항 처리	13
4.5 검증 알고리즘	13
5. 가정 및 제한	14
5.1 성능	14
5.2 예상 센서 성능	14
5.3 개선을 위한 사전 계획	14
6. 참고문헌	15

<표 목차>

표 2.3.1. 황사 광학두께 알고리즘을 위한 주요 입력자료.	4
표 2.3.2. GK-2A ADP L2 산출물.	5
표 2.6.1. 황사 광학두께 산출물.	8
표 3.1.1. GK-2A/AMI, MODIS, Himawari-8/AHI 채널의 비교.	9
표 3.3.1. DAOD 산출물과 AERONET AOD 자료와 검증결과.	12
표 3.3.2. DAOD 산출물 결과와 MODIS L2 자료와 검증 결과(기간: 2017.05.03.~2017.05.06).	12

<그림 목차>

그림 2.2.1. 황사 광학두께 산출을 위한 자료처리 흐름도.	3
그림 3.3.1. 2017년 5월 5일 0600UTC의 GK-2A ADP, AOD 및 DAOD 산출결과.	11
그림 3.3.2. 2017년 5월 6일 0600UTC의 GK-2A ADP, AOD 및 DAOD 산출결과.	11

약어표

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
BT	Brightness Temperature
BTD	Brightness Temperature Differences
CALIPSO	Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
DAOD	Dust aerosol optical depth
GK-2A	GEO-KOMPSAT 2A
IR	InfraRed
JMA	Japan Meteorological Agency
LiDAR	Light Detection And Ranging
LUT	Look-Up Table
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
NIR	Near InfraRed
NWP	Numerical Weather Prediction
RMSE	Root Mean Square Error
RTM	Radiative Transfer Model
SBDART	Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer
TIR	Thermal-infrared
TOA	Top of the Atmosphere
UM	Unified Model

1. 개요

황사는 겨울과봄철에 주로 발생하는 대규모 모래폭풍 현상이고 대기 중의 황사 입자가 증가할 경우 대기질에 악영향을 미치게 된다. 따라서 황사 광학두께 산출 정보는 황사의 영역뿐 아니라 황사의 강도 (intensity)를 표현할 수 있으므로 산출물 자체적으로 상당히 의미가 있으며 황사 감시에 관한 가시적인 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 본 기술문서에서는 GK-2A/AMI의 선행 산출물인 황사 탐지 정보(에어로졸 탐지 산출물 참고)를 이용하여 황사로 판명된 영역에 대한 AMI의 과장별 복사량 정보를 최대한 활용하여 황사의 속성정보로서 황사 광학두께 (DAOD)를 산출한다. 본 기술문서에서 다루고 있는 황사의 광학두께는 에어로졸의 광학두께(과장 0.55 μm)와는 다르게 적외채널 11 μm 에서의 광학두께 값을 의미한다. 그 이유는 황사 탐지 시 주로 사용되는 채널이 적외채널이고 에어로졸 광학두께에서 이미 가시채널의 광학두께를 다루고 있으므로 중복된 자료의 생산을 피하기 위해서이다. GK-2A 위성의 DAOD 산출물은 관측영역에서 발견되는 에어로졸 위성원격탐사의 체계적 관리 및 고품질화에 초점을 맞추는 것을 목적으로 한다.

1.1 목적

본 기술문서는 GK-2A DAOD를 위한 자료 해석 및 처리를 위한 방법론을 구체적으로 기술하였고, 황사 탐지 화소에 대한 적외채널 영역에서의 광학두께 산출 알고리즘에 대한 기초 설명서이다.

1.2 사용자

본 알고리즘 기술문서의 사용자는 DAOD 알고리즘의 물리적 배경을 이해하고 산출물을 산출하는 과정에 대한 이해를 목적으로 하는 자이다. DAOD 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 DAOD 산출물을 상세히 설명한다. DAOD 알고리즘에 대한 물리적 이론 배경과 입출력자료의 특징을 기술한다.

시험자료 및 출력물: 시험자료에 대한 설명과 DAOD 알고리즘의 실행과정을 설명한다. 그리고 산출결과물에 대한 정확도 검증에 대해서 기술한다.

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

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

1.4 관련 문서

- DAOD 알고리즘 과학코드 분석서
- DAOD 알고리즘 시험보고서

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

GK-2A DAOD 산출물은 황사 화소로 최종 결정된 화소에 대해서만 자료처리를 수행한다. 황사화소로 결정된 화소는 적외채널에서의 밝기온도 정보와 수치예보 (NWP) 자료에서 제공되는 온도 프로파일 정보를 사용하여 황사 화소에서의 상단 고도(Top Height) 정보를 생성한 후 미리 계산된 조건표 자료와 Himawari-8/AHI 센서의 관측 자료와 최적화 비교를 통하여 광학두께를 결정한다. GK-2A 위성의 관측영역의 해역 특성(case-1, -2 water, coastal region 등)에 관한 해양 반사도와 관측영역에 주로 존재하는 에어로졸 입자의 광학 특성 정보를 반영하여 알고리즘을 개발한다.

2.2 알고리즘 흐름도

DAOD를 위한 전체적인 자료처리 흐름도는 그림 2.2.1과 같고 전체 과정은 에어로졸 탐지이전 단계인 자료준비 과정과 에어로졸 탐지 알고리즘이 선행 자료처리 과정으로서 적용된다. 황사 탐지 화소로 결정된 화소는 DAOD 결정단계에서 적외채널 밝기온도값과 조건표와의 비교를 통해 최적화된 DAOD 값을 결정한다.

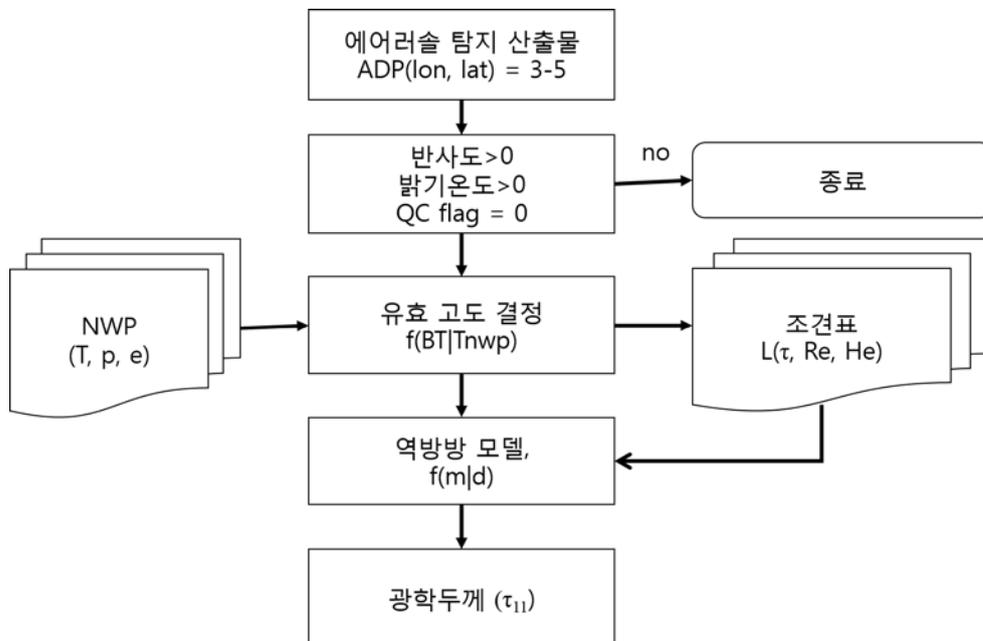


그림 2.2.1. 황사 광학두께 산출을 위한 자료처리 흐름도.

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

GK-2A DAOD 산출물은 GK-2A/AMI의 채널정보에 최적화하여 알고리즘이 개발되었다. DAOD 알고리즘 수행에 필요한 입력자료로서 위성센서의 특성정보는 적외채널 밝기 온도 (BT)값이다 (표 2.2.1 참조). DAOD 산출의 기본 원칙은 관측영역에서 구름이 없는 청천화소 (clear sky pixel)를 대상으로 대기 중의 황사 성분의 광 소산계수의 적분값을 결정하는 것이다. 청천화소란 구름으로 탐지된 영역을 제외한 영역을 말한다. 따라서 구름 탐지 산출물의 활용 또는 자체적인 구름탐지 기법이 사용될 수 있으나 구름탐지 산출물의 활용이 가능한 경우는 구름탐지 산출과정에서 에어로졸 영역이 구름으로 오인 되지 않는 경우에 한한다. 황사 성분이란 에어로졸 탐지 단계에서 광학적 특성 조건이 황사 입자와 유사한 조건을 가지는 화소를 황사 에어로졸 형태로 구분한 에어로졸 탐지정보이다.

표 2.3.1. 황사 광학두께 알고리즘을 위한 주요 입력자료.

채널	중심파장[μm]	자료	용도
7(IR)	3.8316	Calibrated L1b brightness temperature	화산재/황사 탐지
13(IR)	10.3593	Calibrated L1b brightness temperature	황사 에어로졸 광학두께
14(IR)	11.2285	Calibrated L1b brightness temperature	황사 에어로졸 광학두께
15(IR)	12.3651	Calibrated L1b brightness temperature	황사 에어로졸 광학두께

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 정보

와 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: 좋음)		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

황사 광학두께에 필요한 보조 자료는 GK-2A L1B 자료의 기하정보(화소별 위도, 경도, 위성천정각, 위성관측각, 태양천정각, 태양위치각, 육지마스크 등)가 담긴 바이너리 형식의 자료가 사용되었다. GK-2A L1B 자료 사용이후에는 위성자료와 함께 제공되는 북

사 보정된 L1B 자료 전환 테이블(gk2a_calibration_table.txt), 바이너리 형식의 위,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. 배경장 자료는 이전 30일의 동일시각에 관측된 L1b를 이용하여 화소별 최대 밝기온도를 찾아 생성된다. 배경장은 맑은 상태에서의 지표면 상태의 복사량/밝기온도로 위성 관측복사량에 대한 지표면의 기여율 제거를 위한 자료이다.

2.4 이론적 배경

황사의 광학두께 산출과 관련된 기존의 연구 중 대표적인 논문은 다음과 같다. Gu et al. (2003)은 2001년 4월 7일 황사 현상에 대하여 MODIS 적외밝기온차 기법을 적용하여 황사 영역 탐지 및 황사 영역에 대한 속성정보 (광학두께와 유효반경, 총량)에 대한 정보를 산출하였다. Zhang et al. (2006)도 동일한 사례에 대하여 MODIS 적외채널 (8.5 μ m, 11 μ m, 12 μ m)을 이용하여 황사에 대한 물리적 속성정보를 산출하였다. 황사가 강하게 나타나는 영역에 대한 황사의 속성정보 결과가 상세히 나타나나 아쉬운 점은 이 결과에 대한 정량적 비교결과가 없는 점이다. Pierangelo et al. (2004)은 AIRS의 적외채널을 이용한 황사 탐지 하는데 있어 영향을 미치는 요소가 황사의 광학두께, 고도, 유효반경 그리고 지표 방사율 임을 정량적으로 분석하여 각 채널별 민감도 실험결과를 보고하였다. 그리고 AIR 적외채널로 산출한 광학두께 값이 MODIS 가시 채널의 AOD와 상당히 유사한 상관관계를 가짐을 증명하였다.

황사의 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.

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

여기서 Z_{dust} 는 황사의 고도, T_1 과 T_2 는 T_{eff} 주위의 NWP 모델 고도의 경계온도값이며 Z_1 , Z_2 는 이에 해당하는 고도이다. 적외채널 에어로졸 광학두께는 에어로졸 입자 한 개가 가지는 광 산란 효과 (single scattering)로부터 계산되는 고도 z 에서의 광 소산계수 (light extinction, σ_{ext})를 대기 총 두께 중 존재하는 모든 입자에 대하여 적분한 값으로서 에어로졸 입자의 총 개수와 관련이 있다.

$$\tau = \int_{z=0}^{TOA} \sigma_{ext}(z) dz \quad (2)$$

에어로졸 광학두께 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, 적외 채널 밝기온도, 위경도 그리고 위성-태양의 기하각 (geometrical angles) 정보가 사용된다.

2.5 수학적 설명

위성이 관측하는 적외채널 복사량 (I_{TOA})은 다음과 같은 정방향 복사전달 방정식으로 표현된다.

$$I_{TOA} = \epsilon_c I_{ac} + T_{ac} \epsilon_c B(T_c) + I_{clr}(1 - \epsilon_c) \quad (3)$$

여기서 I_{ac} 는 황사 상부로부터 복사량, I_{clr} 는 청천 복사량, T_{ac} 는 황사 상부의 투과도, B 는 플랑크 함수, T_c 와 ϵ_c 는 황사층 최상단 온도와 방출율이다. 식 (3)에서 황사층에 의한 투과도와 최상단 온도 및 플랑크 함수는 황사 입자에 의한 소산계수와 관련이 있으므로 나머지 항을 소거하면 황사에 의한 광학두께를 결정할 수 있다. 그러나 지표의 방사율과 황사의 방사율과 투과도 계산이 상대적으로 불확실하기 때문에 미리 계산된 조건표를 이용하여 통계적으로 광학두께 값으로 산출된다. 조건표 작성을 위한 복사전달모델은 SBDART (Richiazzi et al., 1998)를 사용하였다. SBDART는 평행-평면 (plane-parallel) 복사전달 기법과 구분종좌표법 (discrete ordinate method)을 사용하는 포트란 코드로서 지표와 대기의 조건에 따라 자외선-가시광선-적외선 영역에서의 복사량을 모의할 수 있다.

2.6 산출물

GK-2A DAOD 산출 알고리즘은 GK-2A/AMI 자료를 이용하여 청천화소에 대한 DAOD 산출로 구성되어 있다. 출력 자료는 공간해상도가 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 이고 시간해상도는 10분이다. GK-2A DAOD 산출물은 황사 에어로졸 탐지 산출 결과에 대하여 해당 화소별 조건표를 이용한 역산 방법을 적용하여 황사 광학두께에 대한 수치자료를 제공한다.

표 2.6.1. 황사 광학두께 산출물.

Name	Description		Dimension
Dust Aerosol Optical Depth(DAOD)	Wavelength:11 μ m, range: 0.0 - 5.0		Grid(lon, lat)
Dust Aerosol Optical Depth(DAOD055)	Wavelength:0.55 μ m, range: 0.0 - 5.0		Grid(lon, lat)
DAOD quality flag	0:none, 1: bad, 2:good		Grid(lon, lat)
	bit	Conditions	
	0	None : adps /= dust	
	1	bad confidence : daod <0 or daod>5	
	2	good confidence : 0<daod<5	
DAOD055 quality flag	0:none, 1: bad, 2:good		Grid(lon, lat)
	bit	Conditions	
	0	None : adps /= dust	
	1	bad confidence : daod055 <0 or daod055>5	
	2	good confidence : 0<daod055<5	

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

DAOD 산출에 필요한 입력자료는 Himawari-8/AHIL1B 자료가 사용되었다. Himawari-8 위성 발사 이전에는 주로 MODIS L1B 자료를 이용하여 GK-2A 위성의 유사채널 정보로서 DAOD 알고리즘의 설계 및 테스트를 수행하였다. Himawari-8 위성의 성공적인 발사 이후 L1B 자료가 가능하였던 2015년 8월 이후부터는 DAOD 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)	Himawar-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

DAOD 산출물에 대한 검증자료는 AERONET AOD, MODIS L2 MOD35 AOD, MYD35 AOD, Himawari-8 AOD가 있다. 그러나 이들 자료는 주간 산출물이며 야간 산출이 가능한 DAOD와 직접적인 비교는 불가능하다.

3.2 검증 방법

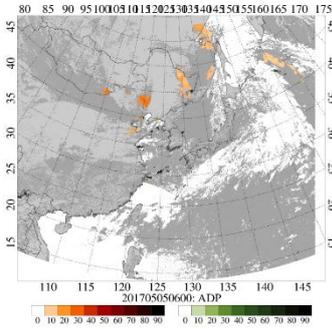
DAOD 산출물의 정확도 검증을 위한 방법은 정량적인 방법이 사용되며 검증량은 상관관계수, BIAS, RMSE(Root Mean Square Error)이다. 여기서 산출물은 본 연구에서 개발된 황사 에어로졸 광학두께이고 검증자료는 위에서 언급된 타 위성자료(공개된 표준 산출물)이며 AOD 산출결과물의 연속 산출이 가능한 시점 이후 충분한 산출물이 획득되면 상기의 검증 및 검증결과에 대한 통계분석 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 검증 결과

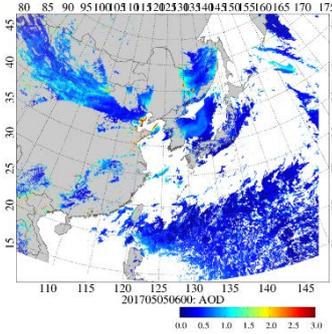
GK-2A DAOD 산출물은 황사 탐지 화소에 대한 적외채널 광학두께 값을 제공함으로써 대기 중에 존재하는 황사 입자의 상대적인 강도 (intensity)에 대한 정보를 제공한다. 따라서 황사 성분에 대한 상대적 강도를 색상화하여 관심지역내의 지도상에 표출하였다.

그림 3.3.1과 3.3.2에 2017년 5월 5일부터 6일까지 발생한 황사 사례에서의 에어로졸 탐지 산출물과 550 nm 파장에서의 광학적 두께 및 11 μm 파장에서 산출된 황사의 광학적 두께를 나타내었다. 2017년 5월 5일-6일은 황사가 발생한 사례로써, 에어로졸 탐지 산출물로부터 황사가 분명하게 구분되고 있고 이러한 황사는 중국으로부터 한반도 북부지역에서 동쪽으로 이동하였음을 확인할 수 있다. 같은 기간 산출된 광학적 두께는 0.6-1.2 범위의 값을 갖는 것으로 측정되었고 황사의 광학적 두께 또한 유사한 값의 분포를 나타냄을 확인할 수 있다.

GK-2A ADP



GK-2A AOD



GK-2A DAOD

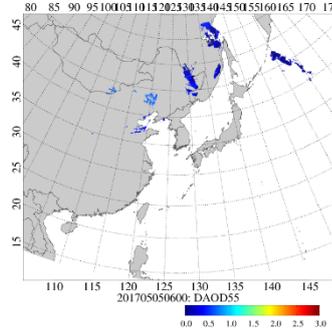
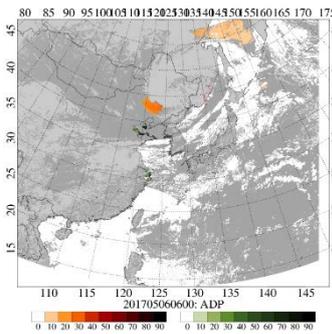
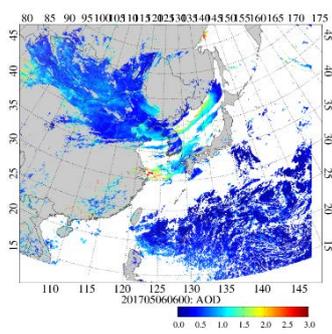


그림 3.3.1. 2017년 5월 5일 0600UTC의 GK-2A ADP, AOD 및 DAOD 산출결과.

GK-2A ADP



GK-2A AOD



GK-2A DAOD

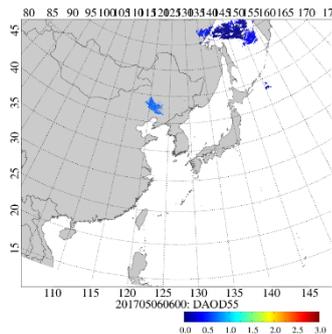


그림 3.3.2. 2017년 5월 6일 0600UTC의 GK-2A ADP, AOD 및 DAOD 산출결과.

DAOD 산출물의 목표정확도는 Bias 0.1~0.2, RMSE 0.25~0.30으로 설정하였다. DAOD 산출물의 검증을 위하여 황사 발생일(0100UTC~0600UTC 5th May 2017, 2200UTC 6th May 2017)의 사례에 대하여 지상 관측 sunphotometer 관측망인 AERONET AOD 자료와 비교하였다. 비교결과는 표 3.3.1과 같으며 RMSE는 평균 0.7, Bias는 0.6으로 나타났다. 위성이 관측하는 적외영역의 DAOD는 지상에서 관측된 가시 영역의 AOD와 비교할 때 절대값에서 차이가 나는 부분이 고려되지 않았기 때문에 RMSE와 BIAS값이 다소 높게 계산되었다. 표 3.3.2에서 나타난 MODIS L2 AOD와의 비교 사례에서도 DAOD의 값은 AOD값보다 부정확한 요소를 포함하고 있다. DAOD는 IR 채널을 사용하여 산출된 자료(11 μm)로서 MODIS AOD(550nm)와의 화소별 비교를 위하여 550 nm로 외삽된 자료로 가공하였으므로 그에 따라 직접 가시채널 반사도로부터 산출된 MODIS AOD와의 직접 비교시 목표 정확도 확보에 어려움이 발생하였다. 외국의 사례에서도 IR AOD와 VIS AOD를 직접 비교하

기보다는 월평균 분포와 광역(1deg*1deg) 자료를 통한 정성적 비교를 한 사례가 있다. GK2A DAOD는 2 km×2 km 로서 보다 고해상도의 MINUTE 수준의 정보를 제공하고 있어 검증지수에 대한 불확실성이 더욱 클 수 있다. VIS AOD를 검증자료로 사용할 경우, 기존에 제시된 검증지수 수준을 보다 현실적으로 높일 필요가 있다. 따라서 보다 정량적인 비교를 위한 검증자료의 확보가 필요하다.

표 3.3.1. DAOD 산출물과 AERONET AOD 자료와 검증결과.

Case	# Data	RMSE	bias
201705050100	10	0.74	0.69
201705050200	10	0.78	0.72
201705050300	10	0.77	0.72
201705050400	11	0.73	0.69
201705050500	8	0.62	0.60
201705050600	6	0.55	0.53
201705062200	3	0.32	0.32
201705062300	9	0.48	0.40
201705070000	12	0.55	0.51

표 3.3.2. DAOD 산출물 결과와 MODIS L2 자료와 검증 결과(기간: 2017.05.03. ~ 207.05.06).

Index	Bias	RMSE	R
Land(Dark Target)	-1.20	1.27	0.20
Land(Deep Blue)	-0.72	1.12	-0.25
Ocean	-0.34	0.36	-0.05

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

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

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

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

4.3 품질 평가 및 진단

DAOD 산출물의 품질평가 및 진단을 위한 절차는 다음과 같다.

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

4.4 예외사항 처리

- 예외사항으로는 주/보조 입력자료의 사용 불량, 전달 오류시 표시함.

4.5 검증 알고리즘

DAOD 산출물은 각 황사 탐지 화소에 대한 광학두께값로서 현재 사용가능한 검증용 자료로는 MODIS L2 AOD 자료와 AERONET AOD 자료 및 Himawari-8 AHI AOD가 간접적으로 비교 가능하지만 파장이 다르므로 절대 비교검증은 불가능하다. 야간에 산출된 DAOD 산출물은 라이다(LiDAR) 관측으로 구분된 황사층의 에어로졸 소멸계수의 연직분포를 적분하여 얻어진 값과 비교검증 될 것이다. 황사 광학적 두께 산출 결과물의 연속산출이 가능한 시점 이후, 충분한 산출물이 획득되면 상기의 검증 및 검증결과에 대한 통계분석 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 가정 및 제한

DAOD 알고리즘에서는 다음과 같은 가정과 제한사항이 존재한다.

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

5.1 성능

DAOD 알고리즘의 성능 실험을 위한 가정은 다음과 같다.

- MODIS L2 에어로졸 산출물의 화소별 광학두께값은 알려진 정확도 내의 검증자료로 간주함.
- DAOD 알고리즘에서 사용되는 물리적 변수값은 GK-2A 발사 이후 환경변화로 인한 수정보완이 가능함.

5.2 예상 센서 성능

DAOD 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

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

6. 참고문헌

- Gu, Y., Rose, W. I., and Bluth, G. J., 2003. Retrieval of mass and sizes of particles in sandstorms using two MODIS IR bands: A case study of April 7, 2001 sandstorm in China. *Geophysical Research Letters*, 30(15).
- Mahowald, N. M., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Duce, R. A., Jickells, T. D., Kubilay, N., Prospero, J. M., and Tegen, I., 2005. Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean. *Global biogeochemical cycles*, 19(4).
- Pierangelo, C., Chédin, A., Heilliette, S., Jacquinet-Husson, N., and Armante, R., 2004. Dust altitude and infrared optical depth from AIRS. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4(7), 1813-1822.
- Ricchiazzi, P., Yang, S., Gautier, C., and Sowle, D., 1998. SBDART: A research and teaching software tool for plane-parallel radiative transfer in the Earth's atmosphere. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(10), 2101-2114.
- Zhang, P., Lu, N.-M., Hu, X.-Q., and Dong, C.-H., 2006. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change*, 52(1), 197-206.