

통신해양기상위성
기상자료처리시스템
알고리즘 기술 분석서

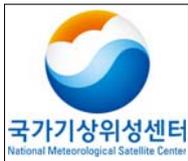
Code:NMSC/SCI/ATBD/CT
Issue:1.0 Date:2012.12.26
File: CP-ATBD_V4.0.hwp
Page : 1/17



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

CP 알고리즘 기술 분석서 (Algorithm Theoretical Basis Document)

NMSC/SCI/ATBD/CP, Issue 1, rev.5
2012.12.26



통신해양기상위성
기상자료처리시스템
알고리즘 기술 분석서

Code:NMSC/SCI/ATBD/CT
Issue:1.0 Date:2012.12.26
File: CP-ATBD_V4.0.hwp
Page : 1/17

REPORT SIGNATURE TABLE

Function	Name	Signature	Date
Prepared by	최용상, 조희제		2012.12.26
Reviewed by	최용상		2012.12.26
Authorised by	기상위성센터		2012,12.26



통신해양기상위성
기상자료처리시스템
알고리즘 기술 분석서

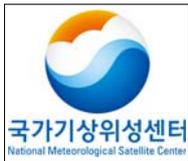
Code:NMSC/SCI/ATBD/CT
Issue:1.0 Date:2012.12.26
File: CP-ATBD_V4.0.hwp
Page : 1/17

DOCUMENT CHANGE RECORD

Version	Date	Pages	Changes
Version4	2012.12.26		-ATBD 형식 외에 내용이 바뀐 부분은 없음

차 례

1. 개요
2. 배경 및 목적
3. 알고리즘
 - 3.1 이론적인 배경 및 근거
 - 3.2 산출방법
 - 3.3 산출과정
 - 3.4 검증
 - 3.4.1 검증방법
 - 3.4.2 검증자료
 - 3.4.3 시공간일치방법
 - 3.4.4 검증결과분석
4. 산출결과 해석방법
5. 천리안 위성 발사후 COMS화 및 알고리즘 개선
 - 5.1 알고리즘 개선
 - 5.2. COMS화 후 검증결과
6. 문제점 및 개선 가능성
7. 참고문헌



List of Tables

Table 1 : QC flag for CT

Table 2 : Equivalence between ISCCP types and CT types

Table 3 : Validation result of cloud type

Table 4 : Validation results from the cross-comparison between CT and ISCCP
CT

Table 5 : Detailed Output data for the CT algorithm

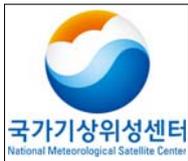
Table 6. Statistical result before algorithm modification

Table 7. Statistical result after algorithm modification

Table 8 : Data format and quality test results for the CT algorithm

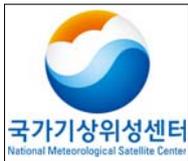
List of Figures

- Figure 1 : Spectra of brightness temperature observed from a high spectral resolution Infrared spectrometer from the high-flying ER-2 aircraft over a domain, 31.1° - 37.4° N, 95.0° - 95.3° W, on April 21, 1996, indicating wavelength-dependent window brightness temperature changes according to various cloud types. The type of cloud indicated for each spectrum is identified from the Cloud Lidar System aboard the ER-2 (taken from Smith et al. 1998).
- Figure 2 : Cloud type classification diagram according to the split window technique (Inoue, 1989). Six cloud types are classified using clear/cloudy and -20°C channel-4 brightness temperature thresholds, along with clear and 1°C brightness temperature differences.
- Figure 3 : Flow chart of CT algorithm.
- Figure 4 : SEVIRI Cloud Type (a) before and (b) after removing day-night discontinuities showed in white oval.



List of Acronyms

COMS	Communication, Ocean, and Meteorological Satellite
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
CT	Cloud Type
MSG	Meteosat Third Generation
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager



1. 개요

운형은 객관적인 중규모 분석 모델의 입력 자료로 사용될 수 있을 뿐더러 강수 구름의 식별, 해양과 육지의 복사속 계산에 필수적이다. 따라서 국제위성구름기후사업(International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP)에서는 이미 1983년 이래, 위성의 적외창과 가시채널의 정보를 이용한 전통적인 운형 분류 기법을 이용해 운형을 분류해왔다. 그 동안 수많은 과학자가 이 ISCCP 운형의 자료를 이용해 지구 에너지 수지(收支) 및 구름-복사 상호작용, 중·대규모 모델, 강수 알고리즘 개발 등의 연구를 수행해왔을 정도로, 이 ISCCP 운형분류는 가장 보편적인 위성 운형분류법으로 여겨져 왔다. 한편, 최근 Derrien과 Le Gleau(2005, IJRS)은 유럽의 정지위성 센서 Meteosat Third Generation (MSG)/Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI)를 위한 운형 분류 기술을 개발하였다. 이 알고리즘은 현재 SEVIRI센서가 탑재된 MSG 위성(Meteosat-8과 Meteosat-9)의 기본 시스템으로 유럽의 일기 예보에 쓰이고 있다.

2. 배경 및 목적

ISCCP 운형은 총 9가지 형태(권운, 권층운, 적란운, 고적운, 고층운, 난층운, 적운, 층적운, 층운)의 운형으로 나뉜다 (<http://isccp.giss.nasa.gov/cloudtypes.html>). 이 운형은 위성에서 관측한 구름의 광학적 특성과 전통적인 형태학적 운형 분류와의 기후적 비교를 통해 정립되었다. 이 운형 산출 알고리즘은 기본적으로 운정압력과 구름광학두께를 이용한 경계값 알고리즘이다. ISCCP의 운형 분류는 위성으로부터 관측된 광학적 변수와 고전 형태학적 구름 분류의 대략적인 기후학적 관계에 근거(ISCCP website: <http://isccp.giss.nasa.gov/cloudtypes.html>) 하므로 통계적 관점에서는 잘 맞지만, 특별한 기상 현상의 경우 대해서는 적절하지 않은 것이 확인되었다(Hahn *et al.*, 2001). 그러나 이 분류는 일반인에게도 친숙한 운형의 형태를 제공하기 때문에 위성 운형분류의 기법으로 광범위하게 사용된다.

SEVIRI 운형은 경계값을 이용한 알고리즘으로 장면분석의 일부 정보와 스펙트럼 및 특질(texture) 분석으로 구성된다. 경계값은 주로 태양천정각과 위성천정각, 상대방위각과 같은 기하학적 위치, 수증기량 및 온도의 연직분포에 관한 수치모의 자료에 따라 변화한다. 최종 산출물은 5가지의 불투명 구름(최상층, 상층, 중층, 하층, 최하층운), 4가지의 반투명 구름(두꺼운, 보통, 얇은, 하층운위의 구름), 하층 조각구름의 10가지로 나뉜다. SEVIRI 운형은 복잡한 경계값 검사로 구성되어 있고, 최종 산출되는 운형의 명칭이 ISCCP의 운형과 다르다(<http://www.meteorologie.eu.org/safnwc/>). 특히 SEVIRI 운형

은 ISCCP운형의 상층 반투명 구름(권운)을 좀 더 상세하게 분류하고, 하층운 위에 권운의 겹쳐짐(overlapping)을 고려하여 보다 발전된 운형분류 기법으로 여겨진다. 또한 산출 시 요구되는 채널이 COMS 기상센서와 유사하다. 그렇지만 대부분의 예보자에게 SEVIRI 운형은 전통적 운형분류인 ISCCP 방법보다 덜 친숙하다. 본 COMS 운형 알고리즘은 이러한 점들을 고려하여, 위 언급한 두 가지 방법(ISCCP와 SEVIRI)을 모두 채택하였다.

그러므로 이 두 가지 방법을 모두 채택한 COMS 운형 알고리즘을 통해 각각의 운형 알고리즘이 가지고 있는 단점을 상호 보완 할 수 있고 예보뿐만 아니라 기후학적 연구에도 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3. 알고리즘

3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

구름의 높이 및 광학적 성질, 미세 물리적 입자 특성은 구름 표면에서 방출되는 복사 휘도의 차이를 만들어낸다 (Fig. 1). Fig. 1은 청천과 구름이 낀 조건에 대해 ER-2 항공기에 탑재된 High-spectral resolution infrared spectrometer에서 관측한 $9.1\ \mu\text{m}$ 에서 $17\ \mu\text{m}$ 사이의 적외영역 스펙트럼이다. 강한 오존 흡수 밴드인 $9.6\ \mu\text{m}(1040\ \text{cm}^{-1})$ 와 이산화탄소 흡수밴드 $15\ \mu\text{m}(667\ \text{cm}^{-1})$ 를 확인 할 수 있다. $10\text{--}12\ \mu\text{m}(1000\text{--}830\ \text{cm}^{-1})$ 스펙트럼 창 영역은 약한 수증기 흡수선이 산포되어 있다. 작은 얼음 입자를 가진 얇은 권운을 제외하고, 액체 수적으로 이루어진 하층 구름이나 큰 얼음 입자를 가진 얇은 구름은 마치 흑체처럼 대기창역에서의 스펙트럼 변화가 없다. 불투명 구름은 얇은 구름에 비해 적은 복사휘도를 내며, 하층 구름일수록 대기창역에서 높은 복사휘도를 갖는다. 이러한 입자상에 따른 흡수도의 차이, 운정 온도의 차이와 관련된 복사 특성을 운형 분류에 활용할 수 있다.

이러한 스펙트럼 특성을 이용한 초기 운형 분류의 사례로서, Inoue(1987)는 소위 Split window method라는 방법을 고안하여 운형을 위성 관측값으로부터 직접적으로 산출하였다. AVHRR에 운용된 이 방법은 2 개의 split window($11, 12\ \mu\text{m}$) 채널을 이용하여 운형을 6개로 분류하였다(Fig. 2). 최근 유럽 SAF NWC에서는 MSG위성의 SEVIRI 채널을 통해, 적외채널뿐 아니라 근적외 및 가시영역 채널을 동시에 사용하여 산출하는 향상된 운형분류 방법을 고안하였다(Derrien and Le Gleau, 2005) 본 알고리즘은 SAF NWC에서 발전시킨 운형 알고리즘을 기반으로 하였다. 이 알고리즘은 주로 실시간 예보(Nowcasting application)를 지원하는 것을 목표로 하고 있다.

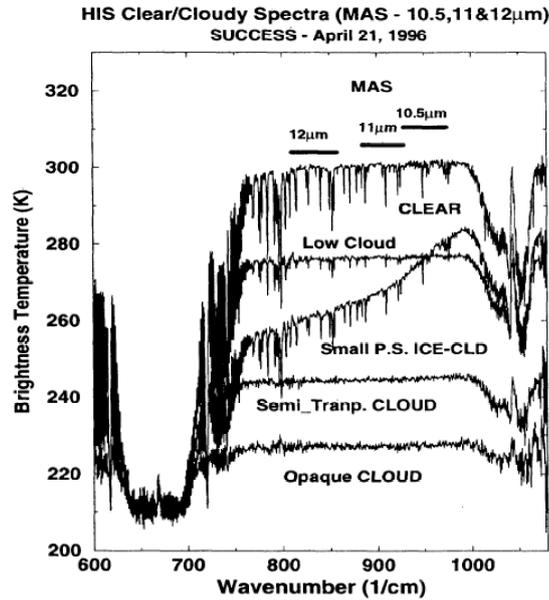
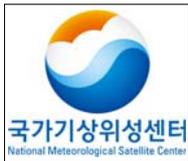


Fig. 1 Spectra of brightness temperature observed from a high spectral resolution infrared spectrometer from the high-flying ER-2 aircraft over a domain, 31.1° -37.4° N, 95.0° -95.3° W, on April 21, 1996, indicating wavelength-dependent window brightness temperature changes according to various cloud types. The type of cloud indicated for each spectrum is identified from the Cloud Lidar System aboard the ER-2 (taken from Smith et al. 1998).

Fig. 2. Cloud type classification diagram according to the split window technique (Inoue, 1989). Six cloud types are classified using clear/cloudy and -20°C channel-4 brightness temperature thresholds, along with clear and 1°C brightness temperature differences.



3.2. 산출방법 (Methodology)

3.2.1. 조건표 산출 방법

두 가지 운형분류 모두 경계값 방법을 사용하여 산출한다. SEVERI 운형은 불투명구름분류가 선행된 이후 반투명 구름과 조각구름이 분류된다. ISCCP 운형은 구름광학두께와 운정압력을 입력정보로 지정한 경계값을 이용해 9개로 분류된다. 본 COMS Cloud Type 모듈(이하 CT 모듈)은 Derrien과 Le Gleau(2005, IJRS)와 Le Gleau(2005, Software Manual)의 MSG/SEVIRI의 운형분류 상세 설계 개념을 따르나, 국내 실정에 맞게 간소화한 것이다. CT 모듈 중 ISCCP 운형 모듈은 Rossow and Schiffer (1999)의 개념을 그대로 따르므로 본 장에서 토의를 생략한다. 본 CT 모듈은 COMS 5개 채널의 경계값 검사로 구별 가능한 운형분류 결과를 제공한다.

ISCCP의 운형분류는 구름광학두께와 운정고도 정보를 이용하여 산출하며 9가지 운형이 동시에 산출된다(Rossow and Schiffer 1999). 따라서 ISCCP 운형 알고리즘은 전체 구름분석 중 가장 마지막 단계에 수행된다. 또한 구름광학두께를 사용하기 때문에 야간에는 산출할 수 없다. 운형 분류를 위한 경계값은 ISCCP (<http://isccp.giss.nasa.gov/cloudtypes.html>)에서 제공되는 정적 경계값을 사용한다.

SEVERI 형태의 운형 산출 알고리즘의 주요 운형분류의 목적은 상층 반투명 구름과 하층 부분구름을 불투명 구름으로부터 분리해 내는 것으로 모두 경계값 검사로 구성되어 있다. 운형분류는 구름탐지로부터 판독된 구름화소를 대상으로 산출한다. 태양천정각을 고려해 주야를 판단하고, 이에 따라 경계값 검사를 달리한다. 경계값은 정적 경계값과 동적 경계값을 동시에 이용하는데, 동적 경계값은 수치모델의 온도 연직 분포, 전체 대기 기 등에 대해 적분된 수증기량에 따라 변화하거나, 기후값을 이용해 관측 시기에 따라 달라진다. 이러한 경계값 검사를 통해 결정된 불투명 구름은 적외장 채널을 통해 그 고도에 따라 최상층, 상층, 중층, 하층, 최하층운의 5가지로 분류된다. 상층 반투명 구름의 경우 투과도에 따라 두꺼운, 보통, 얇은, 하층운 위의 구름의 4가지로 분류된다.

3.3. 산출과정

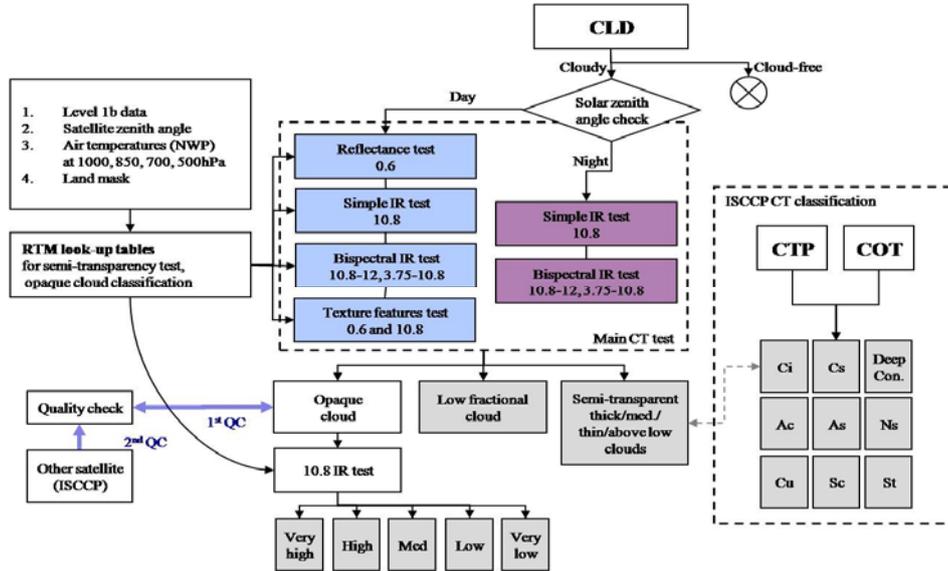


Fig. 3 Flow chart of CT algorithm

본 알고리즘 산출과정을 Fig. 3에 흐름도로 나타냈다. 입력 자료는 정적자료와 동적자료로 나뉜다. 정적자료는 지표면 정보 및 경계값 검사에 필요한 경계값, 그리고 각종 기후값으로 이루어진다. 동적자료는 각 채널별 휘도온도와 반사도를 포함한다. CT 모듈의 경계값은 주간, 야간, 박명에 따라 다른 값을 가진다. 이 경계값은 위성천정각과 총 대기 수증기량에 따른 조건표를 내삽하여 구하고 조건표는 복사전달모델 모의를 통해 미리 계산되어 준비된다. 사용되는 경계값 검사에 대한 물리적 의미는 시간(주간 또는 야간)에 따라 다르다.

결정된 경계값을 이용하여 불투명 구름 및 반투명구름과 조각구름을 분리한다. 상층 반투명 구름은 $T_{b10.8} - T_{b12.0}$ 값, $T_{b6.75} - T_{b10.8}$ 값 또는 $T_{b3.75} - T_{b10.8}$ 값의 특성을 이용하여 불투명 구름과 식별할 수 있다 (Liou 2002, Derrien and Le Gleau 2005, Le Gleau 2005). 그러나 상층 반투명 구름은 이 종류의 구름탐지를 위해 특별히 개발된 미국 NASA의 MODIS센서의 수증기 흡수 근적외채널 $1.38 \mu\text{m}$ (Gao et al. 1993, Gao et al. 1998, Gao et al. 2002)로 탐지된 영상과 비교해 볼 때, 그 정확도는 상당히 낮은 편이다(Choi et al., 2005, IIRS). 주간은 $T_{b10.8-12.0}$ 과 $T_{b3.7-10.8}$ 과 $T_{b10.8}$ 그리고 $\text{Refl}0.65$ 을 입력값으로 이들의 경계값에 따라 운형을 분류하고 야간은 $T_{b10.8-12.0}$ 과 $T_{b3.7-10.8}$ 과 $T_{b10.8}$ 을 입력값으로 사용한다. 마지막 단계에서는 앞 단계에서 분류된 운형을 $T_{b10.8}$ 의 값을 이용하여 매우 높음, 높음, 중간, 낮음, 매우 낮음으로 분류한다.

3.3.1. 야간의 부분구름과 상층 반투명 구름 식별

- 가. 보통 $Tb_{10.8} - Tb_{12.0}$ 값은 두꺼운 구름보다 권운의 경우가 높다. 특히, 구름상부와 지표면 사이의 온도차가 큰 경우, 이 값은 뚜렷하다. 만약 반투명 구름이 너무 두껍거나 얇다면 이 휘도온도 차이는 감소한다.
- 나. $Tb_{6.75} - Tb_{10.8}$ 값도 두꺼운 구름보다 권운의 경우가 높다. 특히, 구름상부와 지표면 사이의 온도차가 큰 경우, 이 값은 뚜렷이 높게 나타난다.
- 다. $Tb_{3.75} - Tb_{10.8}$ 값도 반투명 구름 식별에 매우 효과적이다. 따뜻한 지표상의 반투명 구름의 경우 $Tb_{10.8}$ 보다 $Tb_{3.75}$ 가 높는데, 이것은 얼음 상 구름의 투과율과 $3.8 \mu m$ 에서의 플랑크 함수의 높은 비선형성 때문이다. 이 특성은 특히 구름 상부와 지표면 사이의 온도차가 큰 경우 더욱 효과적이다. SWIR 채널의 잡음 문제로 인하여 이 특성은 아주 차가운 $Tb_{3.8}$ 의 경우에는 사용해선 안 된다.

3.3.2. 주간 부분구름과 상층 반투명 구름 식별

- 가. 낮 시간에는 다음과 같이 정의된 $Tb_{10.8}$ 의 분산과 $Refl_{0.6}$ 의 분산을 결합시킨 구름결 특성을 이용하여 이 분리를 도울 수 있다.

$$\text{Varilog } Tb_{10.8} = \log (1 + \text{std}(Tb_{10.8} \mu m))$$

$$\text{Varilog } Re_{0.675} = \log (1 + \text{std}(Re_{0.675} \mu m) / 13.)$$

- 나. $Tb_{10.8} - Tb_{12.0}$ 값은 보통 두꺼운 구름 보다는 권운에 대해 높은 값을 가진다. 특히, 구름상부와 지표면 사이의 온도차가 큰 경우, 이 값은 뚜렷이 높게 나타난다. 만약 반투명 구름이 너무 두껍거나 얇다면, 이 휘도 차이는 감소한다.
- 다. $Tb_{6.75} - Tb_{10.8}$ 값도 보통 두꺼운 구름보다 권운에 대해 높은 값을 갖는다. 특히, 구름상부와 지표면 사이의 온도차가 큰 경우, 이 값은 뚜렷이 높게 나타난다.
- 라. 권운은 같은 복사 온도를 가지고 있는 불투명 구름에 비해 더 작은 $Refl_{0.6}$ 을 가진다.
- 마. 권운은 가시채널의 반사도보다는 온도에 대해 공간적으로 훨씬 더 가변적이다.

출력자료는 SEVERI 유형은 불투명 구름, 반투명 구름, 하층 조각구름으로 분류되며, 불투명 구름에 대해 상·중·하층운으로 다시 분류, 상층 반투명 구름에 대해 두꺼운 구름, 얇은 구름, 하층 구름 위 구름으로 다시 나뉜다. ISCCP 구름은 권적운, 권층운, 적란운, 고적운, 고층운, 난층운, 적운, 층적운, 층운 9개 유형으로 구분된다.

3.3.3. QC flag

유형에 대한 QC flag가 Table 1에 제시되었다. Quality check는 하층구름, 중층구름, 고

층구름으로 3가지로 나누어 대략적인 구름의 고도에 대해 이루어졌다. SEVIRI에서 분류된 구름의 고도와 ISCCP에서 분류된 구름의 고도가 같은 범주에 속하면 flag를 128로 주고 속하지 않는 경우는 flag를 64로 주었다.

Table 1. QC flag for CT

CLA - CT		
bit	Bit Interpretation	Field Description
8~7 (SEVIRI-ISCCP cloud type comparison result) Very low/low SEVIRI clouds correspond to low ISCCP clouds(Cu, Sc, St) Middle SEVIRI clouds correspond to middle ISCCP clouds(Ac, As, Ns) Very high/high/semitransparent SEVIRI clouds correspond to high ISCCP clouds (Ci, Cs, Deep Convection) unavail => 0	128 64	Consistent Inconsistent

3.4. 검증

3.4.1. 검증방법

운형의 검증은 CMDPS에 적용한 실시간검증과 별도로 알고리즘의 정확도를 체크한 개발자 자체검증의 두 가지 방법으로 나누어서 실시되었다. CMDPS 검증은 각 SEVIRI와 ISCCP에 의해 분류된 운형을 MODIS 위성자료에 대해 비교하여 PC, PSS, HSS를 통해 검증하였다. 개발자 자체검증은 본 CT 알고리즘(SEVIRI형 CT)의 검증은 MODIS의 구름 광학두께와 운정고도를 통해 전환된 ISCCP 운형 데이터베이스와의 비교를 통해 이루어졌다.

가. 1단계: MODIS 자료로부터 ISCCP 타입의 운형 분류를 수행한다.

나. 2단계: ISCCP 운형 분류 결과와 SEVIRI CT알고리즘으로 산출된 결과를 비교한다. 비교 시 다음 Table 2에 표기한 두 그룹 간의 상등 관계에 의해 비교한다.

Table 2. Equivalence between ISCCP types and CT types

ISCCP types	CT types
Cirrus	Thin/Mid/Thick semitransparent cloud
Cirrostratus	high opaque cloud
Deap contection	(Very) high opaque cloud
AltoCumulus	Mid opaque cloud
Altostratus	Mid opaque cloud
Nimbostratus	Mid opaque cloud
Cumulus	Low opaque cloud
Stratocumulus	Low opaque cloud
Stratus	(Very) low opaque cloud

3.4.2. 검증자료

(1) CMDPS 검증

운형은 MODIS 위성자료를 바탕으로 검증되었다. 자료는 Terra 위성과 Aqua 위성의 자료로 나뉜다. 날짜는 11월 1일부터 11월 5일자의 것을 사용하였다.

(2) 개발자 자체 검증

CT알고리즘을 이용해 산출된 산출물과 비교하기 위해 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 구름 자료(MOD06, collection 5)를 사용하였다. 이 자료에는 5 km(1 km) 천저(nadir) 해상도의 구름상, 운정고도, (구름광학두께)가 포함되어 있다 (Platnick et al. 2003). 이전 버전보다 collection 5 자료에서 향상된 점은 다른 문헌에서 찾을 수 있다(Baum et al. 2005, King et al. 2006, Yang et al. 2007). 본 검증에서는 2006년 8월 5-11일 기간 북서태평양(10° -30° N, 113° -149° E)에서의 그레놀(granule; 5분 관측 자료)을 수집하였다.

최근 MOD06 구름상은 두 가지 방법으로 산출되는데, Bispectral IR 시험과 Shortwave IR 시험이다. Bispectral IR 시험은 8.5 μm와 11 μm 밴드를 사용하는데 이 방법은 Strabala et al. (1994)이 소개한 8.5, 11, 12 μm를 이용한 trispectral IR 시험을 단순화한 것이다 (Menzel et al. 2006). Shortwave IR 시험은 가시광, 근적외, 적외 밴드를 혼합하여 쓰는 방법인데 구름광학두께 산출 모듈의 일부분이기도 하다(King et al. 2006). Shortwave IR 시험이 더 많은 채널 정보를 사용하기 때문에, 신뢰도가 높은 추정치를 산출함에 틀림없다. 그러나 이 방법은 단지 낮 동안 산출이 가능할뿐더러 MTSAT-1R의 채널을 이용하기

어렵다. 따라서 본 검증에서는 Bispectral IR 시험으로부터 산출된 MODIS 구름상을 이용하였다. MODIS 구름상은 액상, 얼음상, 혼합상, 미확인상의 4가지 카테고리로 분류되어 산출된다.

MOD06의 구름광학두께 및 유효입자반경은 가시채널과 근적외채널(0.6, 0.8, 1.2, 2.1 μm)을 동시에 사용하여 결정된 대기 기둥 전체를 대표하는 값이다. MOD06 구름광학두께의 최소 산출 범위는 0.1(Choi et al. 2005)이며 최대 산출 범위는 100까지이다. 유효입자반경의 경우 유효한 산출범위는 액상 구름의 경우 2~30 μm , 얼음상 구름의 경우 5~90 μm 이다. 두 산출물 모두 소수점 둘째자리까지 산출된다. MODIS 자료와 비교하기 위해 본 CMDPS 산출물도 동일한 범위 내에서 산출되었다.

한편 MOD06 운정고도는 “CO₂ slicing 방법” (또는 “복사비교법” 이라고도 불림)을 통해 산출된다. 복사비교법은 13.2–14.4 μm 사이의 CO₂ 흡수 밴드를 사용한다(Menzel et al. 1983, 2006). 운정고도는 95 hPa과 1040 hPa 사이에서 10 hPa 이상의 간격을 가지며 이는 CMDPS 산출 운정고도보다 정교한 수준이다. CMDPS 산출 운정고도는 100 hPa과 1000 hPa 사이 50 hPa 단위로 산출된다.

3.4.3. 시공간일치방법

(1) CMDPS 검증

운형은 SEVIRI의 결과와 ISCCP의 결과에 대해 각각 Terra, 그리고 Aqua 위성 자료에 대해 검증되었다. 또 이에 대해 각각 전 지구 영역에 대해 검증하였고, 다시 저위도와 중위도로 나누어 위도별로 검증을 하였다. 저위도는 30° 이하의 지역이고 중위도는 30° 이상 60° 이하의 지역으로 정의되었다. 시공간의 일치를 위해서는 homogeneous한 경우에 대해서만 검증을 하기 위해 MODIS의 5×5 화소에서 2개 화소 이상의 차이가 나는 부분은 검증에서 제외하였다.

(2) 개발자 자체 검증

MODIS 복사량을 입력 자료로 CT 알고리즘을 수행하여 산출, 검증 보조 자료인 ISCCP 운형 화소와 시공간 정확히 일치시켜 검증을 수행하였다.

3.4.4. 검증결과분석

(1) CMDPS 검증

ISCCP 운형과 SEVIRI 운형에 대해 검증결과를 Table 3에 제시하였다. 두 운형 모두 정확도는 위도에 의존하지 않는다는 것을 보여주고 있다. PC는 ISCCP보다 SEVIRI에서 좀 더 높게 나타났고 PSS와 HSS는 SEVIRI보다 ISCCP에서 좀 더 높게 나타났다. 또한 대체

로 Terra에서보다 Aqua위성에 대해 정확도가 높게 나타났다.

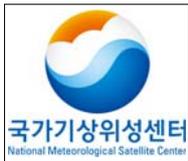
Table 3. Validation result of cloud type.

		Latitude	Date	PC	PSS	HSS
ISCCP	Mod06	Global	11/01~11/05	0.667	0.604	0.587
		Low		0.611	0.547	0.515
		Mid		0.765	0.676	0.662
	Myd06	Global		0.674	0.615	0.595
		Low		0.651	0.576	0.556
		Mid		0.721	0.656	0.616
SEVIRI	Mod06	Global	11/01~11/05	0.429	0.196	0.137
		Low		0.39	-0.052	-0.022
		Mid		0.495	0.311	0.267
	Myd06	Global		0.411	0.135	0.087
		Low		0.442	-0.04	-0.02
		Mid		0.341	0.202	0.141

(2) 개발자 자체 검증

Table 4. Validation results from the cross-comparison between CT and ISCCP CT.

		ISCCP CT										
		No proc.	Cu	Sc	St	Ac	As	Ns	Ci	Cs	Deep conv.	Total
C T	No proc.	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.0
	Frac.	1.8	0.8	-	-	0.1	-	-	-	-	-	2.7
	Very low	6.9	2.4	2.2	0.2	1.1	-	-	0.1	0.1	-	13.0
	Low	6.3	1.1	1.3	0.2	2.0	-	-	0.9	0.4	-	12.2
	Medium	9.8	0.2	0.6	0.5	7.0	-	-	1.6	2.4	1.1	23.3
	High	9.0	-	-	-	6.4	-	-	0.2	3.7	1.4	20.8
	Very high	3.2	-	-	-	-	-	-	-	1.8	1.0	6.0
	Semi thick	1.7	-	-	-	-	-	-	0.8	1.1	-	3.6
	Semi med	1.9	-	-	-	0.3	-	-	2.6	-	-	4.9
	Semi thin	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	0.1	-	-	0.7
	Semi above	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	53.9	4.8	4.1	0.9	16.8	-	-	6.3	9.6	3.5	100	



검증 결과 하층운 위의 상층 반투명 구름의 구분이 미흡한 것으로 나타났다. ISCCP의 고층운(As), 난층운(Ns)은 분석 자료 안에 존재하지 않아 SEVIRI식 유형의 불투명 중층운과의 비교 결과가 없다. ISCCP식 유형 분류에서 분류되지 못한 많은 화소들이 SEVIRI식 유형 분류에서 분류가 되었다.

통신해양기상위성의 모의 영상으로서 Multi-functional Transport Satellite (MTSAT-1R)에 탑재된 Japanese Advanced Meteorological Imager(JAMI) 센서에서 제공되는 매시간 Full-disk 검정된 복사량 및 휘도온도를 알고리즘의 입력 자료로 사용하게 되면 MODIS에 비해 구름광학두께와 운정고도의 산출 정확도가 떨어진다. ISCCP 유형의 정확도는 구름광학두께와 운정고도의 산출 정확도에 좌우되며 이들 산출물의 정확도와 관련하여 ATBD COT(구름광학두께)와 ATBD CTP(운정고도)를 참조 바란다.

4. 산출결과 해석방법

Level 1B data에서 유도되는 반사도는 0~100 %의 범위를, 휘도온도는 170~350 K의 범위를 가지고 두 값의 Prec.와 Acc. 모두 0.1 정도로 기대된다(정확한 값들은 앞에서도 언급한 바와 같이 COMS에 탑재될 기상탐재체의 규격이 확정되는 PSR 시점에서 결정될 것이다). 모델에서는 유도된 기압에 따른 온도프로파일과 수증기량이 사용된다. 또한 월평균 기후값(최저 해수면온도, 평균 0.65 μm 의 반사도, 평균 수증기량, 특정기압에서의 평균온도 등)을 입력 자료로 사용한다. 출력자료로 각 층별 유형이 분류된다.

Table 5. Detailed Output data for the CT algorithm.

OUTPUT DATA								
Parameter	Mnemonic	Units	Min	Max	Prec	Acc	Res	To
SEVERI cloud types	severi_cloud_type	-	-	-	-	-		CT_Sev
ISCCP cloud types	isccp_cloud_type							CT_Isc

Prec: Precision, Acc: Accuracy, Res: Resolution

5. 천리안 위성 발사후 COMS화 및 알고리즘 개선

5.1 알고리즘 개선

Seviri 운형에서 나타나는 주야간 불연속을 발생하여 이에 대한 개선을 수행하였다. Fig. 4(a)에서 보면 한반도 서쪽 부근 하얀색 원안에 4번과 9번 운형이 주야간 경계에 따라 나뉘어 있는 것을 볼 수 있으며 또한 인도네시아 서쪽에서도 2번과 9번 운형이 주야간 경계에 따라 나타나는 것을 관찰할 수 있다.

한반도 부근 4번과 9번의 불연속 문제의 경우, 야간 반투명 구름 식별에 $3.7\mu\text{m}-11\mu\text{m}$ 를 사용하지 않도록 변경하여 문제를 해결하였다(Fig. 4(b)). 또한 열대 2번과 9번의 불연속 문제를 해결하기 위하여 야간의 7,8,9번 검사에서 $3.7\mu\text{m}-11\mu\text{m}$ 경계값 검사를 삭제하여 $11\mu\text{m}$ 과 $11\mu\text{m}-12\mu\text{m}$ 경계값 검사만을 이용하였다. 아래 코드는 이에 대해 적용한 내용이다.

```
! 2.3.1.4. High semitransparent and thin cloud type
!(hcho201111) IF ((bt45(i,j)>=bt45thk .OR. bt24(i,j)>=bt24lo) .AND. &
!(hcho201111)   bt24(i,j)>=bt24thnlo(i,j)) THEN
                IF (bt45(i,j)>=bt45thk) THEN !(hcho201111)
                    cloud(i,j)%type_seviri = 9 ! sem. thin (restored,hcho201109)
                    cloud(i,j)%type_seviri = 5 ! CCY(20110412)
                END IF
            ELSE IF (level_1b(i,j)%ir1>=bt4lo(i,j).AND. &
                    level_1b(i,j)%ir1< bt4lo(i,j)+d) THEN

! 2.3.1.5. Semitransparent and thin cloud type
!(hcho201111) IF ((bt45(i,j)>=bt45thk .OR. bt24(i,j)>=bt24vl) .AND. &
!(hcho201111)   bt24(i,j)>=bt24thnlo(i,j)) THEN
                IF (bt45(i,j)>=bt45thk) THEN !(hcho201111)
                    cloud(i,j)%type_seviri = 9 ! sem. thin (restored,hcho201109)
                    cloud(i,j)%type_seviri = 5 ! CCY(20110412)
                END IF
            END IF semi0
```

또한 열대 1번과 9번의 불연속 문제의 경우, $3.7\mu\text{m}-11\mu\text{m}$ 값이 음수인 곳은 1번, 양수인 곳은 9번이 되었다. 즉, 이는 경계값 조정으로 해결할 수 없으므로 야간의 경우 1번과 9번 중 하나의 운형 산출을 포기해야 할 수 있다. 실제 알고리즘에서는 1번 산출을 포기하는 쪽으로 개선하였다. 아래 코드는 이에 대해 적용한 내용이다.

```
! 2.3.1.6. Fractional cloud type
IF ((bt45(i,j)>=bt45thk .OR. bt24(i,j)>=bt24lo) .AND. &
    bt24(i,j)< bt24thnlo(i,j)) THEN
!(hcho201111)   cloud(i,j)%type_seviri = 1 ! frac.
                END IF
            ELSE IF (level_1b(i,j)%ir1>=bt4lo(i,j) .AND. &
                    level_1b(i,j)%ir1< bt4lo(i,j)+d) THEN

! 2.3.1.7. Fractional cloud type
IF ((bt45(i,j)>=bt45thk .OR. bt24(i,j)>=bt24vl) .AND. &
    bt24(i,j)< bt24thnlo(i,j)) THEN
!(hcho201111)   cloud(i,j)%type_seviri = 1 ! frac.
                END IF
            END IF frac0
```

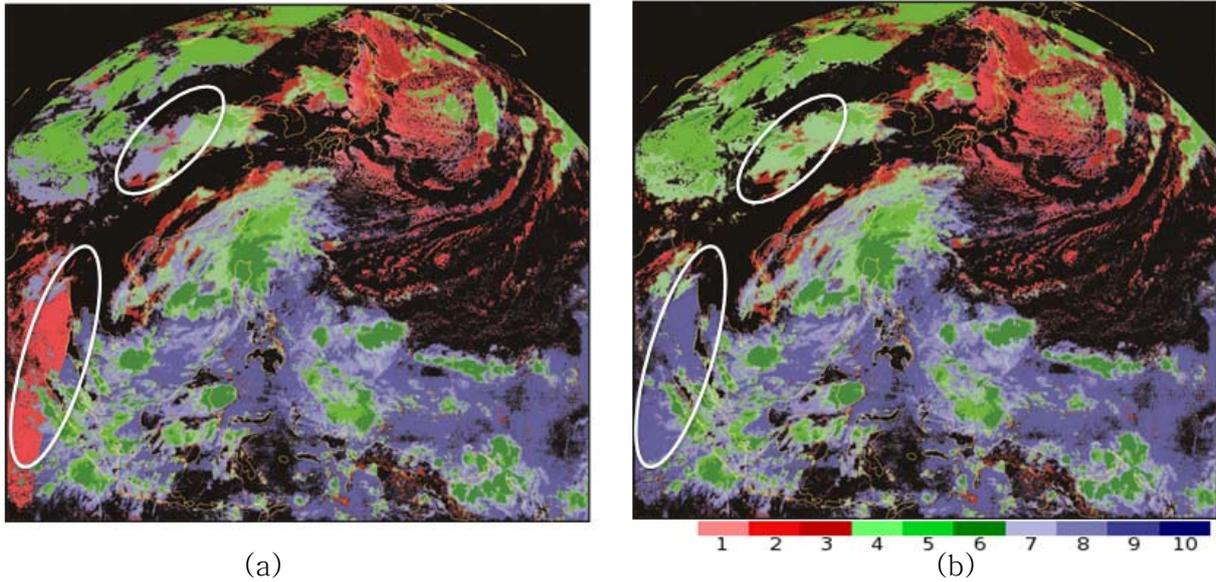


Fig. 4. SEVIRI Cloud Type (a)before and (b)after removing day-night discontinuities showed in white oval.

5.2. COMS화 후 검증결과

5.1에서 개선된 알고리즘을 가지고 2011년 11월 한달간의 검증을 수행하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다. 알고리즘의 개선은 불연속을 제거하는데 목적이 있었으므로 실제 검증 통계값에는 큰 차이가 나타나지는 않으나 PC 값의 경우 0.58에서 0.60으로 약간씩 좋아지는 결과를 보여주었다. 저위도와 중위도 지역으로 나누어서 수행한 결과 역시 기존의 결과보다 좋은 통계값을 보여주어 불연속 제거 뿐만 아니라 실제 검증결과도 향상되었음을 알 수 있다.

Table 6. Statistical result before algorithm modification

	20111101~20111130	저위도(위도<30)	중위도(30<위도<60)
col_num	9966112	7478929	2487183
vam_num	9271106	7213819	2057287
PC	0.58	0.66	0.29
PSS	0.14	0.10	0.06
HSS	0.10	0.07	0.04

Table 7. Statistical result after algorithm modification

	20111101~20111130	저위도(위도<30)	중위도(30<위도<60)
col_num	5508563	4230277	1278286
vam_num	5115048	4080881	1034167
PC	0.60	0.68	0.27
PSS	0.12	0.08	-0.01
HSS	0.08	0.06	-0.01

6. 문제점 및 개선 가능성

운영 알고리즘 작성 시 문제점은 크게 두 가지로 요약된다. 첫째는 복사 전달 모의를 통한 효과적인 경계값의 선정이다. 경계값의 선정은 COMS 위성에 탑재될 센서의 특성이 알려지고, 실제 관측이 이루어진 이후에도 지상 관측값과 비교하여 지속적인 보정이 필요한 부분이다. 실제 SEVIRI 운영의 경우 주간에는 cirrus와 같은 상층운을 불투명구름으로 탐지하는 반면에 야간에는 cirrus가 너무 많이 탐지된다는 문제점을 가지고 있다. 이는 주간에 가시채널 검사가 너무 엄격한 기준을 갖는 결과로 판단되어 high semitransparent meanly thick cloud의 경계값 검사에서 가시영역의 경계값 검사를 제거하여 주간에 상층운을 탐지하도록 알고리즘을 수정하였다. 그러나 여전히 야간에 불투명 구름탐지에 어려움이 문제점으로 남아있다. 둘째는 알고리즘의 검증이다. 알고리즘의 검증을 위한 최적의 방법은 지상 관측 결과와의 비교 분석이다. 현재 지상관측 자료를 확보하는데 어려움이 있어 이를 이용한 실증 검증이 힘든 상태이다. 지상관측 자료를 이용한 실증 검증의 결과는 경계값의 보정과 피드백 과정, 즉 지상관측 자료를 이용하여 검증, bias를 줄이도록 경계값을 조정, 다시 검증하여 bias 점검하는 과정을 거쳐 알고리즘의 향상에 도움을 줄 것이다. 이 밖에 표준화코드에 품질검사 코드 (Table 6)의 삽입, 돌발 상황 대비(Contingency plan)코드의 삽입 등이 향후 개선과제로 남아 있다.

COMS화 및 알고리즘 개선을 통하여 주야간 불연속은 해소 되었으나 Seviri 운영의 경우, 1번이 산출되지 않는 문제가 발생하였으며 이에 대한 개선방안이 필요하다.

Table 8. Data format and quality test results for the CT algorithm.

Quality flag			
Parameter	bit	Value	Meaning
Cloud type	4	0	non-processed, undefined, cloud-free
		1	fractional cloud
		2	very low cloud
		3	low cloud
		4	medium cloud
		5	high cloud
		6	very high cloud
		7	high semitransparent thick cloud
		8	high semitransparent meanly thick cloud
		9	high semitransparent thin cloud
10	high semitransparent above low or med-level cloud		
ISCCP Cloud type	4	0	Ci
		1	Cs
		2	Cb
		3	Ac
		4	As
		5	Ns
		6	Cu
		7	Sc
		8	St
COMS input data	2	0	undefined
		1	all useful COMS channel available
		2	at least one useful COMS channel available
define illumination and viewing conditions	3	0	undefined
		1	night
		2	twilight
		3	day
		4	sunlint
describe the quality of the processing itself	2	0	non processed
		1	good quality
		2	poor quality
		3	bad quality

7. 참고문헌

- Baum, B.A., Yang, P., Heymsfield, A.J., Platnick, S., King, M.D., Hu, Y.X. and Bedka, S.T., 2005, Bulk scattering properties for the remote sensing of ice clouds. Part II: Narrowband models. *Journal of Applied Meteorology*, 44, pp. 1896-1911.
- Choi, Y.-S., Ho, C.-H. and Sui, C.-H., 2005, Different optical properties of high cloud in GMS and MODIS observations. *Geophysical Research Letters*, 32, L23823, doi:10.1029/2005GL024616.
- Choi, Y.-S. and Ho., C.-H., 2006, Radiative effect of cirrus with different optical properties over the tropics in MODIS and CERES observations. *Geophysical Research Letters*, 33, L21811, doi:10.1029/2006GL027403.
- Choi, Y.-S., Ho, C.-H., Ahn, M.-H. and Kim, Y.-M., 2007, An exploratory study of cloud remote sensing capabilities of the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 28, pp. 4715-4732.
- Derrien, M. and Le Gléau, H., 2005, MSG/SEVIRI cloud mask and typefrom SAFNWC, *Int. J. Remote Sensing*, 26, pp. 4707-4732.
- Inoue, T., 1987, An instantaneous delineation of convective rainfall areas using spilt window data of NOAA-7 AVHRR, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, pp. 469-481.
- Kim, J.-H., Ho, C.-H., Lee, M.-H., Jeong, J.-H. and Chen, D., 2006, Large increase in heavy rainfall associated with tropical cyclone landfalls in Korea after the late 1970s. *Geophysical Research Letters*, 33, L18706, doi:10.1029/2006GL027430.
- King, M.D., Platnick, Hubanks, P.A., Arnold, G.T., Moody, E.G., Wind, G., and Wind, B., 2006, Collection 005 Change Summary for the MODIS Cloud Optical Property (06_OD) Algorithm. Available online at: modis-atmos.gsfc.nasa.gov/C005_Changes/C005_CloudOpticalProperties_ver311.pdf.
- Le Gleau, H. and M. Derrien, 2000, Prototype scientific description for Meteo-France/CMS in Nowcasting and very short range forecasting SAF (available in website: <http://www.meteorologie.eu.org/safnwc/>)
- Liou, K.N., 2002, An introduction to atmospheric radiation 2nd ed.. Academic Press, San Diego.
- Menzel, W.P., Smith, W.L. and Stewart, T.R., 1983, Improved cloud motion wind

- vector and altitude assignment using VAS. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, pp. 377-384.
- Menzel, W.P., Frey, R.A., Baum, B.A. and Zhang, H., 2006, Cloud top properties and cloud phase algorithm theoretical basis document, In MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, NASA.
- Platnick, S., King, M.D., Ackermann, S.A., Menzel, W.P., Baum, B.A., Riedi, J.C. and Frey, R.A., 2003, The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, pp. 456-473.
- Rossow, W.B. and Garder, L.C., 1993a, Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. *Journal of Climate*, 6, pp. 2341-2369.
- ____ and _____, 1993b, Validation of ISCCP cloud detections. *Journal of Climate*, 6, pp. 2370-2393.
- ____, Walker, A.W. and Garder, L.C., 1993, Comparison of ISCCP and other cloud amounts. *Journal of Climate*, 6, pp. 2394-2418.
- ____ and Schiffer, R.A., 1999, Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, pp. 2261-2287.
- Shupe, M.D., Matrosov, S.Y. and Uttal, T., 2006, Arctic mixed-phase cloud properties derived from surface-based sensors at SHEBA. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63, pp. 6977-711.
- Strabala, K.I., Ackerman, S.A. and Menzel, W.P., 1994, Cloud properties inferred from 8-12- μ m data. *Journal of Applied Meteorology*, 33, pp. 212-229.
- Yang, P., Zhang, L., Hong, G., Nasiri, S.L., Baum, B.A., Huang, H.L., King, M.D. and Platnick, S., 2007, Differences between collection 4 and 5 MODIS ice cloud optical/microphysical products and their impact on radiative forcing simulations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, pp. 2886-2899.
- Verlinde, J. and Coauthors, 2007, The mixed-phase arctic cloud experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, pp. 2052-21.