

GK2A AMI

Algorithm Theoretical Basis

Document

운형 (Cloud Type)

최용상, 김보람, 김혜실

이화여자대학교

한국전자통신연구원 / 국가기상위성센터

Version 1.0

2019. 04. 15.

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	모든 내용	0.1.0.0	2017.01	이아름
0.2	DBSCAN 기법 기술 추가	0.2.0.0	2017.11	이아름, 김보람
1.0	ATBD 포맷 및 동아시아 영역 운형산출 기법 수정	0.5.6.1	2019.04	김혜실

<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
2.1.1 산출물의 정의	2
2.1.2 산출물의 목표정확도	2
2.2 알고리즘 흐름도	2
2.2.1 전구 영역 운형 산출 흐름	5
2.2.2 전구 영역 구름층 고도 산출 흐름도	5
2.2.3 동아시아 영역 운형 산출 흐름	5
2.3 입력자료	6
2.3.1 Level1B	7
2.3.2 Level2	7
2.4 이론적 배경	8
2.5 수학적 설명	9
2.5.1 전구 영역 운형	9
2.5.2 동아시아 영역 운형	10
2.6 산출물	15
3. 모의자료 및 검증	20
3.1 모의 입력자료 및 검증자료	20
3.2 검증 방법	20
3.3 검증 결과	20
3.3.1 Event 1 (2017. 07. 14. 0300 UTC)	21
3.3.2 Event 2 (2017. 07. 14. 0340 UTC)	22
4. 현업 운영 시 고려사항	23
4.1 수치계산 고려사항	23
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항	23
4.3 품질 평가 및 진단	23
4.4 예외 사항 처리	24
4.5 검증 알고리즘	24
5. 가정 및 제한	26
5.1 성능	26
5.2 예상 센서 성능	26

5.3 개선을 위한 사전 계획	26
6. 참고문헌	27

〈표 차례〉

표 1 GK-2A 운형 알고리즘 목표정확도	2
표 2 GK-2A의 운정산출물 알고리즘 입력자료	6
표 3 ISCCP 운형명	10
표 4 전구 운형 산출 알고리즘	15
표 5 구름층 고도 산출 알고리즘	15
표 6 동아시아 운형 산출 알고리즘	16
표 7 Event 1에 대한 검증 자료명	20
표 8 Event 2에 대한 검증 자료명	20
표 9 검증에 사용된 사례들	21
표 10 각 검증 사례에서 위경도 범위	21
표 11 Event 1에 대한 검증 결과	21
표 12 Event 2에 대한 검증 결과	22
표 13 자료품질: CT	23
표 14 자료품질: CCT	24

〈그림 차례〉

그림 1 전구 영역의 운형 산출물 흐름도	3
그림 2 전구 영역의 구름층 고도 산출물 흐름도	3
그림 3 동아시아 영역의 운형 산출물 흐름도	4
그림 4 ISCCP 운형 분류(Rossow and Schiffer 1999)	10
그림 5 임의의 그림의 회색 강도 히스토그램(Chao et al. 2009)	11
그림 6 (a), (e)원본 이미지; (b), (f): 각 이미지의 히스토그램, (c), (g): Chao et al. (2009)에서 제안된 방법 결과, (d),(h): Otsu의 기법의 결과	11
그림 7 (a) ch3의 정규화된 반사도의 히스토그램 (b) ch14의 정규화된 밝기온도의 히스토그램. 빨간색 실선은 히스토그램 곡선의 변곡점으로, 본 알고리즘에서는 구름 화소 군집화를 위한 경계값임.	12
그림 8 운형명을 위하여 각 군집(세모, 동그라미 등의 각 기호)을 구름광학두께와 운정기압 평면에 표출한 예시	13
그림 9 AMI-ISCCP 확률 운형 명명법	14
그림 10 MODIS 검증을 수행한 2017년 7월 14일 0300 UTC 사례	21
그림 11 MODIS 검증을 수행한 2017년 7월 14일 0340 UTC 사례	22

약어표

ABI	– Advanced Baseline Imager
AMI	– Advanced Meteorological Imager
ATBD	– Algorithm Theoretical Basis Document
BRDF	– Bidirectional Reflectance Distribution Function
CIMSS	– Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)
CTPs	– Cloud Top Properties (Cloud Top Phase, Temperature, Pressure, and Height)
CTP	– Cloud Top Pressure
DCOEW	– Daytime Cloud Optical Thickness, Effective radius, and Water path
ETRI	– Electronics and Telecommunications Research Institute
GK-2A	– GEO-KOMPSAT-2A
ISCCP	– International Satellite Cloud Climatology Project
IR	– Infrared
MODIS	– Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NIR	– Near Infrared
NMSC	– National Meteorological Satellite Center
NWP	– Numerical Weather Prediction
PC	– Proportion Correct
SEVIRI	– Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
VIS	– Visible

1. 개요

1.1 목적

본 문서는 2018년 12월에 발사된 GK-2A의 정지궤도 위성을 위한 운형산출물 산출 방법을 소개한 기술서이다. 본 문서에서의 운형(Cloud Type)은 두 가지 영역(전구/동아시아)에 따라 다른 운형 산출기법을 소개한다.

1.2 사용자

본 문서의 사용자는 GK-2A 위성에서 산출된 운형 산출물을 활용하는 예보자들, 다양한 기후/기상 연구자들, 향후 운형 산출물을 포함한 구름 산출 알고리즘 개발에 관심이 있는 연구자들이다.

1.3 내용

본 문서는 운형 산출물의 정의, 산출 배경 및 상세한 알고리즘 설명, 운형 산출물의 검증 결과와 향후 개선 방향을 담고 있다.

1.4 관련 문서

운형 산출물 알고리즘의 입력자료로 활용되는 구름 탐지, 구름 광학두께, 운정산출물의 기술 문서는 본 알고리즘을 심도 있게 이해하는 데 도움이 될 것이다.

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

2.1.1 산출물의 정의

운형(Cloud Type)은 단위가 없는 산출물로, 구름의 모양과 높이 등 구름의 특징에 따라 구름을 분류한 것이다. 운형은 산출영역에 따라 두 가지 방법을 통해 산출된다. 먼저, 전구에 대해서 국제위성구름기후사업(International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP)운형으로 분류를 진행하며, 총 9가지로 구름을 분류한다. 추가로, 구름을 상층/중층/하층으로 분류하는 구름층고도 자료가 산출된다. 동아시아 지역에서는 군집화를 통해 분류하고, ISCCP 운형 이름과 확률을 활용해 운형을 정의한다.

2.1.2 산출물의 목표정확도

운형 산출물의 목표 정확도는 다음 표 1과 같다. MODIS 위성에서 산출된 운정 기압과 구름광학두께를 바탕으로 운형을 산출하여, 본 알고리즘의 운형과 화소 단위로 비교하여 일치도를 작성한다.

표 1 GK-2A 운형 알고리즘 목표정확도

목표정확도	원형 알고리즘 단계	완성 단계
타 위성과 일치도	53 %	80 %

2.2 알고리즘 흐름도

GK-2A운형은 영역에 따라 산출 방식이 다르다. 첫 번째는 전구 영역에서 산출되는 운형으로써, 주간 구름광학두께와 운정 기압의 경계값으로 운형을 정의하는 방식이다. 두 번째는 동아시아 영역에서 산출되는 운형으로써, Level1B의 반사도/복사량 만을 입력자료로 활용하여 비슷한 성질을 가진 구름화소를 군집화시켜 시공간에 따라 유동적인 경계값으로 운형을 결정하는 방식이다.

그림 1은 전구 영역에서 산출되는 운형의 알고리즘 흐름도이다. 가시영역에서 산출되는 구름광학두께(Cloud Optical Thickness, COT)와 운정기압(Cloud Top Pressure, CTP)를 읽는다. 구름화소인 경우, 즉 COT와 CTP의 값이 둘 다 존재하는 경우 ISCCP 운형의 정의(2.4/2.5절에 상세 소개)에 따라 운형을 산출한다. 이때 추가적으로 구름 상층/중층/하층 정보를 반영한 구름층 고도도 산출한다.

그림 2는 전구 영역에서 산출되는 구름층고도 산출물의 알고리즘 흐름도이다. 첫 번째 단계에서 운정기압(Cloud Top Pressure, CTP)를 읽는다. 구름화소인 경우, 즉 CTP의 값이 존재하는 경우 ISCCP 운형의 정의(2.4/2.5절에 상세 소개)에 따

라 구름층 고도를 산출한다.

그림 3은 동아시아 영역에서 산출되는 운형의 알고리즘 흐름도이다. 첫 번째 단계에서는 $0.6\ \mu\text{m}$ 반사도와 $11.2\ \mu\text{m}$ 복사량에 해당하는 AMI L1B 자료를 읽는다. COT, CTP 또한 동시에 읽는다. 청천화소(COT, CTP 값이 존재하지 않는 영역)를 제외하고, 관측 영역 안에서의 구름화소지역의 반사도와 복사량의 분포도를 통해 비슷한 성질의 구름화소끼리 군집화를 시킨다(2.4/2.5절에서 상세 설명). 이 때 복사량은 플랑크 역함수를 사용하여 휘도온도값으로 변환한 뒤 사용한다. 결정된 군집화가 어떤 운형에 속하는지는 해당하는 화소의 구름광학두께, 운정기압의 값을 통해 결정한다.

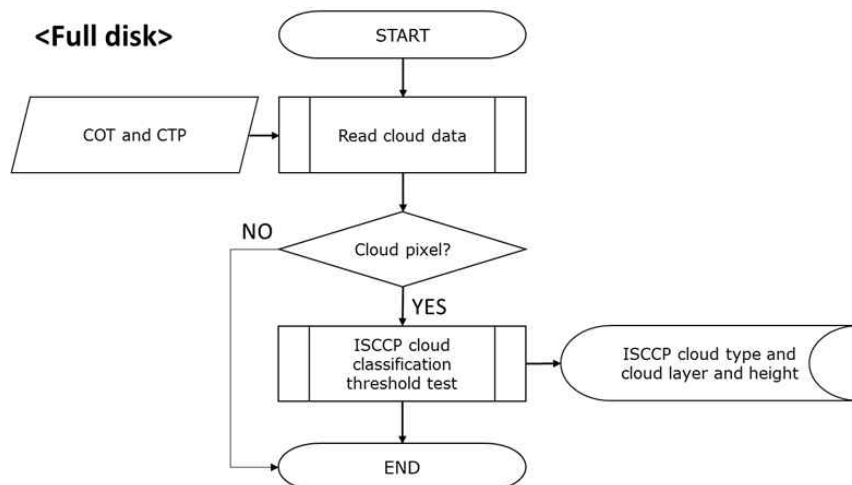


그림 1 전구 영역의 운형 산출물 흐름도

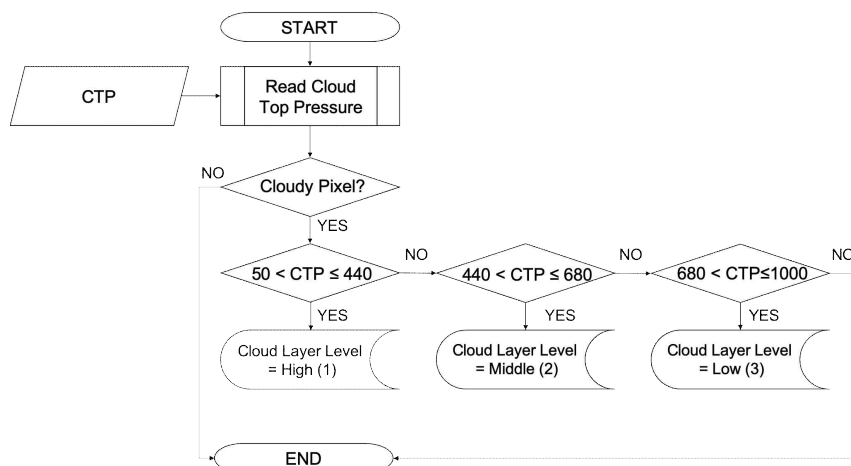


그림 2 전구 영역의 구름층 고도 산출물 흐름도

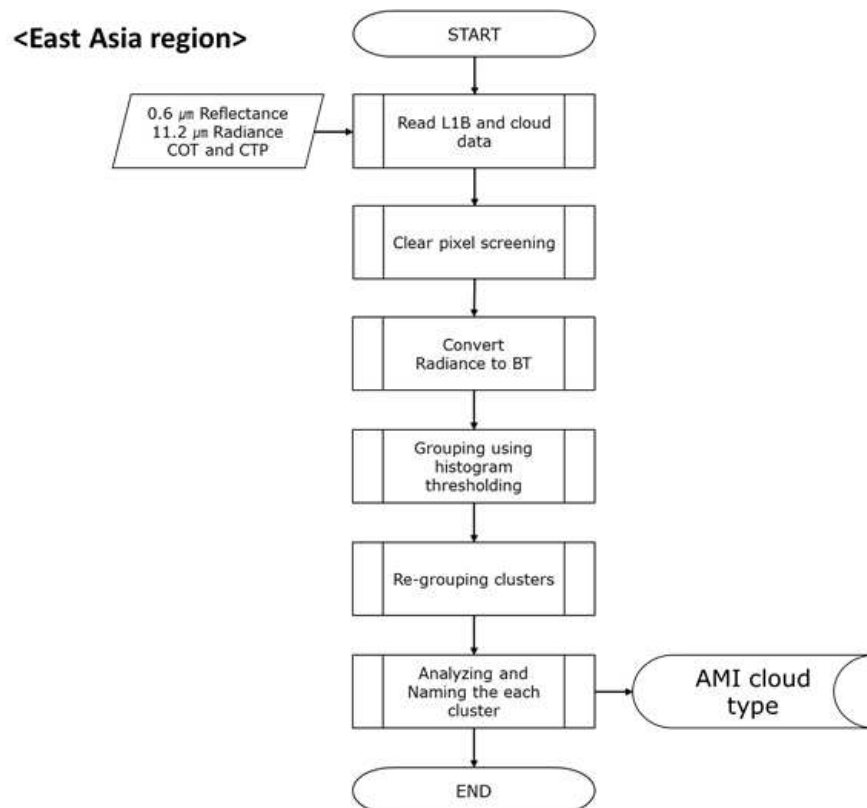


그림 3 동아시아 영역의 운형 산출물 흐름도

2.2.1 전구 영역 운형 산출 흐름

전구 영역 운형 산출 흐름을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- 1단계. 운정기압 및 구름광학두께 자료 입력

전구 영역의 운정기압, 구름광학두께(GK-2A의 산출물) 자료를 읽는다.

- 2단계. ISCCP 경계치를 활용하여 운형 분류

운정기압, 구름광학두께 경계값(ISCCP 정의, 2.4절 설명)에 따라 운형이 산출된다.

2.2.2 전구 영역 구름층 고도 산출 흐름도

전구 영역 구름층 고도 산출 흐름을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- 1단계. 운정기압 자료 입력

전구 영역의 운정기압(GK-2A의 산출물) 자료를 읽는다.

- 2단계. ISCCP 경계치를 활용하여 구름층 고도 분류

운정기압 경계값(ISCCP 정의, 2.4절 설명)에 따라 구름층 고도가 산출된다.

2.2.3 동아시아 영역 운형 산출 흐름

- 1단계. Level 1B 자료 입력

AMI의 3번 채널의 반사도와 14번 채널의 복사량을 읽고, 동아시아 지역으로 범위를 제한한다.

- 2단계. 복사량 자료 변환

1단계에서 입력받은 14번 채널의 복사량 값을 휘도온도로 변환한다. 즉, 3번 채널의 반사도, 14번 채널의 휘도온도가 입력자료로 설정된다.

- 3단계. 구름탐지/ 청천화소 제거

선행 산출물인 구름탐지 자료를 활용한다. 청천 화소는 군집화에 활용되지 않도록 제거한다. 구름 탐지 자료에서 청천/구름일 경우가 확실하지 않은 경우는 알고리즘을 수행하되 출력 시 Quality Flag에 표시를 하도록 한다.

- 4단계. 군집화

히스토그램 경계값 알고리즘을 활용한다. 이 기법은 일정 지역에서 한 자료의 분포 변화를 통해 자료 군집을 돕는 기법이다. 자세한 설명은 2.4/2.5절에서 한다.

- 5단계. 군집 특성 분석 및 운형 명명

군집화 결과로 산출된 각 군집은 구름광학두께와 운정기압을 바탕으로 ISCCP 운형 분류의 경계치를 활용하여 각각의 군집마다 특성을 분석한다. 이렇게 분석된 결

과를 토대로 AMI-ISCCP 확률 운형 명명법을 통해 운형을 최종적으로 명명하여 산출물이 생성된다. 자세한 설명은 2.4/2.5절에서 한다.

2.3 입력자료

운형 산출 알고리즘에서 사용된 입력자료는 표 2와 같다. 표 2는 정적 입력자료, 동적 입력자료가 모두 기술되어 있으며 2.3.1에서는 Level1B, 2.3.2에서는 Level2에 대하여 상세히 기술한다.

표 2 GK-2A의 운정산출물 알고리즘 입력자료

Type	Item	Parameter	Usage
Static Data	Surface data	Surface elevation	
	Surface data	Surface type map	
	Spectral properties	Spectral response functions	
	Spectral properties	Spectral albedo for each surface type	
	Spectral properties	BRDF	
	Thresholds	Thresholds for ISCCP cloud type	○
	Look-up tables	—	
	Climate data		
	Other satellite data	final parameter	
Dynamic data	Level 1B for the AMI	Channel 1: VIS0.4(0.47 μm)	
		Channel 2: VIS0.5(0.51 μm)	
		Channel 3: VIS0.6(0.64 μm)	○
		Channel 4: VIS0.8(0.856 μm)	
		Channel 5: NIR1.3(1.38 μm)	
		Channel 6: NIR1.6(1.61 μm)	
		Channel 7: IR3.8(3.830 μm)	
		Channel 8: IR6.3(6.241 μm)	
		Channel 9: IR6.9(6.952 μm)	
		Channel 10: IR7.3(7.344 μm)	
		Channel 11: IR8.6(8.592 μm)	
		Channel 12: IR9.6(9.625 μm)	
		Channel 13: IR10.4(10.403 μm)	
		Channel 14: IR11.2(11.212 μm)	○
		Channel 15: IR12.4(12.364 μm)	
		Channel 16: IR13.3(13.31 μm)	
		start time	
		solar zenith angle	
		satellite viewing angle	○
		relative azimuth angle(sun/satellite)	
	From other AMI information	RTTOV products	
		Clear sky radiance (from RTTOV)	
		Cloud detection	
		Cloud fraction	
		Cloud optical depth	○
		Effective particle radiation	

		Cloud top temperature/pressure/height	○
		Sea ice/snow detection	
		Sea surface temperature	
		Local standard Time	
		Total precipitation water	
		Relative humidity	
		Aerosol optical depth	
	NWP data	Temperature profile	

2.3.1 Level1B

동아시아 영역의 운형 산출 알고리즘에서는 1개의 가시채널과 1개의 적외채널을 사용한다. 각 채널의 특성 및 사용 근거는 다음과 같다.

2.3.1.1 VIS0.6 채널

중심파장이 0.6 μm 으로 AMI 센서의 channel 3(본 문서에서 ch3으로도 표기함)인 이 채널은 가시영역에서 빨간색 부분에 해당하는 파장대이므로 “red” 밴드라고도 불린다. VIS0.6은 안개 탐지, 태양 일사량 측정 등에 사용되며 특히 구름의 특징을 묘사하는데 사용된다. 뿐만 아니라, 눈, 화산재 등을 분별할 때도 사용되며, 허리케인과 같이 재해 기상 예보에도 활용도가 높은 채널이다(Schmit et al. 2005; Miller et al. 2012; ABI Weather Event Simulator (WES) Guide by CIMSS). 본 알고리즘에서는 구름의 특성마다 반사도가 다르다는 것을 이용하여 비슷한 운형끼리 군집화하는데 VIS0.6을 사용하였다.

2.3.1.2 IR11.2 채널

중심파장이 11.2 μm 으로 AMI 센서의 channel 14(본 문서에서 ch14으로 표기함)인 이 채널은 기상위성분야에서 지속적이고 다양한 분야로 활용되어 온 대기창 적외채널이다. 이 대기창 채널은 다양한 위성 산출물을 개발할 때 활용된다. 강수 추정, 구름의 움직임, 허리케인 강도와 궤도 분석, 구름의 운정온도와 운상, 그리고 안개탐지 등에 활용되어 왔다(Schmit et al. 2005; ABI Weather Event Simulator (WES) Guide by CIMSS). 본 알고리즘에서는 운정온도를 반영하는 본 채널을 활용하여, 비슷한 운형끼리 군집화하는데 IR11.2를 사용하였다.

2.3.2 Level2

전구 영역의 운형 산출 알고리즘에서는 총 2개의 GK-2A 선행 산출물을 입력자

료로 사용한다. 각 산출물 특성 및 사용 근거는 다음과 같다.

2.3.2.1 GK-2A 구름광학두께 자료

GK-2A의 구름광학두께는 가시채널 반사도를 입력자료로 하여 최신의 optimal estimation 기법을 통해 산출된다(GK-2A 구름광학두께 기술개발서 참고). 구름광학두께 자료의 유무는 운형 산출물의 산출 여부를 판단하는 근거가 된다. 전구 영역 운형 알고리즘에서는 ISCCP 정의에 따라 운형을 산출하는데 사용된다. 동아시아 영역 운형 알고리즘에서는 level1B로 군집화된 구름 군집의 특징을 정의할 때 사용된다(2.4/2.5 단원에서 상세 설명).

2.3.2.2 GK-2A 운정기압 자료

GK-2A의 운정기압 자료는 적외채널 관측을 통해 산출된다(GK-2A 운정산출물 기술개발서 참고). 전구 영역 운형 알고리즘에서는 ISCCP 정의에 따라 운형을 산출하는데 사용된다. 동아시아 영역 운형 알고리즘에서는 level1B로 군집화된 구름 군집의 특징을 정의할 때 사용된다(2.4/2.5 단원에서 상세 설명). 추가적으로 구름층 고도를 산출할 때 주 입력자료로 활용된다.

2.4 이론적 배경

운형은 구름을 분류하기 위한 변수로, 강수 구름을 식별하여 날씨를 예보하는데 널리 사용된다. 또한, 운형은 운상, 구름광학두께, 운정 기압의 정보를 반영하므로, 전지구 복사에너지를 계산할 때에도 운형이 미치는 효과는 운량이 갖는 효과만큼 크다 (Hartmann et al., 1992; Pavolonis and Key, 2003; Chen et al., 2000). 따라서 시/공간적 해상도가 높은 운형 산출은 기상 예보 정확도 향상 및 다양한 기후 연구에 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 운형의 부가산출물로, 구름의 고도 정보만을 반영하는 구름층고도 또한 산출한다.

위성 관측 기반으로 산출된 운형(Rossow and Schiffer 1999; Derrien, M., and H. Le Gléau 2005; 최용상, 조희제 2012)은 구름의 광학적 특성과 높이의 경계치 검사를 기반으로 한다. 이때 통상적으로 널리 쓰이는 운형의 정의는 ISCCP의 정의이다. 그러나 이러한 경계치 검사를 이용하는 알고리즘은 계절, 지역, 시간대에 따라 달라지는 구름의 변화를 반영하는 것에는 한계가 있다. 따라서 GK-2A의 운형 알고리즘은 (1)보편적 기법을 따라 구름광학두께와 운정기압의 경계치 검사 방식과 (2)경계치에 얽매이지 않는 기계학습 방식을 적용하여 개발되었다.

기계학습을 활용하는 운형 산출 알고리즘은 다음과 같이 설계되었다. AMI 채널

3번(VIS 0.6 μm)의 반사도와, 14번(IR 11.2 μm)의 복사량을 운형 산출 알고리즘의 최초 입력자료로 활용하여 알고리즘을 시작한다. 이후 구름 탐지 자료를 통해 청천 화소를 제외한 뒤, 해당 자료를 군집화 알고리즘에 적용하여 군집화 결과를 얻는다. 군집화 결과로 산출된 군집들은 구름광학두께와 운정 기압을 이용하여 각각의 군집 특징에 대해 AMI-ISCCP 확률 운형 명명법을 통하여 운형이 결정된다.

2.5 수학적 설명

2.5.1 전구 영역 운형

전구 영역에서 사용한 알고리즘 원형은 ISCCP 운형이다. ISCCP 운형 알고리즘은 구름을 권운, 권층운, 적란운, 고적운, 고층운, 난층운, 적운, 층적운, 층운의 총 9가지 형태로 나누어 명명한다(그림 4 및 표 3). 이 운형은 위성에서 관측한 구름의 광학적 특성과 전통적인 형태학적 운형 분류와의 기후적 비교를 통해 정립되었다(최용상, 조희제 2012). ISCCP 운형 산출 알고리즘은 그동안 수많은 과학자가 꾸준히 이용해왔을 정도로 가장 보편적인 위성 운형 분류법으로 여겨져 왔으며, 기본적으로 구름광학두께와 운정 압력을 이용한 경계치 검사를 통해 명명이 이루어진다. ISCCP의 운형 분류는 위성으로부터 관측된 광학적 변수와 고전 형태학적 구름 분류의 대략적인 기후학적 관계에 근거하므로 통계적 관점에서 잘 맞다(Rossow and Schiffer 1999). 또한 이 알고리즘에서 정의하는 명명법은 예보자들에게 뿐만 아니라 일반인들에게도 친숙한 형태의 운형명을 제공하기 때문에 통상적으로 가장 널리 쓰이고 있다. 그러나 특별한 기상 현상의 경우 정적 경계값을 사용하는 ISCCP 운형 명명법이 적절하지 않은 것으로 입증된 바 있다(Hahn et al. 2001).

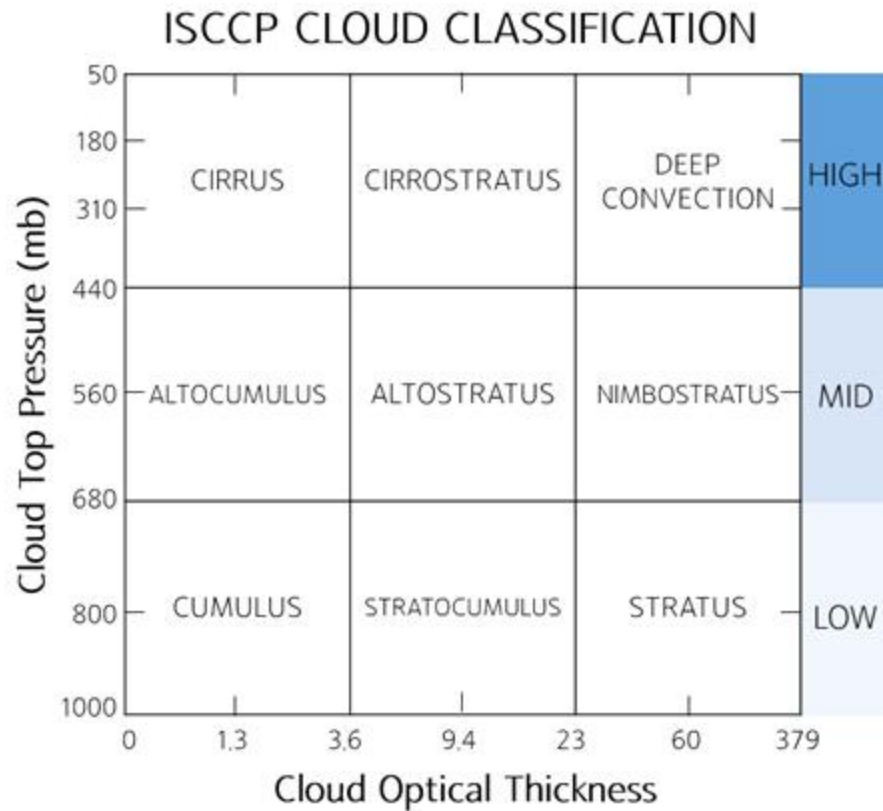


그림 4 ISCCP 운형 분류 (Rossow and Schiffer 1999)

표 3 ISCCP 운형명

번호	국문명	영문명	약자
1	권운	Cirrus	Ci
2	권층운	Cirrostratus	Cs
3	적란운	Deep Convection	DC
4	고적운	Altostratus	Ac
5	고층운	Altostratus	As
6	난층운	Nimbostratus	Ns
7	적운	Cumulus	Cu
8	층적운	Stratocumulus	Sc
9	층운	Stratus	St

2.5.2 동아시아 영역 운형

2.5.2.1 히스토그램 경계값 기법

동아시아 영역의 운형은 Chao et al. (2009)에서 제안된 이미지 분할 기법을 기

반으로 개발되었다. 일반적으로, 이미지 분할 기술은 이미지를 구성하는 여러 요소들의 경계값을 사용하여 비슷한 성질의 이미지를 군집시킨다. Chao et al. (2009)에서는 군집화를 위한 경계값이 각 이미지마다 다를 수 있다는 점에 주목하였다. 보다 정확한 군집화를 위하여, 이미지 요소들의 분포 특성을 먼저 파악하고, 그 요소들의 히스토그램이 갖는 변화로 경계값을 결정하는 방법을 개발하였다. 예를 들면, 그림 5는 특정 이미지의 회색 강도의 히스토그램(gray-level histogram)을 보여주고 있다. x축은 회색 음영 정도를 0-250까지 표현한 값으로, 이미지 안에서 가질 수 있는 회색 강도를 나타내고 있고, y축은 발생 빈도를 나타내고 있다. 그림에서 보듯, 회색 강도 히스토그램은 하나의 정규분포도가 아닌, 여러 골(valley)과 피크(peak)를 갖는(그림 5, 빨간색 표시), 즉, 여러 분포도가 합쳐진 분포를 갖는다. 이때 분포도의 골에 따라 경계값을 주어 이미지를 분할하면, 비슷한 요소끼리 잘 군집되는 결과를 보인다. 그림 6는 Chao et al. (2009)의 결과이다.

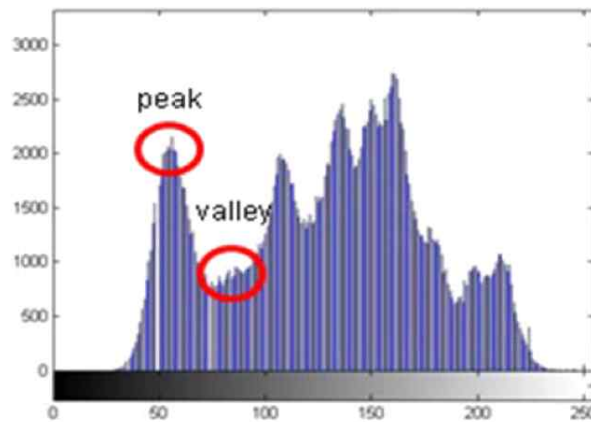


그림 5 임의의 그림의 회색 강도 히스토그램(Chao et al. 2009)

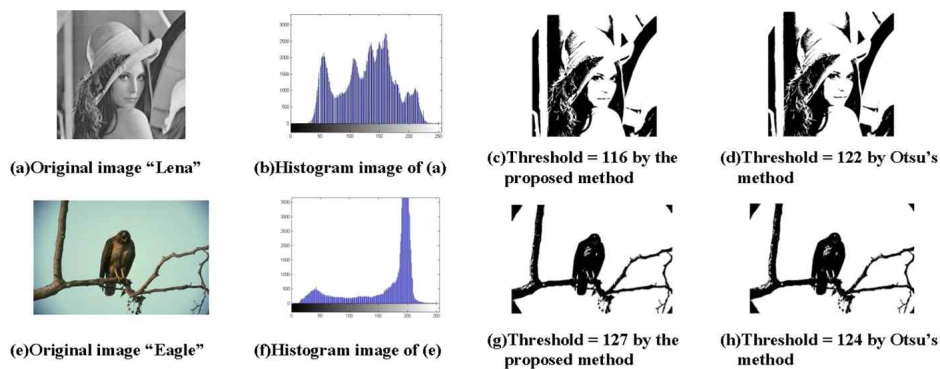


그림 6 (a), (e)원본 이미지; (b), (f): 각 이미지의 히스토그램, (c), (g): Chao et al. (2009)에서 제안된 방법 결과, (d),(h): Otsu의 기법의 결과

운형은 구름의 가시적 특성을 분류하는 것이므로 이미지 분할 기법을 적용할 수 있다고 판단하였다. Chao et al. (2009)에서는 이미지를 한 요소의 히스토그램에

따라 분류하였지만, 본 알고리즘은 구름의 광학적 특성을 대표하는 가시 채널과 구름의 높이를 대표하는 적외 채널의 히스토그램을 사용하여 구름을 군집화시켰다. 그림 7은 본 알고리즘의 방법을 설명하는 예시이다. 그림 7(a)는 동아시아 영역에서의 ch3 히스토그램을 나타내고 있다. x축은 정규화시킨 반사도, y축은 화소 개수(Counts)이다. 히스토그램의 골은 히스토그램 곡선의 변곡점으로 정의하였다. 빨간색 실선이 변곡점으로 정의된 골을 나타낸다. 이 경계값에 따르면 총 4개의 그룹으로 구름 화소를 분류할 수 있다. 그림 7(b)는 정규화된 ch14의 밝기온도 히스토그램이다. 그림 7(a)와 같은 방법으로 히스토그램 골을 정의하였으며 총 7개의 그룹으로 구름 화소를 분류하였다. 이 경계값 개수는 관측 시간의 기상 현상에 따라 각기 다르다. 각 기상현상과 계절에 따라 구름 군집화의 경계값이 달라진다는 것이 보편적 알고리즘과 차별화된 요소이다.

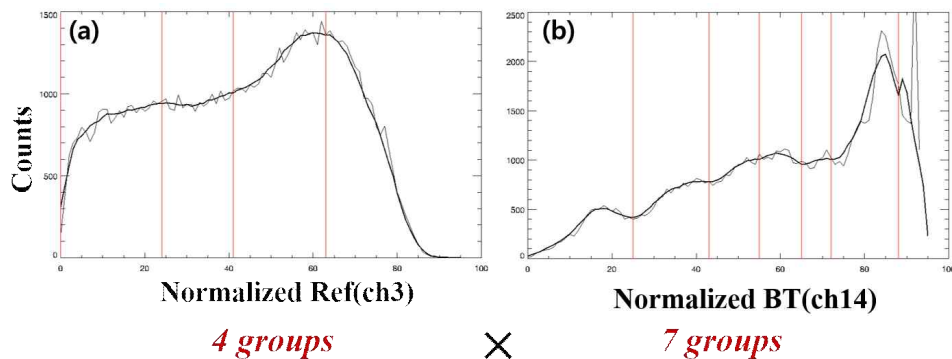


그림 7 (a) ch3의 정규화된 반사도의 히스토그램 (b) ch14의 정규화된 밝기온도의 히스토그램. 빨간색 실선은 히스토그램 곡선의 변곡점으로, 본 알고리즘에서는 구름 화소 군집화를 위한 경계값임.

두 개의 히스토그램의 경계값은 총 28개의 경계값 경우의 수를 갖는다. 관측된 구름 화소를 28개 경계값으로 모두 분류한 뒤 28개의 군집이 어떠한 특성을 갖는지 확률적으로 명명한다.

2.5.2.2 AMI-ISCCP 확률 운형 명명법

각 군집을 직관적으로 이해할 수 있는 운형명을 작성하기 위해, 확률과 ISCCP 명명을 활용하는 방식을 개발하였다. 그림 8은 각 군집(세모, 별표, 동그라미 등)의 구름화소를 ISCCP 정의에 따라 구름광학두께(x축)와 운정기압(y축)의 평면에 표출한 예시 그림이다. 각 군집은 ISCCP에서 정의된 운형이 한 가지, 또는 그 이상을 담고 있다. 예를 들어 상단의 분홍색 세모 군집은 군집 요소들이 모두 권운(cirrus)에 속해있다. 이때는 이 군집의 이름을 cirrus라고 명명하면 된다. 그러나 문제는 빨간색 별표와 같이 한 군집에서 여러 ISCCP 운형을 갖는 경우이다. 이것은 알고리즘의 오류가 아닌, 실제 다층운의 정보가 한 군집 안에 담겨있는 것으로

판단된다. 따라서 이러한 군집의 성격을 반영하기 위하여 군집이름에 확률 개념을 포함하였다. 그 예시는 그림 9와 같다. #에는 해당하는 유형의 확률값을 넣는다. 이때 확률값은 반올림한 십의 자리수로 표현한다. 예를 들어 한 군집에 권운에 해당하는 화소가 58%라면, 반올림한 60이라는 숫자에서 십의 자리 수 6만을 운형명에 넣는 것이다. ISCCP 운형이 100%의 비율로 존재하는 경우에는 #을 1로 대체한다. 운형명은 30% 이상의 비중을 차지하는 ISCCP 운형에 대해서만 작성이 이루어지며, 따라서 최대 3개의 ISCCP 운형명이 AMI 운형 작성에서 활용될 수 있다. 또한, 나열 순서는 비율의 내림차순으로 정의된다. 예를 들어 그림 8에서 빨간색 별표의 운형명은 5Ci3Cs가 된다.

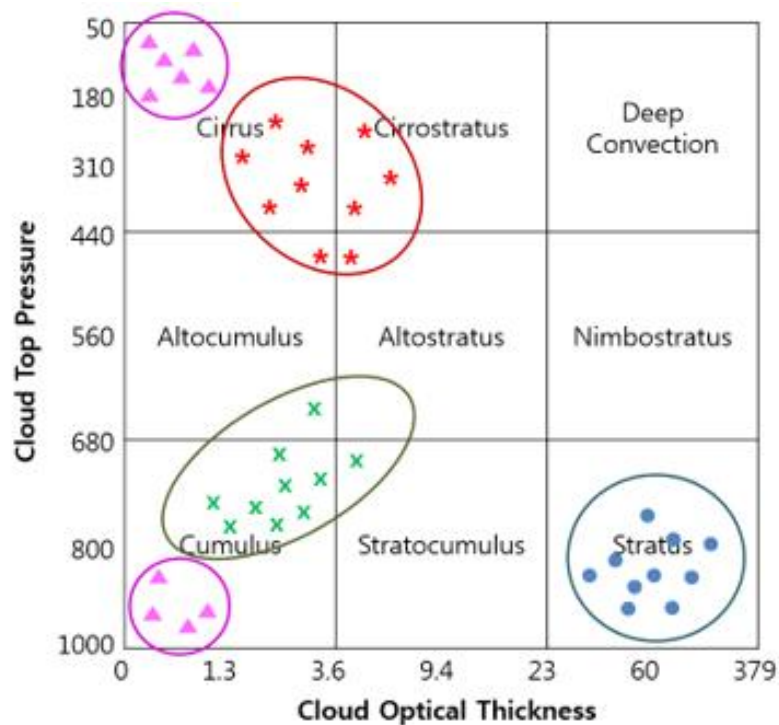


그림 8 운형명을 위하여 각 군집(세모, 동그라미 등의 각 기호)을 구름광학두께와 운정기압 평면에 표출한 예시

Number
[#]AA[#BB#CC]
ISCCP cloud name

그림 9 AMI-ISCCP 확률 운형 명명법

2.6 산출물

전구 운형 알고리즘의 산출 결과 생산되는 출력자료의 구조는 표 4와 같다. 운형 값은 1 - 9의 유효범위를 갖는다.

표 4 전구 운형 산출 알고리즘

Variable			Attribute		
Name	Type	Shape	Name	Value	Type
CT	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 ISCCP cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	1	byte
			valid_max	9	byte
			units	—	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	1: Ci (Cirrus) 2: Cs (Cirrostratus) 3: Dc (Deep Convection) 4: Ac (Altostratus) 5: As (Altostratus) 6: Ns (Nimbostratus) 7: Cu (Cumulus) 8: Sc (Stratocumulus) 9: St (Stratus)	string
			ancillary_variables	CT_DQF	string

구름층 고도 산출 알고리즘의 출력자료 구조는 표 5와 같다. 구름층 고도 값은 1 - 3의 유효범위를 가진다.

표 5 구름층 고도 산출 알고리즘

Variable			Attribute		
Name	Type	Shape	Name	Value	Type
CLL	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 cloud layer_level	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	1	byte
			valid_max	3	byte
			units	—	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	1: High 2: Mid 3: Low	string
			ancillary_variables	CT_DQF	string

동아시아 운형 알고리즘은 클러스터링 기법으로 산출된 결과를 운형명과 각 운형명에 해당하는 확률의 조합으로 제공하므로 출력자료에는 표 6과 같이 클러스터링 기법으로 분류된 운형의 이름(Name of Cloud-type by the ClusTering analysis, NCCT)과 해당하는 운형이 존재할 확률(Probability of Cloud-type by the ClusTering analysis, PCCT)이 포함된다. 동아시아 운형은 최대 세 가지의 운형명과 각각에 대한 확률로 나타내어지므로 0 - 8의 9가지 운형명과 0 - 100의 확률로 구성되어있다.

표 6 동아시아 운형 산출 알고리즘

Variable			Attribute		
Name	Type	Shape	Name	Value	Type
gk2a_imager_projection	int	n/a	long_name	AMI fixed grid projection (Fixed)	string
			grid_mapping_name	geostationary (Fixed)	string
			latitude_of_projection_origin	latitude of sub satellite point (0.0) (Fixed)	double
			longitude_of_projection_origin	longitude of sub satellite point (himawari8:140.7) (L1B)	double
			perspective_point_height	35786023 (L1B = nominal_satellite_height - semi_major_axis) [meter]	double
			semi_major_axis	6378137 (L1B) [meter]	double
			semi_minor_axis	6356752.314 (L1B) [meter]	double
			column_scale_factor	TBD (L1B)	double
			line_scale_factor	TBD (L1B)	double
			column_offset	TBD (L1B)	double
			line_offset	TBD (L1B)	double

			sweep_angle_axis	x (Fixed)	string
NCCT1	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 name of primary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	1	byte
			valid_max	9	byte
			units	–	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	1: Ci (Cirrus) 2: Cs (Cirrostratus) 3: Dc (Deep Convection) 4: Ac (Altostratus) 5: As (Altostratus) 6: Ns (Nimbostratus) 7: Cu (Cumulus) 8: Sc (Stratocumulus) 9: St (Stratus)	string
			ancillary_variables	CCT_DQF	string
NCCT2	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 name of secondary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	1	byte
			valid_max	9	byte
			units	–	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	1: Ci (Cirrus) 2: Cs (Cirrostratus) 3: Dc (Deep Convection) 4: Ac (Altostratus) 5: As (Altostratus) 6: Ns (Nimbostratus) 7: Cu (Cumulus)	string

				8: Sc (Stratocumulus) 9: St (Stratus)	
			ancillary_variables	CCT_DQF	string
NCCT3	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 name of tertiary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	1	byte
			valid_max	9	byte
			units	–	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	1: Ci (Cirrus) 2: Cs (Cirrostratus) 3: Dc (Deep Convection) 4: Ac (Altostratus) 5: As (Altostratus) 6: Ns (Nimbostratus) 7: Cu (Cumulus) 8: Sc (Stratocumulus) 9: St (Stratus)	string
			ancillary_variables	CCT_DQF	string
PCCT1	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 probability of primary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	0	byte
			valid_max	100	byte
			units	%	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	–	string
			ancillary_variables	CCT_DQF	string
PCCT2	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 probability of secondary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TURE	string

			_FillValue	255	byte
			valid_min	0	byte
			valid_max	100	byte
			units	%	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	–	string
			ancillary_variables	CCT_DQF	string
PCCT3	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 probability of tertiary cluster cloud type	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	0	byte
			valid_max	100	byte
			units	%	string
			grid_mapping	gk2a_imager_projection	string
			product_meanings	–	string
			ancillary_variables	CCT_DQF	string

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

현재, GK-2A 위성이 궤도에 올라 있으나 정식 운행 중이 아니다. 따라서, GK-2A와 해상도가 같으며 동아시아 및 태평양지역을 관측영역으로 하는 Himawari-8 정지궤도위성 자료를 이용하여 모의 입력자료를 산출하였다.

검증자료로는 Aqua MODIS 에서 관측된 구름 산출물인 MYD06 중 AMI 전구 유형의 입력자료와 동일한 변수인 구름광학두께와 운정기압의 값을 활용한다. 두 변수를 활용하여, 검증용 운형을 작성하여, AMI 운형과 검증을 수행한다.

2017년 7월 24일 00UTC 부터 같은 해 8월 7일 23UTC 까지의 기간을 검증 기간으로 하였다.

표 7 Event 1에 대한 검증 자료명

Satellite	File Name
MODIS	MYD06_L2.A2017205.0400.006.2017205172933.hdf

표 8 Event 2에 대한 검증 자료명

Satellite	File Name
MODIS	MYD06_L2.A2017205.0420.006.2017205172500.hdf

3.2 검증 방법

AMI 운형 산출물의 검증은 MODIS의 운형 산출물과의 시공간을 일치시켜 AMI 의 각 화소에 MODIS의 시공간 일치 화소를 1 대 1로 비교하여 일치 여부를 확인한 후, 일치도(%)를 통하여 평가하는 것으로 한다. 검증에는 충분히 많은 구름화소가 존재하는 적도 지역 사례(case1)를 선정하였다. 반대의 예시로 구름 화소의 수가 상대적으로 적을 뿐만 아니라, 고위도에 위치하여 운정기압과 구름광학두께의 산출이 원활하지 않은 사례(case2)를 대표적으로 작성하였다.

3.3 검증 결과

Himawari-8 관측자료를 활용하여 산출된 구름광학두께와 운정기압을 활용하여 작성된 AMI 운형 자료를 MODIS에서 같은 입력자료를 바탕으로 운형을 정의하여 검증을 수행한 결과는 다음과 같다.

표 9 검증에 사용된 사례들

Case	Date
1	2017. 07. 14. 0300 UTC
2	2017. 07. 14. 0340 UTC

표 10 각 검증 사례에서 위경도 범위

	Latitude	Longitude
Case1	-9 - 11	130 - 155
Case2	60 - 70	98 - 147

3.3.1 Event 1 (2017. 07. 14. 0300 UTC)

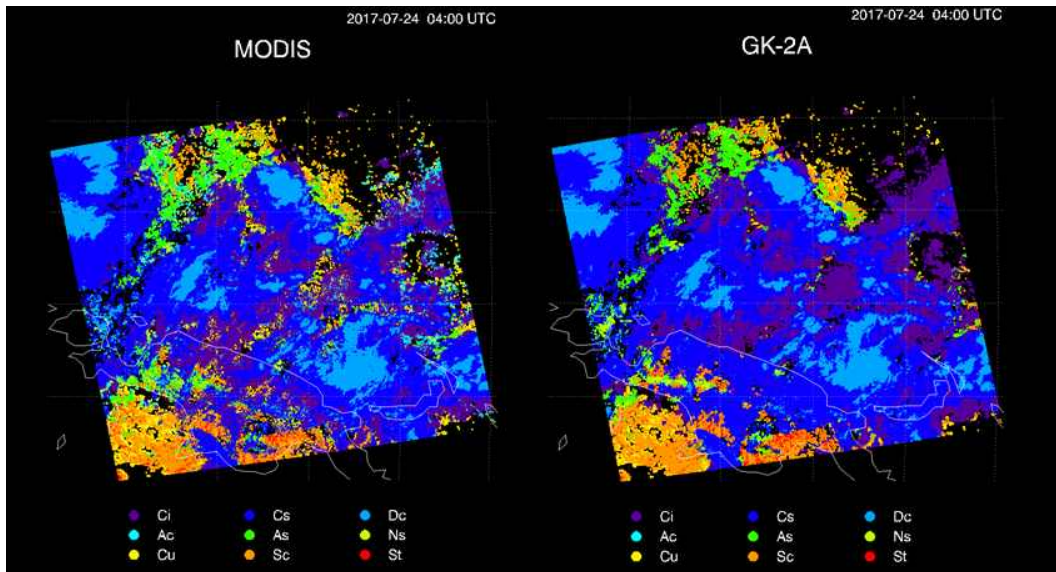


그림 10 MODIS 검증을 수행한 2017년 7월 14일 0300 UTC 사례

표 11 Event 1에 대한 검증 결과

Total number of valid pixel for validation	571614
Number of concordant pixel	440702
Concordant rate (%)	77.1

201707140300 UTC 사례는 적도지방에서 관측된 사례로, 입력자료인 구름광학 두께와 운정기압의 산출이 안정적인 뿐 아니라, MODIS 검증 결과도 상당한 수준인 영역이다. 이러한 사례에 대해서는 검증에 활용되는 화소도 50만개 이상으로 충분히 확보할 수 있으며, 일치율도 77% 수준으로 상당히 높은 일치율을 갖는 특징이 나타난다.

3.3.2 Event 2 (2017. 07. 14. 0340 UTC)

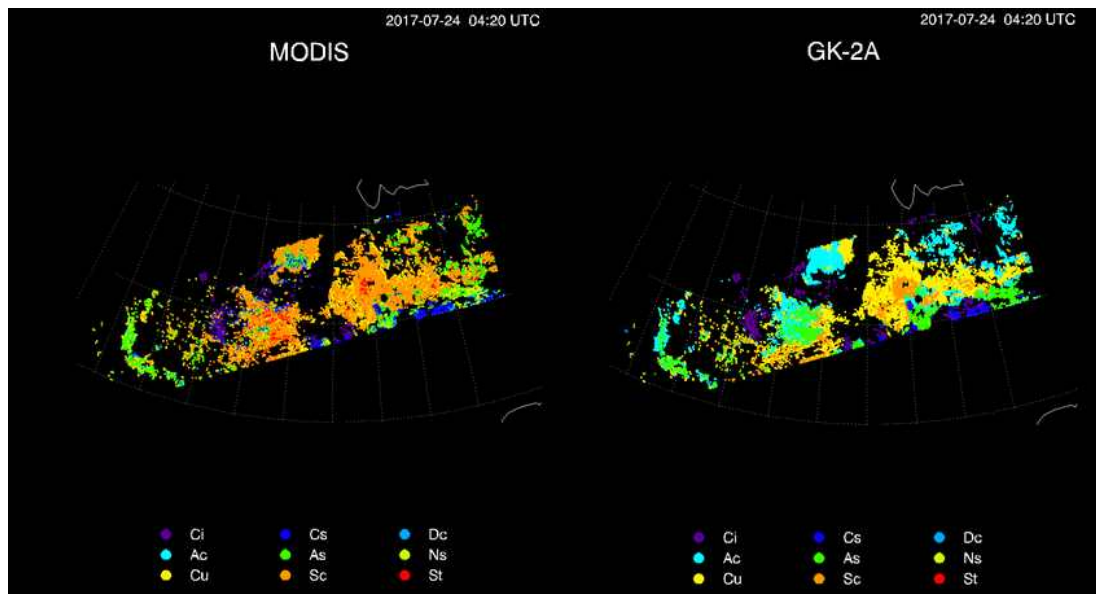


그림 11 MODIS 검증을 수행한 2017년 7월 14일 0340 UTC 사례

표 12 Event 2에 대한 검증 결과

Total number of valid pixel for validation	15820
Number of concordant pixel	4017
Concordant rate (%)	25.4

201707140340 UTC의 검증결과를 살펴보면, 고위도 지방에서 관측된 사례로, 검증에 활용할 수 있는 화소가 사례1과 다르게 1만 5천개 수준으로 상당히 작은 것을 확인할 수 있다. 게다가 고위도에서는 위성천정각이 크게 나타나는 영향 때문에, 입력자료인 구름광학두께와 운정기압의 정확도가 낮다는 문제점이 있다. 그 결과, 사례2에서는 사례1에서와는 다르게 25% 수준의 낮은 일치율을 나타냈다. 하지만, 입력자료 개발팀에서 고위도에서 산출 에러를 개선하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지는 만큼, 추후 고위도에서 운형 산출물의 정확도도 개선될 것으로 기대된다.

4. 현업 운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

운형 알고리즘은 Level1B 및 선행산출물인 구름탐지, 운정기압, 그리고 구름광학 두께를 입력자료로 하여 산출되는 알고리즘이다. 따라서 Level1B 및 선행산출물의 값이 유효하지 않을 경우 운형 및 구름층 고도 또한 유효범위의 값을 갖지 않는다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

운형 알고리즘은 입력자료로서 구름탐지, 운정기압, 그리고 구름광학두께를 필요로 한다. 또한, 운량 알고리즘(CA Algorithm)과 묶여 구름분석알고리즘(Cloud Analysis Algorithm)으로 작동한다. 따라서, 운형 알고리즘과 운량 알고리즘의 입력자료가 먼저 산출되어야 한다. 구름탐지알고리즘과 운정산출물 알고리즘, 그리고 DCOEW 알고리즘 이후에 작동해야 한다.

4.3 품질 평가 및 진단

전구 운형(CT)과 동아시아 운형(CTCLUST, CCT)의 품질 정보는 표 13, 표 14와 같다.

표 13 자료품질: CT

Variable			Attribute		
Name	Type	Shape	Name	Value	Type
CT_DQF	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 cloud type quality flag	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	0	byte
			valid_max	5	byte
			units	—	string
			flag_meanings	0: Valid, good quality converged retrieval 1: Invalid pixel due to space view 2: Invalid due to cloud mask being clear or probably clear 3: Invalid due to cloud optical thickness 4: Invalid due to cloud top pressure 5: Failed retrieval 6: Due to CLD errors from using visible channels(i.e., sun glint, day/night transition)	string

CT는 2번, 3번, 4번이 입력자료에 의해 발생할 수 있는 품질문제를, 5번이 산출실패에 대한 내용을 제공한다. 6번이 구름탐지의 가시채널정보에 의해 발생할 수

있는 영향을 준다(예: Sun glint).

표 14 자료품질: CCT

Variable			Attribute		
Name	Type	shape	Name	Value	Type
CCT_DQF	byte	xdim, ydim	long_name	AMI L2 cluster cloud type quality flag	string
			_Unsigned	TRUE	string
			_FillValue	255	byte
			valid_min	0	byte
			valid_max	7	byte
			units	—	string
			flag_meanings	0: Valid, good quality converged retrieval 1: Invalid pixel due to space view 2: Invalid pixel due to being outside of sensor zenith range 3: Invalid due to cloud mask being clear or probably clear 4: Invalid due to noise values at the clustering 7: Failed retrieval	string

산출이 잘 이루어질 경우 0번의 값을 주며, 우주 영역은 1번의 값으로 표시한다. 만일 위성천정각이 산출값에 영향을 미칠 수 있다고 판단된 경우에 2번의 품질정보 값을 준다. 입력자료의 영향에 대한 값은 3번부터 5번의 값이다. 각각 구름탐지, 구름광학두께, 온도온도에 대한 영향이 있을 때 주어진다. 계산상의 오류를 반영하는 품질정보는 6번과 7번으로, 클러스터링 단계의 오류는 6번을, 이 외의 오류로 인해 산출실패가 있을 경우 7번의 품질정보 값으로 표기한다.

4.4 예외 사항 처리

해당사항 없음.

4.5 검증 알고리즘

알고리즘의 검증은 MODIS Aqua 극궤도 위성 자료를 검증자료로 이용한다. 다만, MODIS의 운형 자료가 존재하지 않기에, 본 알고리즘에서 이용하는 방식과 동일하게 ISCCP 구름 분류 기준에 따라 MODIS 운정기압과 구름광학두께 자료를 이용하여 검증자료가 될 운형을 제작한다. MODIS 자료로 만들어진 운형과 본 알고리즘 산출물과 시공간일치를 진행하고, 정확성 시험(Proportion Corretion test, PC test)을 통해 검증을 진행한다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

운형 알고리즘은 구름 사례를 충분히 확보 할 수 있는 저위도지역에서 좋은 성능을 가진다. 다만, 위성천정각이 큰 고위도의 경우 저위도에 비해 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 고위도지역에서의 성능 감소는 입력자료 개발팀에서 고위도에서 산출 에러를 개선하기 위한 노력이 지속되고 있기에 추후 성능이 향상될 수 있을 것으로 예상된다. 현재 본 알고리즘에서는 위성천정각에 대한 품질정보를 따로 제공한다.

5.2 예상 센서 성능

해당사항 없음.

5.3 개선을 위한 사전 계획

전구 운형 산출의 정확도는 입력자료 정확도에 의존한다. 즉, 입력자료 개선은 운형 산출물 정확도 향상을 가져올 것이다. 동아시아 영역의 운형의 경우, 다층운 탐지가 가능한지 지속적인 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

- Chao, Ruey-Ming, Hsien-Chu Wu, and Zi-Chun Chen, 2009: Image segmentation by automatic histogram thresholding, ICIS 2009 Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human, 136–141.
- Chen, T., Y.-C. Zhang, and W.B. Rossow, 2000: Sensitivity of atmospheric radiative heating rate profiles to variations of cloud layer overlap. *J. Clim.*, **13**, 2941–2959, DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<2941:SOARHR>2.0.CO;2.
- Hahn, C.J., W.B. Rossow, and S.G. Warren, 2001: ISCCP cloud properties associated with standard cloud types identified in individual surface observations, *J. Clim.*, **14**, 11–28. DOI: 10.1175/1520-0442(2001)014<0011:ICPAWS>2.0.CO;2.
- Hartmann, Dennis L., Maureen E. Ockert-Bell, and Marc L. Michelsen, 1992: The effect of cloud type on Earth's energy balance: Global analysis. *J. Clim.*, **5**(11), 1281–1304.
- Derrien, M., and H. Le Gléau, 2005: MSG/SEVIRI cloud mask and type from SAFNWC. *Int. J. Remote Sens.*, **26**(21), 4707–4732, DOI: 10.1080/01431160500166128.
- Miller, S. D., Cynthia L. Combs, and Stanley O. Kidder, 2012: Assessing Moonlight Availability for Nighttime Environmental Applications by Low-Light Visible Polar-Orbiting Satellite Sensors. *J. Atmospheric Ocean. Technol.*, **29**(4), 538–557
- Pavolonis, M. J., and J. R. Key, 2003: Antarctic cloud radiative forcing at the surface estimated from the AVHRR Polar Pathfinder and ISCCP D1 datasets, 1985–93. *J. Appl. Meteor.*, **42**, 827–840.
- Rossow, W.B., and R.A. Schiffer, 1999: Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **80**, 2261–2288, DOI: 10.1175/1520-0477(1999)080<2261:AIUCFI>2.0.CO;2.
- Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. Paul Menzel, J. Li, S. Bachmeier, and J. Gurka, 2005: Introducing the next-generation advanced baseline imager (ABI) on GOES-R. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **8**, pp. 1079–1096.
- 최용상, 조희제, 2012: 통신해양기상위성 기상자료처리시스템 CT 알고리즘 기술

분석서 (Algorithm Theoretical Basis Document), 국가기상위성센터.