



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

CP 알고리즘 기술 분석서 (Algorithm Theoretical Basis Document)

NMSC/SCI/ATBD/CP, Issue 1, rev.4
2012.12.26

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	---	---

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

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	---	---

DOCUMENT CHANGE RECORD

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

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

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. 문제점 및 개선 가능성
6. 참고문헌

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	---	---

List of Tables

- Table 1 : The criteria for determining cloud phase
- Table 2 : QC description for CP
- Table 3 : Definitions of terms used in this analysis
- Table 4 : Validation result of cloud phase
- Table 5 : Comparison of cloud phases from the JAMI/MTSAT-1R and the MODIS algorithm in August 2006. The numbers indicate the percentage of cloud phase (water/ice/mixed/uncertain) over the total cloud fraction. All results are calculated in the FOV of JAMI.
- Table 6 : Comparison of cloud phase from the MODIS IR trispectral algorithm and from the algorithm for the COMS. The numbers (in parentheses) designate those from the algorithm from which BT6.7 is excluded (included).
- Table 7 : Detailed Output data for the CP algorithm.

List of Figures

- Figure 1 : Imaginary refractive indices of ice and water.
- Figure 2 : Flowchart of the methodology for the retrieval of CP.
- Figure 3 : The results of a RT model simulation for (a) BT10.8 versus BT8.7–10.8, (b) BT10.8 versus BT6.7 for clouds composed of water droplets (filled circle) and ice crystals (open circle). The numbers indicate cloud optical thickness. r_e stands for effective particle radius.
- Figure 4 : BTD10.8–12.0 distribution with respect to BT10.8 for water (a) and ice cloud (b) that have a variety of effective particle radius(4 or 5, 8, 16, 32) and cloud optical depth(0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10).
- Figure 5 : Scatter plots of MODIS cloud phase product.
- Figure 6 : Calculations of $0.6\mu\text{m}$ reflectance and BTD10.8–12.0 for a single-layer water cloud, a single-layer ice cloud, and ice cloud overlapping a water cloud. The clouds are shown as a function of visible optical depth which ranges are from 1.0 to 20.0. SatZA, RA and SZA denote satellite zenith angle, relative azimuth angle between the sun and satellite, solar zenith angle, respectively.
- Figure 7 : JAMI/MTSAT-1R radiance imagery for the five spectral channels centered at 0.725 (VIS), 10.8 (IR1), 12.0 (IR2), 6.75 (IR3), and 3.75 μm (IR4) for 0333 UTC August 7, 2006. Except for the VIS channel, the brighter color corresponds to a relatively low value in $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{m}^{-1}$. The full-disk imagery covers East Asia, West Pacific, Australia, and a part of the Antarctic region (80.5S–80.5N, 60.4E–139.4W).
- Figure 8 : Cloud phase derived by the CLA from the JAMI level-1b calibrated radiances shown in Figure 8. Base products (left) are the results of conventional methods or without correction methods, and final products (right) from improved methods or with the correction methods developed in the present study.
- Figure 9 : Time series of the ratio of ice clouds to the total clouds at nine selected sites; base CP from IR1 and IR2 (a), and final CP from IR1, IR2, and IR3 (b).

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

List of Acronyms

COMS	Communication, Ocean, and Meteorological Satellite
MTSAT	Multi-functional Transport Satellite
JAMI	Japanese Advanced Meteorological Imager
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
FOV	Field of view
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
CP	Cloud Phase
SBDART	Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

1. 개요

구름상은 다른 구름정보를 산출하기 전 구름의 복사 특성을 결정하는데 결정적 역할을 하는 산출물이다(Key and Intrieri 2000). EUMETSAT SAF(Satellite Application Facilities)에서는 구름상 정보가 기후 감시 및 반투명 구름이나 얇은 권운을 분류하기 위한 핵심 정보로 사용된다. 또한 강한 대류운의 성장과정을 예측하는데도 사용된다.

2. 배경 및 목적

구름상을 산출하기 위해 Strabala et al.(1994)는 얼음상과 액체상 구름의 파장에 따른 흡수율 차이를 이용하여 8.7, 10.8, 12.0 μm 채널을 사용한 구름상 산출을 제시하였다. 이 방법은 MODIS CP 알고리즘의 원형이 되어 현업에서 가장 널리 쓰이고 있다. 하지만 COMS 기상탐재체에는 가장 중요한 채널인 8.7 μm 채널이 없어 Strabala et al.(1994)의 방법을 사용하기 어려웠다. 무엇보다 이 채널을 이용한 검사는 얼음상 구름의 구별을 담당한다(Baum et al. 2000). 본 COMS CP 알고리즘은 수증기 흡수 채널을 이용하여 얼음상의 구별을 개선한 알고리즘이다(Choi et al. 2007).

3. 알고리즘

3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

CP 알고리즘은 액체상, 얼음상, 혼합상, 미확인상 4가지로 구름상을 구분한다. CP 알고리즘은 MODIS 구름상 알고리즘을 원형으로 하여 대기창역 10.8 μm , 12.0 μm 채널을 사용한다. 여기에 상층 구름의 얼음상 산출의 정확성을 높이기 위해 수증기 흡수 채널인 6.75 μm 을 추가하였다. CP 알고리즘은 정적경계값을 이용한 검사 방법의 조합으로 구성되어 있다. 각각의 검사과정 중 판별할 수 없는 화소는 ‘미확인상’으로 분류한다. 각 검사의 경계값을 정하기 위해 복사 전달 모델 Streamer가 사용되었으며, 15일간의 MODIS 관측 데이터가 쓰였다.

본 CP 알고리즘은 근본적으로 적외채널에서의 구름 액체 입자, 얼음 입자간의 흡수도 차이를 이용한다. Fig 1은 파장대별 액체상과 얼음상의 굴절 지수의 허수부, 즉 흡수도를 계산한 결과이다. 물과 얼음의 구름상에 따라 그 흡수도가 각각 다르다. 흡수도가 클수록 방출되는 복사 휘도가 작다. 따라서 6.7 μm , 10.8 μm , 12.0 μm 복사 휘도 또는 이들의 차이는 구름입자의 상에 따라 다른 값을 갖게 된다. 이것이 바로 이중스펙트럼 IR 시험의

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

원리이다.

Fig. 1. Imaginary refractive indices of ice and water

3.2. 산출방법(Methodology)

3.2.1. 조건표 산출 방법

CP 모듈은 MODIS의 알고리즘을 원형으로 하였다. 그러나 COMS위성에는 구름상 산출에 중요한 역할을 하는 $8.7\ \mu\text{m}$ 채널 자료가 관측되지 않기 때문에 얼음상 산출 정확도가 MODIS에 비해 낮을 것으로 예상된다. 따라서 본 CP 모듈은 $8.7\ \mu\text{m}$ 채널의 부재를 보완하고 얼음상 산출의 정확성을 높이기 위한 방법에 초점을 맞추고 있으며, 가능성은 수증기 흡수 채널인 $6.7\ \mu\text{m}$ 채널의 활용이다(Choi et al. 2007 IIRS). $3.7\ \mu\text{m}$ 을 활용한 구름상의 산출이 COMS 위성과 마찬가지로 $8.7\ \mu\text{m}$ 이 없는 NOAA/AVHRR센서를 위해 연구된바 있으나, 이 채널은 너무 많은 요소(예를 들어, 지표 특성, 운정 온도, 지표면 온도, 관측 및 태양 입사각 등)를 산출시 고려해야 한다(Key and Intrieri 2000). $6.7\ \mu\text{m}$ 는 대류권의 수증기에 의해 흡수되는 성질로 인해 주로 상층 구름의 탐지에 이용되어 왔다. 본 CP 모듈에서는 Choi et al. (2007)의 연구를 바탕으로 $6.7\ \mu\text{m}$ 채널을 상층 얼음상 구름을 식별하는데 이용한다.

3.3. 산출과정

CP는 3가지 경계값 검사 방법으로 산출한다(Fig 2 참조). 첫 번째 테스트는 $10.8\ \mu\text{m}$ 의 휘도온도를 이용한 단순 경계값 검사이다. 두 번째는 $10.8\ \mu\text{m}$ 과 $12.0\ \mu\text{m}$ 의 휘도온도 차이를 이용한 검사이다. 마지막 테스트는 $6.7\ \mu\text{m}$ 의 휘도온도를 이용한 검사로 주로 얼음상 탐지에 사용한다. 우선 얼음상의 결정이 먼저 이루어지는데 3개의 검사가 동시에 사용된다. 만약 화소가 얼음상으로 식별되지 않는다면 BT10.8 과 BT6.7 검사를 이용한 혼합상 구별 단계로 넘어간다. 화소가 혼합상으로 식별되지 않는다면 액체상 단계로 넘어가며, 이 단계에서 액체상으로 식별되지 않으면 미확인 상으로 구분된다.

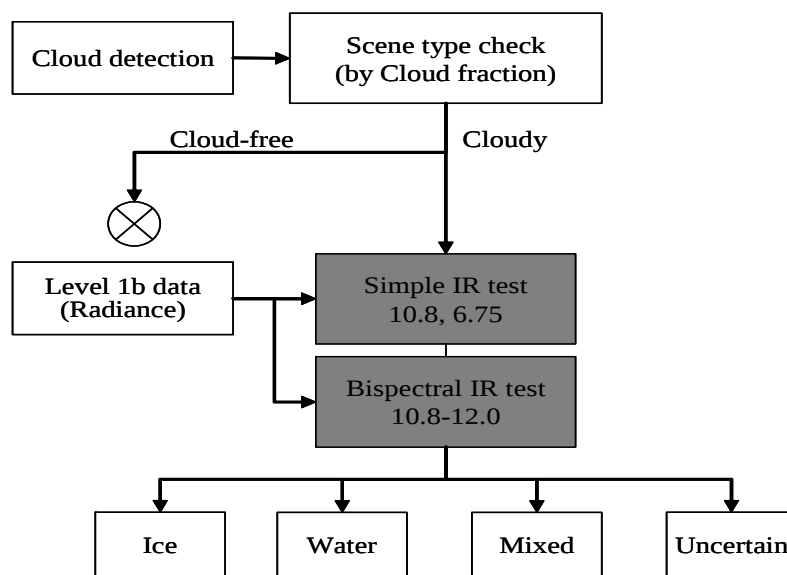


Fig. 2. Flowchart of the methodology for the retrieval of CP.

3.3.1 경계값 검사

본 CP 알고리즘은 2개의 단순 IR 시험(BT10.8, BT6.7), 적외채널차 시험(BTD10.8-12.0) 세 가지 경계값 검사로 구성되어 있다. 각 검사를 위한 경계값은 복사 전달모델 모의의 결과와 MODIS 산출물로의 검증은 통해 결정되었다. 여기서 MODIS 산출물을 검증에 위한 참조자료로 사용한 이유는 본 CP 알고리즘이 MODIS 원형이 되는 Strabala et al.(1994)의 방법(IR trispectral algorithm)을 원형으로 하기 때문이다.

경계값 결정을 위한 복사전달모델은 Streamer 모델(Key and Schweiger 1998)을 사용하였다. 모의에 필요한 대기 연직분포(온도, 습도, 오존)는 Ellingson et al.(1991)에 의해 축적된 극지방, 중위도 여름 및 겨울, 열대지방의 표준 분포를 사용하였다. 본 장에서는 이중 중위도 여름 표준 대기(지표온도 293 K, 지표 알베도 0.1)에 대하여 모의된 결과를 보였다(Fig. 3). 상층 얼음상 구름은 300 hPa의 높이에 위치해 있는 것으로, 하층 액체상 구름은 500 hPa의 높이에 위치해 있는 것으로 가정하였다. 500 hPa은 액체상 구름이 중위도 여름 표준대기에서 가질 수 있는 매우 높은 고도임에 틀림없다. 구름

입자의 산란은 입자의 구성에 관계없이 구면으로 가정하였고 미산란을 이용하여 계산되었다. 액체상 구름의 입자밀도는 0.2 gm^{-3} , 얼음상 구름의 입자밀도는 0.02 gm^{-3} 을 갖도록 설정하였다. 조건은 다음과 같다.

; Streamer input file to calculate COMS CP thresholds

OPTIONS

```
.FALSE.      ; Compute fluxes (or radiances)?      (FLUXES)
.FALSE.      ; Include thermal emission in 3.7um band? (IR106)
.FALSE.      ; Compute cloud forcing?              (CLDFRC)
4 12         ; Number of streams, short and long    (NSTR*)
24           ; Number of Legendre coeff.            (NCOEF)
.FALSE.      ; Include gaseous absorption?          (GASABS)
.FALSE.      ; Include Rayleigh scatter (shortwave)? (RAYISHRT)
2           ; Surface albedo control                (ALBTYPE)
4           ; Surface emissivity control            (EMISSTYPE)
2 .FALSE.    ; Std prof; extend input profile to 100 km? (STDPROF,SPACE)
1 1         ; Aerosol model and profile              (AERMOD,ERVET)
1 1 3 1 1 3 4 ; Units (IZD,ITD,IWV,IO3,ICTOP,ICTHK,IWAVE)
1           ; Output levels control                 (OUTLEVS)
.FALSE.      ; Descriptive output desired?          (DESCRIP)
comscp.des
.TRUE.       ; User-customized output?              (USEROUT)
str_water_nogas.out
coms.wts
.FALSE.      ; Read cloud optical properties?      (USERCLOUD)
               ; cloud filename (USERCLOUD=.TRUE.) (CLOUDFILE)
               ; BRDF filename (ALBTYPE=7)         (BRDFILE)
```

```
CPRINT channel, cldre1(1), cldtau(1), W
           sattb(1,1), sattb(2,1), sattb(3,1), W
           sattb(1,2), sattb(2,2), sattb(3,2)
```

SETDATA

```
No name
1999 6 21 12.0 0 0 0
3 0.5 0.87 1.0 2 10.0 180.0
3
0.1 1 1 1.0
-999. 0.99
```

```
1 1 1.0 -999 500 999 5. 1 0 10. 0.02 999 999 999
0
```

```
2 2 2 2 2 2 0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
```

```
REPLACE channel=[2,3,4,5],cldre1(1)=[5,8,16,32],cldtau(1)=[0,0.2,0.5,1,2,3,5,10]
```

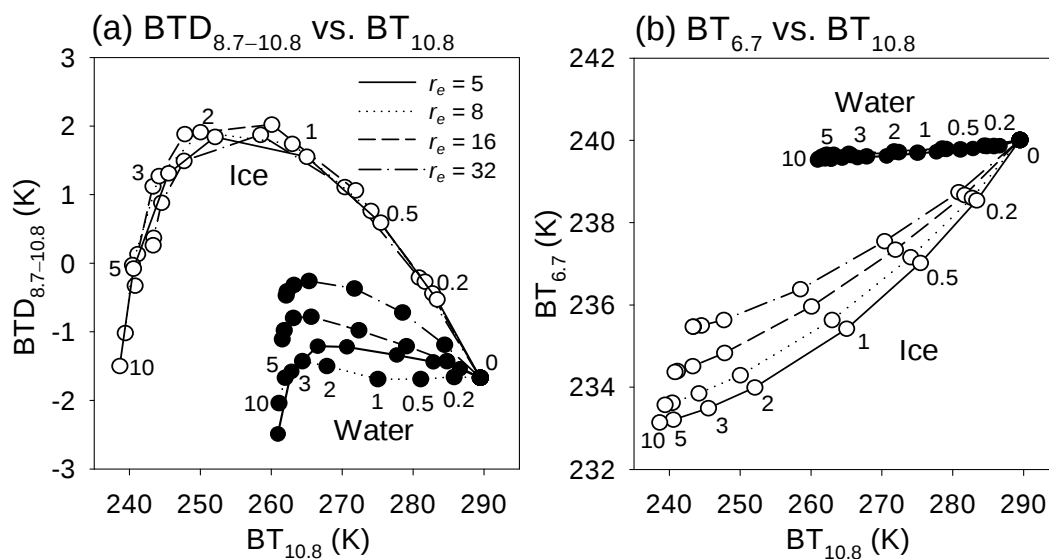


Fig. 3. The results of a RT model simulation for (a) BT_{10.8} versus BTD_{8.7-10.8}, (b) BT_{10.8} versus BT_{6.7} for clouds composed of water droplets (filled circle) and ice crystals (open circle). The numbers indicate cloud optical thickness. r_e stands for effective particle radius.

CP 알고리즘의 가장 주요한 경계값 검사는 $10.8 \mu\text{m}$ 의 휘도온도를 이용한 단순 IR 시험이다. Fig. 3에서 BT_{10.8}은 얼음상은 240 K에서 290 K, 액체상은 260 K에서 290 K의 값을 갖는다. 중위도 겨울철 또는 극지방 표준대기에서는 이보다 낮은 값을 갖는다. 일반적으로 휘도온도가 영하 40 °C미만인 경우 얼음상, 영하 40 °C와 영하 10 °C사이인 경우 혼합상, 영하 10 °C이상인 경우 액체상으로 분류한다. 이 기준은 미국에서 항공기 관측 결과 및 복사전달모델 모의 결과를 이용하여 통계적으로 결정된다(Baum et al. 2000).

MODIS CP 알고리즘의 적외채널차 시험 BTD_{8.7-10.8}은 얼음상을 식별하기 위해 필수적인 검사이다(Baum et al. 2000). 얼음상은 0 이상의 BTD_{8.7-10.8} 값을 가질 수 있으나 액체상은 그렇지 못하다(Fig 3). 본 CP 알고리즘에서 $6.75 \mu\text{m}$ 휘도온도를 이용한 검사는 적외채널차 시험 BTD_{8.7-10.8}을 대체할 수 있는 시험이다. 얼음상은 BT_{6.7}이 239 K 미만의 값을 가질 수 있으나 액체상 구름은 그렇지 못하다. 따라서 어떤

경계값 미만의 BT6.7값을 갖는 화소를 얼음상으로 구분할 수 있다.

적외채널차 시험 BTD10.8-12.0의 경계값도 얼음상의 구별에 쓰인다. 같은 조건에서 얼음상과 액체상 BTD10.8-12.0 값의 변화를 복사전달모델의 모의를 통해 검토하였다. Fig. 4에서 BTD10.8-12.0 값은 얼음상인 경우 4.5 K이상을 가지나, 액체상인 경우 그렇지 못하다.

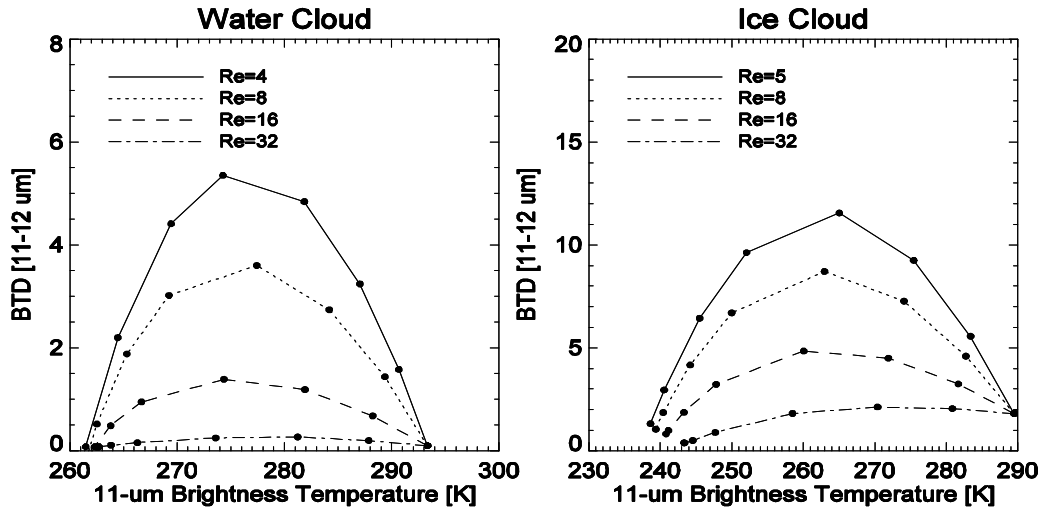


Fig. 4. BTD10.8-12.0 distribution with respect to BT10.8 for water (a) and ice cloud (b) that have a variety of effective particle radius(4 or 5, 8, 16, 32) and cloud optical depth(0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10).

BT6.7, BT10.8과 구름상과의 실제적인 관계를 MODIS 구름상 자료를 이용해 조사하였다. 사용된 MODIS 자료는 2000년 3월 1-16일 사이에 중위도와 열대지방에 대해 수집한 자료이다. Fig. 5는 MODIS 구름상과 이에 상응하는 BT6.7, BT10.8를 그린 그림이다. MODIS에서 얼음상으로 분류된 화소는 238 K보다 작은 BT10.8을, 250 K보다 작은 BT6.7을 갖는다. BT10.8 238 K는 사실 MODIS 알고리즘의 얼음상 경계값이다. BT6.7 234 K와 250 K 사이의 값은 얼음상과 동시에 액체상, 혼합상으로 구분된 화소도 갖을 수 있다. 앞서 모의한 BT6.7의 결과와도 일치한다. 따라서 BT6.7 234 K 미만은 얼음상, 234 K-250 K는 혼합상, 250 K이상은 액체상으로 판별할 수 있다.

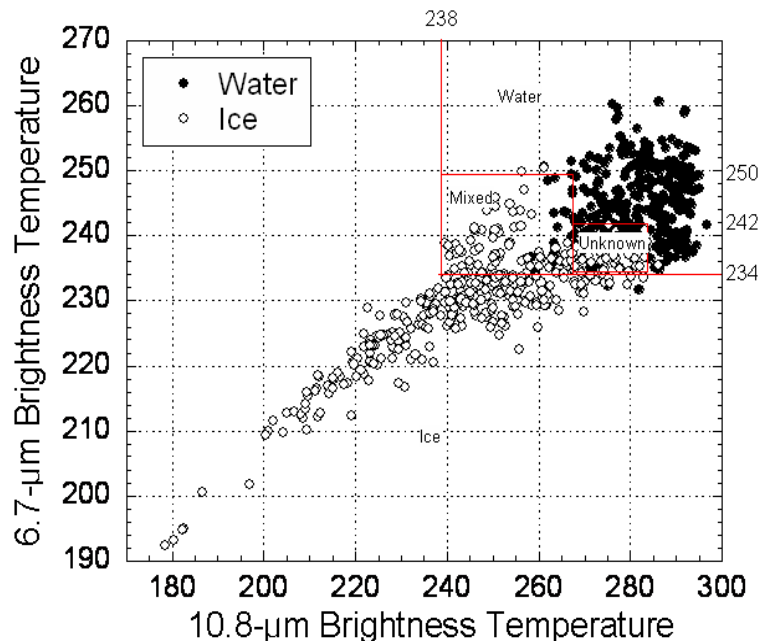


Fig. 5. Scatter plots of MODIS cloud phase product.

3.3.2. 다층 구름

본 모듈이 “다층 구름”의 경우에 대해서도 유효한지를 복사전달모델 Streamer를 이용하여 조사하였다. 모델은 2개 층에서 구름이 존재하는 상황을 가정하였다. 상층 얼음상 구름은 $30\ \mu\text{m}$ 의 유효 입자 반경을 가지고 300 hPa의 높이에 위치해 있는 것으로, 하층 액체상 구름은 $10\ \mu\text{m}$ 의 유효 입자 반경을 가지고 700 hPa의 높이에 위치해 있는 것으로 가정하였다. 여기에 사용된 유효 입자 반경값은 ISCCP 자료 산출 과정에서 쓰이는 값이다. 액체상 구름의 입자밀도는 $0.2\ \text{gm}^{-3}$, 얼음상 구름의 입자밀도는 $0.07\ \text{gm}^{-3}$ 을 갖도록 설정하였다. 액체상 구름은 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20의 광학두께를 갖는 경우를, 동시에 얼음상 구름은 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5의 광학두께를 갖는 경우에 대해 회도온도의 변화를 계산하였다.

Fig. 6은 다양한 고도를 가지는 2개의 구름이 각각 다양한 광학두께를 가지는 경우에 가질 수 있는 BT10.8와 BT10.8-12.0의 변화를 보인다. 상층 얼음상 구름과 하층 액체상 구름은 단일 층일 경우 매우 다른 값을 갖는다. 그 차이는 상층 얼음상 구름이 광학적으로 두꺼울수록 커진다. 반대로 상층 얼음상 구름이 광학적으로 아주 얇으면 하층 액체상 구름과 차이가 없다. 2개의 층이 상존하는 경우 같은 광학두께를 갖는 얼음상 구름에 대해 하층 구름이 광학적으로 두꺼워 질수록 작은 값을 갖는다. 그러나 상층 얼음상 구름의 광학두께가 5이상이면 그 감소율은 적다. BT10.8 값을 결정하는 주된 요소는 상층 얼음상 구름의 광학두께이다. 만약 하층 액체상 구름 위에 얇은 상층 얼음상 구름이 깔린다면 BT10.8은 급격하게 감소할 것이다. 이러한 분석을 통해 이 단순 IR 시험의

경계값 이하 40℃와 이하 10℃의 설정은 다층 구름이 존재하는 경우 상층 구름에 대해서 유의함을 알 수 있었다. 특히 BT10.8이 이하 40℃ 미만인 경우 얼음상으로 분류되는데 이는 가장 상층에 존재하는 구름의 구름상을 의미하게 된다. BTD10.8-12.0의 경우 다층 구름의 영향이 그리 크지 않다(Fig. 6b).

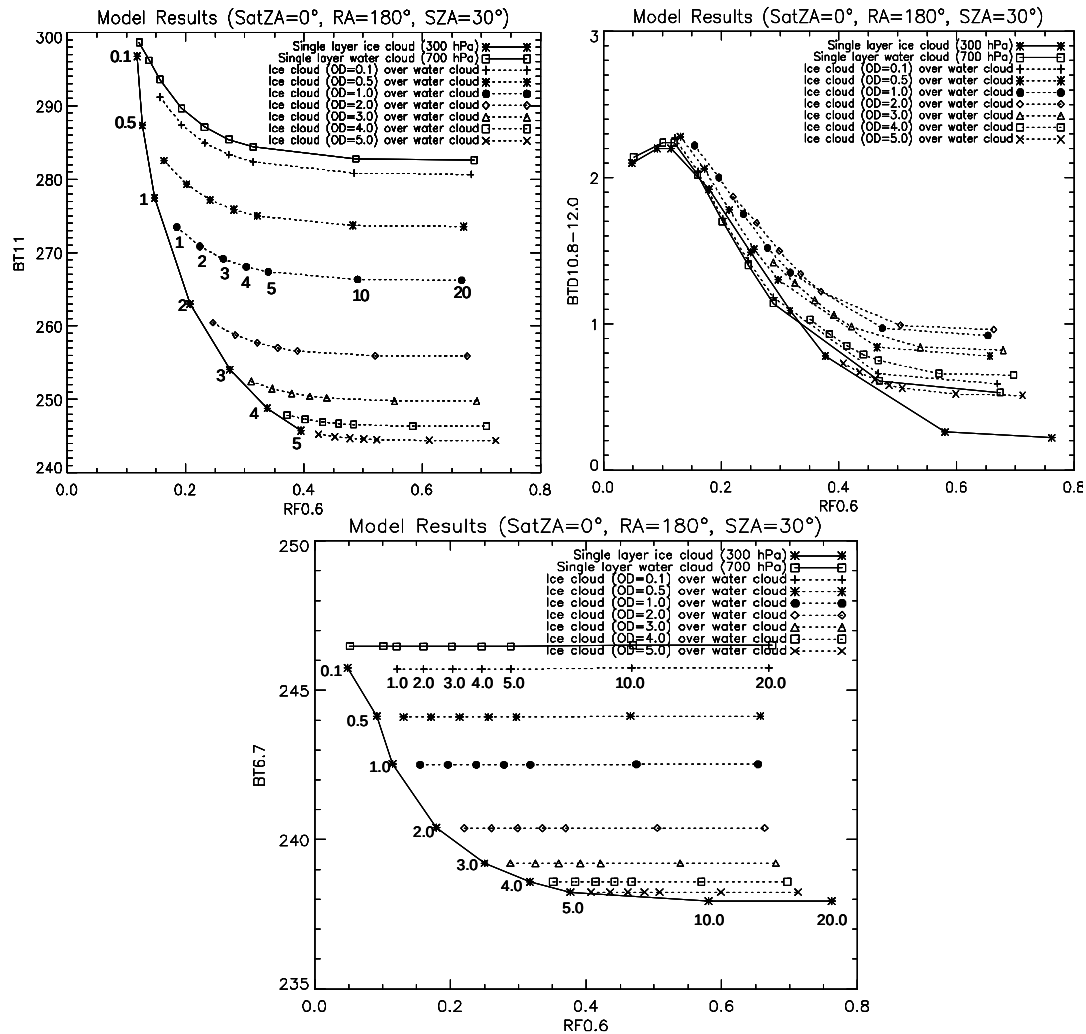


Fig. 6. Calculations of $0.6\mu\text{m}$ reflectance and BTD10.8-12.0 for a single-layer water cloud, a single-layer ice cloud, and ice cloud overlapping a water cloud. The clouds are shown as a function of visible optical depth which ranges are from 1.0 to 20.0. SatZA, RA and SZA denote satellite zenith angle, relative azimuth angle between the sun and satellite, solar zenith angle, respectively.

10.8 μm 단일 적외채널 시험 모듈의 경우에서 수행했던 방법과 같이 상층 얼음상과 하층 액체상이 겹쳐져 존재하는 경우에 대한 복사전달모델을 6.7 μm 단일 적외채널 시험 모듈에 대해서도 모의하였다(Fig. 6c). Fig. 6은 BT6.7가 하층구름의 존재와 관계없이

일정하게 유지되는 것을 보이며, 그 값은 상층 구름의 광학적 두께에 따라 결정되는 것을 알 수 있다. 광학두께가 작은 구름일수록 높은 휘도 온도값을 가지며, 이는 상층 구름의 하부 대기에서 방출되는 복사에너지가 구름을 통과할 때 덜 흡수되기 때문이다. 반대로 광학적으로 두꺼운 상층 구름은 주로 구름의 꼭대기에서 방출된 복사에너지가 인공위성에 도달하므로 낮은 휘도온도 값을 갖는다.

3.3.3. 경계값 결정

위의 단계를 거쳐 구름상의 알고리즘의 경계값을 결정하였다. 구름상 알고리즘은 3가지 검사로 산출된다(Table 1). BT10.8과 BTD10.8-12.0 검사는 MODIS 알고리즘의 개념을 응용한 것이다. BT6.7검사는 BT10.8 또는 BTD10.8-12.0 검사와 각 구름상 결정 단계에서 조합하여 쓰인다. 우선 얼음상의 결정이 먼저 이루어지는데 3개의 검사가 동시에 사용된다. 만약 화소가 얼음상으로 식별되지 않는다면 BT10.8 과 BT6.7 검사를 이용한 혼합상 구별 단계로 넘어간다. 화소가 혼합상으로 식별되지 않는다면 액체상 단계로 넘어가며, 이 단계에서 액체상으로 식별되지 않으면 미확인 상으로 구분된다.

Table 1. The criteria for determining cloud phase

Required tests for cloud phase		
Ice	Mixed	Water
BT10.8 < 238 K or BT6.7 < 234 K	For no ice 238 K ≤ BT10.8 < 268 K or 234 K ≤ BT6.7 < 250 K	For no ice/mixed BT10.8 ≥ 285 K or BT6.7 ≥ 250 K

3.3.4. QC flag

구름상에 대한 QC flag가 Table 2에 제시되었다. 구름상이 얼음상, 혼합상, 액체상일 때의 세 가지 경우에 대해 각각 여러 채널에서 나온 휘도온도를 고려하여 flag를 주었다. 얼음상일 경우 32-129까지 flag를 주도록 하였고 혼합상의 경우 8, 16의 flag를, 액체상의 경우 2 또는 4의 flag를 주도록 하였다.

Table 3. QC flag for CP

CLA - CP		
bit	Bit Interpretation	Field Description
8~2 (Pixel weights in terms of the cone zenith angle.)	128 64 32 16	BT10.8 test for ice phase BT(10.8-12.0) test for ice phase BT6.8 test for ice phase
1 (reserved)	8 4	BT10.8 test for mixed phase BT6.7 test for mixed phase
unavail => 0	2	BT10.8 test for water phase BT6.7 test for water phase

3.4. 검증

3.4.1. 검증방법

구름상의 검증은 CMDPS에 적용한 실시간검증과 별도로 시행하여 알고리즘의 정확도를 체크한 개발자 자체검증의 두 가지 방법으로 나누어서 실시되었다.

3.4.1.1. 검증을 위한 전처리 과정-간소화된 ISCCP 구름탐지

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 사용하였다. 5개 JAMI 채널의 중심 파장은 $0.725\ \mu\text{m}$ (VIS), $10.8\ \mu\text{m}$ (IR1), $12.0\ \mu\text{m}$ (IR2), $6.75\ \mu\text{m}$ (IR3), $3.75\ \mu\text{m}$ (IR4)에 위치해 있다.

구름 정보 산출물의 검증을 위해 구름화소를 청천화소로부터 가려내는 전처리 과정이 필요하다. 현업에서는 CMDPS 알고리즘에서 구름탐지 알고리즘이 이 역할을 담당하나, 본 알고리즘의 검증은 간소화된 International Satellite Cloud Climatology Project(ISCCP) 구름탐지 기법(Rossow and Garder 1993a)을 활용하였다. ISCCP는 구름탐지를 위해, 다음과 같은 VIS과 IR채널의 스펙트럴 시험을 사용한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Clear: } & (BT_{IR1}^{clr} - BT_{IR1}) \leq IRTHR \text{ and } (L_{VIS} - L_{VIS}^{clr}) \leq VISTHR \\
 \text{Cloudy: } & (BT_{IR1}^{clr} - BT_{IR1}) > IRTHR \text{ or } (L_{VIS} - L_{VIS}^{clr}) > VISTHR
 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 BT_{IR1}^{clr} , BT_{IR1} , L_{VIS} , L_{VIS}^{clr} 는 각각 IR1 전천 휘도온도, IR1 청천 휘도온도, VIS

전천 복사량, VIS 청천 복사량이다. L_{VIS} 는 ISCCP 알고리즘과 같이 퍼센트 비율로 조정된 복사량이다. 경계값 IR_{THR} 은 12.0 K이며 VIS_{THR} 은 육지에 대하여 6.0 %, 해양에 대하여 3.0 %이다. 여기서 구름탐지의 유효성은 주로 청천 복사량의 정확도에 의해 결정이 됨을 유념해야 할 것이다(Rossow and Garder 1993b). 본 검증에서는 $BT_{IR1}^{clr}(L_{VIS}^{clr})$ 를 2006년 8월 한 달간 각 UTC에 대한 최대(최소)값으로 설정하였다. VIS_{THR} 는 ISCCP의 값과 동일하지만, 높게 계산된 IR 청천 휘도온도 때문에 IR_{THR} 은 Rossow and Gardar (1993a)에서 제시한 값보다 육지에 대해 6 K, 해양에 대해 1 K가 높다. 따라서 ISCCP 알고리즘보다 구름화소 선별이 더욱 엄격하다. 밤에는 식 (1)에서 IR1 조건만을 이용한다.

위 방법에 의해 탐지된 운량은 JAMI FOV에서 2006년 8월 평균 약 57.3 %를 차지한다. 이 값은 다른 전구 운량 기후값의 추정 결과와 비교할만하다. Rossow et al.(1993)에 의하면 ISCCP C2(1984-1988)에서 62.7 %, Gridded surface weather station reports(SOBS)(1971-1981)에서 61.2 %, METEOR(1976-1988)에서 61.4 %, Nimbus-7(1980-1984)에서 51.8 %로 추정하였다. 주목하여야 할 점은 MODIS의 운량은 검증기간 평균 77.6 %으로, JAMI의 운량보다 훨씬 많다는 것이다. 이것은 MODIS가 18개의 밴드를 가지고 더 좁은 FOV에서, 얇은 권운을 포함한 다양한 형태의 구름을 탐지하기 때문이다. 따라서 위 방법에 의한 구름탐지 결과는 실제에 비해 상당한 불확실성을 내포하고 있을 것이다. 이를 이용한 구름 정보 산출물 또한 불확실성을 가지고 있음은 자명하다.

3.4.1.2. 검증방법설명 (개발자 자체 검증)

검증은 2006년 8월 한 달간 JAMI Full-disk 영상에 대해 수행되었다. 이 기간은 제한된 계산 공간을 감안하여 결정되었지만, 이기간의 Field of view(FOV)는 사실 정지궤도 위성 탐지에 영향을 주는 지표면, 운형, 대기의 가스 연직분포, 관측 및 태양각이 가질 수 있는 모든 상황을 포함한다. 게다가, 이 기간 동안 Saomi와 Bopha와 같은 주요 태풍이 활동하여 한반도 및 일본에 상륙하였다. 통신해양기상위성 활용의 주목적이 악기상 예보임을 감안할 때, 이 검증 기간은 알고리즘의 수행 능력을 시험할 수 있는 최적의 기간이다.

본 검증에서는 두 가지 형태의 구름 산출물, 즉 전통적인 알고리즘을 통해 산출된 “기본 산출물(base product)” 과 서울대학교 허창희 교수팀이 독자 개발한 현재 버전 알고리즘(Choi et al. 2007)의 “최종 산출물(final product)” 을 각각 검증/비교하여 현재 버전 알고리즘의 향상 점을 파악하였다. 기본 구름상은 IR1과 IR2 채널 두 가지만을 사용하여 산출되며, 최종 구름상은 IR1, IR2, IR3 채널 모두를 사용한다. 기본 구름상과 최종 구름상을 비교하면 Choi et al. (2007)에 소개된 IR3 구름상 시험의 역할을 가늠해 볼 수 있다. 본 검증에서 사용한 각 산출물의 명칭은 Table 3에 요약되어 있다.

Table 3. Definitions of terms used in this analysis.

Term	Unit	Definition
Base CP	unitless	Cloud phase is determined by BT_{IR1} and $BT_{IR1} - BT_{IR2}$ tests
Final CP	unitless	Cloud phase is determined by BT_{IR1} , $BT_{IR1} - BT_{IR2}$, and BT_{IR3} tests in table 1.

위에서 정의된 기본, 최종, 그리고 MODIS 산출물을 4가지 절차로 비교하였다. 4가지 결과 모두 알고리즘을 최적의 상태로 보정하고, 산출물의 취약점을 파악하기 위한 유용한 자료를 제공한다.

(1) 장면분석

장면분석은 본 검증의 첫 번째 활동이다. 장면분석은 복사량과 산출물 영상간의 비교를 의미하며, 이 활동을 통해 산출물의 전체적인 신뢰성을 개략적으로 검토할 수 있다.

(2) 기후값 비교

기후값 비교는 산출물이 기후자료로서 신뢰할만한 자료인지 확인하는 활동이다. 또한 산출값이 어떻게 편중(bias)되어 있는지 파악할 수 있다. 오랜 기간의 자료가 확보되어야 하나, 본 검증에서는 2006년 8월의 평균값으로 한정되었다. 기후값은 다양한 조건에 대해 나누어 비교해야 산출값 편중의 원인을 파악할 수 있다. 예를 들어 주간, 야간, 액체상 구름, 얼음상 구름, 남반구, 북반구, 극지방, 열대지방, 중위도지방 등에 대해 MODIS 산출물의 기후값과 비교한다.

(3) 시계열 비교

시계열 비교는 관심지역에 대해 검증기간 기간 동안의 일변화를 검증보조 자료와 비교하는 활동이다. 관심지역은 육지, 해양, 사막, 눈/얼음과 같은 다양한 지표면 조건과, 저·중·고 위도에서 골고루 선택된다. 본 검증에서 선택된 관심지역은 9개 지역으로 서울, 중국 화북 평야, 고비사막, 티벳고원, 남지나해, 필리핀해, 동태평양, 베링해, 남극지역이다.

(4) 화소 비교

마지막으로 구름 정보 산출물을 화소단위로 보조 자료와 비교하여 에러 범위를 파악한다. 본 검증에서 MOD06 collection 5 구름 자료가 보조 자료로 사용되었다. 두 MTSAT과 MODIS의 구름상 영상 화소 간 해상도 차이는 본 화소 비교 결과의 불확실성을 유발할 수 있기에, 본 문서에서는 Choi et al.(2007)에서 소개한, MODIS 휘도온도를 입력하여 현재의 알고리즘을 수행하여 산출한 결과와 MODIS 구름상 산출자료를 비교한 결과를 보인다. 이 경우 우리의 산출물과 MODIS 산출물간 화소는 정확히 일치한다.

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

3.4.2. 검증자료

(1) CMDPS 검증

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

(2) 개발자 자체 검증

검증에 사용된 JAMI 복사량 및 관측각의 공간 해상도는 4 km이다. Full-disk 영상은 동아시아 및 서태평양, 호주, 남극의 일부분(80.5°S – 80.5°N , 60.4°E – 139.4°W)을 포함하는데 통신해양기상위성의 위치와 유사하다.

JAMI 영상을 이용해 산출된 산출물과 비교하기 위해 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) 구름 자료(MOD06, collection 5)를 사용하였다. 이 자료에는 5km 천저(nadir) 해상도의 구름상이 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)를 수집하였다.

최근 MOD06 구름상은 두 가지 방법으로 산출되는데, Bispectral IR 시험과 Shortwave IR 시험이다. Bispectral IR 시험은 $8.5\mu\text{m}$ 와 $11\mu\text{m}$ 밴드를 사용하는데 이 방법은 Strabala et al. (1994)이 소개한 8.5 , 11 , $12\mu\text{m}$ 를 이용한 trispectral IR 시험을 단순화한 것이다(Menzel et al. 2006). Shortwave IR 시험은 가시광, 근적외, 적외 밴드를 혼합하여 쓰는 방법인데 구름광학두께 산출 모듈의 일부이기도 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 카테고리 로 분류되어 산출된다.

MODIS 격자화 된 level-3 일별 대기 자료(MOD08, collection 5)도 동일한 검증기간에 대해 수집되었다. MOD08은 1° 격자의 값을 가지며 MOD06으로부터 계산된다. MOD08은 검증기간동안 구름 산출정보의 평균값이나, 주어진 격자에 대한 시계열 분석을 위해 별도로 사용되었다.

3.4.3. 시공간일치방법

(1) CMDPS 검증

Terra 그리고 Aqua 위성 자료에 대해 각각 전지구에 대해 검증되었고 다시 저위도와 중위도로 나누어 검증되었다. 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

화소 비교 시 MODIS자료가 알고리즘의 입력 자료로 쓰였으므로 시공간 정확히 일치한다.

3.4.4. 검증결과분석

(1) CMDPS 검증

결과는 PC, PSS, HSS로 분석하였고 세 가지 모두 알고리즘 수정 및 조건별 검증으로 개선되었다. 그 결과를 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Validation result of cloud phase

Reference	TIME		PC	PSS	HSS
MODIS (MOD06)	11/1~11/22	Global	0.626	0.556	0.445
		Low	0.703	0.690	0.511
		Mid	0.551	0.472	0.373
MODIS (MYD06)		Global	0.657	0.598	0.482
		Low	0.781	0.749	0.617
		Mid	0.536	0.509	0.346

위도별 검증을 통해 저위도가 고위도보다 정확도가 더 높다는 것을 알 수 있다. 또한 Terra 보다 Aqua 위성에 대한 검증결과가 정확도가 좀 더 높게 나오는 것을 알 수 있다.

(2) 개발자 자체 검증

(1) 장면분석

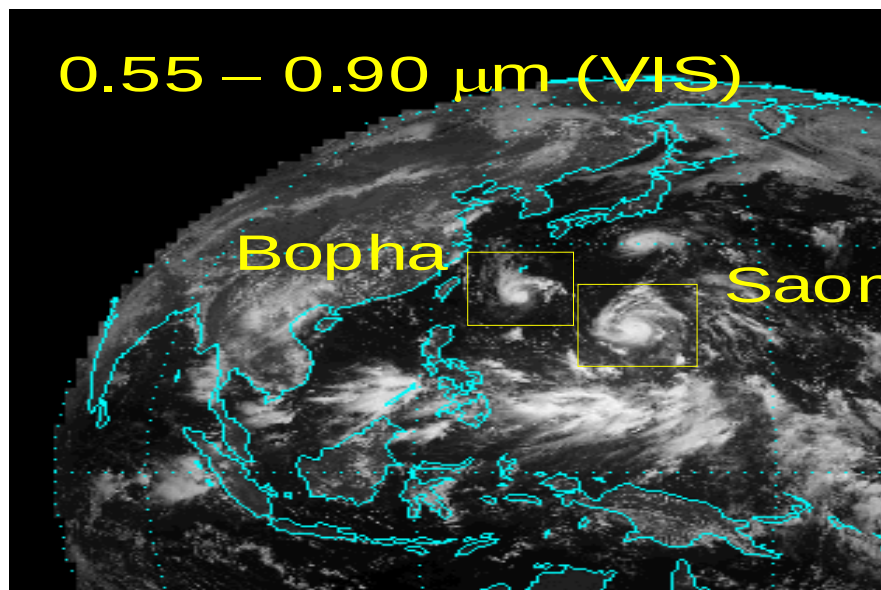


Fig. 7. JAMI/MTSAT-1R radiance imagery for the five spectral channels centered at $0.725\mu\text{m}$ (VIS), $10.8\mu\text{m}$ (IR1), $12.0\mu\text{m}$ (IR2), $6.75\mu\text{m}$ (IR3), and $3.75\mu\text{m}$ (IR4) for 0333 UTC August 7, 2006. Except for the VIS channel, the brighter color corresponds to a relatively low value in $\text{W m}^2 \text{sr}^{-1} \text{m}^{-1}$. The full-disk imagery covers East Asia, West Pacific, Australia, and a part of the Antarctic region (80.5°S – 80.5°N , 60.4°E – 139.4°W).

Fig. 7은 2006년 8월 7일 0333 UTC JAMI 복사량 영상의 예시이다. 구름은 Intertropical convergence zone(ITCZ)를 따라 분명하게 보인다. VIS 영상에서 태양빛의 산란으로 인해 광학적으로 두꺼운 구름은 밝게 보인다. 해양과 같은 어두운 지표면에 비해 구름이 잘 구별된다. IR 영상에서 밝은색은 상대적으로 낮은 값에 해당하며, 고도가 높은 구름이 구름꼭대기로부터 더 낮은 IR 복사량을 방출하기 때문에 밝게 보인다. IR3 영상에서는 오직 400 hPa 이상의 높은 구름만이 밝게 보인다. 이는 중하층 대류권에서 강력한 수증기 흡수가 일어나기 때문이다. 그러나 IR1이나 IR2와 같은 적외선 채널에서는 낮은 구름이 뚜렷이 판명된다. IR4 복사량은 일반적으로 작은 구름입자, 액체상 입자에 대해 높은 값을 가진다.

위에서 논의한 5개 영상의 스펙트럴 성질을 감안할 때, 이 시각 영상은 유추되는 구름성질에 따라 크게 세 가지의 영역으로 특징 지워진다.

- (i) 열대 서태평양에서 태풍의 구름을 포함하여 매우 높고 광학적으로 두꺼운 구름
- (ii) 동태평양의 높고 얇은 구름
- (iii) 넓게 분포한 낮고 얇은 구름과 호주의 남서쪽 바다위의 높고 두꺼운 구름

(i)은 높은 VIS, 낮은 IR1, 낮은 IR2 복사량으로 유추, (ii)는 낮은 VIS, 낮은 IR1, 낮은 IR2 복사량으로 유추, (iii)은 넓게 분포한 낮은 VIS, 높은 IR1, 높은 IR2 복사량 및 나뭇

가지 모양의 높은 VIS, 낮은 IR3 복사량으로 유추된다. 이 세 가지 유추된 구름의 특징을 CMDPS 알고리즘 산출물과 비교한다. 여기서 모든 구름 정보 산출물을 종합적으로 검토하여야 한다.

Fig. 8은 구름상의 기본 산출물(좌)과 최종산출물(우)이다. 전체적으로 두 산출물간 차이가 분명하다. 최종 산출물이 기본 산출물에 비해 위에서 언급한 세 가지 주요 구름 특징을 더 잘 나타낸다. 최종 구름상은 기본 구름상에 비해 더 많은 액체상 구름과 적은 미확인상 구름을 갖는다.

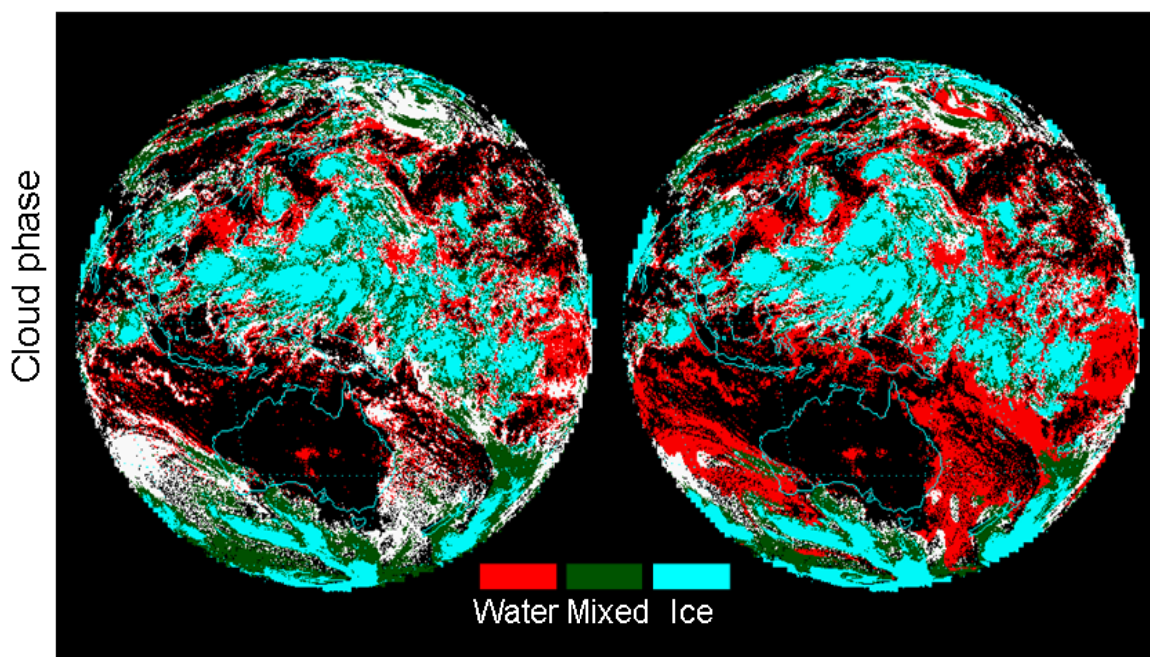


Fig. 8. Cloud phase derived by the CLA from the JAMI level-1b calibrated radiances shown in Fig. 7. Base products (left) are the results of conventional methods or without correction methods, and final products (right) from improved methods or with the correction methods developed in the present study.

(2) 기후값 비교

Table 3은 최종, 기본, MODIS 구름상의 기후값을 나타낸다. 전체적으로 산출된 구름상과 MODIS 구름상과 기후값에는 큰 차이가 있지만, 액체상과 얼음상 구름은 기본 구름상보다 최종 구름상이 훨씬 더 많고, 그 비율은 MODIS 구름상에 더 가까워진다. 이것은 IR3 시험을 통해 액체상과 얼음상이 추가로 판별되었음을 의미한다. IR3 시험이 없었더라면 많은 화소가 미확인상으로 남아 있었을 것이다. 이 향상은 지방이나 지역과 관계없어 보인다 (Table 2). 혼합상 구름은 최종 구름상에서 기본 구름상에 비해 적다. 그럼에도 MODIS 구름상과 같이 약 15 % 정도의 구름화소는 미확인 상으로 남아 있다.

극지방은 모든 고도에서 평균 영하 30 °C를 밀돌며 700 hPa 이상에서는 영하 40°C 미

만이다. 이 극지방에서의 구름상을 특별히 주목할 필요가 있다. 우리의 최종 구름상 산출물은 91.1 % 정도의 얼음상과 혼합상을 보인다. 흥미롭게도 MODIS의 bispectral IR 방법은 훨씬 적은 비율을 갖는다. 오히려 액체상은 28.4 %, 미확인상은 17.4 %나 된다. Liou (2002)에 의하면 영하 20 °C보다 높은 온도를 갖는 중층운에서 과냉각 수적이 얼음입자와 같이 존재한다. 최근 지상/항공 관측에 의한 보고에 의하면 영하 30 °C 미만의 온도에서도 구름 입자는 액체 수적을 가질 수 있다(Shupe et al. 2006, Verlinde et al. 2007). 그러나 이 극지 구름의 상에 대해서는 더 많은 관측을 통해 명확해져야할 과제로 남아 있다.

Table 5. Comparison of cloud phases from the JAMI/MTSAT-1R and the MODIS algorithm in August 2006. The numbers indicate the percentage of cloud phase (water/ice/mixed/uncertain) over the total cloud fraction. All results are calculated in the FOV of JAMI.

Domain		MTSAT CP		MODIS CP
		Final	Base	
Global	August	39.4/24.6/20.5/15.5	20.9/19.1/29.2/30.8	50.3/29.5/5.6/14.7
	Day	34.2/28.2/18.2/19.4	20.9/21.6/26.0/31.4	53.2/26.7/5.1/15.0
	Night	34.5/29.2/21.1/15.2	16.0/20.4/32.9/30.8	46.1/33.4/6.4/14.2
Northern Hemisphere		30.2/29.1/22.3/18.3	21.8/23.7/29.4/25.1	48.1/32.4/4.4/15.1
Southern Hemisphere		50.6/19.0/18.2/12.2	19.9/13.5/29.0/37.6	52.5/26.5/6.7/14.2
Polar		0.7/54.8/36.3/8.2	0.2/31.5/59.8/8.5	28.4/40.3/14.1/17.4
Midlatitude		28.9/19.6/29.8/21.7	8.8/12.9/40.4/37.9	52.7/23.8/6.8/16.7
Tropical		46.1/25.7/15.3/12.9	27.7/21.6/22.5/28.2	55.1/30.6/2.0/12.3

중위도와 열대지방에서도 유사한 차이를 볼 수 있는데, 우리의 산출물은 더 많은 얼음상과 혼합상을 갖지만, MODIS는 더 많은 액체상을 갖는다. 더구나 MODIS에 비해 우리 산출물에서 혼합상이 더 많은 비율을 차지하는데, 이러한 종류의 구름은 MODIS에서 액체상으로 판독된 것으로 보여진다. 이 혼합상의 차이는 아마도 주요 채널인 8.5 μm 가 MODIS에서 혼합상을 구별하는데 쓰이지만, 우리의 알고리즘에는 이 채널이 없기 때문에 나타나는 것으로 여겨진다. MODIS CP 알고리즘이 얼음입자로 이루어진 상층 권운을 잘 판독하지 못한다는 것이 잘 알려져 있으며(Menzel et al. 2006), 본 검증에서는 현재의 IR을 사용한 구름상 알고리즘이 여전히 불완전함을 재확인하였다.

이렇게 MODIS 구름상과 우리 최종 산출물이 많은 차이가 있음에도 조건 간 차이는 유

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

사하다. 두 구름상 모두 야간 구름상은 주간에 비해 얼음상의 비율이 더 많아지고, 이것은 구름상의 일 변동은 잘 표현된다는 것을 의미한다. 또한 두 구름상 모두 북반구가 남반구에 비해 더 많은 얼음상을 갖는다. 이것은 ITCZ가 8월 북반구에 위치하고 있기 때문이다. 그러나 이러한 차이는 기본 구름상에서는 볼 수 없다.

(3) 시계열 비교

기후값 비교가 산출물의 검증에 매우 중요한 정보를 제공하긴 하나 MODIS 산출물과의 실제적 일치성을 보여주지는 못한다. 이장에서는 9개의 관심지역에 대해 산출물의 시계열을 분석하였다. MTSAT 산출물은 매시간 4 km의 해상도에서 산출되기 때문에 MOD08 격자화 된 MODIS 자료와의 비교를 위해 1° 격자에 대하여 매시 평균을 하였다. MODIS/Terra는 모든 지역에 대하여 아침 10시 30분경을 지난다. 따라서 매시간 MTSAT 자료가 MODIS의 자료와 시각이 정확히 일치하지는 않으며, 단지 매시 변동성과 유사한 일 변동성을 확인할 수 있다.

기본 구름상((a)의 회색 실선), 최종 구름상((b)의 회색 실선), MODIS 구름상(굵은 실선)에서 전운량에 대한 얼음상의 비율을 시계열로 나타내었다(fig. 9). 이 그림에서 실제 구름상의 변화가 빠르게 변화함을 알 수 있다. IR3 시험의 효과는 기본 구름상과 최종 구름상을 비교를 통해 알 수 있는데, 지역에 따라 그 효과가 다를 수 있다. 대부분의 지역에서 얼음상 비율은 MODIS의 것과 그 변화가 거의 동일하다. IR3 검사를 사용했을 때, 즉 최종 구름상의 경우 MODIS의 변동과 더 유사해진다. 그러나 남극 지역에서 최종 구름상에 대하여는 얼음상 비율이 MODIS의 것보다 더 높다(8월 11-20, 25-31). 본 검증의 기간이 이 지역에서 한 겨울임을 감안할 때 높은 비율의 얼음상 구름은 좀 더 현실적이다.

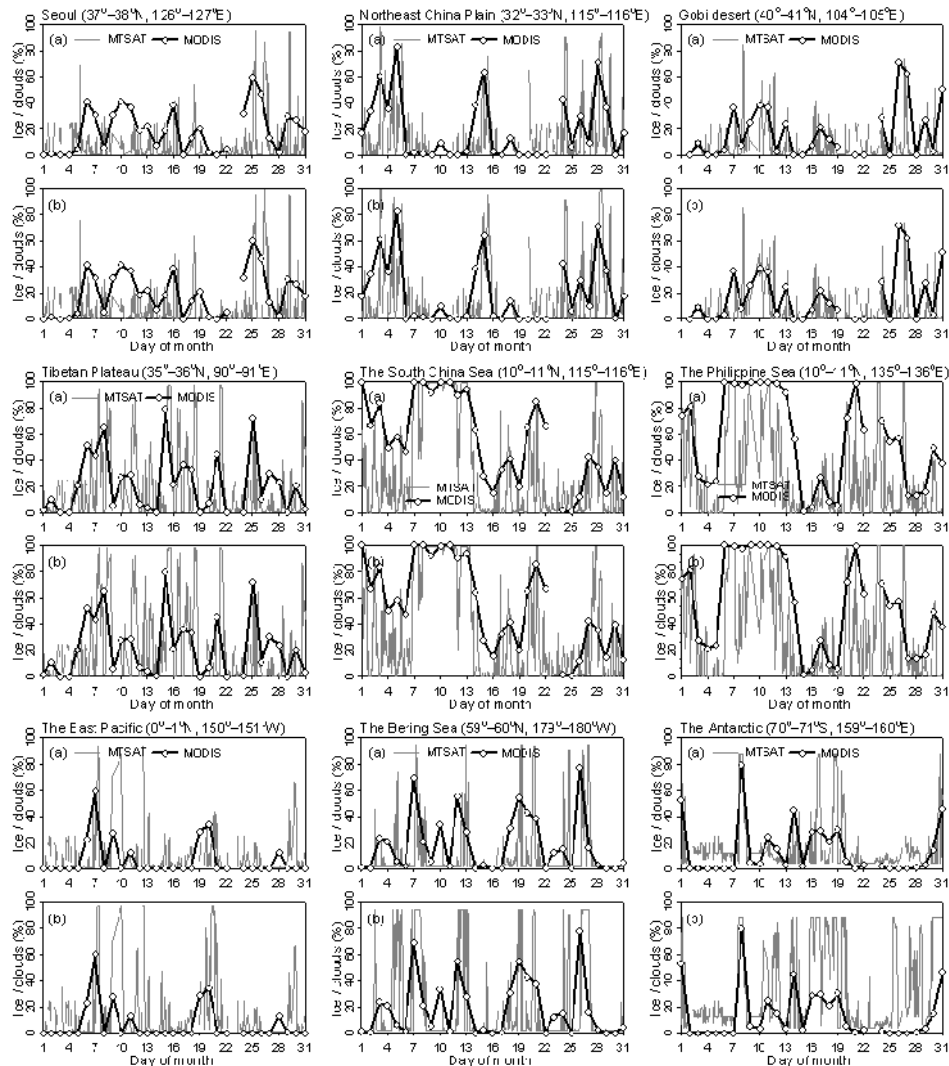


Fig. 9. Time series of the ratio of ice clouds to the total clouds at nine selected sites; base CP from IR1 and IR2 (a), and final CP from IR1, IR2, and IR3 (b).

(4) 화소 비교

정확한 화소의 비교를 위해 구름상을 비교한 결과를 아래 표에 정리하였다. 괄호 안의 수는 $6.75 \mu\text{m}$ 채널 휘도온도 검사를 포함한 결과이다. MODIS 구름상과 얼음상이 더 잘 일치함을 알 수 있다.

Table 6. Comparison of cloud phase from the MODIS IR trispectral algorithm and from the algorithm for the COMS. The numbers (in parentheses) designate those from the algorithm from which BT6.7 is excluded (included).

COMS	MODIS					
	Clear	Water	Mixed	Ice	Uncertain	Total
Clear	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0
Water	0.0	11.5 (19.7)	0.0	0.1 (0.3)	0.9 (4.1)	12.5 (24.1)
Mixed	0.0	2.3 (2.2)	7.1 (5.5)	21.2 (8.4)	5.8 (5.1)	36.4 (21.2)
Ice	0.0	0.0 (0.3)	0.0 (1.6)	15.6 (29.6)	0.0 (1.0)	15.6 (32.5)
Uncertain	0.0	13.8 (3.9)	0.0	3.9 (2.5)	4.9 (2.9)	22.6 (9.3)
Total	13.0	27.7	7.1	40.8	11.5	100.0

4. 산출결과 해석방법

구름상의 출력 자료로 액체상, 얼음상, 혼합상, 미확인상이 있다.

Table 7. Detailed Output data for the CP algorithm.

OUTPUT DATA								
Parameter	Mnemonic	Units	Min	Max	Pre c	Acc	Res	To
Cloud phase	cloud_phase	—	—	—	—	—	pixel	CP

5. 문제점 및 개선 가능성

6. 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.

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

- 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.
- 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.
- 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.

 국가기상위성센터 National Meteorological Satellite Center	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 알고리즘 기술 분석서	Code:NMSC/SCI/ATBD/CP Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CP-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
---	--------------------------------------	---

- 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. 697711.
- 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. 205221.