구름탐지(CLD: Cloud Detection) 알고리즘 기술 분석서 (CLD-v1.0)

NMSC/SCI/ATBD/CLD, Issue 1, rev.0

2012.12.12

REPORT SIGNATURE TABLE

Function	Name	Signature	Date
Prepared by			
Reviewed by			
Authorised by			

DOCUMENT CHANGE RECORD

Version	Date	Pages	Changes

차 례

1. 개요 ·····1

2. 배경 및 목적 ·····2

3. 알고리즘 ·····5
  3.1. 이론적인 배경 및 근거 ·····5
  3.2. 산출 과정 ·····7
  3.3 구름탐지 과정 상세 설명 ·····9
    3.3.1. 단계 1 : 청천 반사도 및 휘도온도 추정 ·····11
    3.3.2. 단계 2 : 태양천정각 검사 ·····11
    3.3.3. 단계 3 : 채널 사용 가능 유무 검사와 자료 품질 검사 ·····11
    3.3.4. 단계 4 : 경계값 결정 ·····12
    3.3.5. 단계 5 : 구름탐지 및 자동 품질 검사 ·····15
  3.4. 검증 ·····18
    3.4.1. 검증방법 ·····18
    3.4.2. 검증자료 ·····19
    3.4.3. 시공간일치방법 ·····19
    3.4.4. 검증결과분석 ·····20

4. 산출결과 해석방법 ·····24

5. 문제점 및 개선 가능성 ·····25

6. 참고문헌 ·····26

List of Tables

Table 1. Contingency table for validation of cloud detection result. ·····18

Table 2. Preliminary validation results for the CMDPS cloud detection algorithm. For calculation of validation scores in this table, MODIS cloud detection output is considered as an true value ·····23

Table 3. Validation result for cloud detection during CMDPS pre- and post-processing and interface development program first operation test period (Nov. 1 - 24, 2007) ·····23

Table 4. Validation results for cloud detection during CMDPS operation test periods. ·····24

List of Figures

Fig. 1. Detailed schematic diagram for cloud detection tests and automatic quality control procedure. ·····10

Fig. 2. Comparison of cloud detection results between CMDPS algorithm using MTSAT-1R (0533UTC on April 7, 2006) and MODIS (0555UTC on the same day) (a and b, upper panel). c and d represent infrared and visible imagery of MTSAT-1R, respectively. ·····21

Fig. 3. Same as Fig. 2, except for 0033 UTC on August 31, 2006. ·····22

Table 2. Preliminary validation results for the CMDPS cloud detection algorithm. For calculation of validation scores in this table, MODIS cloud detection output is considered as an true value. ·····23

List of Acronyms

AQC	Automatic Quality Control
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CMDPS	COMS Meteorological Data Processing System
COMS	Communication, Ocean and Meteorological Satellite
CSR	Clear Sky Radiance
EOS	Earth Observation System
EUMETSAT	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
FAR	False Alarm Rate
FOV	Field Of View
GDAPS	Global Data Assimilation and Prediction System
GSFC	Goddard Space Flight Center
HRIT	High-Rate Information Transmission
HSS	Heidke Skill Score
IR	InfraRed
LAADS	Level 1 and Atmospheric Archive and Distribution System
MPEF	Meteorological Product Extraction Facility
MODIS	MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	Meteosat Second Generation
MTSAT-1R	Multi-functional Transport Satellite-1 Replacement
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NNCLD	Neural Network Cloud Detection
PC	Proportion Correct
POD	Probability of Detection
PSS	Peirce's Skill Score
RTTOV	Radiative Transfer for the TIROS Operational Vertical Sounder
SAFNWC	Satellite Application Facility NoW-Casting
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SWIR	Short-Wave InfraRed
WMO	World Meteorological Organization

1. 개요

구름탐지는 위성 관측 영상에서 각 화소 단위로 해당화소의 구름 존재 유무를 결정하는 과정이며 위성자료 처리 분야에서는 매우 중요한 산출물 중 하나이다. 특히 종합적 위성자료처리시스템 구축을 위해서는 산출요소의 종류가 구름의 존재 유무에 따라 다르게 결정되기 때문에 가장 먼저 수행되어야 하는 필수 선행 산출요소이다. 이러한 이유로 구름탐지의 정확도는 이후 산출되는 자료의 품질에도 그 영향을 미치게 된다. 가장 쉬운 예를 들면 해수면온도의 산출에 있어서 구름에 의한 오염이 적절히 제거되지 못할 경우 해수면온도 값이 실제에 비해 낮게 산출되게 되며, 이러한 구름오염을 최소화하는 것이 해수면온도 산출에서의 핵심 기술 중 하나로 다루어지고 있다. 또한 검정감시 및 대리검정과 같은 원시자료의 품질 평가를 위한 과정에서도 청천화소의 선택이 그 정확도를 결정하므로 정확한 구름탐지가 중요하다.

하지만 제한된 채널 자료를 사용하는 구름탐지의 경우 오차를 유발할 가능성이 비교적 높아 100 % 완벽한 구름탐지 알고리즘의 구현은 현실적으로 어렵다. 따라서 구름탐지 알고리즘의 설계과정에서 중요하게 고려되어야 할 사항은 구름존재의 오차 허용도와 청천판정의 오차 허용도에 대한 선택과 결정이라 할 수 있다. 즉 실제 화소에는 구름이 존재하지 않지만 구름이 존재하는 것으로 판단하여 발생하는 오차를 더 허용할 것인지, 아니면 반대로 화소에 구름이 존재함에도 불구하고 구름이 존재하지 않는 것으로 판단하여 발생하는 오차를 더 허용할 것인지를 결정해야 한다. 이를 위해서는 청천화소에서 산출되는 자료의 구름에 의한 영향과 구름화소에서 산출되는 자료가 실제 구름이 존재하지 않는 화소에서 산출되었을 경우 발생할 수 있는 영향을 분석하여야 한다. 통신해양기상위성(COMS ; Communication Ocean and Meteorological Satellite)의 기상자료처리시스템(CMDPS ; COMS Meteorological Data Processing System)에서는 구름이 존재할 경우 운량, 운형, 운상, 구름광학두께 등의 구름정보와 운정온도/고도, 강우강도, 안개, 대기운동벡터(수증기 운동벡터의 경우 예외) 등을 산출하거나 탐지하며, 구름이 없는 영역에서는 지표면온도, 해수면온도, 가강수량, 상층수증기량, 청천복사휘도 등을 산출한다. 이들 산출물의 경우 구름의 영향을 받았으나 청천화소로 분류되어 자료가 산출될 경우 발생하는 오차와 이에 대한 영향이 그 반대의 경우보다 심각한 것으로 판단되었다. 따라서 CMDPS의 구름탐지 과정에서는 화소에 부분적으로 구름이 포함되거나, 반투명한 구름이 포함된 경우, 그리고 주변의 구름에 의해 간접적으로 영향을 받는 경우에는 청천화소의 정확도를 확보하기 위하여 모두 구름화소로 분류하는 것을 원칙으로 하였다. 이러한 구름탐지의 원칙은 구름 뿐 아니라 황사 등 에어로솔의 존재시나 산불 연기, 심지어는 적설이나 hot spot, sunglint 등의 영향을 받은 화소의 경우에도 구름화소로 판정되기 쉽다. 이러한 이유로 CMDPS에서의 에어로솔 탐지, 에어로솔 광학두께, 해빙/적설 등의 산출물은 본 문서에서 기술되는 구름탐지 알고리즘의 결과가 아닌 자체 구름 제거 알고리즘을 사용하는 것으로 결정하였다.

본 문서는 CMDPS에 적용되는 구름탐지 알고리즘에 대한 상세 기술을 목적으로 작성하였으며, 2절에서는 구름탐지의 배경 및 목적, 그리고 기존에 개발되어 활용되고 있는 구름탐지 알고리즘들에 대해 간략히 소개하고, 3절에서는 본 CMDPS 구름탐지 알고리즘의 이론적 배경과 함께 산출 과정 및 개별 구름탐지 검사들에 대한 상세한 기술과, 산출물 정확도를 감시하기 위한 검증 방안을 설명하였다. 4절에서는 생산된 구름탐지 결과의 해석 및 활용방법을, 마지막으로 5절에서는 현재까지의 문제점과 개선 방안에 대해 정리하는 것으로 구성하였다.

2. 배경 및 목적

위성자료에서 구름은 일반적으로 청천역에 비해서 높은 반사도와 상대적으로 낮은 복사휘도온도를 갖는다. 이 성질을 이용하면 간단한 가시(VIS; Visible)채널 및 적외(IR; Infrared)채널 경계값 검사를 적용하여서도 어느 정도 구름을 탐지해 낼 수 있다. 이러한 이유로 위성자료로부터 구름을 탐지하기 위하여 가장 많이 활용되어지는 방법이 경계값 검사이며, 이는 미리 정해진 경계값과 실제 채널별 관측값을 비교하여 구름의 존재유무를 판단하는 방법이다. 관측채널이 많은 경우 채널별 특성을 고려하여 단일 채널을 이용한 검사, 두 채널간의 차이값을 이용한 검사 등 보다 다양한 검사를 수행하고 이를 조합하여 구름을 탐지할 수 있다. 이 방법을 적용하는 과정에서 가장 중요한 것은 개개의 검사에 사용되어지는 경계값을 결정하는 것이다. 경계값은 지표면의 조건, 수증기와 같은 대기의 조건, 태양입사각 및 위성관측각과 같은 관측조건에 따라 달라질 수 있으므로 모든 조건에서 적용될 수 있는 하나의 경계값을 선택하는 것은 매우 어렵다. 따라서 조건에 따라서 서로 다른 경계값을 적용하는 것이 일반적이다. 경계값을 구하는 방법으로는 분석자가 실제 영상을 보면서 조정해 나가는 경험적인 방법과 복사전달 모델을 통해 계산된 모의 자료를 이용하는 이론적인 방법이 있다. 한편 최근에는 광범위한 지역에서 계절의 변화에 따른 경계값 설정에 있어서의 어려움을 해소하기 위하여 수치모델자료를 이용하여 이론적으로 계산된 복사값을 활용하여 상대적으로 경계값을 결정하는 동적 경계값 기법도 활용되고 있다(EUMETSAT, 2004). 물론 이 방법의 정확도는 사용된 수치모델과 복사전달모델의 정확도, 그리고 구름존재를 결정하기 위한 두 값의 차이 정도를 분석하여 결정하는 과정에 의해 크게 좌우되어진다.

구름탐지 알고리즘은 지금까지 운영되어왔던 위성 자료에 대하여 많은 연구와 개발이 이루어져 왔다. 그 대표적인 예로는 ISCCP (International Satelite Cloud Climatology Project), APOLLO(AVHRR Processing scheme Over cLoud Land and Ocean) 구름탐지, CLAVR(Cloud Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS cloud mask, MPEF(Meteosat Product Extraction Facility) 장면분석 알고리즘 등을 들 수 있다. ISCCP 구름탐지 알고리즘에서는 가시채널(0.6 ㎛)과 적외채널(11 ㎛) 두 채널만을 이

용하여 구름탐지를 시도하였으며, 각각의 채널값을 해당되는 청천 합성값과 비교하는 방법을 사용하였다. 이 때 경계값은 청천시에 가질 수 있는 값의 범위에 대한 불확실성을 기초로 하여 설정되었다. ISCCP 알고리즘은 적외채널 영상에 대한 공간 균질성 검사, 정의된 일변화를 고려한 연속적인 적외 영상에서의 시간 일관성 검사, 적외영상과 가시영상에 대한 시공간 통계값의 조합, 5일간의 자료를 이용한 청천 합성값 생산, 경계값 검사 등의 5개 단계로 구성되었다. 한편 APOLLO 알고리즘은 Saunders and Kriebel(1988), Krievel et al.(1989), Gesell(1989) 등에 의해서 소개된 바 있으며, AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)의 5개 채널을 모두 활용한 알고리즘이다. AVHRR의 5개 채널의 파장대는 대략 0.58~0.68 ㎛(채널1), 0.72~1.10 ㎛(채널2), 3.55~3.93 ㎛(채널3), 10.3~11.3 ㎛(채널4), 11.5~12.5 ㎛(채널5)이며, 알고리즘은 적외채널 경계값 검사, 가시채널0.58비(채널2/채널1) 검사, 대기창 적외채널 차이값(채널4-채널5) 검사, 해양에서의 공간일관성 검사 등으로 구성되었다. 구름탐지 결과는 ISCCP가 단지 구름/청천 2개로 구분했던 것과 달성되구름, 구름오염, 청천 등 3개로 구분하였다. 한편 NOAA의 CLAVR 알고리즘챘천 등도 마찬가지로 AVHRR의 5개 채널 자료 모두를 이용하여 전지구 영역을 대상으로 한 구름탐지 알고리즘이며 Stowe et al.(1991)에 의해 소개되었다. 이 알고리즘은 다중채널 정보와 채널값 차이, 그리고 공간일관성을 이용하였으며, 순차적인 결정 방법(sequential dec, 1on t~1e tests) 단쵕택하였다. 주목 한점은 화소별로 구름탐지를 수행한 후 2*2화소에서 모든 4개의 화소에서 청천인 경우 청천(0% cloudy), 4화소 모두가 구름인 경우 100 % cloudy, 나머지에 대해서는 50 % cloudy로 결정하고, 이에 대해서는 적설/해빙역, 해양의 태양 반사각, 사막 등의 지표면 정보를 이용하여 일부를 청천(0% cloudy)으로 복원해 주는 방식이 사용되었다는 점이다. 또한 검사들을 각각 주간 해양용, 주간 육지용, 야간 해양용과 야간 육지용으로 구분하여 서로 다른 검사와 경계값을 적용하였다. 이후에 CLAVR 알고리즘은 지속적으로 개선이 이루어졌다. 개선 내용은 크게 전일 9일 자료를 이용하여 청천 시 통계값을 이용하는 동적 경계값 방법을 이용한 것(Stowe et al., 1994)과 화소별로 청천과 구름오염화소를 구분하는 검사, 구름 오염을 partial과 overcast로 구분하는 검사 등 서로 다른 검사를 적용하고 다시 구름오염 여부를 하층운, 권운, 발달된 적운 시스템에 의한 오염 등으로 구분하는 시도 등이다. 또한 추가적으로 HIRS(High-resolution Infrared Radiation Sounder)의 다중채널 관측값을 이용하여 투명구름을 구분하는 시도도 이루어졌다. HIRS를 이용하는 구름탐지 알고리즘은 본 CMDPS 개발과는 크게 연관성이 없어 자세한 설명을 생략한다.

이러한 연구 배경들을 바탕으로 다중채널 자료라는 장점을 최대한 이용하여 개발된 알고리즘이 지구관측위성(EOS; Earth Observing System) Terra와 Aqua에 탑재된 MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) 센서의 구름탐지 알고리즘(Ackerman et al., 1998)이다. MODIS는 36개의 다중채널 영상기로 이중 14개 채널이 이 알고리즘에서 사용되었다. MODIS 구름탐지 검사는 총 5개의 그룹으로 구성되며 이는 단일 적외채널 경계값 검사 그룹($Tb_{10.8}$, $Tb_{13.9}$, $Tb_{6.7}$ 검사), 다중 적외채널 휘도온도 차이

값 검사 그룹(Tri-spectral 검사, $Tb_{10.8}$ - $Tb_{3.9}$, $Tb_{10.8}$ - $Tb_{6.7}$ 검사), 반사도 검사 그룹($Ref_{0.66}$ 또는 $Ref_{0.87}$, $Ref_{0.87}/Ref_{0.66}$, $Tb_{3.75}$ - $Tb_{3.9}$ 검사), 근적외채널을 이용한 권운탐지 검사 그룹($R_{1.38}$ 검사), 적외 권운탐지 검사 그룹($Tb_{3.75}$ - Tb_{12}, $Tb_{10.8}$ - Tb_{12} 검사)이다. 여기서 Tb는 휘도온도(Brightness Temperature), Ref는 반사도(Reflectance)를 각각 의미한다. 각각의 개별검사는 고정된 경계값을 사용하되, 고정적인 값을 사용할 때의 단점을 보완하기 위하여 3개의 경계값을 적용하여 확실한 구름과 확실한 청천을 구분하고 그 중간에는 구름 존재의 신뢰수준을 수식적으로 결정하도록 설계되었다. 개별검사는 각각의 그룹별로 최대한의 구름 존재 가능성으로 취합되고 이들 그룹 검사 결과를 조화 평균함으로써 최종 신뢰 수준을 결정하는 방식으로 진행된다. 최종 신뢰 수준은 confident clear, probably clear, undecided, cloudy의 4개의 카테고리로 출력된다.

지금까지는 주로 극궤도 위성자료에 적용되는 구름탐지 알고리즘을 기술하였다. 반면 정지궤도 위성 자료를 이용하는 대표적인 구름탐지 알고리즘은 최근 발사된 유럽의 정지궤도 기상위성 MSG (Meteosat Second Generation)의 SEVIRI 센서 자료를 이용한 유럽기상위성센터(EUMETSAT; European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites)의 MPEF 장면분석 알고리즘이다. SEVIRI는 정지궤도 위성에서는 처음으로 12개의 다중채널을 관측하는 센서이다. MPEF 알고리즘의 경우 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫 번째로, 일정하게 정해진 경계값을 사용하지 않고 청천일 경우의 복사휘도 또는 반사도 값을 추정하여 이를 바탕으로 경계값을 결정함으로써 경계값을 가변적으로 이용한다는 특징을 가지고 있다. 두 번째, 가능한 모든 채널을 이용하여 구름탐지 검사를 실시한 후 이에 대한 결과들을 이용하여 자동품질검사(AQC; Automatic Quality Control) 과정에서 최종적인 구름탐지 결과를 신뢰도 수준에 따라 5개 단계로 나누어 제공한다. 또한 기존에 많이 사용되어지지 않았던 단파적외(SWIR; Short-Wave InfraRed 3.75㎛) 채널의 반사도 값을 계산하여 경계값 검사에 사용하며, 계산 시간의 절약을 위하여 현재 관측 자료와 이전시각의 자료를 비교하여 차이가 적을 경우에는 이전 시각의 구름탐지 결과를 이용하는 개념을 포함하고 있다. 이렇듯 경계값 방법을 이용한 구름탐지 알고리즘은 특히 현업 운영용 알고리즘에서 널리 사용되며, 이는 이론적으로 이해하기 쉽다는 것과 계산시간이 비교적 적게 들고, 프로그램화하여 자동화하기 쉽다는 장점들이 있기 때문이다.

전통적으로 사용되어온 또 다른 구름탐지 방법은 히스토그램을 이용한 방법이다. 간단히 설명하면 가시채널 반사도와 적외채널 휘도온도에 대한 2차원 히스토그램을 이용하여 차갑고 밝은 부분은 구름, 어둡고 따뜻한 부분은 청천 등과 같이 그 화소 값이 가지는 위치 분포에 따라 구름을 탐지하는 방법으로 주로 구름의 유형 분류 등에 많이 사용되어진다. 이를 이용한 대표적인 예로 Desbois et al.(1982)은 Meteosat 영상에 적용하여 가시, 적외, 수증기 등 3개 채널을 이용하여 구름을 탐지하고 dynamic cluster 방법을 이용하여 운형을 자동으로 분류하는 연구를 한바 있다. 히스토그램 방법을 이용한 구름탐지 방법의 일정 지역에 적용하기에는 적절하나 그 특성상 전구 영역으로 확대하기에는 어려운 단점을 가지고 있으며, 현업으로 운영하기에는 비교적 많은 계산시간이 소요된다.

한편 1990년대 들어오면서 새로운 연구들이 시도되었다. 이는 위성자료 처리 및 구름탐지를 위해 신경망 기법을 적용한 것이었다(Visa et al., 1991; Slawinski et al., 1991; Yhann and Simpson, 1995). 신경망 모델을 이용하는 방법은 시·공간적인 변화에 따라 다양한 특성을 나타내는 대기와 해양, 그리고 지표 조건 등으로 인한 어려움을 보완하기 위한 방법으로써 통계적이고 비선형적인 특성의 매우 복잡한 자료들 사이의 관계나 패턴을 찾아내어 그 자료에 대한 특성들이 가장 잘 반영 된 모델을 구축하여 새로운 자료를 분류하거나 예측하는데 유용한 방법이다. 절차는 간단히 말해 훈련자료를 준비하고 신경망 모델을 구축하여 훈련시킨 후 훈련된 구름탐지 신경망 모델을 이용하여 구름탐지를 수행한다. 이러한 신경망 기법의 적용에서 가장 중요한 단계는 적절한 훈련자료를 구축하는데 있다. 계절별, 지역별, 구름의 광학적 특성별 자료를 균질하게 샘플링하여 모델을 훈련시켜야 한다. 또한 어떠한 모델을 구축하는가도 원하는 산출 결과의 정확도를 좌우하게 된다.

COMS에서 관측된 자료를 이용한 구름탐지, 즉 CMDPS의 구름탐지 알고리즘은 앞서 기술했던 경계값 검사를 기반으로 개발되었다. 정지궤도 위성자료의 활용이라는 점, 그리고 동적 경계값을 사용함으로써 계절적, 지역적 경계값 적용에 적합하다는 면에서 현재 유럽기상위성센터에서 현업적으로 활용되고 있는 MPEF 장면분석 알고리즘에 기초를 하여 개발하였다. 물론 COMS는 5개 채널 영상기가 탑재되어 12개 채널을 사용하는 MPEF 알고리즘에서 사용되는 모든 검사를 채용할 수 없으며, 또한 적설 등 지면 상태 정보 산출이 어렵다는 점에서 많은 수정이 있었으며, 경계값을 결정하는데 필요한 청천시 복사휘도의 경우 기상청의 현업 수치모델을 이용하고, 반사도는 최근 15일간의 최소 반사도를 적용하는 등의 변경을 하였다. 이에 대한 자세한 알고리즘 및 산출과정에 대한 설명은 다음 절에 기술하기로 한다. 한편 CMDPS 개발의 일환으로 신경망 모델을 이용한 구름탐지 알고리즘 연구가 추가적으로 진행되었다. 물론 CMDPS의 현업용 알고리즘 소프트웨어에는 경계값 기법의 알고리즘이 적용될 것이나, 신경망 모델의 적용 가능성을 검토하고 그 성능을 비교하기 위하여 연구가 진행되었으며, 이에 대한 자세한 설명은 NNCLD(Neural Network Cloud Detection) ATBD를 참고하기 바란다.

3. 알고리즘

3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

경계값 검사를 이용한 구름탐지는 관측되는 채널의 각각의 특성을 이용하여 일정 경계값을 이용하여 청천과 구름을 분류하는 것이 기본 원리이다. 구름탐지 검사 방법은 크게 단일채널을 이용한 검사, 이중채널 차이값 또는 비(比)를 이용한 검사 등으로 이루어진다. 단일채널 경계값 검사는 가장 간단하면서도 대부분의 두꺼운 구름을 탐지할 수 있는 방법이다.

이 방법은 대기창 영역에서 관측된 가시 및 적외채널을 이용하며 주간에는 가시와 적외채널을 동시에 이용할 수 있으며 야간에는 적외채널만이 이용 가능하다. 단일 채널 경계값 검사를 수행하기 위해서는 해당 채널의 특성을 이해해야 한다. 가시채널의 반사도는 청천의 경우 반사도가 낮고 구름의 경우 반사도가 크게 나타난다. 따라서 이 검사는 가시채널 반사도가 임의의 경계값보다 큰 경우 구름으로 탐지하게 된다. 해상의 경우 그 반사도가 매우 낮기 때문에 비교적 검사가 용이하나 sunglint 지역에서는 반사도가 클 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다. 한편 육지의 경우 또한 비교적 반사도가 낮은 편이나 사막 등의 경우 일반 지표면에 비해 반사도가 높고, 적설 지역의 경우 구름과 구별되기 어려울 정도로 반사도가 높은 경우가 많다. 한편 적외채널을 이용한 단일채널 경계값 검사를 수행할 경우 가시채널의 특성과 반대로 청천 화소에서는 휘도온도가 높게 나타나며 구름이 있는 화소에서는 휘도온도가 낮게 된다. 이는 대기창 영역의 적외채널이 청천지역은 지표면 온도를, 구름에서는 운정 온도의 정보가 지배적이기 때문이다. 따라서 적외채널을 이용한 구름탐지 검사에서는 정해진 경계값보다 낮을 때 구름, 높을 때 청천으로 결정하게 된다.

이중 채널 경계값 검사는 구름이 존재할 경우 각 파장대별로 그 반응이 다르게 나타나는 성질을 이용하는 것이다. 이중 채널 경계값 검사에서 대표적으로 사용되는 $Tb_{10.8}$ −Tb_{12} 검사는 두 채널의 온도 차이가 얇은 권운이 존재하는 경우 청천역이나 두꺼운 구름이 존재하는 경우보다 높게 나타나는 성질을 이용한다(Saunder and Krieble, 1988; Inoue, 1985). 이는 적외창 영역에서 빙정의 흡수율(방출율)이 수적에 비해 높은 값을 보이며, 파장나 땐른 차이가 훨씬 크기 때문이다(즉, 파장이 증가함나 땐라 빙정의 굴절계수 허수값이 급격하게 증가함; Ackerman et al. 1990). 따라서 $Tb_{10.8}$ − Tb_{12} 값이 특정한 경계값보다 클 때는 구름의 영향을 받았다고 판단할 수 있다. 가시채널이 가용한 주간에 비해서 야간에는 하층운 탐지가 매우 어렵다. 하층운의 경우 청천에 비해서 온도가 크게 낮지 않아 적외채널만을 이용해서는 그 형상이 뚜렷하게 나타나지 않기 때문이다. 이러한 야간의 하층운 탐지를 위해서는 적외채널과 단파적외채널의 채널 차이값 검사가 주로 사용된다. $Tb_{10.8}$ − $Tb_{3.75}$ 값은 청천시나 두꺼운 구름이 존재할 경우 두 채널의 온도 차이가 0허수값까운 값을 가지지만, 하층운이 존재하는 경우 일정이상의 양의 값을 가지게 된다. 이는 단파적외채널 파장나서의 구름의 방출률이 적외채널 파장나 비해 낮음으로 쥾가함나적외채널보다 단파적외채널의 값이 낮은 휘도온도를 갖기 때문이다. 한편 $Tb_{10.8}$ − $Tb_{3.75}$ 검사는 얇은 권운 탐지에도 사용되어 빙다. 이는 지표면에서 방출된 에너지가 권운을 투과할 때 적외채널 파장나 비해 단파적외채널 파장대에서 그 투과도가 높기 때문이다. 즉 얇은 권운의 존재 시 단파적외채널의 값이 상대적으로 높아 $Tb_{10.8}$ − $Tb_{3.75가}$ 음의 값을 갖게 되는 특성을 이용한다. 하지만 단파적외채널은 주간의 경우 지구의 방출 성분뿐만 아니라 태양에너지의 반사성분이 함께 포함되기 때문에 사용하는데 어려움이 있다. 이러한 성질을 사용하는 검사가 sunglint 지역 검사이다. 위성영상출 성석할 때 특히 전구 가시영상출 보면 적도 주□이 해양지역에서 sunglint 현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 단파적외채널은 태양반사성분을 포함가함나뚜렷하 값을않지만 그 영향이 나타나며, 반면 적외채널 영상에는 나타나지 않기 때

문에 $Tb_{3.75}$ – $Tb_{10.8}$ 채널 차이값출 보면 sunglint 지역이 보다 또렷하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 sunglint 지역에 대한 검사에 사용되어진다.

한편 정지궤도 위성과 같이 공간해상도가 낮은 위성일수록 하나의 FOV(Field Of View) 내에 구름이 일부분 포함되는 경우 또는 그 정보가 미약하여 단일채널 또는 이중채널 검사에 의해서 구름탐지가 어려운 경우가 발생하게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 주로 사용되는 구름탐지 방법이 공간 일관성 검사이다. 예를 들어 3×3 화소내의 관측값의 표준편차는 균질한 구름지역이나 청천지역의 경우 그 값이 작으나 화소군 내에 구름으로 오염된 화소와 구름이 없는 화소가 함께 포함된 경우 그 값이 커진다. 이러한 특성을 이용하면 구름의 가장자리에 대한 구름탐지가 가능하다. 이렇듯 위성자료로부터 구름의 존재 여부를 결정짓는 것은 관측 채널에 대한 특성의 이해를 바탕으로 화소별 각 채널값에 포함된 정보를 분석하여 이용함으로써 수행되어 질 수 있다.

COMS 사업은 초기 10개 채널 이상의 다중채널 영상기의 확보를 추진했던 배경에서 이들 채널을 이용하는 방법에 대한 방식은 12개 채널 영상기를 사용하는 MSG과 36개 채널로 구성된 MODIS 센서를 이용한 구름탐지 알고리즘의 분석이 진행되었다. 이 중 MSG 알고리즘은 최신의 현업용 정지궤도 구름탐지 알고리즘이라는 면에서 CMDPS의 구름탐지 알고리즘 설계에 있어 기본으로 선택하였다. MSG 장면분석 알고리즘은 특정 산출요소를 위하여 일부 대표 채널을 이용하여 구름을 제거하는 기존의 알고리즘들과는 달리 종합적 자료처리를 위한 알고리즘이며, 사용 가능한 많은 채널을 이용하여 다양한 검사를 수행하고 이를 취합하여 최종의 구름탐지 결과를 산출하는 방법론, 특정지역이 아닌 전구 관측(Full disk) 영역이기 때문에 청천시의 비교 값을 추정하고 이를 이용하여 동적인 경계값을 채택하여 검사를 수행한다는 점, 알고리즘 자체에 대한 설명이 상세히 정리되어 있다는 면에서 많은 장점을 지니고 있다. 다만 이러한 정적 경계값의 사용은 이전자료를 이용하여 청천 시 가시채널과 근적외채널의 반사도를 추정하는 과정과 수치예보 모델의 예측장을 입력자료로 하여 복사전달모델 수행을 통해 청천 시 적외채널의 휘도온도값을 추정하는 등의 부가 입력 자료가 필요하다는 점에서 알고리즘이 복잡해지며, 현업 수행에 있어서도 보다 주의가 요구된다는 어려움이 있다. 특히 적외채널의 청천 복사 휘도를 추정하는 과정이 앞서 서술한 바와 같이 수치모델의 예측장을 사용한다는 점에서 사용되는 수치모델의 예측 정확도가 구름탐지의 정확도를 결정하는 과정에서 주요한 역할을 담당하게 되는 의존성을 지니게 된다.

3.2. 산출 과정

CMDPS 구름탐지 알고리즘은 앞서 서술한 경계값 검사를 기초로 화소 단위 수행을 원칙으로 하며 그 수행 단계는 다음과 같다.

가. 단계 1 : 청천반사도 및 휘도온도 추정

이전 관측 자료와 복사전달모델 모의자료를 이용하여 청천반사도(Clear Sky Reflectance; CSRef)와 청천반사휘도(Clear Sky Brightness Temperature; CSTb) 자료를 추정한다.

나. 단계 2 : 태양천정각 검사

각 화소단위에서 해당화소를 낮, 밤 및 새벽/황혼 지역으로 결정하기 위하여 태양천정각 검사를 수행하며, 검사 결과는 다음 단계에서 사용될 검사에 이용할 수 있는 채널 및 각 검사에서 사용하는 경계값을 결정하는데 사용한다.

다. 단계 3 : 채널별 관측 자료의 가용유무 검사와 자료 품질 검사

구름탐지에 어떤 채널을 이용할 것인지를 결정하기 위해 자료준비과정에서 얻어진 정보를 이용하여 각 화소단위에서 채널별 관측 자료의 사용 가능 유무와 이에 대한 품질 검사를 수행한다.

라. 단계 4 : 경계값 결정

구름탐지에서 적용되는 각종 경계값 검사에서 고정적 경계값을 사용하는 경우와 관측 조건에 따라 경계값이 다르게 사용되는 경우가 있다. 각각의 조건에 맞는 경계값을 결정하는 단계이다.

마. 단계 5 : 구름탐지 및 자동품질검사

주/야간, 새벽/황혼에 대해 정해진 각각의 개별검사를 수행하고, 개별검사 결과를 이용하여 자동품질 검사를 수행한 후 최종 구름탐지 결과를 생산한다.

경계값 검사의 기본적인 개념은 구름이 없는 청천화소와 구름을 포함한 화소의 물리적 신호(즉, 휘도온도와 반사도)를 경계값 검사를 이용하여 구분함으로써 관측 자료의 구름존재 유무를 판단하는 것이다. 경계값 검사 방법은 COMS의 모든 채널에서 관측되는 자료와 함께 각각의 화소에서 얻을 수 있는 가능한 많은 채널 정보를 사용할 뿐만 아니라 주변 지역의 관측정보(표준편차)를 부가적으로 활용한다.

구름탐지를 위해 기본적으로 적용되는 경계값 검사는 다음과 같다.

가. Test 1 : 단일채널 반사도 경계값 검사

- Test1a VIS0.6㎛을 이용한 반사도 검사
- Test1b 주간 SWIR3.75_sol을 이용한 반사도 검사

나. Test 2 : 이중채널 반사도 차이값 검사

- Test2 VIS0.6㎛ - SWIR3.75_sol 반사도 차이값 검사

다. Test 3 : 단일채널 휘도온도 경계값 검사

- Test3a SWIR3.75㎛ 단일채널 휘도온도 검사
- Test3b IR10.8㎛ 단일채널 휘도온도 검사
- Test3d IR12.0㎛ 단일채널 휘도온도 검사

라. Test 4
- Test4a IR10.8㎛ – SWIR3.75㎛ 이중채널 휘도온도 차이값 검사
- Test4b IR10.8㎛ – WV6.75㎛ 이중채널 휘도온도 차이값 검사
- Test4c IR10.8㎛ – IR12.0㎛ 이중채널 휘도온도 차이값 검사
- Test4d IR12.0㎛ – SWIR3.75㎛ 이중채널 휘도온도 차이값 검사
- Test4e IR12.0㎛ – WV6.75㎛ 이중채널 휘도온도 차이값 검사

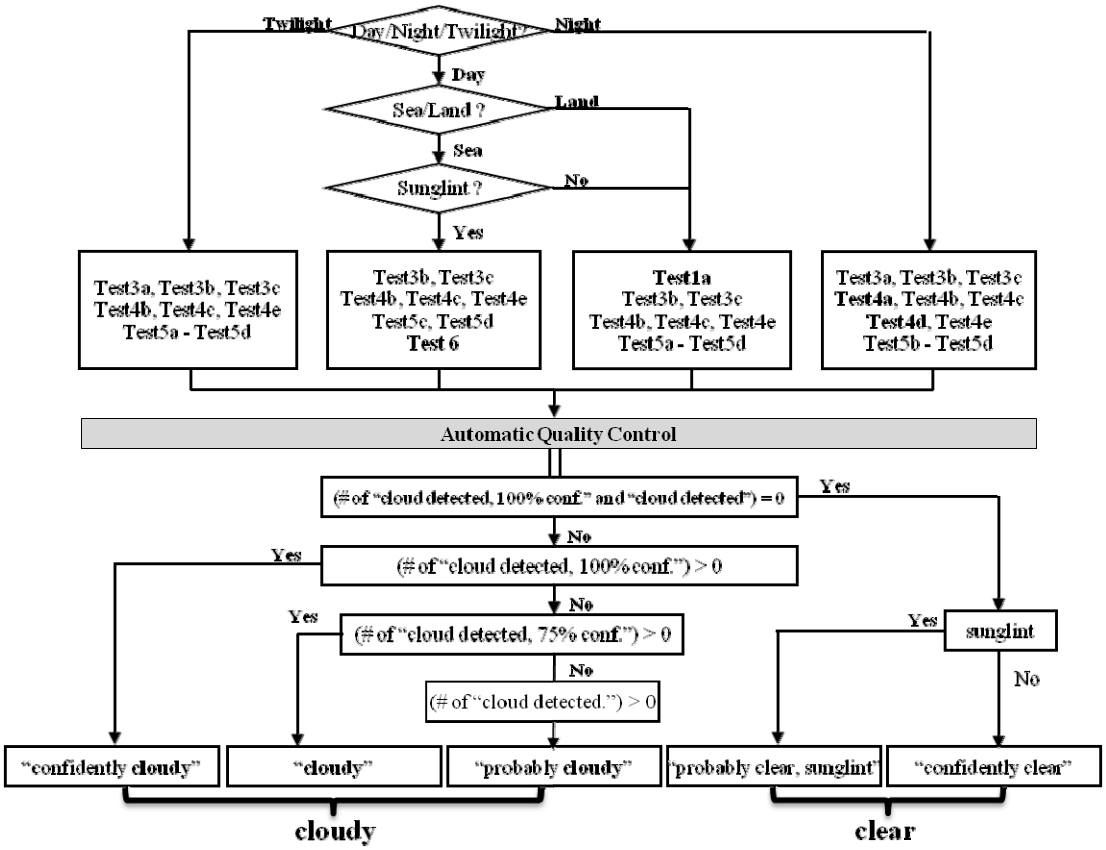
마. TEST 5
- Test5a 3×3 화소에 대한 VIS0.6㎛ 채널 표준편차
- Test5b 3×3 화소에 대한 SWIR3.75㎛ 채널 표준편차
- Test5c 3×3 화소에 대한 IR10.8㎛ 채널 표준편차
- Test5d 3×3 화소에 대한 IR12.0㎛ 채널 표준편차

바. TEST6
- Test6 SWIR3.75㎛과 IR10.8㎛을 이용한 sunglint 지역 검사

위성의 운영기간동안 이 구름탐지 알고리즘은 간단한 모듈 삽입을 통해 보다 많은 스펙트럼 검사 또는 기존의 경계값 검사의 추가/삭제 등의 수정을 통해 개선될 수 있으므로, 알고리즘은 이러한 과정이 간단하게 이루어질 수 있도록 구성한다. 또한, 구름탐지의 결과는 모든 구름 오염 화소에 대하여 품질검사가 이루어져야 하며, 이러한 품질 검사는 어떠한 경계값 검사에 의해 구름으로 판정되었는지에 대한 정보를 기억하여 구름탐지의 결과에 대한 확신을 줄 수 있는 품질 검사 결과를 제공하는데 활용되어져야 한다.

3.3. 구름탐지 과정 상세 설명

구름탐지 알고리즘은 앞 절에서 서술한 바와 같이 6단계로 수행된다. 각 단계는 각각의 화소에 대해 적용되며 모든 정적입력자료, 즉 경계값, 변수, 상수 등은 수정될 수 있다. 3단계, 5단계의 검사 결과는 flag로써 통과여부를 표현하고, 이후 이것을 test_flag라고 한다. test1a에서 test1b, test3a에서 test3c에 대한 test_flag는 'test failed', 'cloud detected, 100 % confidence', 'clear scene, 100 % confidence'와 같이 세 가지로 분류되며, 나머지 다른 모든 검사에 대한 test_flag는 'test failed'와 'cloud detected'와 같이 두 가지로 분류된다.



Test1a if $Ref_{0.6}$ > THR_MAX : "CLD(100%)" else if $R_{0.6}$ < THR_MIN : "CLR" else : "test failed"	**Test1b** if $Ref_{3.75}$ > THR_MAX : "CLD(100%)" else if $R_{3.75}$ < THR_MIN : "CLR" else : "test failed"	
Test2 if $Ref_{0.6}$ − $Ref_{3.75}$ > THR : "CLD" else : "test failed"		
Test3a if $Tb_{3.75}$ > THR_MAX : "CLR" else if $Tb_{3.75}$ < THR_MIN : "CLD(100%)" else : "test failed"	**Test3b** if $Tb_{10.8}$ > THR_MAX : "CLR" else if $Tb_{10.8}$ < THR_MIN : "CLD(100%)" else : "test failed"	**Test3c** if $Tb_{12.0}$ > THR_MAX : "CLR" else if $Tb_{12.0}$ < THR_MIN : "CLD(100%)" else : "test failed"
Test4a if $Tb_{10.8}$ − $Tb_{3.75}$ > THR_MAX or $Tb_{10.8}$ − $Tb_{3.75}$ < THR_MIN : "CLD" else : "test failed"	**Test4b** if $Tb_{10.8}$ − $Tb_{6.75}$ < THR : "CLD" else : "test failed"	**Test4c** if $Tb_{10.8}$ − $Tb_{12.0}$ > THR : "CLD" else : "test failed"
Test4d if $Tb_{12.0}$ − $Tb_{3.75}$ > THR_MAX or $Tb_{12.0}$ − $Tb_{3.75}$ < THR_MIN : "CLD" else : "test failed"	**Test4e** if $Tb_{12.0}$ − $Tb_{6.75}$ < THR : "CLD" else : "test failed"	

Test5a if std_$Ref_{0.6}$ > THR and $R_{0.6}$ > mean_$R_{0.6}$: "CLD" else : "test failed"	**Test5b** if std_$Tb_{3.75}$ > THR and $Tb_{3.75}$ < mean_$Tb_{3.75}$: "CLD" else : "test failed"	**Test5c** if std_$Tb_{10.8}$ > THR and $Tb_{10.8}$ < mean_$Tb_{10.8}$: "CLD" else : "test failed"	**Test5d** if std_$Tb_{12.0}$ > THR and $Tb_{12.0}$ < mean_$Tb_{12.0}$: "CLD" else : "test failed"
Test6 if $Tb_{3.75}$ − $Tb_{10.8}$ > THR : "CLD" else : "test failed"			

Fig. 1. Detailed schematic diagram for cloud detection tests and automatic quality control procedure.

3.3.1. 단계 1 : 청천 반사도 및 휘도온도 추정

Test1의 단일채널 반사도 경계값 검사 수행과 Test3 단일채널 휘도온도 검사에서는 동적경계값을 사용하게 된다. 이 동적 경계값은 청천시에 가질 수 있는 값을 이용하여 이에 일정 정도의 여분(margin)을 두어 경계값을 결정하는 방식을 이용한다. 따라서 이를 위한 청천시 반사도와 휘도온도를 추정하는 과정이 요구된다. 먼저 청천 반사도의 경우 이전 15일의 같은 관측시각 자료들을 이용하여 최소 반사도를 구하여 이를 이용한다. 본 과정은 CMDPS의 후처리과정에 의해 수행되며 구름탐지 모듈에서는 후처리과정에서 생산된 자료를 읽어 들여 사용하는 것으로 개발되었다. 한편 적외채널에 대한 청천복사휘도는 복사전달모델에 의한 모의자료를 주로 사용한다. 현재 GDAPS (Global Data Assimilation and Prediction System) 예측장을 이용하며 복사전달모델 모의과정은 CMDPS의 전처리과정에서 수행한다. 전처리 모듈은 가장 최근에 입력된 GDAPS 예측장을 이용하여 3시간 간격의 모의자료를 생산하며, 정해진 스케줄에 따라 처리해야할 자료에 맞는 시각과 화소별 자료처리를 위해 시공간 내삽을 수행한다. 본 단계에서 추정된 청천 시 참고 값은 구름탐지 검사의 경계값을 결정하는데 직접적으로 영향을 주기 때문에 추정된 값의 정확도가 구름탐지 정확도에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 구름탐지에 대한 연구에 있어 이 과정에서 산출된 청천 시 값의 정확도 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이며, 현업적인 측면에서는 이전자료 및 복사전달모델 수행과정에 대한 관리가 요구된다.

3.3.2. 단계 2 : 태양천정각 검사

가시광선의 존재유무에 따라 구름탐지의 검사방법이 달라진다. 가시광선의 존재유무는 검사화소의 태양천정각을 이용하여 검사한다. 태양천정각을 이용하여 각 화소의 지방시를 다음과 같이 분류한다.

가. 낮: 태양천정각이 85°보다 작거나 같을 경우
나. 밤: 태양천정각이 95°보다 크거나 같을 경우
다. 새벽 또는 황혼: 태양천정각이 두개의 경계값 사이에 있는 경우

현재 태양천정각 검사는 CMDPS의 자료처리모듈 전단에서 처리하여 동일한 주야간 검사 결과를 사용하도록 구현되었다.

3.3.3. 단계 3 : 채널 사용 가능 유무 검사와 자료 품질 검사

구름탐지를 포함한 CMDPS내 산출요소들을 생산해 내기 위해서는 입력 자료의 정확

도 담보가 요구된다. 특히 주된 입력 자료인 COMS Level1B 자료상의 문제는 하나의 화소에 문제가 있는 경우 CMDPS 전체 자료처리 흐름에 있어 오류가 발생하여 수행을 중단시키는 경우가 발생할 수 있으며, 이러한 문제를 방지하기 위하여 채널값에 대한 검사를 우선적으로 수행하도록 구성하였다.

채널 가용성을 결정하기 위해서 몇 가지 검사를 수행하는데, 이는 각각의 채널값이 가질 수 있는 최대, 최소값 내에 있는가에 대한 검사와 주간에는 5개 채널, 야간에는 4개의 채널이 모두 존재하는가에 대한 검사, 주변 화소와의 일관성이 유지되는가 등의 검사이다.

이 또한 최초 개발단계에서는 구름탐지 모듈 내에 포함되어 있었으나, 자료처리 전반에 영향을 미치는 사항으로 분리하여 CMDPS 자료처리의 제일 앞단에서 처리하여 공동사용하는 것으로 수정되었다.

3.3.4. 단계 4 : 경계값 결정

CMDPS의 구름탐지는 경계값 검사를 통해 이루어지기 때문에 경계값의 결정과정이 중요하다. 경계값 검사의 신뢰도를 높이기 위해 검사의 특성에 따라 관측조건에 관계없이 일정한 경계값을 사용하는 경우(정적경계값; static threshold)와 관측조건에 맞게 변화시켜주는 경우(동적경계값; dynamic threshold)가 있다. 정적경계값의 경우에는 위성의 운영기간동안 변하지 않고 적용될 수 있는 물리적인 값인 반면, 동적경계값은 운영기간동안 관측 주기에 따라 매번 변화되는 값이다. 따라서 동적경계값은 관측조건에 맞도록 매 검사시마다 조정되어야 한다.

가. Test1a, Test1b에 대한 경계값 결정

반사도 검사(Test1a~b)에서는 $VIS_{0.6}$과 $TB_{3.75_sol}$(태양의 영향이 존재하는 조건에서 관측된 SWIR3.75㎛의 복사휘도 값을 반사도 값으로 전환하여 구한 값)의 화소단위의 반사도 값을 경계값과 비교한다. 먼저 단파적외채널에서 태양반사성분을 추출하는 과정은 Setvak and Doswell (1991)의 방법을 사용하였다. 이는 단파적외채널의 지구 방출 성분이 표면온도가 적외채널 $Tb_{10.8}$과 같을 때 방출하는 에너지라는 가정을 이용하여 방출 성분을 유도하는 방법이다.

청천반사도 정보는 이들 두 채널의 화소단위별 청천 반사도 값을 이용하여 갱신한다. 해당관측시각과 동일한 전일 15일 자료를 이용하여 해당 화소에 대한 최소값을 추출하여 청천반사도(CSRef) 값을 구하게 된다. 청천시 반사도는 주로 지면 특성에 의해 결정되는데 15일간의 기간 동안 이러한 지면 특성의 변화가 크지 않다는 가정이 전제가 된다. 다만 봄철과 가을철의 경우 15일의 기간 동안에는 같은 화소에서 태양천정각의 변화가 있기 때문에 twilight zone 부근에서는 오차가 유발될 가능성이 존재한다. 또한 반사도값은 태양천정각에 의해 영향을 받는 값이므로, 구름탐지 검사

에 적용하기 위하여 채널값과 청천반사도값 모두 태양천정각을 보정하여 사용하며, 반사도 검사에 사용되는 경계값은 앞에서 구해진 청천 반사도에 일정한 여분을 더해 줌으로써 결정되게 된다.

(1) $THR_Test1a_MAX_{vis} = CSRef_{vis} \times refl_test1a_add_max$
(2) $THR_Test1a_MIN_{vis} = CSRef_{vis} \times refl_test1a_add_min$
(3) $THR_Test1b_MAX_{swir} = CSRef_{swir} \times refl_test1b_add_max$
(4) $THR_Test1b_MIN_{swir} = CSRef_{swir} \times refl_test1b_add_min$

나. Test2에 대한 경계값 결정

Test2 대한 경계값은 다음의 식과 같이 유도된다.

$$THR_Test2 = a_{0,2} + Ref_{vis} \times a_{1,2} \qquad (4.\ 5)$$

여기서, Ref_{vis}는 가시채널에서의 반사도이며, 계수 $a_{0,2}$와 $a_{1,2}$는 해양과 육지에 대하여 서로 다른 값을 갖는다.

다. Test3a – Test3c에 대한 경계값 결정

단일채널 휘도온도 경계값 검사인 Test3a에서 Test3c까지는 SWIR3.75㎛, IR10.8㎛, IR12.0㎛ 채널에 대한 청천휘도온도를 이용하며, 경계값은 단계 1에서 구한 추정된 Tb로부터 결정된다. 최종적인 경계값은 다음과 같이 유도한다.

(1) 해양의 경우

$THR_Test3a_MAX = CSTb_{3.75} - temp3a_sea_max$
$THR_Test3a_MIN = CSTb_{3.75} - temp3a_sea_min$
$THR_Test3b_MAX = CSTb_{10.8} - temp3b_sea_max$
$THR_Test3b_MIN = CSTb_{10.8} - temp3b_sea_min$
$THR_Test3c_MAX = CSTb_{12.0} - temp3c_sea_max$
$THR_Test3c_MIN = CSTb_{12.0} - temp3c_sea_min$

(2) 육지의 경우

$THR_Test3a_MAX = CSTb_{3.75} - temp3a_land_max$
$THR_Test3a_MIN = CSTb_{3.75} - temp3a_land_min$
$THR_Test3b_MAX = CSTb_{10.8} - temp3b_land_max$
$THR_Test3b_MIN = CSTb_{10.8} - temp3b_land_min$
$THR_Test3c_MAX = CSTb_{12.0} - temp3c_land_max$
$THR_Test3c_MIN = CSTb_{12.0} - temp3c_land_min$

라. Test4a에서 Test4d의 경계값 결정

이중채널 휘도온도차 경계값 검사인 Test4a에서 Test4d까지는 다음과 같이 고정 경계값을 사용한다.

(1) $THR_Test4a_MAX = a_{0,4a} + CSTb_{10.8} \times a_{1,4a} + CSTb_{3.75} \times a_{2,4a}$

(2) $THR_Test4a_MIN = b_{0,4a} + CSTb_{10.8} \times b_{1,4a} + CSTb_{3.75} \times b_{2,4a}$

(3) $THR_Test4b = a_{0,4b} + CSTb_{10.8} \times a_{1,4b} + CSTb_{6.75} \times a_{2,4b}$

(6) $THR_Test4c = a_{0,4c} + CSTb_{10.8} \times a_{1,4c} + CSTb_{12.0} \times a_{2,4c}$

(8) $THR_Test4d_MAX = a_{0,4d} + CSTb_{12.0} \times a_{1,4d} + CSTb_{3.75} \times a_{2,4d}$

(9) $THR_Test4d_MIN = b_{0,4d} + CSTb_{12.0} \times b_{1,4d} + CSTb_{3.75} \times b_{2,4d}$

(10) $THR_Test4e = a_{0,4e} + CSTb_{12.0} \times a_{1,4e} + CSTb_{6.75} \times a_{2,4e}$

여기서, CSTB는 단계1에서 구해진 해당 채널에 대한 추정된 청천복사휘도이다. a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2 등의 계수는 주간/야간, 육지/해양에 따라 즉, 주간/해양, 주간/육지, 야간/해양, 야간/육지에 따라서 서로 다른 값을 갖는다.

마. Test5a에서 Test5d의 경계값 결정

표준편차검사인 Test5a에서 Test5d까지는 경계값은 고정 경계값으로 다음과 같이 정해진다.

(1) 해양의 경우

$THR_Test5a = test5a_sea$

$THR_Test5b = test5b_sea$

$THR_Test5c = test5c_sea$

$THR_Test5d = test5d_sea$

(2) 육지의 경우

$THR_Test5a = test5a_land$

$THR_Test5b = test5b_land$

$THR_Test5c = test5c_land$

$THR_Test5d = test5d_land$

바. Test6의 경계값 결정

Sunglint 지역 검사를 위한 Test6의 경계값은 식 (4. 6)의 관계식으로 유도된다.

$$THR_Test6 = \max\left(c_1,\ c_1 \times CSRef_{vis}/c_2\right) \qquad (4.\ 6)$$

여기서, $CSRef_{vis}$는 % 단위의 VIS0.65㎛ 채널의 청천시 반사도이며, 이 경우 c_1과 c_2는 경계값을 결정하기 위한 모수이다.

3.3.5. 단계 5 : 구름탐지 및 자동 품질 검사

주간/야간/새벽과 황혼 등의 각 시각에 대한 검사는 서로 독립적으로 수행되며, 이들 각 검사는 미리 정해진 결정인자에 따라 수행가능 또는 수행불가가 정해진다.
경계값 검사는 다음과 같은 규칙에 의해 수행되어진다.

가. 경계값 검사별 세부 설명

(1) Test 1

만약 태양천정각을 보정한 VIS0.65 ㎛ 채널의 반사도가 THR_Test1a_MAX보다 크면 구름화소로 분류하고 이 검사의 test_flag는 'cloud detected, 100 % confidence'로 정해진다. Test1b도 같은 규칙이 적용된다. 만약 태양천정각을 보정한 VIS0.65의 반사도가 THR_Test1a_MIN보다 작은 경우에는 청천화소로 분류되고, 이에 대한 test_flag는 'clear scene, 100 % confidence'와 같이 정해지며, Test1b도 같은 규칙이 적용된다.

(2) Test 2

만약 VIS0.65 ㎛ – SWIR3.75 ㎛ 반사도 차이값이 THR_Test2보다 크게 되면, 구름화소로 분류되며 test_flag는 'cloud detected'로 정해진다.

(3) Test 3

만약 SWIR3.75 ㎛의 휘도온도가 THR_Test3a_MAX에 비해 큰 경우에는 청천화소로 분류되고, test_flag는 'clear scene, 100 % confidence'로 정하며, Test3b, Test3c도 같은 규칙이 적용된다.

반면, SWIR3.75 ㎛의 휘도온도가 THR_Test3a_MIN에 비해 작은 경우에는 구름화소로 분류되고 test_flag는 'cloud detected, 100 % confidence'로 정하며, Test3b, Test3c도 같은 규칙이 적용된다.

(4) Test 4

Test 4a의 IR10.8 ㎛와 SWIR3.75㎛의 휘도온도 값 차이가 THR_Test4a_MAX보다 크거나 THR_Test4a_MIN보다 작은 경우에는 구름화소로 분류되고, test_flag는 'cloud detected'로 결정된다. Test4d도 같은 규칙이 적용된다.

Test 4b에서 IR10.8 ㎛ – WV6.75 ㎛의 휘도온도 값 차이가 THR_Test4b보다 작은 경우에는 구름화소로, test_flag는 'cloud detected'로 규정되며, Test4e도 같은 규칙이 적용된다. Test4c의 경우 IR10.8 ㎛ – IR12.0 ㎛의 휘도온도 값 차이가 THR_Test4c보다 큰 경우에는 구름화소로, test_flag는 'cloud detected'로 정해진다.

(5) TEST 5

본 검사는 3×3 화소 영역에 적용되나, 육지와 해상의 경계를 포함하는 경우는 이 검사를 수행하지 않는다.

만약 VIS0.65의 반사도에 대한 표준 편차가 THR_Test5a보다 크고, 관측된 반사도가 3×3 화소의 평균값보다 큰 경우에는 구름화소로 분류되고, test_flag는 'cloud detected'로 정해진다.

만약 SWIR3.75㎛의 표준편차가 THR_Test5b보다 크고, 관측된 휘도온도가 n×n 화소 영역의 평균값보다 작은 경우에는 구름화소로, test_flag는 'cloud detected'로 결정된다. Test5c와 Test5d도 같은 규칙을 적용한다.

(6) Test 6

만약 SWIR3.75㎛ - IR10.8㎛이 THR_Test6보다 큰 경우에는 구름화소로 정해지며, test_flag는 'cloud detected'로 결정한다.

나. 경계값 검사의 적용

위에 서술된 각 경계값 검사는 독립적으로 수행된다. 먼저, 최초의 구름탐지는 초기화 설정되며 다음과 같이 관측시각별로 적용을 달리한다.

(1) 주간

(가) sunglint 지역 분류

· 해당 화소가 호수나 해양과 같은 수면 위에 위치한다.

· $ABS(\cos^{-1}(\cos(sol_zenith)\times\cos(sat_zenith)-\sin(sol_zenith)\times\sin(sat_zenith)\times\cos(relative_azimuth)))$ 값이 sgl_criteria 경계값보다 작다. 현재 경계값은 15°를 사용한다.

. sunglint로 분류된 경우 Test2, Test3b, Test3c, Test4b, Test4c, Test4e, Test5c, Test5d, Test6을 수행한다.

(나) sunglint 지역이 아닌 경우에는 Test1a, Test1b, Test2, Test3a-Test3c, Test4a-Test4e, Test5a-Test5d를 수행한다.

(다) 이중 SWIR3.75㎛ 채널의 반사도 성분과 태양 방출 성분을 사용하는 Test1b, Test2, Test3a, Test4a, Test4d의 경우 태양천정각이 60°이상의 값을 가질 경우 성분 분석과정에서 상당히 큰 반사도 값을 가지게 되고 이에 따라 비교적 낮은 휘도온도를 갖기 때문에 60°이상 80° 이하인 지역에 대해서는 적용하지 않는다.

(2) 새벽/황혼의 경우에는 Test1a, Test1b, Test3a-Test3c, Test4a-Test4e, Test5a-Test5d를 수행한다. 다만 MTSAT-1R (Multi-functional Transport Satellite-1 Replacement) HRIT (High-Rate Information Transmission) 자료처리 과정에서 반사성분이 태양천정각 70° 부근에서 감소하여 반사도가 거의 0의 값이 되는 것으로 분석되어 새벽/황혼시 Test1a, Test1b에 대한 검사를 수행하지 않도록 설정하였다.

(3) 야간의 경우에는 적외채널만을 이용하여 Test3a-Test3c, Test4a-Test4e, Test5b-Test5d를 수행한다.

따라서 구름탐지를 위한 각 경계값 검사의 flag들은 관측 자료의 사용 가능성 여부에 따른 검사의 수행여부, 또는 이전 관측시각의 자료결과 사용여부, 그리고 각각의 검사 수행여부를 지정하도록 결정된다. 만약 검사가 수행되었다면 test_flag는 어떤 검사에 의해서 구름이 탐지되었는지를 알려주며, 만약 이전 관측시각의 결과를 이용했다면, test_flag는 이전 관측시각의 결과와 동일하게 결정된다. 향후 이들 flag는 새로이 추가될 수 있는 검사방법과 개선사항을 쉽게 반영할 수 있어야 한다.

구름탐지 알고리즘 자체가 검사화소의 청천 여부에 중점을 두고 설계되었기 때문에 자동 품질 검사는 구름화소로 판단되는 경우에 대해서만 적용한다. 다만, 다음에 보이는 test_flag에 대한 검사는 모든 화소에 대해서 적용한다.

가. 만약 'cloud detected, 100 % confidence' 또는 'cloud detected'로 판명된 test_flag가 하나도 없고 sunglint 지역으로 분류되지 않은 경우에 대해서는 quality flag를 'confidently clear'로 결정하고, 구름탐지결과는 청천화소로 설정한다.

나. 만약 'cloud detected, 100 % confidence' 또는 'cloud detected'로 판단된 test_flag가 하나도 없지만, sunglint 지역으로 분류된 경우, quality flag는 'probably clear, sunglint'로 결정하고 결과는 'clear'로 설정한다.

다. 만약 'cloud detected, 100 % confidence'로 판단된 test_flag가 적어도 하나가 있으면, quality flag는 'confidently cloudy'로 결정하고, 결과는 'cloudy'로 설정한다.

라. 만약 'cloud detected, 75% confidence'로 정해진 test_flag가 하나라도 존재하고, 'cloud detected, 100 % confidence'로 판단된 test_flag가 하나도 없다면, quality flag는 'cloudy'로 정해지고 결과 또한 'cloudy'로 설정한다.

마. 만약 'cloud detected'로 판단된 test_flag가 존재하고, 'cloud detected, 75% confidence'나 'cloud detected, 100 % confidence'로 정해진 test_flag가 하나도 없을 경우, quality flag는 'probably cloudy'로 결정되고, 결과는 'cloudy'로 설정한다.

본 알고리즘은 자동품질검사(AQC; Automatic Quality Control) 과정을 통해 생산된 구름탐지 결과 및 quality flag가 결정된다. AQC 과정은 시간에 따라 다른 검사들의 수행 결과들을 취합하는 과정으로 해당 조건에 수행된 검사들의 종류와 각 검사에 사용된 경계값, 이로 인해 산출된 각 검사별 구름탐지 결과와 복잡한 관계를 이루고 있다. 따라서 AQC 과정의 개념에 대해 정확히 이해하고 경계값이 결정되어야 하며, 또한 이후 산출물이 이를 이용할 수 있도록 의미 있는 quality flag를 생산하기 위한 AQC 과정의 조정이 필요하다.

경계값의 결정을 위해서는 먼저 정확히 구름이 탐지된 일종의 훈련자료가 요구된다. 이 자료는 영상분석가에 의해 실제 해당 영상을 분석하여 구름의 존재 유무를 판단한 자료가 매우 유용할 것이며, MODIS 구름탐지 등 검증에 사용되는 자료와의 시공간 일치자료를 사용할 수도 있을 것이다. 훈련자료는 앞에서 기술된 각각의 검사에 대한 경계값을 계산하기 위한 모든 자료가 포함되어야 한다. 예를 들어 단일채널 반사도 검사와 단일채널 휘도온도 검사의 경우 이 때 사용된 청천 반사도와 청천 복사휘도값을 포함하여야 한다. 하나의 예를 들어 설명하면 Test1a의 경계값을 결정하는 경계값 모수 refl_test1a_add_max는 사용된 청천 반사도 $CSRef_{vis}$와 해당 화소의 반사도, 그리고 그 화소가 구름으로 오염된 화소인지 아닌지에 여부를 이용하여 100 % 구름으로 오염된 화소라고 판단할 수 있는 값으로 정하게 된다. 반대로 refl_test1a_add_min은 100 % 청천이라고 할 수 있도록 설정하도록 한다.

3.4. 검증

3.4.1. 검증방법

구름탐지 결과의 검증을 위하여 CMDPS에서 이진형 변수의 검증 기법으로 제안된 통계적 검증기법을 적용하여 검증을 수행하였다. CMDPS 구름탐지 결과와 비교를 위한 구름탐지 참값을 Table 1과 같이 분류하여 PC, POD, FAR, PSS, HSS 등의 검증스코어를 구한다. 구름탐지 참값으로 이용한 것은 MODIS 구름탐지 결과이며 이에 대한 설명은 다음절에서 보다 상세히 기술하기로 한다.

Table 1. Contingency table for validation of cloud detection result.

CMDPS \ MODIS	Cloudy	Clear	TOTAL
Cloudy	a	b	a+b
Clear	c	d	c+d
TOTAL	a+c	b+d	a+b+c+d=n

① PC (Proportion Correct, Accuracy) = $\frac{a+d}{n}$

② POD (Probability of Detection) = $\frac{a}{a+c}$

③ FAR (False Alarm Rate) = $\frac{b}{a+b}$

④ PSS (Peirce's Skill Score, true skill statistic, Hanssen and Kuipers discriminant) = $\frac{ad-bc}{(a+c)(b+d)}$

⑤ HSS (Heidke Skill Score, Cohen's k)

= $\frac{PC-E}{1-E}$, where $E=\left(\frac{a+c}{n}\right)\left(\frac{a+b}{n}\right)+\left(\frac{b+d}{n}\right)\left(\frac{c+d}{n}\right)$

3.4.2. 검증자료

구름탐지에 대한 검증은 일반적으로 쉽지 않다(Ackerman and Cox, 1981; Rossow and Gander, 1993). 구름탐지의 검증은 두 종류로 구분할 수 있으며 이는 영상 해석을 이용하는 방법과 정량적인 분석이다. 영상 해석은 분석자가 채널 및 시공간 특성을 다양한 영상분석 방법 및 합성 등의 기법을 이용하여 시각적으로 구름탐지가 적절히 이루어 산출되었는지를 분석하는 것이며, 이는 구름탐지 알고리즘의 검증에 있어 중요한 첫 단계라고 할 수 있다. 분석가들은 구름과 지표의 채널별 특성에 대한 지식과 경험을 바탕으로 영상을 분석하게 된다. 하지만 이러한 시각적 영상해석은 정량적인 평가를 제공하기 어렵다. 보다 정량적인 검증은 라이다와 같은 지상관측 또는 다른 위성에 탑재된 센서에서 구한 구름 탐지 결과와 직접적인 화소 단위의 비교를 통해 이루어 질 수 있다. 하지만 이러한 검증방식이 정량적인 정확도를 제공해 줄 수는 있기는 하나, 두 관측 자료가 구름에 대한 서로 다른 관측 특성을 가지고 있기 때문에 시공간 일치자료를 생성하는 과정에서 불확실성을 포함하는 문제를 가지고 있다(Baum et al., 1995).

이러한 한계에도 불구하고 CMDPS 구름탐지 정확도 감시를 위해 채택한 검증 방법은 MODIS 자료에서 산출된 구름탐지 결과와의 비교이다. MODIS 그룹은 공식적으로 구름탐지 결과를 제공하고 있으며 Terra/MODIS를 이용한 결과인 MOD35와 Aqua/MODIS 자료를 이용한 결과인 MYD35가 있다. 본 연구에서는 준 실시간 자료 획득을 위하여 NASA (National Aeronautics and Space Administration) GSFC (Goddard Space Flight Center)의 LAADS (Level 1 and Atmospheric Archive and Distribution System) 웹(ftp://ladsftp.nascom.nasa.gov)으로부터 자료를 획득한다.

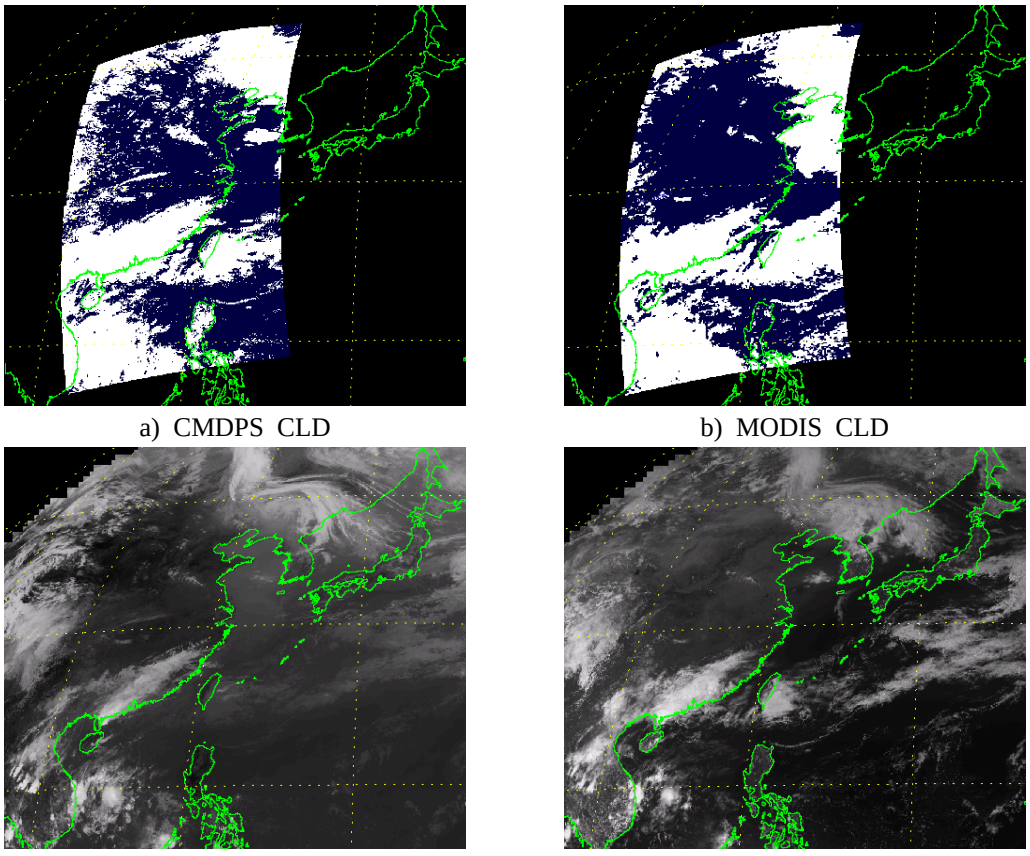
3.4.3. 시공간일치방법

MODIS 자료는 5분 단위 관측 단위(granule)로 자료를 제공하며 구름탐지 자료의 수

평해상도는 1 km이며 구름탐지 결과는 4단계 (confident clear, probably clear, undecided, cloudy)로 구분하여 제공한다. 구름탐지 검증을 위한 첫 번째 단계는 시공간 일치과정이다. 구름은 짧은 시간동안 비교적 많이 변화하는 형상임을 감안하여 COMS 관측시각을 기준으로 하여 10분 이내에 관측된 MODIS 자료만을 선택한다. 공간적으로는 COMS의 관측해상도가 4 km 정도이므로 공간일치를 위하여 COMS 관측 화소의 위경도 위치에서 가장 가까운 MODIS 화소를 선택하여 주변 5×5 화소를 이용한다. MODIS는 구름탐지를 상당히 엄밀하게 판정하며, 본 연구에서는 이러한 판단을 근거로 구름탐지 분류 4단계 중 cloudy로 결정된 화소만을 구름으로 하고 나머지 confident clear와 probably clear, undecided는 청천으로 분류한 후 해당되는 5×5 화소 내에 구름화소의 비율이 50 % 이상 차지할 경우 그 화소의 참값을 구름화소로 결정하고 반대의 경우는 청천화소로 결정하여 비교를 수행하였다. 이러한 시공간 일치자료는 위성천정각이 60°이내인 지점에서만 생성하여 검증에 사용하였다.

3.4.4. 검증결과분석

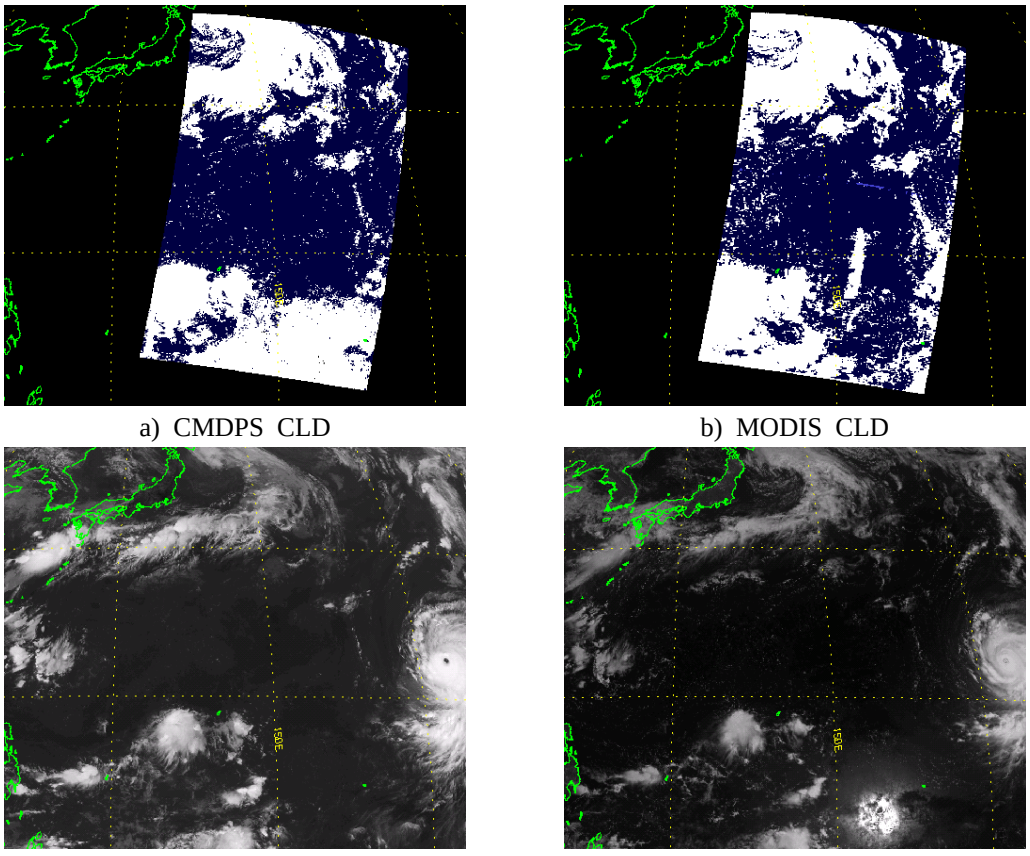
기술한 검증 방법을 이용하여 2006년 4월 7일 0533 UTC와 2006년 8월 31일 0033 UTC 2개 사례에 대하여 적용한 결과를 예로 제시하였다. 먼저 Fig. 2는 2006년 4월 7일 사례로 a)는 0533 UTC MTSAT-1R 자료에 적용한 CMDPS 구름탐지 결과이며, c)와 d)는 각각 같은 시각 MTSAT-1R의 적외채널과 가시채널 영상, b)는 MTSAT-1R 관측시각인 0533UTC의 전과 후인 0530UTC와 0535UTC가 관측 초기시간인 5분 간격 2개의 MODIS 구름탐지 granule 자료를 합성하여 보인 것이다. 이 사례에서는 중국 내륙 지역 등 육상 지역에서는 CMDPS 구름탐지 알고리즘이 비교적 상세히 그리고 많은 구름을 탐지한 반면, 해상지역에서는 전반적으로 MODIS가 많은 구름을 탐지한 것으로 나타난다. 또한 CMDPS 알고리즘의 경우 필리핀 루존섬이 대부분 구름으로 과다 탐지된 부분을 알 수 있다.



a) CMDPS CLD b) MODIS CLD

c) MTSAT-1R IR channel imagery d) MTSAT-1R Visible channel imagery

Fig. 2. Comparison of cloud detection results between CMDPS algorithm using MTSAT-1R (0533UTC on April 7, 2006) and MODIS (0555UTC on the same day) (a and b, upper panel). c and d represent infrared and visible imagery of MTSAT-1R, respectively.



a) CMDPS CLD b) MODIS CLD

c) MTSAT-1R IR channel imagery d) MTSAT-1R Visible channel imagery

Fig. 3. Same as Fig. 2, except for 0033 UTC on August 31, 2006.

또 다른 사례로 2006년 8월 31일 0033UTC에 대한 비교 영상을 Fig. 3에 보였다. 이 사례는 대부분 일본 동남쪽 해상지역이며 전체적인 구름탐지 패턴은 비슷하다고 할 수 있으며, 2006년 4월 7일 사례와 마찬가지로 MODIS에 비해서 CMDPS 알고리즘이 구름을 약간 과소 탐지한다고 볼 수 있다. 하지만 뚜렷한 구름탐지의 차이가 나타나는 지역은 MODIS 구름탐지 영역 중간부의 남북방향으로 길게 뻗은 구름 지역과 우측 하단 지역에 넓게 분포하는 CMDPS 알고리즘의 구름탐지역이다. 이는 두 경우 모두 sunglint로 인해 구름으로 탐지된 지역으로 이 사례에서 두 위성의 관측 위치 특성이 다른 것을 확연하게 보여주는 부분이다. 대부분 MODIS 관측에서 주간 해상의 경우 관측 경로의 중앙부에 sunglint 지역이 나타나며, 정지궤도위성 자료에서의 구름탐지 경우 적도 주변에서 sunglint 지역이 나타난다.

이들 두 사례에 대하여 제시한 검증 스코어 산출하여 Table 2에 제시하였다. 결과를 살펴보면 전반적인 구름탐지 정확도를 의미하는 PC의 경우 두 사례에서 약 80 % 정도의 탐지률을 보이며, 실제 구름인 화소에 대한 구름탐지성능을 의미하는 POD 값은 약 77 %로 나타났다. 한편 구름으로 탐지한 화소 중 잘못 탐지한 비율을 의미하는 FAR는 약 21 %로 나타났다. 이들 수치는 구름탐지 특성을 고려하여 생각해 보면 그 정확도가

높지 않은 수준이라 할 수 있으며, 이는 순수 구름탐지 알고리즘의 오차와 더불어 영상에서 보았던 바와 같이 두 위성의 관측 특성의 차이에 따른 효과가 포함된 오차로 분석되어져야 할 것이다.

Table 2. Preliminary validation results for the CMDPS cloud detection algorithm. For calculation of validation scores in this table, MODIS cloud detection output is considered as an true value.

a) 0533 UTC, April 7, 2006 Case			
CMDPS / MODIS	Cloudy	Clear	TOTAL
Cloudy	92931	24931	117863
Clear	26570	98561	125131
TOTAL	119502	123492	242994

b) 0033 UTC, August 31, 2006 Case			
CMDPS / MODIS	Cloudy	Clear	TOTAL
Cloudy	105142	28868	134010
Clear	31094	146931	178025
TOTAL	136236	175799	312035

DATE	PC	POD	FAR	PSS	HSS
20060407 0533 UTC	0.7881	0.7777	0.2115	0.5758	0.5759
20060831 0033 UTC	0.8078	0.7718	0.2152	0.6076	0.6087

보다 긴 기간에 대한 검증 결과를 보기 위하여 CMDPS 전후처리 및 인터페이스 개발 과정에서 수행한 2007년 11월의 CMDPS 1차 시험운영 결과를 이용한 검증 결과를 보였다 (Table 3). 시험운영기간은 2007년 11월 1일 ~ 11월 24일까지 24일간의 결과이며, 이 경우 MTSAT-1R HRIT 자료를 입력 자료로 사용하였다. 이 결과에서 알 수 있듯이 개발된 CMDPS 구름탐지 알고리즘의 정확도는 현재 약 80 % 이상의 정확도를 가지며, 실제 구름화소에 대한 탐지 성능인 POD는 83 % 이상, 청천을 구름으로 탐지한 FAR는 약 13 % 정도로 나타났다. 추가적으로 일별 검증 스코어의 분석 결과 비교적 안정적으로 비슷한 검증 스코어가 산출되었음을 알 수 있었다.

Table 3. Validation result for cloud detection during CMDPS pre- and post-processing and interface development program first operation test period (Nov. 1 - 24, 2007)

Reference data	Validation result (period : November 1 - 24, 2007)				
	PC	POD	FAR	PSS	HSS
MOD35	0.820	0.852	0.137	0.614	0.608
MYD35	0.805	0.819	0.133	0.592	0.579

이러한 결과를 바탕으로 지속적으로 알고리즘 및 경계값을 조정해 가며 검증을 시도하였다. 3차례의 시험운영과 최종 준 실시간 운영의 검증 결과를 Table 2.3.8에 보였다. 2차

시험운영의 경우 과대탐지에 의한 False Alarm을 줄이기 위하여 경계값을 약하게 조정한 결과 탐지율이 떨어지는 결과가 초래하였으며, 3차 시험운영의 경우 이에 대한 보완이 이루어졌다. 마지막으로 최종 운영시험을 위하여 현재 알고리즘에 서술된 품질정보안을 적용하여 수행한 결과 구름 탐지율을 88% 이상으로 오탐지율을 12~13% 수준으로 개선하였다.

Table 4. Validation results for cloud detection during CMDPS operation test periods.

	1st Ops. Test		2nd Ops. Test		3rd Ops. Test		Final Ops. Test	
ref. data / score	PC	POD	PC	POD	PC	POD	PC	POD
PC	0.820	0.805	0.784	0.788	0.809	0.804	0.839	0.822
POD	0.852	0.819	0.755	0.777	0.839	0.838	0.880	0.881
FAR	0.137	0.133	0.090	0.093	0.116	0.122	0.124	0.127

4. 산출결과 해석방법

CMDPS 구름탐지 정확도에 대한 결과의 해석 및 개선 목표 설정을 위하여 다른 위성 및 알고리즘의 구름탐지 정확도를 살펴보면 MODIS 구름탐지의 경우 PC는 83.3 %, POD는 80.9 %, FAR는 14.3 % 정도의 정확도로 현재까지 개발한 CMDPS의 정확도와 비슷한 값을 가지는 것으로 보고되었다. 한편 Dybbroe 등(2005)은 EUMETSAT SAFNWC (Satellite Application Facility NoW-Casting)의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)을 이용한 구름탐지 정확도가 94.2 %의 POD와 28.5 %의 FAR를 갖는다는 연구 결과를 보였다. 이 결과는 실제 구름을 구름으로 잡은 성능은 94.2 %로 매우 좋으나, 실제 구름으로 탐지한 화소 중 실제 청천 화소의 수인 False Alarm의 비율이 28.5%로 상당히 높아 구름을 과다 탐지하고 있음을 추정할 수 있다. 한편 SAFNWC에서는 MSG SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) 자료를 이용하여 생산한 1년간의 자료에 대한 검증 결과를 제시하였다 (EUMETSAT, 2005). 검증에 사용된 자료는 지상관측자료로 WMO (World Meteorological Organization) 종관 관측망의 1시간 간격 자료를 이용하여 가장 가까운 시각과 위치의 위성자료를 5×5 화소 평균하여 708,797개의 시공간 일치자료를 생성하였다. 이에 대한 검증 결과를 SAFNWC의 구름탐지 알고리즘과 EUMETSAT MPEF (Meteorological Product Extraction Facility)의 알고리즘과 비교하였다. 제시된 결과는 SAFNWC의 알고리즘의 정확도가 PC, POD, FAR가 각각 95.0 %, 95.0 %, 5.0 %이며 MPEF 알고리즘의 정확도가 90.2 %, 88.4 %, 6.2 %의 값을 갖는다. 이 값은 12개

채널의 SEVIRI 자료를 이용하여 산출된 결과로 COMS와 같이 5개 채널을 갖는 위성에서는 도달하기 어려운 정확도라고 판단되나 이와 근접한 산출정확도를 가질 수 있도록 노력해야 할 것이다.

한편 CMDPS에서는 정량적 검증 스코어를 산출하기 위하여 위성천정각이 60°이내인 전구 영상의 평균값을 산출하게 된다. 검증 스코어는 정량적인 값이라는 면에서 의미가 있지만 보다 상세한 분석 및 알고리즘의 개선을 위해서는 영상 분석 과정이 반드시 요구된다. 오차를 주로 발생하는 영역이 하층운 영역인지, 권운역인지, 또는 육상인지 해상인지, 또한 주간과 야간의 구름탐지 성능은 어떠한지에 대한 분석을 통하여 이에 맞는 구름탐지 개별검사 방법 및 자동품질 검사 루틴의 개선이 보강되어야 할 것이다.

5. 문제점 및 개선 가능성

현재까지 개발된 CMDPS의 구름탐지 자료는 MTSAT-1R HRIT 자료에 적합하도록 알고리즘이 구성되었다. 청천 복사휘도값을 추정하는데 사용되는 주된 자료는 GDAPS 자료를 입력 자료로 RTTOV (Radiative Transfer for the TIROS Operational Vertical Sounder) 복사전달모델을 수행하여 산출한다. 이 과정에서 추정되는 청천복사휘도는 수치예보모델 예측장의 지표면온도가 가장 큰 영향을 주는데, GDAPS의 경우 이에 대한 정보에 정확도가 만족스러운 결과를 보이지 않는다. 예를 들어 겨울철의 경우 수치예보모델에 적설 지역에 대한 기후 값이 월 단위로 고정적으로 들어가기 때문에 한 달간 적설역의 경계에서 청천복사휘도에 대한 불연속이 지속적으로 나타나는 경향을 보인다. 또한 고원 지역과 호주 사막지역 등에서의 모의 값이 실제 위성관측값에 비해 비교적 큰 오차를 나타나는 것으로 분석되었다. 이러한 청천복사휘도 추정과정에서의 오차는 구름화소 탐지에 있어 치명적인 오류를 유도할 수 있다. 이를 보완하기 위하여 이전 관측자료 또는 청천복사휘도(CSR; Clear Sky Radiance) 산출물을 이용하는 방안이 프로그램 개발에 포함되어있으나, 이 자료는 전구 영역에서 missing이 포함되지 않게 모두 산출하는데 있어서는 현실적으로 어려움이 있다. missing을 줄이기 위하여 보다 긴 시간에 대한 합성은 특히 봄, 가을철과 같이 계절의 변화가 크게 일어나는 시기에는 청천 참고 값이 현재의 특성을 대표하지 못하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 유의해야 한다. 이러한 복사모델 사용과 위성에서 관측한 청천복사휘도 사용에 있어서의 장단점을 살펴 적용하는 최적의 방안 모색이 앞으로 남겨진 하나의 숙제이다.

한편 현재까지 개발된 CMDPS 구름탐지에서 가장 오차를 많이 유발하고 있는 지역은 공간적으로는 호주 사막지역, 겨울철 고위도 적설지역, 고원지역이다. 이러한 오차 요인은 앞서 복사전달모델에 의한 청천복사휘도 추정과정에서 발생하는 오차와 함께, 호주 사막지역의 경우 높은 반사도에 의한 탐지 오류가 발생한다. 단일채널 반사도 검사에 사용하는 청천반사도의 경우 복사전달모델을 이용하지 않고 이전 15일 같은 시각의 관측자

료 중 최소 반사도 값을 사용하는데, 이론적으로는 큰 오차를 발생하지 않을 것으로 기대하지만, 실제 구름탐지 수행 결과를 보면 50 % cloudy로 탐지되는 결과를 종종 볼 수 있다. 이러한 문제점은 지속적인 연구를 통해 어느 정도 해결될 수 있으리라 판단되나, 특히 유의해야 할 것은 CMDPS 구름탐지 수행시 이전 15일 자료의 안정적 확보가 담보되어야 한다는 점이다. 이전 15일간의 자료 활용은 MTSAT-1R을 이용한 전천 운량 산출 등의 연구에서도 알고리즘에 탑재하여 실시간 운영된 바 있으나, 이 경우 한시각의 자료 오류가 이후 15일간의 산출결과에 오류를 발생시키는 요인이 됨을 경험한 바 있다.

또 하나의 오차 원인이자 구름탐지 불연속의 요인이 되는 것이 주간/야간, 황혼 지역을 구분 짓는 경계지점 (즉, 태양천정각이 80°, 100°인 경계선)이다. 현재 주야간 구름탐지 결과의 불연속을 최소화 하는 방안으로 경계값을 조율하여 적용하였으나, 각각의 조건에 의하여 수행되는 개별검사의 차이로 인하여 자동품질검사 수행 결과인 구름탐지 품질 정보에 있어서는 불연속이 여전히 존재하고 있다. 향후 구름탐지 품질 정보를 주로 활용할 수 있게 하기 위해서는 이러한 불연속에 대한 해결 노력이 진행되어야 할 것이다.

다년간의 연구와 COMS 발사이전 정확도 개선 노력에도 불구하고 구름탐지에 있어 가장 탐지의 성능이 떨어지는 부분은 황혼지역이다. 황혼지역의 경우 가시채널, 단파적외채널 등 태양광 채널의 활용에 있어서도 한계가 있어 하층운 및 안개 탐지가 매우 어렵다. 5개 채널 영상기를 이용하여 구름탐지를 함에 있어 또 하나의 대표적으로 극복되기 어려운 부분이 광학 두께가 얇은 권운의 탐지이다. 권운은 지구의 에너지 수지에 큰 영향을 주어 기후연구 분야에서 매우 중요한 구름에 속한다. 하지만 얇은 권운의 경우 가시채널에 의해서도 뚜렷하게 나타나지 않으며, 그 온도가 매우 낮음에도 불구하고 하부 지표면에서 방출되는 에너지가 투과되어 적외채널에서도 비교적 휘도온도값을 가짐으로 인하여 탐지에 실패하는 경우가 종종 발생한다. 이러한 어려움을 보완하기 위하여 사용되는 채널이 주간에는 1.38 ㎛ 또는 1.83 ㎛의 수증기 흡수 밴드이며, 주/야간에 모두 사용될 수 있는 채널이 8.7 ㎛ 채널로 이 채널은 물과 얼음상에서의 상이한 굴절률 특성을 이용한다. 향후 위성개발에 있어서 구름탐지 정확도 향상을 위해서는 이와 같은 채널들의 추가 탑재가 절실히 요구된다.

6. 참고문헌

Ackerman. S. A., and S. K. Cox, Comparison of satellite and all-sky camera estimates of cloud cover during GATE., J. Appl. Meteo., 20, 581-587, 1981

Ackerman, S. A., W. L. Smith, J. D. Spinhirne, and H. E. Revercomb, 1990: The

27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: Spectral properties of cirrus cloud in the 8-12㎛ window, Mon. Wea. Rev., 118, 2377-2388.

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. of* Geophy. Res., 103(D24), 32131-32157.

Baum, B. A., T. Uttal, M. Poellot, T. P. Ackerman, J. M. Alvarez, J. Intrieri, D. O'C. Starr, J. Titlow, V. Tovinkere, and E. Clothiaux, Satellite remote sensing of multiple cloud layers, J. Atmos. Sci., 52, 4210-4230, 1995

Derrien, M., H. L. Gleau, J. F. Daloze, M. Haeffelin, 2005; Validation of SAFNWC/MSG Cloud Products with one year of SEVIRI data, EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users' Conference, Dubrovnik, Croatia. (http://www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p46_s2_04_gleau_v.pdf)

Desbois, M., G. Seze, and G. Szejwach, 1982: Automatic Classification of Clouds on METEOSAT Imagery: Application to High-Level Clouds, *J. of App. Meteor.*, **21**(3), 401-412

EUMETSAT, MSG Ground Segment: MPEF Algorithm Specification Document, pp. 50

Inoue, T., 1985: On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus cloud by bi-spectral measurements in the 10 m window region, J. Meteor. Soc. Japan, 63, 88-99.

Rossow, W. B., and L. C. Garder, Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. J. Clim. 6. 2341-2369, 1993

Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiance from AVHRR data, Int. J. of Remote Sens., 9, 123-150.

Stavak, M., and C. A. Doswell, 1991: The AVHRR channel 3 cloud top reflectivity of convective storms. Mon. Wea. Rev., 119, 841-847

Slawinski, O., J. G. Kowalski, and P. C. Cornillon, 1991: A neural network approach to cloud detection in AVHRR images, *in proc., IEEE Int. Joint*

Conf. on Neural Networks(IJCNN'91), Seattle, WA, 283-288.

Visa, A., K. Valkealahti, and O. Simula, 1991: Cloud detection based on texture segmentation by neural network methods, *in proc., IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks(IJCNN'91)*, Seattle, WA, 1001-1006.

Yhann, S. R., and J. J. Simpson, 1995: Application of neural networks to AVHRR cloud segmentation, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 33, 590-604

Appendix :

Chung C. Y., H. K. Lee, H. J. Ahn, M. H. Ahn, and S. N. Oh, 2006: Developing the Cloud Detection Algorithm for COMS Meteorological Data Processing System. Korean J. of Remote Sens., 22(5), 367-372