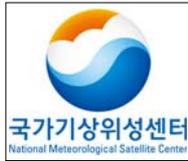


 국가기상위성센터 <small>National Meteorological Satellite Center</small>	통신해양기상위성 기상자료처리시스템 <b>알고리즘 기술 분석서</b>	Code:NMSC/SCI/ATBD/CA Issue:1.0 Date:2012.12.26 File: CA-ATBD_V4.0.hwp Page : 1/22
--	---	---



## CA 알고리즘 기술 분석서 (Algorithm Theoretical Basis Document)

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

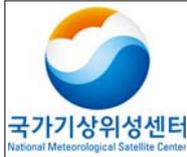


통신해양기상위성  
기상자료처리시스템  
알고리즘 기술 분석서

Code:NMSC/SCI/ATBD/CA  
Issue:1.0 Date:2012.12.26  
File: CA-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



통신해양기상위성  
기상자료처리시스템  
알고리즘 기술 분석서

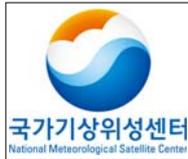
Code:NMSC/SCI/ATBD/CA  
Issue:1.0 Date:2012.12.26  
File: CA-ATBD\_V4.0.hwp  
Page : 1/22

DOCUMENT CHANGE RECORD

Version	Date	Pages	Changes
Version5	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. 문제점 및 개선 가능성
6. 참고문헌



## List of Tables

Table 1 : Cloud top pressure and cloud bottom height corresponding to cloud type.

Table 2 : Detailed Output data for the CA algorithm.

Table 3 : QC flag.

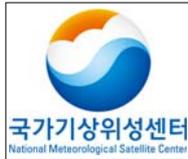
Table 4 : Validation results of CF and CA

Table 5 : Detailed output data for the CA algorithm.

Table 6 : Quality test result for the CA algorithm.

## List of Figures

- Figure 1 : Images of (a), (b)nadir-view cloud fraction and (c), (d)fractional sky cover.
- Figure 2 : Illustration of the parameters.
- Figure 3 : Flowchart of CF and CA algorithm.
- Figure 4 : Validation results of cloud fraction(a) and sky cover(b) for SGP site. Larger circles in b represent improve  $N_{\text{hemisph}}$  values compared with  $N_{\text{nadir}}$  in the site.
- Figure : monthly mean bias between ground measured cloud fraction and MODIS retrieved cloud fraction (algorithm-retrieved sky cover).



## List of Acronyms

COMS	Communication, Ocean, and Meteorological Satellite
ARM	Atmospheric Radiation Measurement (ARM)
SGP	Southern Great Plains
TSI	Total Sky Imager
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
CF	Cloud Fraction
CA	Cloud Amount

## 1. 개요

운량은 항해, 항공, 농업, 야외활동 등의 일상생활에 깊이 영향을 미치는 기상 요소이다. 대기에서 운량은 우선 전 지구 기후시스템을 조절하는 태양에너지의 강도를 조절한다. 또한 지구로부터 방출되는 장파복사가 우주 밖으로 나가는 정도를 조절하기도 한다. 운량은 일기 예보의 핵심이 되는 대상으로서 지금까지 규칙적으로 지상 관측을 통해 얻어져 왔다. 국내에서는 운량의 중요성이 일반인에게 날로 더해져, 한반도에 이웃한 해양 또는 주변국들의 운량까지도 그 관심의 대상이 되었다. 이러한 양질의 광범위한 자료는 지상 관측으로는 한계가 있기 때문에, 위성을 통해 디지털화된 지상관측운량 산출이 요구된다.

본 장에서는 운량 알고리즘이 어떻게 구성되어 있고 어떤 단계를 거쳐 위성관측운량과 목측운량이 어떤 과정을 거쳐서 산출되는지에 대하여 설명하고자 한다.

## 2. 배경 및 목적

본 알고리즘은 장면분석에서 산출되는 구름 존재 유·무의 화소 정보를 이용하여, 위성에서 본 운량을 산출한다. 다른 위성들과 비교 해 볼 때, MODIS는  $5 \times 5$ , SEVIRI는  $3 \times 3$  그리고 IPCC의 경우는  $1^\circ \times 1^\circ$  평균화 과정을 거쳐서 위성관측운량은 산출한다. 이런 위성 관측운량의 경우, 구름의 위치나 크기에 큰 영향을 받지 않지만 실제 지상관측운량에서는 이러한 요소들이 중요하게 작용하다. 그러므로 CMDPS 운량에서는 위성관측운량과 지상 관측자 입장에서 본 운량(목측운량)을 모두 산출한다는 것이 가장 큰 특징이다. 목측운량은 구름탐지 결과로부터 구름 존재의 유·무를 결정하고 위성관측운량과 운정압력 정보를 이용하여 지상에서 관측한 구름의 양을 %로 산출한다.

현재 운량은 일기예보에서 최고·최저 기온, 일사량 등을 예측하는데 필수적인 자료임에도 불구하고 목측에 의존하는 실정으로, 측정하는 데에 있어 시간적인 제약과 더불어 객관적 신뢰도가 떨어진다는 한계점을 가지고 있다. 그러나 Communication, Ocean, and Meteorological Satellite (COMS)의 위성관측 운량과 더불어 관측자 입장에서 본 운량 산출은 보다 정량적인 일기예보에 기여할 것으로 예상된다. 그리고 시·공간적으로 구체적인 숫자와 그래픽 형태로 정보를 제공하는 디지털예보 등에 활용될 수 있다. 또한 본 산출물은 구름의 유효입자 반경과 더불어서 에어로졸의 간접적인 영향의 연구에 활용할 수 있다.

## 3. 알고리즘

### 3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

목측운량은 Kassianov et al. (2005)에 의한 방법을 역으로 이용하여 산출하도록 되어 있다. Fig. 1은 목측운량과 위성관측운량 사이에 발생하는 차이를 볼 수 있다. Fig. 1(a)와 (b)는 실제 구름의 분포를 보여주고 있고 Fig. 1(c)와 (d)는 지상에서 관측했을 경우의 관측될 수 있는 것을 보여주고 있다. 즉 지상관측자의 천정에 구름이 많고 그 주위에 구름이 없을 경우, 목측운량은 과대평가 될 수 있는 반면 천정에 구름이 없고 주위에 구름이 많을 경우는 목측운량이 상대적으로 과소평가 될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

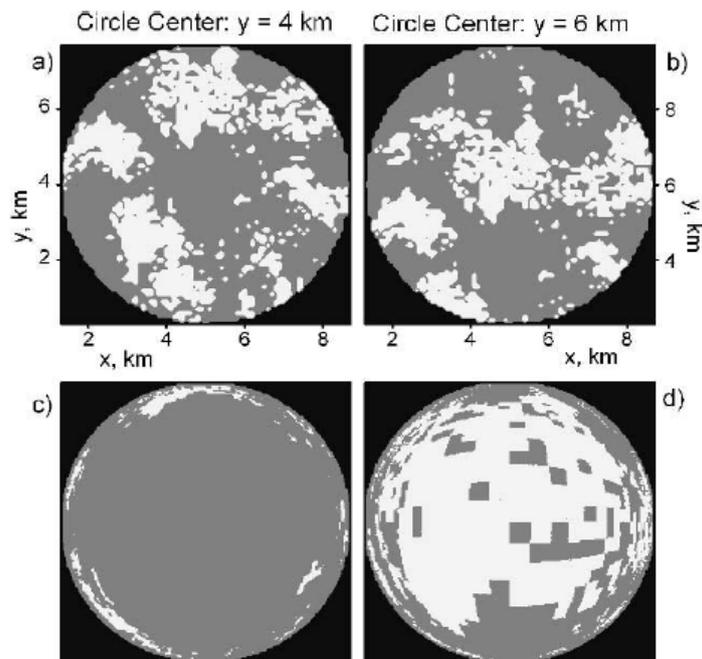


Fig. 1. Images of (a), (b)nadir-view cloud fraction and (c), (d)fractional sky cover (Kassianov et al., 2005)

이처럼 위성에서 관측하는 운량과 지상에서 관측하는 목측운량 사이에 차이는 다음의 이유에 기인한다. 첫째, 관측 상태의 차이가 있다. 위성관측은 지구 밖에서 구름 위를 탐지하는 반면 목측운량관측은 지표에서 상향의 구름을 탐지한다. 또한 위성자료는 격자 형태로 값을 가지지만 지상관측은 지구곡률을 고려해야한다. 두 번째 차이는 목측운량은 구름의 수평·수직 구조에 영향을 받지만, 위성관측은 이를 고려하지 않는다. 위성관측 자료로부터 목측운량을 산출하기 위해서는 이러한 차이를 보정해야한다. 그러므로 위성에서 관측한 결과를 목측운량으로의 변환이 필요하고 그 물리적 법칙은 Kassianov et al. 등의 방법을 변환하여 사용할 수 있다(Kassianov et al., 2005; Oh et al., 2006).

## 3.2. 산출방법(Methodology)

### 3.2.1. 조건표 산출방법

관측자를 중심으로 봤을 때 구름의 위치에 따라 가중치를 주는 조건표를 만들었다. 가중치는 관측자가 볼 수 있는 최대 천정각에 대한 구름이 위치한 곳과 관측자 사이의 각도 ( $\frac{\alpha}{\alpha^*}$ )로 정의하였다. 천정으로부터  $\alpha = \alpha^*$ 인 경우까지 각 화소별로 다른 가중치를 적용해야 한다. 예를 들어, 구름이 천정위에 있을 경우에는 구름위치에 따른 가중치를 고려할 필요가 없으므로 구름 가중치는 0이 된다. 그러나 구름이 가장자리(i.e.,  $\alpha = \alpha^* = 80^\circ$ )에 있을 경우, 동일한 구름이 천정에 있을 때보다 과소평가되는 경향이 있으므로 가중치를 증가시키면서 최대 각도인  $\alpha^*$ 에서는 가중치가 1이 되도록 조건표를 만들었다.

몇 개의 화소군을 취했을 경우 지상관측 운량과 가장 일관성 있는 결과를 보이는지 보기 위하여 MODIS 운량과 ARM의 SGP 지역의 지상관측 운량을 가지고 민감도 조사를 하였다. 이 과정에서 지상 관측자는 운저를 본다는 가정 하에 하층운의 구름 높이인 2 km를 구름의 운저로 이용하였다. 지상관측자의 천정으로부터 구름의 한쪽 가장자리까지의 거리는 약 12 km가 되고 관측자를 중심으로 양쪽방향으로는 약 24 km가 된다. MODIS의 경우 한 화소의 크기가 5 km이므로 관측자가 볼 수 있는 가장자리까지는 양방향으로 각각 2개씩 모두 5개의 화소가 필요하다. 이는 어떤 지점에 위치한 관측자가 볼 수 있는 면적은  $5 \times 5$ 의 화소가 된다. 관측자의 최대 시정거리를 50 km로 하였을 때 이를 충분히 만족시킬 수 있는  $15 \times 15$ 의 화소까지 화소별 크기를 증가시켜가며 지상관측자료와의 상관관계 및 RMSE 값을 계산하였다(Table 1). 목적운량을 산출하는데 걸리는 시간과, 지상관측자료와의 일관성을 모두 고려하였을 때  $5 \times 5$ 의 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다.

Table 1. Correlation coefficients and RMSE of sensitivity test to the cloud weight part.

		$R_{5 \times 5}$	$R_{7 \times 7}$	$R_{9 \times 9}$	$R_{11 \times 11}$	$R_{13 \times 13}$	$R_{15 \times 15}$
SGP	Correlation	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.90
	RMSE	13.34	13.57	14.00	14.88	16.16	17.25

구름가중치에 대한 민감도 결과에 따라 COMS의 경우에는 한 화소의 크기가 3 km이므로 목적운량  $7 \times 7$ 의 화소 단위군별로 구름 위치에 따른 가중치를 적용하도록 조건표를

만들었고 산출방법은 다음과 같다.

```

program makelut
!-----
!!Description :
! This subroutine is matrix to give cloud weight,
! == > Calculate matrix
! from formula of EVGUENI KASSIANOV et. al.
! IF of Maximum degree(80)=distance (D) and a degree=d
! tan a = d/H
! # according to resolution, H is changed
! because tan80 = D/H, D is related to resolution
! Thus, a=tan-1(d/H)
! cloud weight= a/80
!-----
implicit none
integer, parameter :: grid=3, pi=3.1452, res=3
real, parameter :: H=1.6
integer :: m, n
real, dimension(7,7) :: mata, matrix

open (1, file='lut_matrix.txt', status='unknown')
DO n= 1, grid*2+1 ; DO m= 1, grid*2+1
    mata(m, n)= (grid+1-m)**2 + (grid+1-n)**2
    mata(m,n)= ((mata(m,n))*(res))**(0.5)/H
    matrix(m,n)= ATAN(mata(m,n))
    matrix(m,n)= ((matrix(m,n)) * 180.) / pi
    matrix(m,n)= matrix(m,n)/80.

    IF (matrix(m,n)>=1.) THEN
        matrix(m,n) = 1.
    ELSEIF (matrix(m,n)<1.) THEN
        matrix(m,n) = matrix(m,n)
    END IF

END DO ; END DO

write (1,*) matrix

end program makelut

```

### 3.2.2. 산출방법 (Methodology)

본 알고리즘은 구름탐지 결과로부터 구름 화소가 차지하는 비율을 % 단위로 전환하여 중간 산출물인 위성관측운량을 산출한다. 즉, 어떤 천정 신뢰수준 하에서 구름화소를 1, 천정화소를 0으로 전환하여 합을 취한 다음 총화소군 수로 나눈 것이다.

목측운량은 구름 탐지 결과로부터 구름의 위치 정보에 대한 가중치와 구름의 기하학적 구조로 인해 발생하는 차이를 보정하여 목측운량을 산출한다(Oh et al. 2006, JKMS).

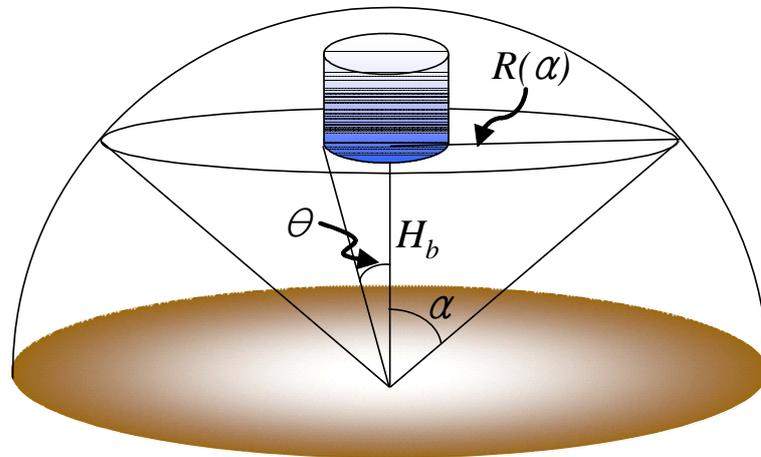


Fig. 2. Illustration of the parameters.

첫째로, 구름 위치 정보에 대한 보정은 다음의 과정을 거쳐서 이루어진다. 예를 들어 구름이 천정위에 있을 경우에는 구름위치에 따른 가중치를 고려할 필요가 없으므로 구름 가중치는 0이 된다. 그러나 구름이 가장자리(i.e.,  $\alpha = \alpha^* = 80^\circ$ )에 있을 경우, 동일한 구름이 천정에 있을 때보다 과소평가되는 경향이 있으므로 가중치는 1이 된다. 그러므로 천정과 가장자리에 구름이 있을 경우 그 가중치는 0~1 사이의 값을 갖게 된다. 즉, 알고리즘의 기본 입력 자료인 구름탐지 정보를 토대로 구름의 유무를 판단한 후 구름이 탐지된 화소에 대하여 지상관측자와 구름의 위치를 고려하여 가중치를 부여한다.

구름의 기하학적 정보에 따른 가중치를 주기 위해서는 다음과 같은 과정을 통하여 구름의 수평면적과 연직 높이를 고려해준다. 위성에서 관측된 운량( $N_{\text{nadir}}(\alpha)$ )은 반경이  $R(\alpha)$ 인 원의 면적에 대한 구름이 차지하는 수평 면적으로 식 (1)로 정의된다(Fig. 2). 목측운량( $N_{\text{hemisph}}(\alpha)$ )은 입체각에 대한 구름이 차지하는 면적으로 천정각( $\alpha$ )에 좌우된다(식 2).

$$N_{\text{nadir}}(\alpha) = \frac{S_{\text{cld, nadir}}(\alpha)}{S_{\text{nadir}}(\alpha)} \quad (\%) \quad (1)$$

$$N_{\text{hemisph}}(\alpha) = \frac{S_{\text{cld, hemisph}}(\alpha)}{S_{\text{hemisph}}(\alpha)} (\%) \quad (2)$$

여기서  $S_{\text{cld, nadir}}(\alpha)$  = horizontal cloud area (km),  $S_{\text{nadir}}(\alpha)$  = total area of the circle (km),  $S_{\text{cld, hemisph}}(\alpha)$  = fraction of the solid angle filled by clouds (sr),  $S_{\text{hemisph}}(\alpha)$  = observed solid angle with cone zenith angle  $2\alpha$  (sr)로 정의된다. 운량과 목측운량 사이의 관계는 식 (3)로 표현될 수 있다.

$$N_{\text{hemisph}}(\alpha) = N_{\text{nadir}}(\alpha) \left[ 1 - \gamma \frac{\alpha}{\alpha^*} \right]^{-1} \quad (3)$$

여기서  $\frac{\alpha}{\alpha^*}$  = cloud weight,  $\gamma$  = 구름외관비, 그리고  $\alpha^*$ 는 관측자가 관측할 수 있는 최대 천정각으로 본 알고리즘에서는  $80^\circ$  로 가정하였다.

구름외관비( $\gamma$ )를 산출하기 위해서는 구름의 수평·수직 크기를 고려해야 한다. 먼저 구름의 수평면적(D)은 화소 단위로 산출된  $N_{\text{nadir}}$ 와 화소의 면적을 고려하여 계산한다. 그리고 구름의 수직높이(H)의 경우, 운정압력을 이용하여 상·중·하층운으로 나눈 후 측고공식을 이용하여 구름의 기하학적 두께를 산출한다. 즉, 운정압력에 따라 ISCCP운형 개념을 바탕으로 상층·중층·하층운으로 구분한다. 그에 대한 기준을 아래 Table 2에 제시하였다. Table 2에 제시된 기준에 따라 구름 밑면의 높이를 결정하고, 측고공식으로 구름상부의 높이를 산출한 후 그 차이를 가지고 구름의 기하학적 두께를 계산한다. 이때 운정압력의 경우 상·중·하층운에서 중간압력에 해당하는 대한 300, 500, 850 hPa를 각각 적용하도록 하였다. 이렇게 산출된 구름의 수평면적에 대한 기하학적 두께를 구름외관비로 정의한다. 구름가중치, 위성관측운량, 구름외관비의 3개 부분으로 구성된 알고리즘은 Kassianov의 방법을 변환하여 평균된 주변  $7 \times 7$ 의 구름/청천 화소의 목측운량을 산출한다(Kassianov et al. 2005). 그 외에 좀 더 상세한 내용은 appendix (Oh et al. 2006, APJS)의 2~3페이지에 설명되어 있다.

Table 2. Cloud top pressure and cloud bottom height corresponding to cloud type.

Level	Genera	Cloud top pressure (hPa)	Cloud bottom height (km)
High	Cirrus, cirrocumulus, cirrostratus	50-440	8
Middle	Alto cumulus, altostratus, nimbostratus	440-680	4
Low	Cumulus, stratocumulus, stratus cumulonimbus	680-1000	1

### 3.3. 산출과정

#### 3.3.1. 운량 산출

본 알고리즘 산출과정을 Fig. 3에 흐름도로 나타냈다. 위성관측운량과 목측운량을 산출을 위해 필요한 입력 자료는 기본 입력 자료와 구름분석 자료로 구분할 수 있다. 기본 입력 자료는 구름탐지 자료와 장면분석자료, 그리고 관측자의 위치에 따른 구름에 대한 가중치 정보이다. 구름분석 자료는 운정압력 자료가 필요하다. 먼저 구름탐지 정보를 토대로 구름의 유·무를 판단한 후 구름이 탐지된 화소에 대하여 지상관측자와 구름의 위치를 고려하여 가중치를 부여한다. 그리고 주변 7×7의 구름/청천 화소를 평균하여 위성운량( $N_{nadir}$ )을 산출한다. 구름의 수평·수직 크기를 고려하여 구름외관비( $\gamma$ )를 산출한다. 구름가중치, 위성관측운량, 구름외관비의 3개 부분으로 구성된 알고리즘은 Kassianov의 방법을 변환하여 평균된 주변 7×7의 구름/청천 화소의 최종 산출물인 목측운량을 백분율 단위(%)로 산출한다.

위성관측운량 결정을 위해서는 장면분석에 포함된 청천 신뢰수준을 정하는 검사가 선행되어야 한다. 청천 신뢰수준이 너무 높으면 청천 화소로 분류되는 화소 수가 줄어들게 되어 운량이 많아진다. 반대로 청천 신뢰수준이 너무 낮으면 청천 화소로 분류되는 화소 수는 늘어나 운량은 적게 산출된다. 따라서 적절한 청천 신뢰수준을 결정하기 위해 COMS 알고리즘의 시험단계에서 가시영상자료와 비교한 사례분석이 필요하다. 신뢰수준은 약 95% 내외에서 결정될 것이다.

#### 3.3.2. QC Flag

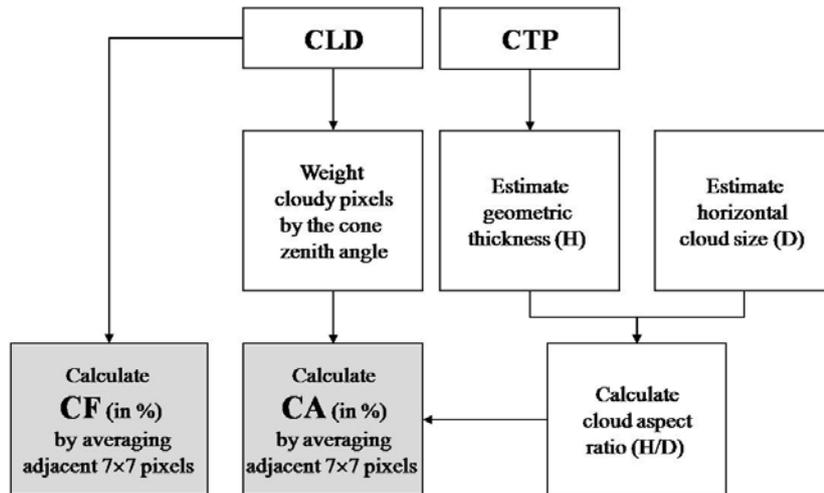


Fig. 3. Flowchart of Cloud Fraction (CF) and Cloud Amount (CA) algorithm

목측운량을 산출하기 위해 구름의 위치 정보와 구름의 수평·수직 크기가 가장 큰 영향을 끼치게 된다. 그러므로 이 두 과정에 대하여 각각 QC flag를 주도록 하였고, table 3에 나타내었다. 첫 번째는 구름의 위치 정보에 대한 flag로써  $7 \times 7$ 에서 전체 가중치 값에 대한 구름화소가 가지는 가중치의 비(i.e.,  $\text{weight\_rate} = \text{sum of cloudy pixel weight} / \text{total weight in } 7 \times 7$ )에 대하여 96-240까지의 flag를 준다. 그리고 구름외관비(H/D)에 대하여 1-10까지의 QC를 주도록 설계 하였다.

Table 3. QC Flag.

CLA - CA			
bit	Bit Interpretation	Field Description	
<b>8~5</b> (Pixel weights in terms of the cone zenith angle.) $\frac{\sum_{j=1}^{N_c} W_{ij}}{\sum_{j=1}^N W_{ij}}$	240	0~0.1	
	224	0.1~0.2	
	208	0.2~0.3	
	192	0.3~0.4	
	176	0.4~0.5	
	160	0.5~0.6	
	144	0.6~0.7	
	128	0.7~0.8	
	112	0.8~0.9	
	unavail => 0	96	0.9~1
<b>4~1</b> (Estimated Cloud aspect ratio) $\frac{H}{D}$	10	0~0.1	
	9	0.1~0.2	
	8	0.2~0.3	
	7	0.3~0.4	
	6	0.4~0.5	
	5	0.5~0.6	
	4	0.6~0.7	
	unavail => 0	3	0.7~0.8
		2	0.8~0.9
		1	0.9~1

### 3.4. 검증

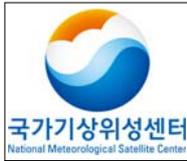
#### 3.4.1. 검증방법

COMS로부터 산출된 위성관측운량은 목측운량은 두 가지 방법에 의하여 이루어 졌다. 첫 번째는 CMDPS에 의한 실시간 검증이다. 두 번째는 알고리즘의 유효성을 알아보기 위한 자체검증이다. 이 방법은 방법 공간 해상도를 맞추기 위해 30km×30km (6×6pixel)평균화 과정이 필요하다. 목측운량의 경우 먼저 목측 운량의 측정이 이루어지 위치정보와 위성관측운량의 위치정보와 시간정보를 맞춘 후 두 산출물간에 상관계수(R)와 bias 그리고 RMSE를 통해서 본 산출물의 유효성을 검증하였다.

#### 3.4.2. 검증자료

##### (1) CMDPS 검증 (COLL/VAM)

CMDPS 위성관측운량을 검증하기 위해서 사용된 자료는 MODIS Terra와 Aqua의



자료를 사용하였고 목측운량은 Ground와 GTS 자료를 사용하여 각각 11월 1일부터 5일까지 검증을 하였다. 알고리즘의 취약성을 판단하기 위해 각 위도별로 분리하여 (적도: 위도 30도 미만, 중위도: 남북30-60도) 통계값 (Correlation, BIAS, RMSE)을 계산하도록 하였다. 또한 다른 산출물들과는 달리 운량에서는 clear sky를 포함하여 검증을 수행하였다.

## (2) 개발자 자체 검증

위성관측운량을 검증하기 위해서는  $5 \times 5$  km의 공간 해상도 ( $270 \times 406$  화소)를 가진 MOD06은 운량이 필요하다. 그리고 목측운량의 경우, 지상관측 자료인 Atmospheric Radiation Measurement (ARM) 프로그램의 southern Great Plains (SGP:  $36.60^\circ$  N and  $97.48^\circ$  W) 지역의 자료를 사용하였다 (available online at <http://www.arm.gov>). ARM 자료의 경우 목측이 아닌 total sky imager (TSI) 관측 기구를 사용하고 있으므로 보다 객관성 있는 지상관측운량을 얻을 수 있고, 우리나라의 위치와 유사한 중위도에 위치한 SGP 지역의 2002년 8월부터 12월까지의 자료를 토대로 유효성을 검증하였다.

한반도 영역에서의 목측운량 검증을 위해 2007년 11월 한 달 동안의 기상청의 목측운량을 사용하였다.

### 3.4.3. 시공간일치방법

#### (1) CMDPS 검증 (COLL/VAM)

위성관측운량 알고리즘의 검증을 위해서는 먼저 고위도 (남북 $60^\circ$  이상)는 검증에서 제외하였다. 시공간의 일치를 위해서는 homogeneous한 경우에 대해서만 검증을 하기 위해 MODIS의  $5 \times 5$ 화소에서 1-표준편차 (1-standard deviation) 이상의 차이가 나는 부분은 검증에서 제외하였다. Ground 자료는 기상청 목측운량을 의미하고 GTS는 지상관측 자료로 매시 정시에 관측한 자료를  $\pm 0.1^\circ$  내에 들어오는 운량과 비교하도록 하였다. 또한 목측운량의 경우, 20% 이상 차이가 나는 것은 네비게이션 오류 및 구름 탐지 오류로 가정하고 1:1 대응 라인에서 20%내에 들어오는 화소만 비교하도록 하였다.

#### (2) 개발자 자체 검증

본 알고리즘을 통해 산출된 목측운량과 SGP 지역에서의 지상관측운량의 검증을 위해 시공간을 일치시킨다. 지상관측 위치로부터  $\pm 30$ 분,  $\pm 0.1^\circ$  내에 들어오는 위성관측운량과 알고리즘을 통해서 산출된 목측운량을 평균하여 비교하였다.

### 3.4.4. 검증결과분석

#### (1) CMDPS 검증 (COLL/VAM)

Table 4. Validation results of CF and CA

	Reference	Time	Region	R	Bias	RMSE
CF	MOD	11/1~11/5	Global	0.85	-3.57	21.68
	MYD			0.81	-3.83	22.30
	MOD		Low	0.85	-5.50	21.48
	MYD			0.81	-5.84	23.56
	MOD		Mid	0.77	-1.52	21.68
	MYD			0.78	-1.86	20.90
CA	GTS	11/1~11/5	Global	0.95	0.18	0.81
	GROUND			0.75	0.61	1.95
	GTS		Low	0.95	0.23	0.83
	GROUND			-	-	-
	GTS		Mid	0.91	0.19	0.78
	GROUND			0.75	0.61	1.95

Table 4는 MODIS의 위성관측 운량과 Ground와 GTS로부터 얻은 지상관측운량 및 목측운량과 비교한 결과를 보여주고 있다. 먼저 위성관측운량의 결과를 살펴보면 모든 지역에서 0.8 이상의 높은 상관계수를 보여주고 있다. 위도별 검증 결과를 통해 살펴볼 때 위도의 차이가 검증결과에 크게 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있고, 이는 목측 운량에서도 알 수 있다. 목측운량은 ground 보다 GTS 관측결과와 더 좋은 상관계수를 보이고 있는데, ground의 경우 목측에 의해 관측된 결과이므로 객관적 신뢰도가 GTS보다 떨어질 수 있다는 것에 유의해야 한다.

#### (2) 개발자 자체 검증

Fig. 4는 SGP지역의 지상관측 운량과 The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)로부터 얻은 위성관측운량 (a), 그리고 알고리즘을 통해 변환된 운량(b) 사이의 관계를 각각 보여주고 있다. Berendes et al. (2004)에 따르면 지상관측 운량과 위성관측 운량이  $\pm 20\%$ 내에 들어오는 경우는 “good agreement” 라고 설명하고 있다. Fig. 4에서 보여주고 있는 것과 같이  $\pm 20\%$ 내에서 지상관측운량과 위성관측 운량의 상관계수 0.96, 지상관측운량과 알고리즘을 통해 변환된 목측운량과의 상관계수는 0.98을 나타내고 있다. Fig. 4(b)에서 겹쳐진 큰 원들은 지상관측운량과 비교했을 때, 알고리즘을 통해 산출된 운량이 위성관측운량과 비교하여 향상된 값을 보이는 것으로 약 53%의 향상도를 보이고 있다.

Fig. 5는 지상관측운량과 위성관측 운량 그리고 지상관측운량과 알고리즘을 통해 변

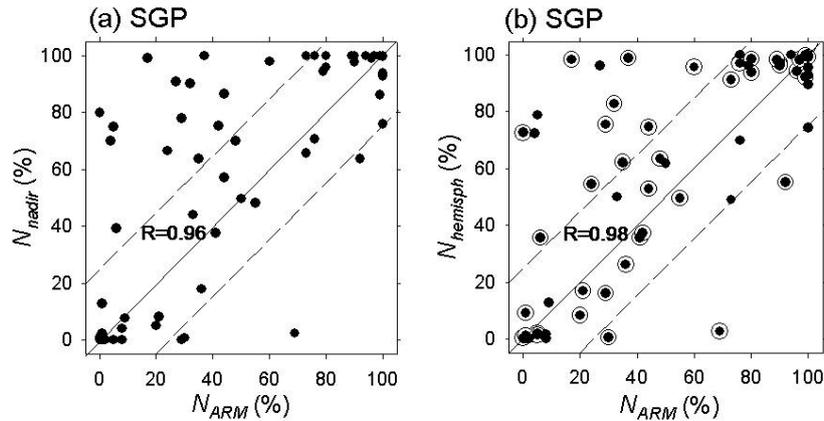


Fig. 4. Validation results of cloud fraction(a) and sky cover(b) for SGP site. Larger circles in b represent improved  $N_{hemisph}$  values compared with  $N_{nadir}$  in the site.

환된 운량 사이에 차이를 보여주고 있다. 이 결과는 지상관측운량이 상대적으로 적게 측정되는 것을 알 수 있다. 그 원인은 중위도 지역에는 얇은 권운이 넓게 많이 분포하고 있는데, 지상에서 관측하는 목측운량은 얇은 권운을 정확하게 측정하지 못하는 데서 기인한 것으로 보인다.

Fig. 4와 Fig. 5의 결과로부터 알고리즘을 통해서 목측운량으로 변환을 했을 경우, 지상관측운량과의 상관계수가 높고, 실제 지상관측운량과의 차이가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 본 알고리즘을 통해서 산출된 목측운량과 기상청의 11월 한 달 동안의 목측운량과의 비교 결과 상관계수는 0.61이었고, bias는 0.57 그리고 RMSE는 3.17로 나타났다. 이 결과는 SGP 지역에서의 RMSE (8.04)보다 작은 것을 통해 한반도 영역에서 본 알고리즘이 유효하다는 것을 보여주고 있다.

#### 4. 산출결과 해석방법

운량은 백분율로 표시하며 Prec.과 Acc.는 10을 가진다.

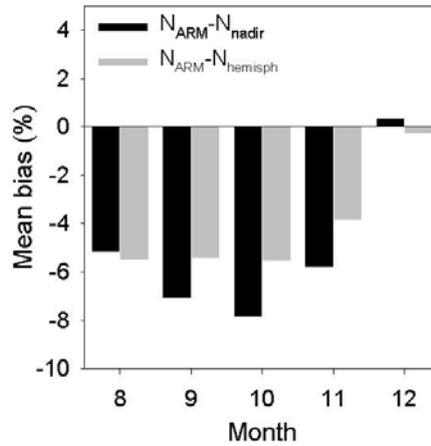


Fig. 5. monthly mean bias between ground measured cloud fraction and MODIS retrieved cloud fraction (algorithm-retrieved sky cover).

Table 5. Detailed Output data for the CA algorithm.

OUTPUT DATA								
Parameter	Mnemonic	Units	Min	Max	Prec	Acc	Res	To
Mean cloud vertical size	mean_cld_vert						pixel	MCV
Mean cloud horizontal size	mean_cloud_hori						pixel	MCH
Cloud aspect ratio	cld_asp_ratio		0	10				CASR
Ratio of cone zenith angles	pos_weight		0	1				RA
Cloud Fraction	Cloud_fraction	%	0	100			pixel	CF
Sky cover	sky_cover	%	0	100	10	10	20km	CA

Prec: Precision, Acc: Accuracy, Res: Resolution

## 5. 문제점 및 개선 가능성

본 알고리즘은 구름탐지 결과와 운정압력 결과가 입력자료로 사용되기 때문에 이러한 입력 자료의 정확도에 따라 본 알고리즘의 정확도가 좌우될 수 있다. 그리고 또한 일반적으로 지상관측운량의 경우 높은 고도에 있는 얇은 권운은 잘 측정을 하지 못하는데서 실제 목측 운량과의 차이가 발생할 수 있다.

Table 6. Quality test result for the CA algorithm.

Quality flag			
Parameter	bit	Value	Meaning
sky cover	7	from 0 up to 100 ; step: 1	undefined
define illumination and viewing conditions	3	0	undefined
		1	night
		2	twilight
		3	day
		4	sunglint
describe the quality of the processing itself	2	0	non processed
		1	good quality
		2	poor quality
		3	bad quality

## 6. 참고문헌

- Berenders, T. A., Berendes, D. A., Welch, R. M., IEEE, Member, Dutton, E. G., Uttal, T. and Clothiaux, E. E., 2004: Cloud cover comparisons of the MODIS Daytime cloud mask with surface instruments at the north slope of Alaska ARM site, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42, 2584–2593.
- Kassianov, E. I., Long, C. N. and Ovtchinnikov, M. 2005: Cloud sky cover versus cloud fraction: whole-sky simulations and observations, Journal of Applied Meteorology, 44, 86–98.
- Oh, H. R., Choi, Y. S., Ho, C. H. and Ahn, M. H., 2006: Development of sky cover retrieval algorithm for the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) imagery, Journal of Korean Meteorology Society, 42, 389–396.

## 7. Appendix

JOURNAL OF THE KOREAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 42, 6, 2006, p.

### Development of Sky Cover Retrieval Algorithm for the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) Imagery

Oh, Hye-Ryun<sup>1</sup>, Yong-Sang Choi<sup>1</sup> and Chang-Hoi Ho<sup>1</sup> and Myoung-Hwan Ahn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*School of Earth and Environmental Sciences  
Seoul National University, Seoul, Korea*

<sup>2</sup>*Meteorological Research Institute  
Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea*

(Manuscript received 31 October 2006; in final form 13 December 2006)

#### Abstract

We have developed a retrieval algorithm to estimate the sky cover of clouds in the celestial sphere centered at a ground observer. In this algorithm, the sky cover is obtained from the satellite-observed (i.e., nadir-viewing) cloud fraction through two procedures: assigning the weights of the ratio of the solid angle filled by clouds to the entire solid angle and estimating the cloud aspect ratio, i.e., the geometric thickness vs. the horizontal cloud size. The sky cover retrieved from the cloud fraction of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer is validated by ground-observed sky cover at two sites of the Atmospheric Radiation Measurement Program, the tropical western Pacific (12.42°S and 130.89°E) and the southern Great Plains (36.60°N and 97.48°W). The validation shows that the present algorithm provides a successful conversion into sky cover, particularly in the latter site.

**Key words:** sky cover, cloud fraction, COMS, MODIS, ARM

#### 1. Introduction

Cloudiness deeply influences our daily life such as in sailing, aviation, agriculture, and outdoor activities. In meteorology, cloudiness determines the magnitude of incoming solar energy which regulates the entire climate system over the globe. It is a key parameter in controlling the emission of terrestrial radiation at the top of the atmosphere. In addition, cloudiness is one of the essential objects of weather forecasting, so it has been measured routinely by ground observers. As the importance of cloudiness increases in the daily life, in Korea, the general public requests the digitized values of cloudiness nation-wide and in the neighboring oceans.

A longer than two-decade record of the nadir-

viewing cloud fraction, i.e., the ratio of the total area of cloud cross-section in a horizontal plane to the total horizontal area, has been archived with an aid of many satellite programs, e.g., the International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) (Schiffer and Rossow, 1983). Recently, cloud detection skill has been dramatically improved by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument, particularly for thin cirrus (Ackerman *et al.*, 1998). Over the regions of Asia and western Pacific, a series of satellites including the *Japanese* Multifunctional Transport Satellite (MTSAT) and the *Chinese* Feng Yun have monitored cloudiness. Furthermore, Korea will launch the first Korean geostationary satellite, the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS), in 2008 (Ahn *et al.*, 2005). The COMS will provide detailed cloud information in real time, predominantly for the cases of severe weather over the Korean peninsula and adjacent regions every 10 minutes or even shorter time intervals.

The cloudiness observation by human observers (hereafter sky cover) is, in fact, fairly subjective in

Corresponding Author: Chang-Hoi Ho, Climate Physics Laboratory, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea.  
Phone : +82-2-880-8861, Fax : +82-2-876-6795  
E-mail: hoch@cpl.snu.ac.kr

a local area because it represents the fraction of the solid angle of clouds estimated by humans. It also has a limitation, in that it is susceptible to daytime measurement only. For this reason, the foregoing satellite remote-sensing of cloudiness, with continuous and objective measurements for a vast area, has been generally employed instead of sky cover. However, the cloud fraction observable from satellites reflects the view from space, which differs from the view of humans on the ground. Strictly, the general public is interested in the amount of sky cover, not the satellite-viewing (i.e., nadir-viewing) cloud fraction. Despite of this necessity, a satellite algorithm for calculating the ground-observed sky cover has not been developed yet.

This study attempts to develop the sky cover algorithm, which will be adapted to the COMS, and validate the resultant algorithm. For this purpose, the MODIS cloud product is used as input data for the algorithm in substitution for the COMS data. The ground-observed sky cover from the Atmospheric Radiation Measurement (ARM) program is employed to validate the algorithm. The algorithm overview and data utilized are described in sections 2 and 3, respectively. The validation results of the sky cover with the ARM data are discussed in section 4. Finally, a summary is given in section 5.

## 2. Algorithm overview

Prior to describing the sky cover algorithm, we discuss the reasons for the discrepancy between satellite-observed cloud fraction and ground-observed sky cover. Kassianov *et al.* (2005) pointed out two causes: the location of the observer and cloud geometry. First, the effect of the curvature of the celestial sphere is included in the ground-observed sky cover. In general, the value of sky cover is larger when clouds locate at the zenith when compared to the same amount of clouds distributed along the horizon. Second, ground observations detect both the bottom and the side of clouds, while satellites do cloud top only. In other words, the ground-observed sky cover is a variable dependent on the cloud geometry, while satellite-observed cloud fraction is obtained from the na-

dir-viewing alone.

Allowing for the above-mentioned reasons, Kassianov *et al.* (2005) suggested an equation converting from the ground-observed sky cover to the satellite-observed cloud fraction based on Monte Carlo simulations. The input data is the ground-observed hemispherical measurements of cloud amount. Their approach aims at validating the satellite-observed cloud fraction with ground-observed sky cover. Since we attempt conversely to estimate ground-observed sky cover from satellite-observed cloud fraction, we modify their equation into its inverted form,

$$N_{ground}(\alpha) = \frac{N_{nadir}(\alpha)}{[1 - \gamma(\alpha) \frac{\alpha}{\alpha_{max}}]} \quad (1)$$

where  $\alpha$  is the cone zenith angle between the zenith and the cloud. This value varies from 0 to a maximum value,  $\alpha_{max}$  of  $80^\circ$ .  $N_{ground}(\alpha)$  is the ground-observed sky cover,  $N_{nadir}(\alpha)$  the nadir-viewed cloud fraction, and  $\gamma(\alpha)$  the cloud aspect ratio, i.e., the ratio of the vertical to the horizontal cloud sizes.  $\alpha/\alpha_{max}$  indicates the position of a cloud, which is proportional to the distance from the zenith. Thus we can readily construct a weighting matrix, in which the weighting value ( $\alpha/\alpha_{max}$ ) is zero at the center ( $\alpha=0^\circ$ ) and unity at the edge ( $\alpha=\alpha_{max}=80^\circ$ ).

The sky cover algorithm is constructed based on Eq. (1) and its flow chart is presented in Fig. 1. The retrieval of sky cover in the algorithm is performed for each pixel by using the information (e.g., the positions of clouds and their aspect ratios) of the surrounding  $5 \times 5$  pixels. As shown in the figure, the algorithm consists of three parts: the calculation of  $N_{nadir}(\alpha)$ , the estimation of  $\gamma(\alpha)$ , and the combination of a lookup table of  $\alpha/\alpha_{max}$ . First,  $N_{nadir}(\alpha)$  for each pixel is calculated by simply averaging over adjacent  $5 \times 5$  pixels from cloud masking information. Note that there is not a falloff in spatial resolution through this process for the COMS. Second,  $\gamma(\alpha)$  is calculated by the ratio of the vertical cloud size to the horizontal cloud size for each pixel. Third, the pre-calculated lookup table of the weighting values

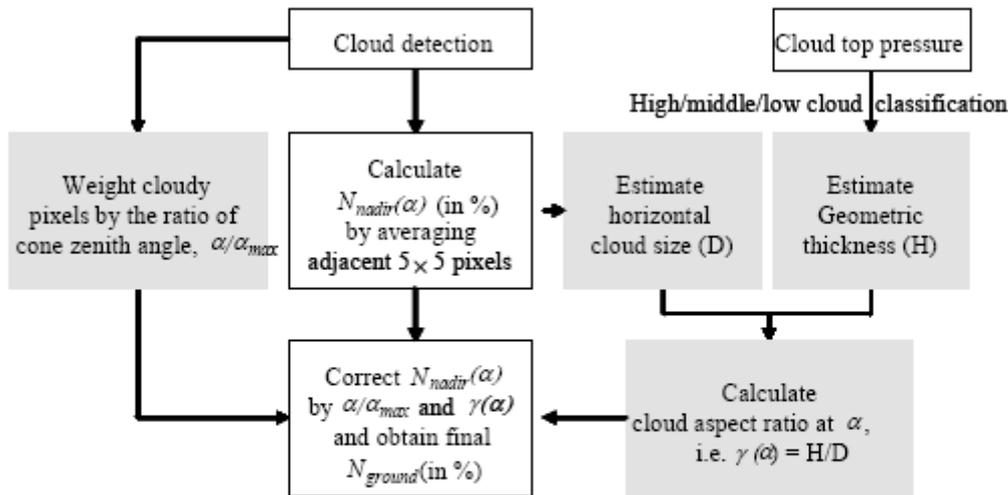


Fig. 1. Flow chart of the sky cover algorithm.

$(\alpha/\alpha_{max})$  in the  $5 \times 5$  matrix are multiplied by the corresponding  $25 \gamma(\alpha)$ s. After determining all required parameters in Eq. (1),  $N_{ground}(\alpha)$  can be obtained from the equation. For the particular case when cloud exists at the zenith only,  $N_{ground}(\alpha)$  is equal to  $N_{nadir}(\alpha)$ ; the weight is zero at the zenith.

For estimating  $\gamma(\alpha)$ , the cloud sizes in the vertical and horizontal directions cannot be directly measured by remote sensing. Here, we have applied two approaches to obtain its value. First, the cloud sizes are derived using satellite-retrieved products such as cloud optical depth ( $\tau_e$ ), effective particle radius ( $r_e$ ), and cloud top pressure (CTP). In detail, we calculate the liquid water path (LWP) and liquid water content (LWC), respectively, by using the typical formula  $(1.5\tau_e r_e)$  and the climatological look-up table introduced by Nakajima and Nakajima (1995). By taking LWP/LWC, the cloud geometrical thickness is determined. As an alternative method for calculating  $\gamma(\alpha)$ , we use CTP only. It is noted that the cloud size in the horizontal direction can be simply estimated

by cloud fraction, regardless of cloud type. Here, CTP is used to resolve cloud type (e.g., high, middle, and low cloud) based on ISCCP. The climatological values of cloud height at the top and bottom are well established for various clouds (Table 1; see Hahn *et al.* (2001) for details). The cloud geometrical thickness is obtained by subtracting the cloud bottom height from the cloud top height.

### 3. Data

Two sets of data are analyzed in the present study: the MODIS cloud product (MOD06) and the ARM ground observations. MOD06 contains  $\tau_e$ ,  $r_e$ , CTP, and cloud fraction (Platnick *et al.*, 2003). In MOD06, the cloud fraction is calculated from  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  cloud mask pixel groupings. It is noted that MODIS data provide bands for cloud detection including thin cirrus cloud (Choi *et al.*, 2005), which can fulfill the high accuracy for cloud fraction required in this study. While the COMS data is not available yet, MOD06

Table 1. Cloud top pressure and cloud bottom height corresponding to cloud type.

Level	Genera	Cloud top pressure (hPa)	Cloud bottom height (km)
High	Cirrus, cirrocumulus, cirrostratus	50-440	8
Middle	Alto cumulus, altostratus, nimbostratus	440-680	4
Low	Cumulus, stratocumulus, stratus cumulonimbus	680-1000	2

is used as a surrogate for the COMS data.

We use ground observation data taken from two ARM program sites in the tropical western pacific (TWP, 12.42°S and 130.89°E) and the southern Great Plains (SGP, 36.60°N and 97.48°W). The TWP and SGP may represent a tropical marine and mid-latitude continental region, respectively. The instrument for measuring sky cover is the total sky imager (TSI). The TSI provides the time series of hemispheric sky images during the daylight hours and the retrieval of fractional sky cover for the periods when the solar elevation is greater than 10 degrees (available online at <http://www.arm.gov>). The data period at the TWP site is the first fifteen days of each month from August through December 2002. At the SGP site, the data for first fifteen days in both March and June are additionally obtained. These two ground observations are used to validate the retrieved sky cover.

#### 4. Results

Returning to the issue of estimating  $\mathcal{V}(\alpha)$ , we find which of the methods, either using  $\tau_e$  and  $r_e$  or CTP, is appropriate for the sky cover algorithm. For this purpose, we have compared the observed and the retrieved sky covers using both the  $\tau_e/r_e$  method and the CTP method. Table 2 shows the correlation coefficient between the two methods and the root-mean-square error (RMSE) at the two sites. The RMSE is calculated to examine systematic and random errors. The correlation coefficients denote significantly high values, larger than 0.9, at the two sites indicating that the present retrieval algorithm is successful. The RMSEs for the two methods, respectively, have values 10-14 at the TWP site and ap-

proximate 8 at the SGP site.

Based on the above results from the available data sets, it is suggested that the CTP method would be better than the  $\tau_e/r_e$  method. Besides, Platnick *et al.* (2003) documented that two variables of  $\tau_e$  and  $r_e$  contain errors which may be related to thin cirrus clouds. Furthermore, the  $\tau_e/r_e$  method takes much time to calculate the geometrical thickness of the cloud because of its steps being more complicated than those of the CTP method. Because of these reasons, we selected the CTP method (see Fig. 1).

In the next two sub-sections, we first introduce the result of a sensitivity test examining the size of the weight matrix in the sky cover algorithm illustrated in Fig. 1. In other word, it explains why we select 5×5 pixels for retrieving sky cover. Using the optimal matrix size given by the sensitivity test, the sky cover is obtained and validated against the ground-observed data from the two sites.

##### a. Sensitivity test

The sensitivity test for the cloud weight is performed to derive the best agreement with the ground-observed sky cover in the ARM site. In the procedure, we have assumed that a ground observer can inspect the cloud base height only. Since the cloud base height is generally 2 km for low-level clouds, the maximal observable lateral size of the clouds (i.e. the case of  $\alpha = \alpha_{max}$ ) is about 25 km. Considering one pixel in MODIS cloud fraction corresponds to 5 km, the distance 25 km in all directions fits to 5×5 pixels. For the sensitivity test of pixel numbers, the maximum matrix size is chosen to be 15×15 pixels due to the following two reasons. First, a matrix size of 15×15 pixels is adequate when the maximum sight distance for which observation can take place is 50 km. Second, longer time is required to calculate the sky cover on pixels and in the buffer zone on the edge as the matrix size increases. Therefore, the sky cover is retrieved as the matrix size increases with sizes of 5×5, 7×7, 9×9, 11×11, 13×13, and 15×15 pixels.

The correlation coefficients and RMSEs for various sizes with the ARM data are, respectively, calculated and compared with one other. The results are

Table 2. Correlation coefficients and RMSEs between sky covers from the CTP method and the  $\tau_e/r_e$  method at SGP and TWP sites.

		CTP method	$\tau_e/r_e$ method
TWP	Correlation	0.94	0.90
	RMSE	10.74	13.56
SGP	Correlation	0.98	0.99
	RMSE	8.04	8.11

given in Table 3. As seen in the table, the coefficients have values between 0.94 and 0.85 indicating quite high correspondence. Similarly, RMSEs show a relatively large difference from 18.15 to 11.81 depending on matrix size. These imply that RMSEs decrease when the size is reduced. As a summary, a  $5 \times 5$  matrix shows the best performance, so it is selected in this

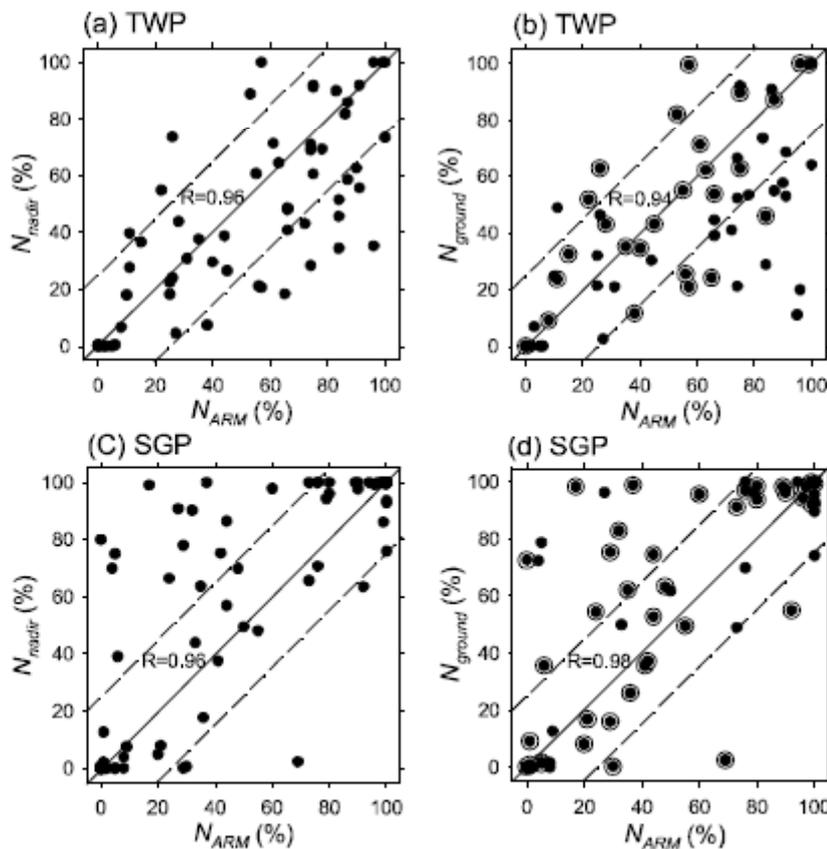
study.

### b. Validation

A validation of the sky cover retrieved through the algorithm is recorded in Fig. 2. In the TWP site, scatter plots of the ARM observation data vs. both the

**Table 3.** Correlation coefficients and RMSE of sensitivity test to the cloud weight part in the sky cover algorithm according to  $R_{i \times i}$ . The symbol "i" means the number of pixels, which is matrix size.

		$R_{5 \times 5}$	$R_{7 \times 7}$	$R_{9 \times 9}$	$R_{11 \times 11}$	$R_{13 \times 13}$	$R_{15 \times 15}$
TWP	Correlation	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85
	RMSE	11.81	12.78	14.01	15.49	16.82	18.15
SGP	Correlation	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.90
	RMSE	13.34	13.57	14.00	14.88	16.16	17.25



**Fig. 2.** Validation results of cloud fraction (a and c) and sky cover (b and d) for TWP (upper panel) and SGP sites (lower panel). R represents the correlation coefficient. Larger circles both b and d represent improved  $N_{ground}$  values compared with  $N_{radir}$  in each site.

MODIS cloud fraction and the retrieved sky cover are presented in Figs. 2a and 2b, respectively. The same scatter plots for the SGP site are shown in Figs. 2c and 2d. In the figures, the solid lines denote the one-by-one line, along which the cloud fraction and sky cover have the same percentages as the ground observation data. The dashed lines represent that the differences between cloud fraction and ground observation or sky cover and ground observation fall within  $\pm 20\%$ . According to Berendes *et al.* (2004), a disparity of within  $\pm 20\%$  represents “good agreement” between the two retrieval methods. The results clearly indicate that the sky cover algorithm produces very reliable sky cover retrievals compared to the ARM data. In particular, in Figs. 2b and 2d, large open circles show the improved cases when compared with the cloud fraction of MOD06. The percentages of the improved cases for the SGP and TWP sites are found to be 53% and 46%, respectively.

We regard cases which have a discrepancy of with-

in  $\pm 20\%$  between cloud fraction and ARM data as reasonable. Under such considerations we calculate the correlation coefficients and RMSEs for the cases of good agreement between the ARM observation and the MODIS cloud fraction. The results show a strong agreement as a correlation coefficient of over 0.94 within  $\pm 20\%$  range in both sites (Fig. 2). RMSEs are, respectively, 11.35 and 7.66 for sky cover in opposition to 9.51 and 11.65 for the cloud fraction from the TWP and SGP sites. This means that the sky cover algorithm may be more suitable for the SGP site compared with the TWP site.

As shown in Figs. 2b and 2d, 17 (21) cases are improved through the algorithm while 20 (19) cases are not improved for the TWP (SGP) site. Therefore, case studies are performed for which unimproved cases are selected in both sites and a scene analysis is performed in the following.

Figures 3a and 3b (3c and 3d) represent images which are recorded at 0210 UTC 10 November 2002

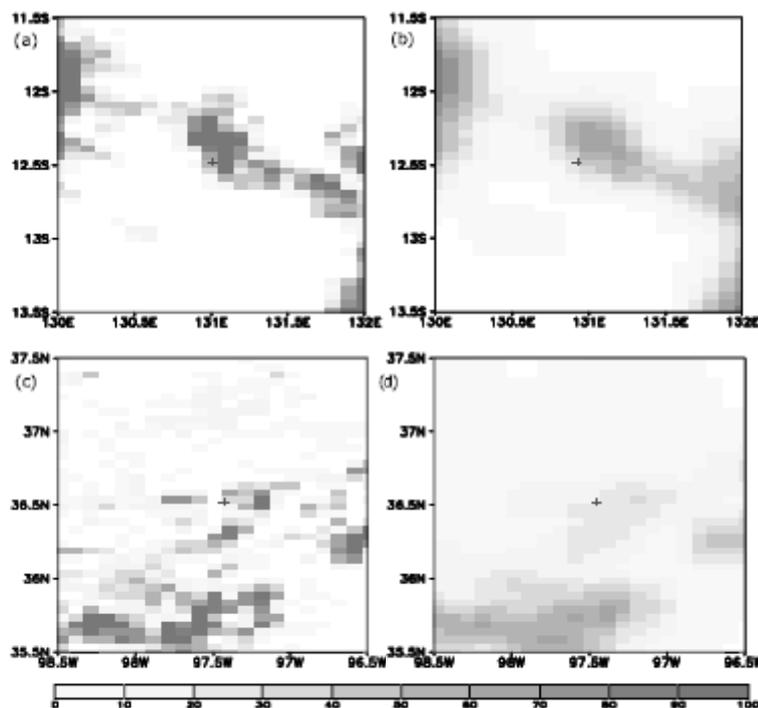


Fig. 3. MODIS cloud fraction (a and c) and algorithm-retrieved sky cover images (b and d) of a 100 km radius centering around geographical position of the TWP and SGP sites. These scenes respectively recorded at 0120 UTC 10 November 2002 (1725UTC 1 September 2002) at TWP (SGP) sites. The each site is outlined as a cross in the figures.

(1725 UTC 1 September 2002) at the TWP (SGP) site. Each figure is a shaded image in a box which size is  $200 \text{ km} \times 200 \text{ km}$ . The locations of TWP and SGP sites are depicted as a red cross within the figure. Figures 3a and 3c represent the images of the MODIS cloud fraction, and Figures 3b and 3d the algorithm-retrieved sky cover images in the TWP and SGP sites, respectively. The results show a distinct feature from the scene analysis; most of the cloud for bad retrieval cases is scattered and located on a boundary between cloudy and clear regions. Therefore, the reason for the bad retrieval result is considered to be connected with the sky cover algorithm. We infer that particularly the correction by the position of clouds becomes inaccurate for such scattered clouds because many pixels are not fully overcasted by them.

Figures 4a and 4b show, respectively, the monthly mean bias for the TWP and SGP sites. In the each figure, black bars (gray bars) represent bias between  $N_{ARM}$  and  $N_{nadir}$  ( $N_{ARM}$  and  $N_{ground}$ ). Above all, there is positive bias in the TWP site, and a negative bias in the SGP site. In other words, there is an underestimated MODIS cloud fraction in the TWP site although the SGP site shows the opposite trend. To find out the reason for the feature, we analyze ARM ground observation data in detail (figure not shown). The result shows that opaque cloud occupies a relatively high percentage for the TWP site. By contrast, there is a greater proportion of relatively thin cloud

at the SGP site. Also it is found that the monthly mean bias for the TWP site is larger than for the SGP site. The larger bias at the TWP site than at the SGP site may be attributed to the cloud aspect ratio of the algorithm. The frequent convective clouds at the TWP site cause larger mean cloud aspect ratio. This plays a role in decreasing sensitivity to the position of clouds (i.e.,  $\alpha/\alpha_{max}$ ) when the cloud fraction is fixed in Eq. (1). That is, the sensitivity to the position of clouds for the TWP site where the amount of convective clouds is greater becomes less than that for the SGP. Therefore, dull correction of cloud fraction through the position of clouds for the TWP site results in the larger monthly mean bias.

## 5. Summary

The sky cover retrieval algorithm is newly developed to be employed in the COMS scheduled to be launched in 2008. Using this algorithm, the amount of sky cover is retrieved from the MODIS cloud fraction. The algorithm has been developed based on the position, fraction, and aspect ratio of clouds. To form the optimum algorithm, a sensitivity test to the size of a weighting matrix for the position of clouds is firstly performed. It is found that a  $5 \times 5$  weighting matrix is optimal. Next, the sky cover retrieved through the algorithm is compared with ARM ground-based observation data. The result shows that the

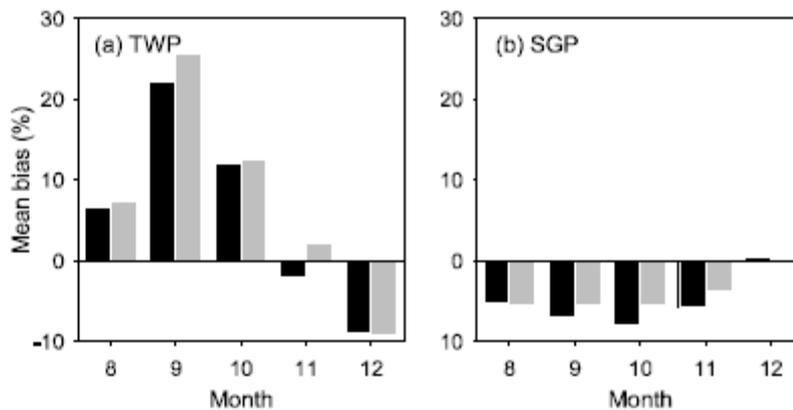


Fig. 4. Monthly mean bias in TWP site (a) and SGP site (b). Black and gray bars represent  $N_{ARM} - N_{nadir}$  and  $N_{ARM} - N_{ground}$ , respectively.

present algorithm for converting into sky cover is relatively more successful in SGP sites. The reason for the poor retrieval cases is examined through scene analysis and monthly mean bias. In these cases, most retrieval positions are located on the edge of the cloud and are scattered from the scene analysis. In addition, the monthly mean bias result shows that relatively large mean cloud aspect ratio at the TWP site causes retrieval errors due to the algorithm insensitivity to the position of clouds. There remains further study to be done on the validation of this method using MTSAT-1R and visual sky cover of the KMA over Korea.

*Acknowledgments.* This study was undertaken for the COMS project funded by the Korean Meteorological Administration. The first and second authors are also supported by the BK21 project of the Korean government. The authors are grateful to two anonymous reviewers for constructive comments. The MODIS data were provided by the Earth Observing System Data and Information System, Distributed Active Archive Center, at Goddard Space Flight Center, which archives, manages, and distributes these data.

#### REFERENCES

- Ackerman, S. A., K. I. Strabala, W. P. Menzel, R. A. Frey, C. C. Moeller, and L. E. Gumley, 1998: Discriminating clear-sky from clouds with MODIS, *J. Geophys. Res.*, **103**, 32141-32157.
- Ahn, M.-H., E.-J. Seo, C.-Y. Chung, B.-J. Sohn, M.-S. Suh, and M. Oh, 2005: Introduction to the COMS meteorological data processing system, *Int. Sym. Remote Sens. 2005*, Jeju, Korea.
- Berendes, T. A., D. A. Berendes, R. M. Welch, Member, IEEE, E. G. Dutton, T. Uttal, and E. E. Clothiaux, 2004: Cloud cover comparisons of the MODIS daytime cloud mask with surface instruments at the north slope of Alaska ARM site, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **42**, 2584-2593.
- Choi, Y.-S., C.-H. Ho, M.-H. Ahn, and Y.-S. Kim, 2005: Enhancement of the consistency of MODIS thin cirrus with cloud phase by adding 1.6- $\mu$ m reflectance, *Int. J. Remote Sens.*, **26**, 4669-4680.
- 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.
- Kassianov, E. I., C. N. Long, and M. Ovtchinnikov, 2005: Cloud sky cover versus cloud fraction: Whole-sky simulations and observations, *J. Appl. Meteor.*, **44**, 86-98.
- Nakajima, T. Y., and T. Nakajima, 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEDX regions (1995), *J. Atmos. Sci.*, **52**, 4043-4059.
- Platnick, S., M. D. King, S. A. Ackerman, W. P. Menzel, B. A. Baum, J. C. Riedi, and R. A. Frey, 2003: The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **41**, 459-473.
- Schiffer, R. A., and W. B. Rossow, 1983: The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research Programme, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **64**, 779-784.