



청천복사휘도
(CSR: Clear Sky Radiance)
알고리즘 기술 분석서
(CSR-v1.0)

NMSC/SCI/ATBD/CSR, 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	1
3. 알고리즘	3
3.1. 이론적인 배경 및 근거	3
3.2. 산출 과정	4
3.3 청천복사휘도 과정 상세 설명	4
3.3.1 단계 1 : 화소 특성 검사	4
3.3.2 단계 2 : 청천복사휘도 처리영역 내의 청천화소 추출	5
3.3.3 단계 3 : 청천복사휘도의 결정	5
3.3.4 단계 4 : 자동품질검사	6
3.4. 검증	6
3.4.1. 검증방법	6
3.4.2. 검증자료	7
3.4.3. 시공간일치방법	7
3.4.4. 검증결과분석	8
4. 산출결과 해석방법	11
5. 문제점 및 개선 가능성	11
6. 참고문헌	12

List of Tables

Table 1. Validation result for clear sky radiance during CMDPS pre- and post-processing and interface development program second operation test period (23. Jan. ~ 15. Feb, 2008)	8
---	---

List of Figures

- Fig. 1. Flow chart for the clear sky radiance algorithm.4
- Fig. 2. Daily variation of IR1 channel (upper) and their clear sky radiance difference (CMDPS CSTB – RTM CSTB) (lower) on January 23, 2008.10
- Fig. 3. Daily variation of water vapor channel (upper) and their clear sky radiance difference (CMDPS CSTB – RTM CSTB) (lower) on January 23, 2008.11

List of Acronyms

CIMSS	Cooperative Institute of Meteorological Satellite Study
CMDPS	COMS Meteorological Data Processing System
COMS	Communication, Ocean and Meteorological Satellite
CSR	Clear Sky Radiance
CSTB	Clear Sky Brightness Temperature
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EUMETSAT	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
GDAPS	Global Data Assimilation and Prediction System
GDAS	Global Data Assimilation System
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
MPEF	Meteorological Product Extraction Facility
MODIS	MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	Meteosat Second Generation
MTSAT-1R	Multi-functional Transport Satellite-1 Replacement
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NESDIS	National Environmental Satellite, Data and Information Service
RMSE	Root Mean Square Error
RTTOV	Radiative Transfer model for the TOVS
TOVS	TIROS Operational Vertical Sounder

1. 개요

청천복사휘도는 산출물 명에서 그 의미를 알 수 있듯이 구름이 없는 청천시에 관측되어지는 복사량을 의미한다. 청천복사휘도는 일반적으로 위성 자료 처리 및 생산과정에서 많이 사용된다. 특히 청천시의 값을 보조 자료로 사용하여 특정 시각, 특정 위치의 관측값과 청천시에 가질 수 있는 참고 값을 비교하여 현상을 탐지하거나 값을 보정하여 유도하는 산출물들에서 이용되어진다. 가장 대표적인 예로 구름탐지의 경우 구름이 존재하는 경우 가시 채널에서는 청천시 반사도보다 상대적으로 높은 반사도를 갖게 되고, 적외채널은 청천시 휘도온도보다 상대적으로 높은 휘도온도를 갖게 되기 때문에 청천시의 참고 값을 이용할 경우 그 탐지의 정확도를 높일 수 있다. 또한 청천복사휘도는 안개 탐지나 에어로솔 탐지, 에어로솔의 강우 강도를 산출할 때에도 유용하게 활용될 수 있다.

청천복사휘도 활용의 다른 한 분야는 수치예보모델에서의 활용이다. NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service)와 CIMSS (Cooperative Institute of Meteorological Satellite Study)는 2001년부터 매시간 청천복사휘도 자료를 산출하고 있으며, 이 자료는 NCEP GDAS (National Centers for Environmental Prediction, Global Data Assimilation System)를 이용하여 자료동화 연구를 수행하고 있다(Su et al., 2003). 정지궤도 기상위성으로부터 산출되는 자료들은 수치예보의 자료동화를 통하여 보다 대기조건의 초기화와 예보에 있어 보다 상세한 묘사를 가능케 한다. 수치예보에 주로 사용되고 있는 산출물은 상층 수증기량, 표면 온도, 연직 온습도 프로파일, 대기운동벡터 등을 들 수 있으며, 청천복사휘도의 경우 실험단계에 있다(Schreiner et al., 2003). ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 전지구 예측에 있어서 GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)와 Meteosat에서 산출된 수증기 채널 청천복사휘도를 이용하는 경우 5일까지의 예측 정확도가 향상되는 결과를 보인 바 있다(Szyndel et al. 2003).

본 보고서는 2절에서 청천복사휘도의 배경 및 목적을 서술하고, 3절에서는 청천복사휘도 산출의 이론적 배경과 개발된 CMDPS 청천복사휘도 산출 알고리즘에 대해 산출 단계에 따라 상세히 기술한 후, 4절에서는 개발된 청천복사휘도 산출 알고리즘의 모듈 개념 및 구성도를 기술하였으며, 마지막으로 5절에서는 문제점 및 향후 개선 방향에 대해 정리하는 순서로 기술하였다.

2. 배경 및 목적

청천복사휘도를 산출하는 방법은 주로 2가지 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 이 중 하나인 위성 자료로부터 직접적으로 청천복사휘도를 생산하는 방법은 관측된 위성 자료 중

구름화소를 제외한 청천화소에 대하여 복사량을 구하는 방법이다. 구름 오염 및 관측 시 잡음을 최소화하고, 일부 구름 지역에 해당하는 화소에 대해서도 주변 청천화소의 값을 이용하여 자료를 얻을 수 있다는 점에서 대부분 단일 화소 자료만을 이용하여 산출하지 않고 일정영역에 대한 평균값을 이용한다. 이러한 과정을 통하여 청천복사휘도를 산출할 경우 그 정확도를 결정하는 가장 중요한 요소가 각각의 화소에 대한 구름탐지의 정확도라고 할 수 있다. 청천복사휘도 생산 자체가 복잡한 알고리즘을 사용하지 않고 단순히 청천화소에 대한 복사량을 평균하기 때문에, 구름탐지에 오류가 있을 경우, 즉 구름 오염 화소를 제대로 제거하지 않는 경우 정확도가 떨어지는 결과를 초래한다. 또한 영역평균을 취하는 과정은 평균에 활용되는 영역이 어느 정도 균질한 복사특성을 가진다는 가정에서 출발한다. 따라서 이러한 가정을 만족하지 않는 영역에서는 산출된 청천복사휘도값이 그 영역을 대표하는 값이라 할 수 없게 된다. 위성영상에서 우리는 쉽게 육지와 해양의 경계에서 관측값에 차이가 존재하는 것을 발견할 수 있으며, 이와 같이 육지와 해양이 함께 포함되어진 산출영역에서는 청천복사휘도 생산에 주의를 기울여야 한다.

청천복사휘도를 생산하는 또 다른 방법으로는 복사전달모델을 이용하여 이론적으로 모의하는 방법이 있다. 복사전달모델의 수행을 위해서는 해당되는 화소에 대한 지표면온도, 지면특성정보, 대기의 온도와 습도 프로파일 및 대기성분농도 등의 입력 자료가 요구된다. 복사전달모델에서 주로 사용하는 입력 자료는 존데 관측 자료이다. 하지만 존데 관측 자료는 그 특성상 시·공간적인 한계(6시간 또는 12시간 간격, 고층기상관측소 지점)를 가지고 있다. 따라서 위성에서 관측한 것과 같은 청천복사휘도를 생산하기 위해서는 수치예보모델 자료를 주로 활용한다. CMDPS에서도 입력 보조 자료로 청천복사휘도 모의자료를 활용하고 있으며 이 때 사용되는 방법이 여기서 기술하는 복사모델을 이용하는 이론적 방법이다. 기상청의 현업 전구모델인 GDAPS T426 Gln (Global Data Assimilation and Prediction System) 자료를 입력 자료로 사용하며, 복사모델은 RTTOV (Radiative Transfer model for TOVS – TIROS Operational Vertical Sounder)를 이용한다(국립기상연구소, 2007). 복사모델에 입력되는 변수는 수치모델의 각 격자에 해당하는 표면온도와 대기층의 온도와 습도 프로파일 등이며, 청천 조건으로 모의를 수행한다. 따라서 항상 모든 영역에 대하여 청천복사휘도가 산출되어 질 수 있다는 장점이 있다. 반면 산출된 청천복사휘도의 정확도에는 여러 가지 한계가 존재한다. 그 중 가장 대표적인 오차 요인은 대기 창 채널의 경우 표면온도의 부정확성이다. 아직까지 수치모델에서 산출되는 표면온도에는 상당한 오차가 존재한다. 이는 수치모델 특성상 지형 자료가 완화된 사용되며, 현재의 현업용 수치모델이 지면물리과정을 정확히 모사하지 못한다는 데에서 기인한다. 특히 일사량에 의한 표면온도의 일 변동에 대한 모사에 한계가 있는 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 적설역에 대한 모의도 적설역에 대한 정보가 월 평균치로 입력되는 등 실제 현상과는 차이가 있다. 모의된 청천복사휘도의 정확도에 오차를 발생하는 또 다른 대표적인 요인은 수증기량에 있다. CMDPS 자료처리의 특성상 수치예보 분석 자료를 사용할 수 없으며, 3시간에서 길면 12시간 예측된 자료를 사용하게 된다. 예측장은 실제 대기와 정확히 일치하기 어

려우며, 특히 수증기 패턴의 예측 성능에서 오는 차이는 수증기 채널의 청천복사휘도 값의 정확도에 큰 영향을 미치게 된다.

3. 알고리즘

3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

CMDPS의 산출요소 중 하나인 청천복사휘도는 앞 절에서 기술한 두 가지 방법 중 첫 번째 방법인 위성자료로부터 직접 산출하는 방법을 채택하였다. 이 경우 청천복사휘도를 구하는 과정은 이론적으로 매우 간단하다. 간략히 그 기본 개념을 설명하면 청천화소만을 이용하여 원하는 산출해상도 영역에 대하여 공간 평균함으로써 청천복사휘도를 산출하는 것이다. 청천복사휘도의 생산은 COMS의 5개 채널 모두에 대해서 각각 생산하며 이 때 가시 채널의 경우 태양천정각 자료를 기준으로 하여 주간인 경우에만(실제로는 반사도 값이 존재하는 영역에 대해서만) 산출되게 되고, 수증기 채널을 제외한 적외채널의 경우 청천화소만을 이용한다. 수증기 채널의 경우 산출영역을 좀 더 확보하기 위하여 청천화소 뿐만 아니라, 구름분석 자료를 이용하여 수증기 채널의 복사휘도값에 영향을 주지 않는다고 판단되는 하층운 영역의 자료를 추가적으로 사용한다. 이 과정에서 구름이 없는 청천화소에 대하여 각 화소별로 청천복사휘도를 구할 수 있지만, CMDPS에서는 일정 산출영역에 대해 해당영역에 포함되는 청천화소의 값들을 평균하는 방식을 이용한다. CMDPS의 사용자 요구사항은 100 km 또는 이하의 해상도를 제시(기상청, 2004)하였으며, 현재는 수치예보모델의 해상도를 감안하여 적외채널 해상도의 7×7 화소, 즉 약 30 km의 해상도로 산출하는 것으로 개발되었다. 가시 채널과 적외채널 중 대기창 영역의 채널(즉, 수증기 채널만을 제외한 나머지 3개 채널)의 경우 지면 조건이 육지인 경우와 해상의 경우 그 경계면에서 청천복사휘도값이 어느 정도 차이가 난다. 따라서 이러한 점을 감안하여 청천복사휘도 산출시 육지와 해상에 대해 별도로 산출하고 육지에 대한 청천복사휘도의 계산 시에는 주변 영역 중 육지에 해당하는 화소의 값만을 사용하고, 해상의 경우 해상 화소만을 사용하는 것으로 하였다.

이렇듯 청천복사휘도는 그 산출이론이 복잡한 이론적 알고리즘을 사용하여 산출되는 것이 아니며, 그 정확도 또한 구름탐지 결과에 의해 상당히 좌우되게 된다. CMDPS의 개발 과정에서 청천복사휘도 알고리즘 개발의 기초로 참고한 알고리즘은 MSG(Meteosat Second Generation)의 MPEF(Meteorological Products Extraction Facility) 알고리즘(EUMETSAT, 2004)이다. 이는 정지궤도위성 자료를 이용하고, 실시간 산출을 위한 현업 알고리즘이라는 점에서 참고 알고리즘으로 선택하였다.

3.2. 산출 과정

청천복사휘도를 산출하는 알고리즘은 앞에서 기술한 바와 같이 청천 시 복사관측값에 대한 평균값을 구하는 과정이며, 따라서 그 알고리즘도 복잡하지 않다. 현재 CMDPS의 청천복사휘도 알고리즘 개발에 사용된 내용은 1차년도 개념 설계 단계에서 설계된 내용과 거의 동일하다. 다만 마지막 단계인 산출된 청천복사휘도의 위치를 재결정하는 단계의 경우 그 영향이 크지 않은 것으로 분석되었으며, 산출된 청천복사휘도의 활용을 위해서도 일정한 위치에서의 자료 산출이 유리하다는 면을 감안하여 개발 과정에서 제거하였다. 또한 태양천정각 검사 단계 부분도 구름탐지과정에서 출력된 결과를 읽어 들여 그대로 사용하는 것으로 하여 알고리즘을 간단하게 하는 등 CMDPS 내의 하나의 모듈로 구성되는 과정에서 알고리즘 흐름도에 변경이 있었다. 이렇게 최종 결정된 알고리즘에 대한 흐름도를 Fig. 1에 요약하였다. 알고리즘을 각 단계별로 분리하여 기술하면 첫 번째 단계는 CMDPS 관측 자료 중 청천복사휘도 산출 화소에 대하여 육지와 해양, 주간과 야간을 분류하는 단계이다. 다음으로 단계 2는 청천복사휘도 처리 영역에 대해 청천화소를 추출하는 과정이다. 이 때 수증기 채널 자료 산출을 위하여 하층운 영역도 추가로 추출한다. 태양천정각 검사 단계는 본 알고리즘의 입력 자료로 대체하였다. 다음 단계인 단계 3은 청천복사휘도 결정 단계로 각 처리영역 내에서 선택된 화소들의 복사휘도를 평균하는 기능을 수행한다. 알고리즘의 마지막 단계는 산출된 청천복사휘도의 품질을 검사하는 자동품질 검사 단계로 공간 일관성 검사 등을 수행하여 품질 정보를 산출하는 단계이다. 공간 균질성 검사 시에는 산출한 화소 영역 내에 육지와 해양 화소의 포함여부를 이용하여 그 품질 정보를 산출하고 또한 표준편차 검사를 통하여 공간 일관성 검사를 수행하도록 개발하였다.

3.3. 청천복사휘도 과정 상세 설명

청천복사휘도 산출과정은 현재 4개의 단계로 구성되어 있으며 단계별로 보다 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

3.3.1. 단계 1 : 화소 특성 검사

해당 화소가 육지인지 해양인지, 그리고 주간 화소인지 야간 화소인지를 확인하는 단계이다. 각 화소별 육지/해양 자료는 CMDPS의 정적입력 자료인 지표피복 분류 중 Land/Sea Mask 자료를 이용한다. 해당 화소가 육지인 경우 청천복사휘도 산출 시 청천복사휘도 산출영역에 포함되는 주변 화소 중 육지 자료만을 사용하게 되며, 반대의 경우도 마찬가지이다. 해당 화소에 대한 주간/야간 검사자료는 구름탐지 알고리즘에서 일정

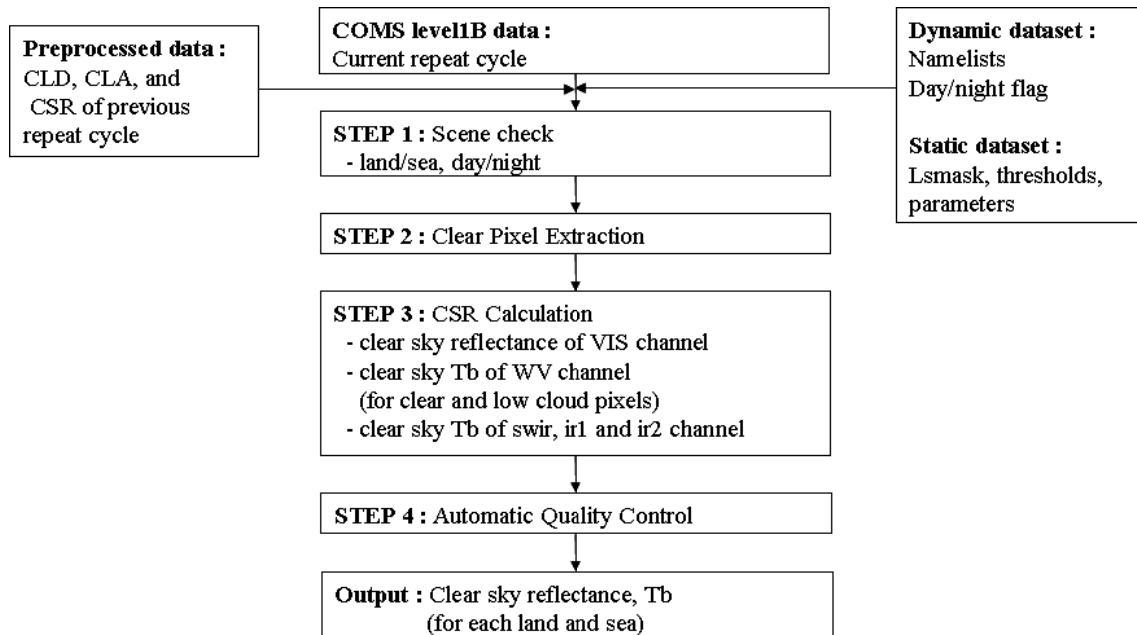


Fig. 1. Flow chart for the clear sky radiance algorithm.

경계값을 이용하여 주간/야간/황혼으로 분류한 자료를 사용한다. 주간인 경우 가시 채널을 포함한 5개 채널값을 산출하며, 야간인 경우 가시 채널 자료를 제외한 4개 채널값이 산출된다. 실제 산출되는 채널수는 단파적외 채널의 분리성분으로 인하여 주간과 야간 각각 6개, 4개 채널이 생산된다.

3.3.2. 단계 2 : 청천복사휘도 처리영역 내의 청천화소 추출

처리영역 내에 존재하는 청천화소의 추출은 CMDPS의 구름탐지 및 구름분석 알고리즘의 결과를 이용한다. 수증기 채널을 제외한 가시 및 적외채널은 구름탐지 결과가 청천으로 분류된 화소만을 선택하며, 수증기 채널은 구름탐지에서 청천으로 분류된 화소뿐만 아니라, 구름분류에서 운형이 하층운으로 분류된 화소를 추가적으로 사용한다. 현재 청천복사휘도는 7×7 화소 단위로 산출하며, 청천화소의 수가 적은 경우 그 정확도가 영역을 대표할 수 없기 때문에 이 처리영역 내에서 선택된 청천화소의 수의 비율이 10 % 이상인 경우에 대하여 산출한다.

3.3.3. 단계 3 : 청천복사휘도의 결정

이 단계는 각 채널별 청천복사휘도를 산출하는 단계이다. 가시 채널 및 단파적외 채널 반사 성분의 경우 주간의 경우에 대하여 산출하며, 단파적외 채널(현재는 지구방출성분), 수증기, 적외1, 적외2 채널의 경우 주야간 모두에 산출된다. 여러 차례 설명했듯이 수증

기 채널의 경우 하층운 화소도 청천복사휘도 산출에 활용한다. 현재는 총 6개 채널에 대하여 육지와 해상의 경우에 대하여 각각 산출하기 때문에 총 12개의 자료가 산출된다. 청천복사휘도 산출 방법은 간단하다. 1단계, 2단계를 통하여 얻어진 각각의 조건별, 청천화소를 7×7 화소 영역 내에서 평균을 취한다. 현재는 각 화소에 대하여 7×7 영역 이동평균 방식을 취하기 때문에 청천복사휘도는 COMS 관측영역의 모든 화소에서 산출되게 된다. 산출되는 청천복사휘도의 단위는 가시 및 단파적외 채널 반사성분은 반사도(%), 나머지 적외채널들은 휘도온도(K)이다.

3.3.4. 단계 4 : 자동품질검사

최종 청천복사휘도 산출물에 대한 부가적인 품질 정보를 제공하기 위하여 아래와 같은 3가지의 자동품질검사를 수행한다.

가. 공간 균질성 검사

처리영역내의 청천화소 값이 가지는 표준편차 값이 경계값(thr_std)보다 큰 값을 갖는다면 각 처리영역에 대한 품질 flag는 100으로 설정하며 이는 'poor quality, spatial check'을 의미한다. 표준편차 검사는 각 채널별로 실시하며, 검사를 위해 사용하는 경계값도 채널별로 다른 값을 가진다.

나. 지표 균질성 검사

처리 영역 내에 지표가 육지와 해양이 모두 존재하는 경우 Geolocation (Navigation)의 오차 등으로 인하여 청천복사휘도의 품질이 저하될 가능성이 크다. 따라서 이 경우에 대하여 품질 flag는 1000으로 설정하고 이는 'poor quality, mixed surface type'을 의미한다. 이 검사는 모든 채널에 대하여 같은 값을 가진다.

3.4. 검증

3.4.1. 검증방법

청천복사휘도 산출 결과의 검증을 위하여 CMDPS에서 연속형 변수의 검증 기법으로 제안된 통계적 검증기법을 적용하여 검증을 수행하였다. 검증에 사용된 검증 스코어는 correlation coefficient(R), Bias(Mean error)와 Root mean square error(RMSE)이며 그 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \text{ Bias (Mean Error)} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \\ \textcircled{2} \text{ RMSE (Root Mean Square Error)} &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \\ \textcircled{3} \text{ R (Correlation Coefficient)} &= \frac{\sum (F - \bar{F})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum (F - \bar{F})^2} \sqrt{\sum (O - \bar{O})^2}} \end{aligned}$$

3.4.2. 검증자료

위성자료를 이용하여 생산된 청천복사휘도의 정확도를 검증하는 것은 쉽지 않다. 청천복사휘도를 검증하는 한 가지 방법은 품질이 좋은 다른 위성자료를 이용하여 검증하는 방법이다. 위성마다 센서의 특성에 의해 관측되는 복사휘도값은 다를 수 있으며, 이를 휘도온도로 변환한 자료는 검증에 사용될 수 있다. 하지만 극궤도 위성자료의 경우, 예를 들면 MODIS(MODERate-resolution Imaging Spectroradiometer) 자료, 같은 위치에 대해서는 하루에 2번 정도 산출되게 되며, 이를 이용하는 경우, 두 위성의 관측각에 따른 불확실성 등이 존재할 수 있다(물론 그림에도 불구하고 다른 산출물의 경우 MODIS 산출자료와의 검증을 수행하고 있다). 또 하나의 방법은 앞서 청천복사휘도를 산출하는 방법으로 제시했던 복사전달모델을 이용하여 이론적으로 산출한 청천복사휘도 모의자료를 이용하여 검증하는 방법이 있다. 복사전달모델을 개발하거나, 이론적으로 청천복사휘도 산출을 시도하는 분야에서는 반대로 위성으로부터 산출된 청천복사휘도 자료를 이용하여 검증하기도 한다.

본 사업에서는 우선적으로 다른 위성에서 산출되는 정확도가 알려진 자료를 검증자료로 이용하려는 시도를 하였으나, 현재 준 실시간으로 얻을 수 있는 자료는 Terra/MODIS에서 제공하는 25 km 해상도의 8일 평균 Clear Sky Radiance (MODCSR_8 ; http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_MODCSR_8.html) 자료가 있으나 이는 Level 3 자료로 실시간 산출되는 Level2 자료의 검증용으로는 적절하지 않으며, 또한 MTSAT(Multi-functional Transport Satellite)을 이용해서도 공식적인 청천복사휘도가 제공되지 않는다. 따라서 산출된 청천복사휘도의 정확도를 평가하기 위하여 CMDPS의 입력 자료로 사용되는 복사전달모델을 이용한 청천복사휘도 모의자료를 검증 보조 자료로 사용하는 것으로 결정하였다. CMDPS의 입력 보조 자료로 사용되는 모의자료는 복사전달모델로는 RTTOV를 이용하며 모의를 위해 입력되는 대기조건은 기상청에서 현업으로 사용되고 있는 GDAPS T426 자료를 사용한다. 이 경우 가시 채널 및 단파적외 반사성분에 대한 청천복사휘도는 검증할 수 없으며, RTTOV로 모의가 가능한 단파적외, 수증기, 적외1, 적외2 채널에 대해서만 검증이 수행된다.

3.4.3. 시공간일치방법

GDAPS T426은 6시간 간격으로 수행되며, 현재 CMDPS에서 사용하는 모델인 GDAPS G16n T426의 경우 3시간 간격으로 3시간, 6시간, 9시간 예측장을 생산한다. CMDPS의 입력 자료로 사용할 경우에는 3시간 간격의 자료를 시간적으로 내삽하여 1시간 간격의 자료를 생산하여 사용하고 있다. 한편 청천복사회도의 검증을 위해서 사용하는 자료는 이러한 시간 내삽과정을 사용하지 않고, 3시간 간격의 예측장을 이용하여 모의한 자료를 이용한다. 즉 00UTC 초기 자료의 3시간, 6시간 예측자료, 06UTC 초기 자료의 3시간, 6시간 예측자료 등을 이용한다. 시간일치의 경우 검증 보조 자료를 기준으로 30분 이내의 가장 가까운 위성관측 시각을 선택한다. 즉 예측시각이 00UTC인 경우 그 전날 23시 33분 자료와 비교하게 된다. 공간일치는 현재 CMDPS에서 산출되는 모든 격자로 검증 보조 자료를 내삽하여 화소별로 비교하도록 구성되었다. 이는 CMDPS의 입력 보조 자료로 모의자료를 활용할 때와 같은 방법을 이용한다. 청천복사회도가 7×7 이동평균 방식으로 생산되는 것을 감안하면 결론적으로 CMDPS의 각 격자별로 내삽된 모의자료를 기준으로 주변 7×7 화소 값을 평균하여 구한 청천복사회도를 비교하는 방식이 된다.

3.4.4. 검증결과분석

기술한 검증 방법을 이용하여 산출된 2차 시험운영 결과를 Table 1에 예로 제시하였다. Table에서 보는 바와 같이 검증 결과는 bias, RMSE, Correlation Coefficient가 각각의 채널별로 산출되어진다. 청천복사회도는 구름탐지가 어느 정도 정확도를 가질 경우 상당히 좋은 상관도 값을 갖는다. 이는 특히 적외1, 적외2 채널에서 뚜렷하며, 단파적외 채널 또한 높은 상관도를 갖는다. 한편 bias와 RMSE의 경우 적외1, 적외2 채널의 경우 -1 K 내외의 bias를 갖으며, 4 K에 가까운 RMSE 값을 갖는다. 반면 단파적외 채널과 수증기 채널의 경우 bias가 각각 -2.67 K, $+2.58$ K, RMSE가 5.73 K, 5.95 K로 정확도가 적외1, 2 채널에 비해서 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 단파적외 채널은 성분 분석 시 태양천정각이 큰 지역에서 나타나는 큰 음의 bias의 영향인 것으로 분석되며, 수증기 채널의 경우는 수치예

Table 1. Validation result for clear sky radiance during CMDPS pre- and post-processing and interface development program second operation test period (23. Jan. ~ 15. Feb, 2008)

Validation score channel	R	bias (K)	RMSE (K)
SWIR	0.959	-2.670	5.726
WV	0.859	2.584	5.950
IR1	0.971	-0.942	3.719
IR2	0.969	-1.035	4.034

보모델의 수증기 패턴과 현실과의 차이로 기인한 것으로 볼 수 있다. 청천복사휘도의 정확도를 단순히 검증 스코어만으로 파악하기는 부족한 면이 있다. 오차 특성의 분석을 위하여 CMDPS에서 산출된 청천복사휘도에서 검증 보조 자료로 사용하고 있는 복사모델 청천모의자료를 뺀 영상을 Fig. 2에 보였다. 이 영상은 2008년 1월 23일 사례이며, 적외1 채널의 오차의 일변화를 보기 위하여 3시간 간격으로 영상을 보였고, -15 K에서 15 K까지 파랑색에서 흰색, 빨강색으로 표시하였다. 빨강색으로 표시된 부분은 CMDPS의 청천복사휘도가 높게 산출된 것을 의미하며 반대로 파랑색으로 표시된 영역은 낮게 산출된 것을 의미한다. 뚜렷하게 나타나는 첫 번째 오차 특성으로는 호주 지역의 양의 bias이다. 4차년도 보고서의 청천모의자료 생산에서도 기술했던 바와 같이 호주 지역의 경우 복사모델의 입력 자료로 사용되는 GDAPS가 현실적인 지표면온도를 예측해 내지 못하는 특성으로 인하여 모의된 청천복사휘도의 정확도가 떨어진다고(국립기상연구소, 2007). 특히 본 사례와 같이 남반구가 여름인 경우 대부분 호주지역에서 보는바와 같이 양의 bias를 갖는 것으로 나타나며, 태양의 일사량이 강한 주간의 경우 15 K 이상의 오차가 나타날 수 있다. 두 번째로 제시할 수 있는 오차 특성은 중국 서부 고원지대에서부터 미얀마, 벵골만에 걸친 양의 bias 지역이다. 이 또한 청천 복사모의자료의 특성 분석에서 제기되었던 바와 같이 중국 서부의 급격한 고도변화가 존재하는 경계에서 음의 bias에서 양의 bias로 변화되는 경향이 나타나며 이 경향은 주간에 더 뚜렷하게 나타난다. 한편 북태평양의 청천역에서는 흰색과 약간 붉은 색이 나타나고 있으며 3 K를 넘지 않는 약간의 양의 bias를 갖는 것으로 분석되었다. 반면 구름 가장자리 역에서 구름이 완전히 제거되지 않아 음의 bias가 나타나는 것이 눈에 띄며, 구름탐지와 연계성과 함께 청천복사휘도 산출 알고리즘에서의 처리 방안이 고려되어야 할 부분이다. 마지막으로 중국하남지역은 주간에는 음의 bias, 야간에는 약간의 양의 bias가 나타난다. 적외 영상에서 이 지역은 지속적으로 하층운으로 덮여 있음을 알 수 있다. 이 지역의 경우 구름탐지가 적절히 이루어지지 않았음을 알 수 있으며, 특히 야간의 경우에 그러한 문제점이 뚜렷하다. 구름역임에도 불구하고 야간에 양의 bias를 갖는다는 것은 청천복사모의자료가 그만큼 낮은 값을 가진다고 판단할 수 있다. 구름탐지에서도 이 청천복사모의자료를 이용하여 경계값이 설정됨을 감안하면 이러한 부분에 대한 추가 분석이 이루어져야 할 것이다.

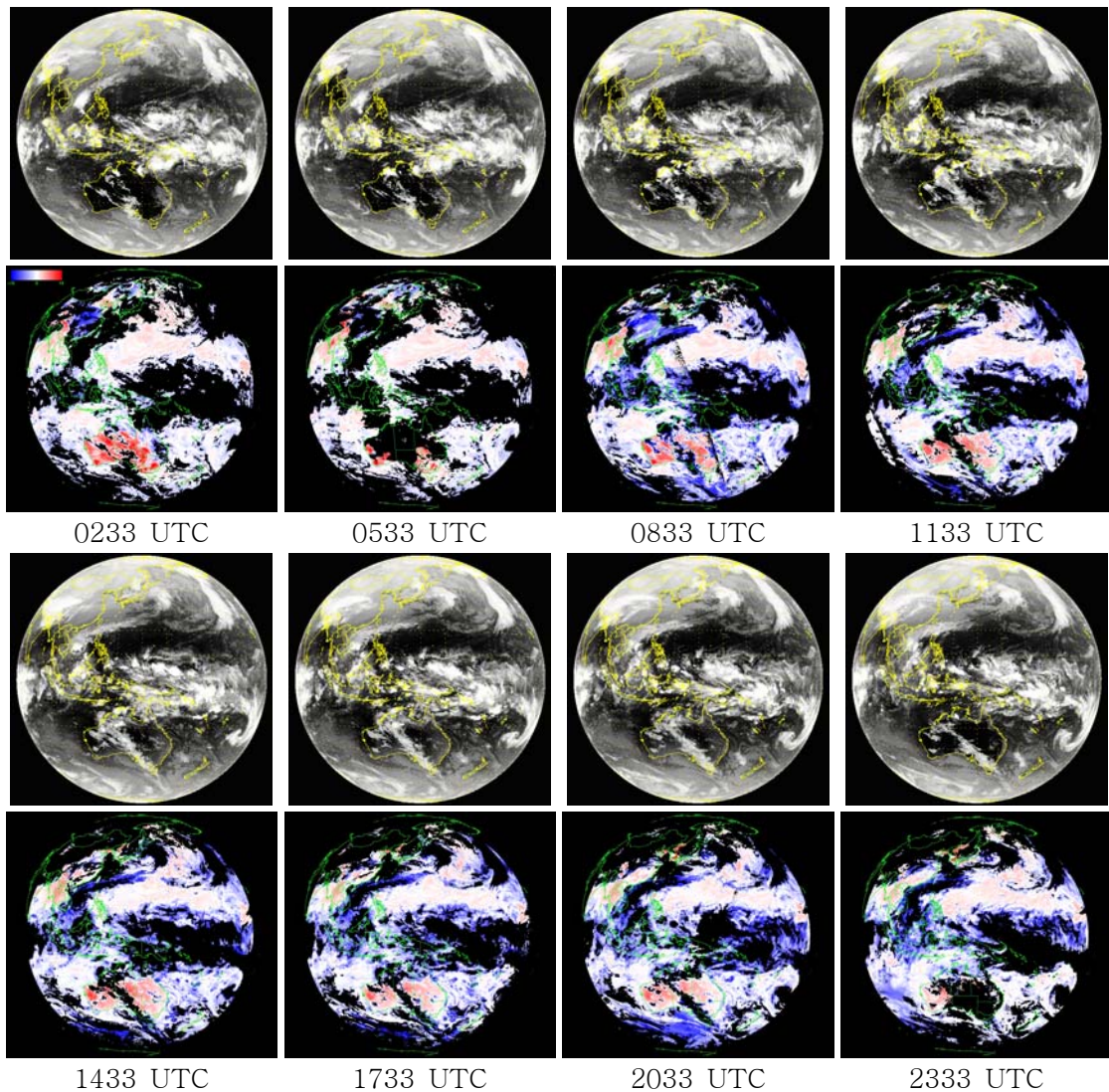


Fig. 2. Daily variation of IR1 channel (upper) and their clear sky radiance difference (CMDPS CSTB - RTM CSTB) (lower) on January 23, 2008.

다음으로 수증기 채널에 대한 영상을 Fig. 3에 보였으며, 6시간 간격으로 영상을 표시하였다. 수증기 채널의 청천복사회도는 적외채널에 비하여 bias의 패턴이 더욱 두드러지게 나타난다. 전반적으로 건조 지역에서는 양의 bias, 습윤 지역에서는 상대적으로 음의 bias를 보이며, 이는 주간과 야간에 상관없이 나타난다. 이러한 차이는 수치예보모델이 모의한 수증기 패턴이 실제 대기와 일치하지 않기 때문으로 판단되며, 수증기량이 실제 대기에 비해서 그 차이가 완화되어 모사되는 것으로 볼 수 있다.

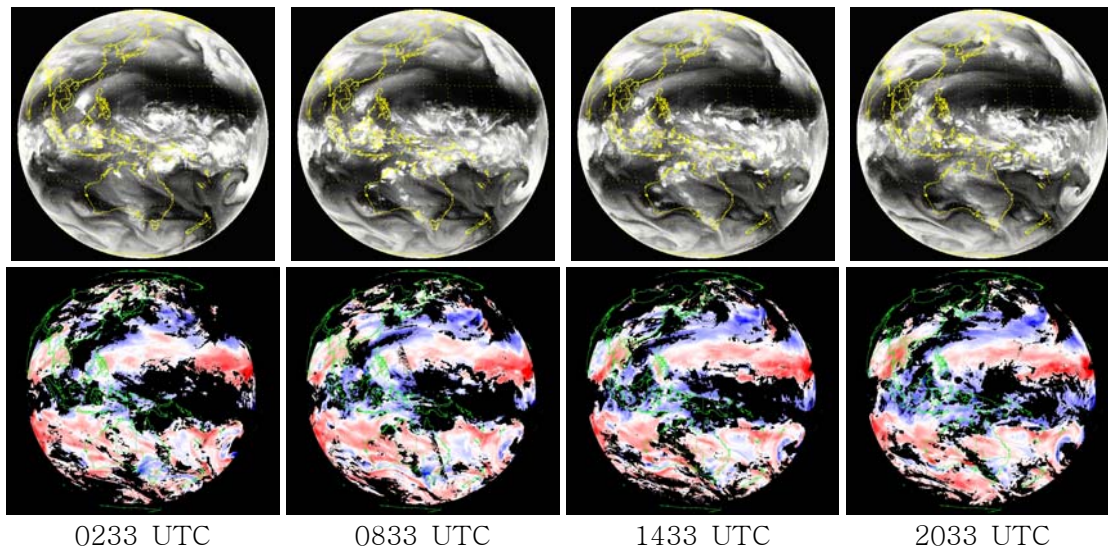


Fig. 3. Daily variation of water vapor channel (upper) and their clear sky radiance difference (CMDPS CSTB - RTM CSTB) (lower) on January 23, 2008.

4. 산출결과 해석방법

지금까지 CMDPS의 청천복사회도 산출 결과를 분석하는 과정에서도 짐작할 수 있듯이 청천복사회도의 검증은 산출된 결과의 정확도를 평가하는 측면과 함께 검증에 사용되는 청천모의자료의 정확도 및 오차 특성을 평가하는 방식으로 분석이 이루어짐을 알 수 있을 것이다. 이는 복사모델을 이용한 청천모의자료가 실제 위성자료를 이용하여 산출하는 CMDPS의 청천복사회도 값을 평가하는 척도가 될 정도의 충분한 정확도를 가지고 있지 않기 때문이다. 이러한 제약사항으로 인하여 다른 위성에서 산출되는 정확도가 알려진 자료를 검증자료로 이용하려는 시도가 앞서 이루어졌으나, 현실적으로 사용할 수 있는 자료의 부재로 인하여 한계를 가짐에도 불구하고 복사모의자료를 이용한 검증 체계를 구축하였다. 따라서 검증 결과의 분석에 있어서도 보조 자료의 특성을 고려한 해석이 요구된다.

5. 문제점 및 개선 가능성

앞에 보인 영상에서 아직까지도 산출된 청천 복사회도에 구름의 결이 나타나는 문제가 존재함을 알 수 있었다. 이러한 문제점은 구름탐지 알고리즘의 구름탐지 경계조건을 강화 시킴으로써 해결될 수 있으리라 판단되나, 청천복사회도 알고리즘에서도 7×7 영역 내에서 표준편차를 이용하여 범위보다 낮은 휘도온도를 제거하고 평균을 취하는 루틴의 적용이 필요하다는 결론을 얻었다. 따라서 이를 적용하는 작업을 수행할 예정이다. 또한 알고리즘 설

계에서는 제시하였으나 현재 적용하고 있지 않은 부분에 대한 완성 작업을 수행할 예정이다. 이는 두 가지로 첫 번째로는 수증기 채널 산출 시 하층운 화소를 추가적으로 사용하는 작업이며, 이에 대한 프로그램은 완성되었으나, CMDPS 구름분석 자료를 이용해야 하기 때문에 이에 대한 분석을 수행하고 있다. 두 번째 요소는 이전 시각의 CSR을 이용하는 부분이다. 이 부분의 적용은 청천복사회도 산출에는 영향을 주지 않고, 단지 품질정보 생산에 영향을 미치는 요소이다. 구체적으로는 자동품질검사 시 제시한 시간 일관성 검사 부분으로 이 부분 역시 프로그램 상으로는 구현되어 있으나 namelist 상에서 사용하지 않도록 설정하여 시험운영이 진행되었다. 마지막으로 수행될 내용은 청천복사회도의 합성장을 생산하는 연구이다. 이는 사용자 요구사항에 제시된 내용은 아니나 그 활용성을 감안하여 생산하는 방향으로 진행하고자 한다.

6. 참고문헌

- 국립기상연구소, 2007: 통신해양기상위성 기상자료처리시스템 4차년도 보고서, 756
- 기상청, 2004, 기상관측임무 사용자 요구사항, 62
- EUMETSAT, MSG Ground Segment: MPEF Algorithm Specification Document, pp. 50
- Schreiner, Anthony J.; Schmit, Timothy J.; Kopken, Christina; Su, Xiujuan; Holland, Curtis and Jung, James A.. Introducing the GOES imager Clear-Sky Brightness Temperature (CSBT) product. Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 12th, Long Beach, CA, 9-13 February 2003 (preprints). American Meteorological Society, Boston, MA, 2003, Paper P4.23. Call Number: Reprint # 3306
- Su, Xiujuan, John. C. Derber, Jim. A. Jung, and Yoshihiko Tahara, Deniss Keyser, Russ Treadon, 2003: The usage of GOES imager Claer-Sky Brightness Temperatures in the NCEP Global Data Assimilation System, Preprints, 12th Conf. On Satellite Meteorology and Oceanography, Long Beach CA.