

## 표면도달일사량 검증 시 발생하는 시간 불일치 조정을 통한 정확한 일사량 검증: MTSAT-1R 자료 이용

염종민\* · 한경수\*\*† · 이창석\*\* · 김도용\*\*\*

\*부경대학교 환경대기과학과, \*\*부경대학교 위성정보과학과, \*\*\*기상청 기상지진기술개발사업단

### An Improved Validation Technique for the Temporal Discrepancy when Estimated Solar Surface Insolation Compare with Ground-based Pyranometer: MTSAT-1R Data use

Jong-Min Yeom\*, Kyung-Soo Han\*\*†, Chang-Suk Lee\*\*, and Do-Yong Kim\*\*\*

\*Dept. of Atmospheric Science, Pukyong National University

\*\*Dept. of Satellite Information Science, Pukyong National University

\*\*\*Center for Atmospheric Sciences and Earthquake Research, the Korea Meteorological Administration

**Abstract :** In this study, we estimate solar surface insolation (SSI) by using physical methods with MTSAT-1R data. SSI is regarded as crucial parameter when interpreting solar-earth energy system, climate change, and agricultural production predict application. Most of SSI estimation model mainly uses ground based-measurement such as pyranometer to tune the constructed model and to validate retrieved SSI data from optical channels. When compared estimated SSI with pyranometer measurements, there are some systemic differences between those instruments. The pyranometer data observed upward-looking hemispherical solid angle and distributed hourly measurements data which are averaged every 2 minute instantaneous observation. Whereas MTSAT-1R channels data are taken instantaneously images at fixed measurement time over scan area, and are pixel-based observation with a much smaller solid angle view. Those temporal discrepancies result from systemic differences can induce validation error. In this study, we adjust hour when estimate SSI to improve the retrieved accurate SSI.

**Key Words :** Solar Surface Insolation (SSI), pyranometer, temporal discrepancy, MTSAT-1R.

**요약 :** 본 연구에서는, MTSAT-1R 위성 자료를 이용하여 표면도달일사량 (SSI: Solar Surface Insolation)을 산출한다. 표면도달일사량은 태양-지구에너지시스템, 기후변화, 그리고 농업 생산 예측 모델 활용과 같은 다양한 분야에 사용되는 주요 변수이다. 대부분의 표면도달일사량 산출모델은 지상 관측 일사계 자료를 이용하여 모델의 검·보정을 수행한다. 위성자료를 이용하여 산출된 표면도달일사량과 지상 관측 일사값을 서로 비교할 때, 기기 차에 의해 발생하는 시스템 오차가 존재한다. 지상 관측 일사계의 경우에는 2분마다 관측된 전천 일사량을 평균하여 시간일사 대푯값으로 제공한다. 반면 위성을 이용하여 산출된 표면도달일사량의 경우에는, 특정시간에 대한 순간 관측 값을 이용하며, 단위 화소 크기에 대한 공간 해상도로

제공된다. 시스템 차에 의해 발생하는 시간적 불일치는 지상 관측 값과의 검·보정 시, 오차 값을 포함한다. 본 연구에서는, 시간 불일치 조정을 통해 보다 향상된 표면도달일사량 검증 기법을 제공하고자 한다.

## 1. 서론

표면도달일사량(Solar Surface Insolation: SSI)은 주어진 지면 화소 내 입사하는 태양 복사에너지의 양을 의미한다. 이러한 표면도달일사량은 태양-지구 에너지 시스템 연구에서 사용되는 기초자료로서 대기, 해양, 식생, 지면정보, 물 수지 변동 그리고 기후변화 탐지 등 지구환경 특성을 파악하는 대부분의 연구에 활용된다. 또한, 시·공간적으로 고해상도를 가지는 위성자료를 통해 산출된 일사량은 수치모델이나 기후모델의 입력 자료로 사용되며, 특히 농업기상, 임업 등에서 그 활용도가 매우 높은 변수다. 해양의 경우를 예로 들면, 유광층(euphotic zone)에 존재하는 플랑크톤은 해수면에 입사하는 태양 복사에너지와 대기 중의 이산화탄소를 이용하여 산소를 생산하는 역할을 담당한다. 이러한 해양 표층 플랑크톤이 번식하기 위해 필요한 중요 기상 변수 중의 하나가 해면도달일사량이다. 따라서 해면도달일사량을 활용하여 표층수의 해양환경 특성(광합성조건)을 파악하여, 실제 표층 플랑크톤에 의해 소비되는 이산화탄소량을 산출할 수 있으며, 나아가 현재 전 세계 가장 큰 이슈로 떠오르고 있는 지구 온난화 연구의 기초 자료로서 활용 될 수 있다(Kawamura *et al.*, 1998). 하지만 현재 현업에 운용되고 있는 지표 관측 일사계 경우 그 특성상 앞에서 언급한 다양한 연구를 위한 기초 자료로 사용되기에는 많은 어려움을 가지고 있다. 지상에서 관측되는 일사량은 농업기상, 해양 특성 연구, 그리고 수치 모델에서 요구하고 있는 만큼의 시·공간적 해상도를 가지는 지상관측 값을 산출 하기 어렵다. 특히 해양에서의 직접 관측은 거의 불가능하다. 일반적으로 해면에서 일사량을 관측하는 장비는 거의 없을뿐더러, 한반도 주변 해양의 특성을 정밀 하게 관측할 수 있는 장비인 부이(buoy)는 일사량을 관측하지 않는다. 과거에 이러한 문제를 해결하기 위해 관측이 용이한 운량과 같은 다른 기상 요소를 이용하여 해양에서의 일사량을 산출하였다. 하지만 경험식에서 필요한 운량자료는 주로 선박자료를 이용하였으나 자료의 양과 질이 매우 떨어질 뿐만 아니라, 시·공간적으로 균질하지 못하다는 단점

을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 기상위성을 이용하여 표면도달일사량을 산출하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 위성은 그 관측 범위가 매우 넓고 시·공간적으로 고해상도의 일사량 자료를 제공할 수 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 현재 구축되어 있는 지상 관측 네트워크로는 일사량 공간적 분포 특성을 파악하기에 많은 어려움이 있다. 그래서 과거에는 이러한 문제를 해결하기 위해, 비교적 관측이 용이한 운량과 같은 다른 기상 요소를 활용하여 일사량을 추정하는 다양한 경험식이 사용되었다. 하지만 경험식을 이용한 표면도달일사량 산출 방식은 지상 자료의 시·공간적 불일치와 지역적 특성에 민감도가 높은 점 때문에 많은 문제점을 가지고 있었다. Vonder Haar and Ellis (1978)는 위성 자료를 이용하여 표면도달일사량 값을 산출할 수 있다는 가능성을 제시했지만, 극궤도 자료를 이용하여 태양-지구 에너지 시스템 연구에 중요한 요소인 구름의 시간적 일사 변화 특성을 제시하는데 많은 어려움을 가지고 있었다. Tarpley(1979)는 정지기상위성인 GOES 자료를 이용하여 통계학적 회귀계수를 이용하여 표면도달일사량을 산출하였다. 산출된 일사량은 일일 평균 지면 일사계와 비교 했을 때 약 10%의 차를 보였다. 회귀식에 사용되는 총 11개의 각기 다른 계수값을 이용하여 청천 시와 구름 존재 시를 구분하여 표면도달일사량을 산출하였다. 물리적 모델을 이용한 일사량 산출 방법은 Gautier *et al.*(1980)와 Kizu(1995), Kawamura(1998)등에 의해서 연구가 수행되었다. 물리 모델은 지표면에 입사하는 태양 에너지의 감쇠 정도를 물리적으로 계산함으로써 일사량 값을 산출한다. 따라서 물리 모델은 대기 요소에 의한 대기 투과도를 얼마나 정확하게 수식으로 표현하느냐가 산출되는 일사량의 정확도를 결정한다. Gautier *et al.*(1980)는 GOES 정지기상위성의 가시 채널자료를 이용하여 표면도달일사량 값을 산출하였다. 이후 Frouin and Chertock (1991), Kawamura(1998)등과 같은 많은 연구자들에 의해서 보다 향상되고 구체적인 대기 모수화 수식들이 제시되면서, 현재 대부분 사용되고 있는 일사량 산출 주 모델은 경험식에 의한 것이 아니라, 물리 모델을 이용하

는 방법이다. 이전 연구에서, 일일 일사량에 대한 정확도는 약 10% ~ 15%를 보였으며, 시간당 일사량에 대해서는 청천역에서 5% ~ 10%, 구름 존재 시에는 15% ~ 30%의 정확성을 가졌다(Schmetz *et al.*, 1989; Pinker *et al.*, 1995). 구름의 경우, 복잡한 물리적 특성에서 의해서 청천 시 보다 높은 오차율을 보인다.

본 연구에서는 Kawamura *et al.* (1998)가 제시한 물리모델을 기본으로 하여 표면도달일사량 값을 산출하였다(kawamura *et al.*, 1998; Yeom *et al.*, 2006). Kawamura 모델은 동아시아 지역에 대해서 모델이 최적화 되었으며, 그 정확성 또한 현재 운용되고 있는 선진 모델과 크게 다르지 않기 때문에 Kawamura의 물리적 모델을 기본으로 하여 일사량 산출을 수행하였다. 국내에서는 최근까지 표면도달일사량을 산출하기 위해서 일본 기상청에서 운용했던 GMS-5 (Geostationary Meteorological Satellite) 위성을 이용하여 일사량을 산출해 왔었다. 하지만 최근 GMS-5의 노후화로 인해 차세대 위성인 MTSAT-1R이 2006년 1월 18일에 발사되어, GMS-5가 담당했던 관측업무를 수행하고 있다. 표면도달일사량을 위해 Level1 MTSAT-1R 자료를 이용하여 산출하였다. 산출된 표면도달일사량의 비교·검정을 위해 기상청에서 제공하는 정시 시간 일사량 관측 자료를 활용하였다. 기본적으로, 위성자료를 이용하여 모의한 일사량과 일사계에서 관측한 일사량은 두 관측 기기의 특성차에 기인한 오차를 포함하고 있다. 즉, 관측 기기 자체의 오차를 배제하더라도 실제 관측폭, 관측 시간, 그리고 자료 제공 형태가 서로 다르기 때문에 이

러한 특성을 보정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 지상 관측값과의 비교 검증 시 (관측 기기 차에 기인한 오차) 발생하는 시스템 차를 고려한 산출값 조정을 통해 정확도 향상 및 최적의 모델 조정 방법을 제시하는 것이 주 목적이다.

본 연구는 총 5부분으로 이루어져 있다. 연구 배경 및 목적을 언급한 서론, 자료와 영상 전처리, 표면도달일사량 산출 방법, 결과, 그리고 결론 순으로 서술하였다.

## 2. 자료와 영상 전처리

본 연구에서는 표면도달일사량을 산출하기 위해, 기상청에서 제공한 MTSAT-1R (Multi-function Transport Satellite) 자료를 이용하였다. 연구기간은 2005년 8월부터 2006년 7월까지 총 1년 동안의 위성체널 자료를 사용하였다. MTSAT-1R은 일본 기상청 (JMA: Japanese Meteorological Agency)에서 발사

Table 1. Characteristics of the MTSAT-1R

Orbit Type	Geo-synchronous				
Altitude	≈ 36,000 km				
Repetitiveness	30 minutes				
Channel	Visible	IR1	IR2	IR3	IR4
Wavelength (μm)	0.55 ~ 0.75	3.8 ~ 4.0	6.5 ~ 7.0	10.2 ~ 11.2	11.5 ~ 12.5
Resolution at Nadir (km <sup>2</sup> )	1.0 × 1.0	4.0 × 4.0	4.0 × 4.0	4.0 × 4.0	4.0 × 4.0

IR: InfraRed channel

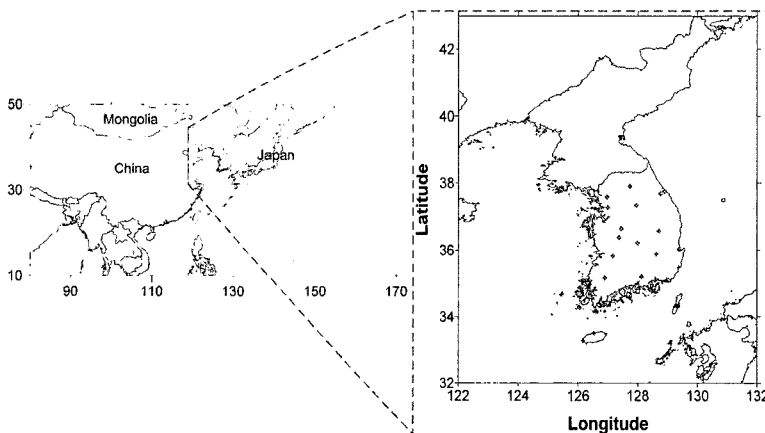


Fig. 1. The location of 22 pyranometer sites over Korea peninsula.

Table 2. Detailed Specification for pyranometer over Korea Meteorological Administration (KMA) observation sites

Manufacturer	Model	Measured variables (unit)	Response time, 95%	Operation range	Spectral range (nm)	Sensitivity ( $\mu\text{v}/\text{W}/\text{m}^2$ )
Kipp & Zonen	CM21	W/m <sup>2</sup>	5s	-20-50°C	305-2800	7 - 14
Kipp & Zonen	CM22	W/m <sup>2</sup>	5s	-20-50°C	200-3600	7 - 14

된 정지기상위성으로서 한반도를 포함한 동아시아 지역의 기상 현상과 지구환경을 관측하기 위해 2006년 2월 25일 발사되었다. MTSAT-1R은 총 5개의 채널이 탑재되어 있다: 가시채널 (Visible), 열 적외채널 (Near Infrared-1, Near InfraRed-2), 수증기 채널 (Near InfraRed-3), 그리고 단파 적외채널 (shortwave Infrared-4)로 구성되어 있으며, 공간해상도는 가시채널의 경우 직하점에서 1km이고, 적외채널의 경우 4km 해상도를 가진다. 사용된 MTSAT-1R에 대한 구체적인 내용은 표 1에 나타나 있다.

산출된 표면도달일사량 비교를 위해, 본 연구에서는 지상 일사계 관측자료를 사용하였다. 위성에서 관측된 일사량과의 비교를 위해 사용된 지상 일사계는 매 2분마다 값을 관측하고, 이를 평균 보정하여 매 시간별 대푯값으로 제공한다. 위성자료를 이용한 표면도달일사량 값에 대한 검·보정을 위해 사용된 22지점 지상 일사계 위치는 그림 1에 나타나 있다. 그림 1에서처럼 관측 일사계는 한반도 전역에 분포되어 있다. 기상청에서 사용 중인 대부분의 일사계는 수평 천천 일사계로서, 네덜란드에서 제작된 Kipp & Zonen사의 CM21 모델을 주로 사용한다. CM21 일사계는 305nm~2800nm 파장대의 단파 태양복사에너지를 관측하며, 반응 시간은 5 초이다. 일사계에 대한 구체적인 내용은 표 2에 제시되었다.

### 3. 표면도달일사량 산출 방법

표면도달일사량은 MTSAT-1R 위성에서 관측된 반사도, 휘도온도(TBB: Brightness temperature), Terra scan에서 계산된 각도 및 지리 정보, 그리고 Land/sea mask를 이용하여 값을 계산한다. 지표면까지 도달하는 태양에너지를 구하기 위해서는 지구 외계에 입사하는 태양 상수를 고려해야 한다. 태양상수는 지구와 태양과의 상대적인 거리를 계산하여 계절에 따른

변화값을 반영한다(Spencer *et al.*, 1971). 표면도달일사량 산출 시 가장 기본이 되는 것은 대기 상단에서 지표면까지 입사하는 태양 복사에너지의 감쇠 정도를 물리적으로 계산하는 대기 모수화 과정이다. 입사하는 태양 복사에너지는 대기 중에 존재하는 에어로솔, 오존, 레일리 산란, 그리고 구름 등과 같은 다양한 요소들에 의해서 산란, 반사, 그리고 흡수되는 과정을 거쳐 지표면으로 도달한다. 일반적으로, 태양에너지 입사 과정이 전체 태양 단파에너지 영역 내에서 다중적으로 발생하기 때문에 물리적으로 복잡한 대기 상태를 정확하게 추정하기란 쉽지 않다. 구름은 그 특성상, 구름 입자의 특성에 따라 반사, 흡수, 그리고 산란 정도가 달라지며, 시·공간적인 변화도가 매우 크다. 또한 지표면에서 반사되는 알베도, 그리고 지구 장파 복사에너지에 의한 재방출, 재흡수 등과 같은 보다 복잡한 과정을 고려해야 하기 때문에 구름에 의한 감쇠 효과를 물리 계산식으로 모수화하는 것은 대단히 어렵다. 게다가, 위성 관측 화소내에 존재하는 조각 구름과 층운형 구름 같은 경우에는 사용 화소의 비균질성을 증가시키기 때문에 정확한 표면도달 일사량을 산출하기가 어렵다. 일반적으로 청천인 경우보다 구름 존재 시 산출된 일사량 값의 오차가 더 높다.

본 연구에서 사용되는 표면도달일사량은 Kawamura *et al.* (1998)이 제시한 물리 모델을 기본으로 하고, 이를 한반도의 특성에 맞게 최적화하였다(그림 2). 즉, 기존의 Kawamura 물리모델의 경우에는 각 대기 기체에 의한 산란, 흡수, 반사에 대한 모수화 시, 미국 표준대기(Standard Atmosphere)을 이용하여 산출하였다. 하지만 본 연구에서는 각 기체에 대한 대기 영향 모수화 시 기존에 사용되던 미국표준대기 값을 지양하고 실제 대기 특성을 최대한 반영하고자 하였다. 입력 변수 중 오존의 경우 OMI ozone global daily input를 사용하였으며, TPW (Total Precipitable Water) 대해서는 기존의 월별 표준대기 수증기량이 아닌 MTSAT-1R ir1과 ir2 채널비를 이용하여 총가장수량(TPW)을 사용하였

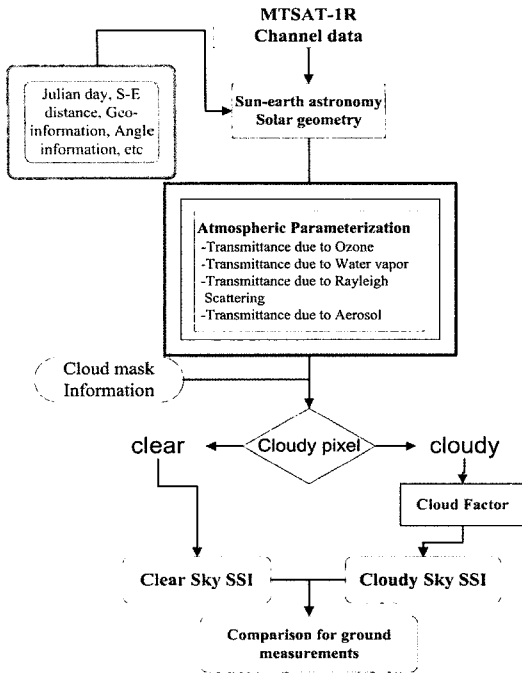


Fig. 2. The flowchart of Solar Surface Insolation (SSI) with MTSAT-1R images.

다. 기후값을 사용했을 시에는 93.37 W/m<sup>2</sup>에서 86.26 W/m<sup>2</sup>로 약 7W/m<sup>2</sup> 정도 향상되었다(기상연구소 2006; 2007). 본 연구에서 사용된 물리 모델은 다음과 같다 (Kawamura *et al.*, 1998; Tanahashi *et al.*, 2001; Kawai and Kawamura, 2005; 기상연구소 2005, 2006, 2007).

$$S_T = S_I + S_R + S_A \quad (1)$$

$$S_I = S(\tau_O \tau_R - \alpha_W) \tau_A \quad (2)$$

$$S_R = S \tau_O (0.5(1 - \tau_R)) \tau_A \quad (3)$$

$$S_A = S(\tau_O \tau_R - \alpha_W) F_C \omega_O (1 - \tau_A) \quad (4)$$

$$S = I(d_M / d)^2 \cos \theta \quad (5)$$

여기서 S<sub>T</sub>는 총일사량, S<sub>I</sub>는 직달일사량, S<sub>R</sub>는 레일리 산란에 의한 일사량이고, S<sub>A</sub>는 에어로솔에 의한 산란 일사량이다. 위 식에서 사용된 요소는 대기에 의해 흡수, 반사, 그리고 산란되는 값들로 τ<sub>O</sub>는 오존 흡수에 의한 투과도, τ<sub>R</sub>는 레일리 산란에 의한 투과도, α<sub>W</sub>는 수증기에 의한 투과율, τ<sub>A</sub>는 에어로솔에 의해 감쇠되는 투과도, F<sub>C</sub>는 전 산란에 대한 전방산란의 비, ω<sub>O</sub>는 단일산란 알베도를 나타낸다.

Table 3. Insolation attenuation coefficient diagram with respect to albedo and IR1-TBB from Kawai and Kawamura (2005)

Solar Zenith angle (°)	Albedo					
	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-1.0
0-10	1.60	1.47	1.30	1.20	1.20	1.20
10-20	1.67	1.50	1.31	1.20	1.20	1.20
20-30	1.70	1.64	1.32	1.20	1.20	1.20
30-40	1.90	1.69	1.36	1.25	1.20	1.20
40-50	2.15	1.69	1.46	1.29	1.21	1.20
50-60	2.29	2.00	1.68	1.45	1.34	1.20
60-70	2.31	2.03	1.68	1.45	1.34	1.20
70-80	2.32	2.21	2.10	1.59	1.39	1.20
80-90	2.46	2.30	2.12	1.60	1.40	1.20

구름이 존재 시 표면도달일사량 산출을 위해 사용된 식은 식 (1)에서 구한 일사량 값에서 구름 감쇠 정도를 반영하여 산출한다.

$$S_T = (S_I + S_R + S_A) \cdot (1 - a \cdot A) \quad (6)$$

$$A = \frac{R}{\cos \theta} \quad (7)$$

여기서 R은 구름에 의한 반사값이고 A는 구름에 의한 흡수값을 나타낸다. 구름에 의한 감쇠율을 계산하는 여러 가지 방법 중 본 연구에서는 Kawai and Kawamura (2005)가 제시한 조건표 활용 방법을 사용하였다. Kawamura 물리 모델은 구름 알베도와 구름 밝기 온도 값에 대한 LUT(Look Up Table)값을 이용하여 복잡한 구름 물리 과정에 의한 복사 감쇠 정도를 산출한다(표 3). 본 연구에서 사용된 표면도달산출 식에 대한 구체적인 내용은(Yeom *et al.*, 2006)에 나타나 있다.

#### 4. 결 과

기본적으로, 위성자료를 이용한 표면도달일사량과 지상 일사계 관측값과의 비교·검증을 위해서는 같은 관측 시간대 값을 서로 비교하는 것이 가장 일반적인 방법이다. 따라서 대부분의 이전 연구에서 일사량 검·보정을 위해, 정시에 산출된 위성 일사값과 동 시간대 지상 일사 관측값을 서로 비교하여 모델의 수행 능력을 평가하였다. 하지만 본 연구에서 사용된 비교 방법은 지상에서 관측되는 일사계의 관측 특성을 파악하여 두 기기

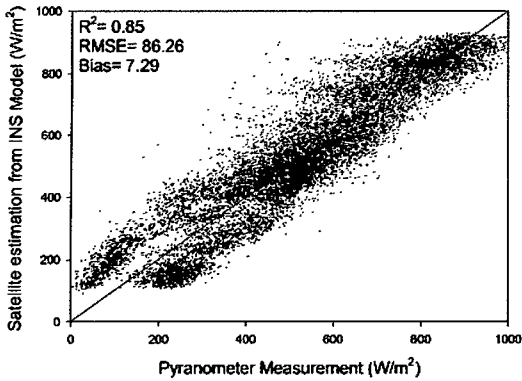


Fig. 3. Scatter plot comparison non-corrected solar surface insolation with ground-bases pyranometer measurement over Korea peninsula during the study periods.

특성상에 발생하는 관측 오차를 보정하는, 보다 향상된 정확도와 효율적인 일사량 모델 최적화를 위한 지상 관측값 비교 방법을 제시하고자 한다. 현재 기상청에서 제공하는 지상관측 일사는 시간 일사량 값과 일 평균 일사량 값을 제공한다. 지상에서 관측하는 모든 일사계(CM21)는 2분마다 관측되는 일사량 값을 평균하여 정시에 관측 대푯값을 배포하는 시스템을 가지고 있다. 이러한 일사계 관측 방법으로 제공된 정시 일사값은 정시 대표 일사량 값이 아닌 이전 시간과 자료 배포 시간 동안의 평균값이다. 하지만 위성 관측 일사량은 정시 순간 관측(instantaneous measurement) 채널 자료를 이용하여 표면도달일사량 값을 제공한다. 따라서 이러한 시

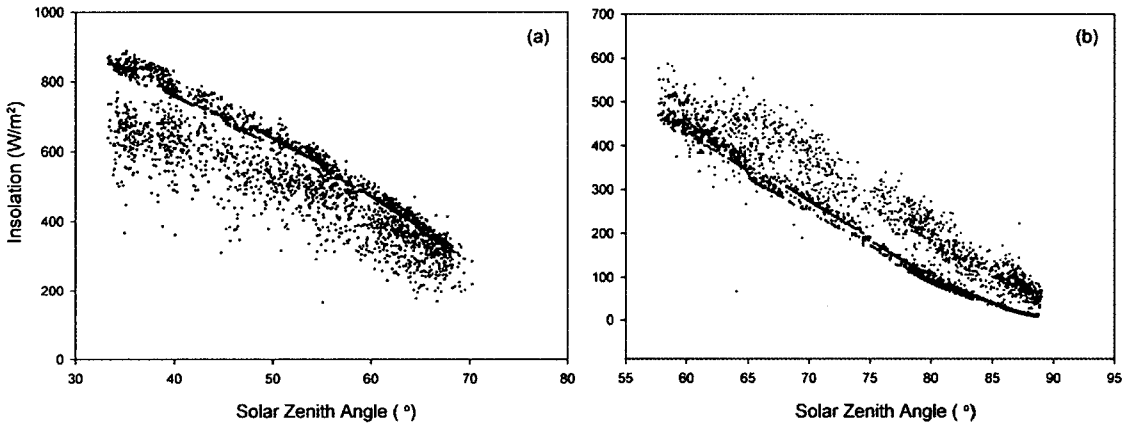


Fig. 4. Scatter plot between non-corrected insolation and ground-based pyranometer over day time: (a) compared on 10 LCT, (b) on 17 LCT during a year (Red plot is satellite based insolation; Blue is observed from pyranometer).

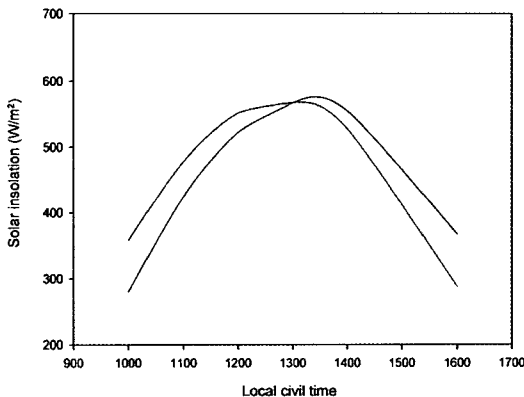


Fig. 5. Temporal variation during day time between insolation from physical model (green line) and ground-based pyranometer (blue line) for clear sky condition.

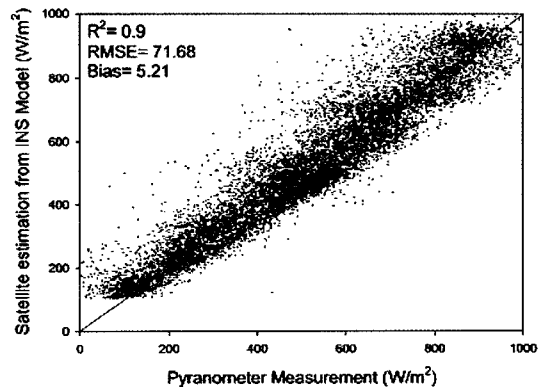


Fig. 6. Scatter plot comparison corrected solar surface insolation with ground-bases pyranometer measurement over Korea peninsula during the study periods.

간적 불일치를 제거하기 위해 본 연구에서는 시간 지연 방법을 이용하였다. 시간 지연 방법은 정시 관측 지상 일사계 값과 정시 보다 30분 빠른 위성 관측 일사값을 서로 비교함으로써 관측 기기 차이에 기인한 오차를 줄이는 방법이다. 그림 3은 기존의 방법처럼 정시 관측 일사와 같은 시간 관측 일사계를 비교했을 때 산점도를 나타내고 있다. 사용된 자료는 2005년 8월부터 2006년 7월까지 청천인 날에 대해서 비교하였다. 그림에서 나타난 것처럼, 낮은 일사량을 가지는 지역에 대해서 일대일 선을 중심으로 산점도가 두 개 클래스로 나뉘지는 것을 볼 수 있다. 그림 3에서 나타나는 산점도의 이원화가 관측기기 오차에 기인한 것이라는 가설을 가지고 시간별 일사량 자료를 분석하였다. 그림 4는 태양 천정각에 따른 위성관측 일사량(파란색)과 지상 일사계 관측값(붉은색)에 대한 산점도를 보여준다. 왼쪽의 그림의 경우 (a) 오전 10시에 대한 산점도이고, 오른쪽 (b)은 오후 5시에 대한 것이다. 그림에서처럼 오전의 경우에는 위성관측 표면도달일사량 값이 일사계 값보다 전반적으로 높게 모의하는 것을 볼 수 있다. 오후의 경우에는 이와 반대 경향을 보인다. 그림 5는 주간 동안 청천인 경우에 대해서 두 관측값의 시간에 따른 일사량 변화를 보여준다. 파란색은 위성자료를 이용한 일사량 모델에서 산출된 값이고, 녹색선은 지상 일사계에서 관측된 표면도달일사량을 나타낸다. 13:00 지역 시간 (Local time)을 기준으로 두 값이 차이가 나는 것을 볼 수 있는데, 오전의 경우에는 그림 4에서와 같이, 위성에서 모의한 표면도달일사량 값이 지상관측일사보다 높게 나타나고, 오후의 경우에는 전반적으로 낮은 경향을 보인다. 이러한 오차가 발생하는 요인에 대해서 설명을 하면, 오전 10시 경우 위성 자료를 이용하여 모의된 표면도달일사량 값은 10시 정각 대푯값을 나타내지만, 지상 일사계에서 관측된 일사량 값은 오전 9시와 10시 사이 동안 매2분마다 관측된 일사량값을 평균한 것이다. 따라서 태양 천정각이 시간에 따라 증가하는 오전의 경우에는 위성관측 표면도달일사량이 더 높은 값을 보이며, 오후의 경우에는 이와 반대로 지상 일사계에서 관측된 값이 더 높게 나타나는 경향이 있다. 따라서 그림 3에서 나타난 것처럼 일대일 선을 중심으로 값이 이원화 되는 것이 이러한 문제에 의해서 발생한 것으로 결론 지을 수 있다. 그림 6은 위성 관측 일사량과 지상 관측 일사량을 비교 할 때, 본

연구에서 제시한 관측시간 시간불일치 조정을 통해서 두 관측 시간을 일치시킨 경우이다. 그림에서 나타난 것처럼, 낮은 일사 지역에서 나타나는 불연속이 감소한 것을 알 수 있으며, 일대일 선을 중심으로 산점도 고르게 분포한 것을 볼 수 있다. RMSE (Root Mean Square Error)값도  $86.26 \text{ W/m}^2$ 에서  $71.68 \text{ W/m}^2$ 까지 무려  $15 \text{ W/m}^2$ 가 향상되었다. 또한 바이어스 기존의 방법보다 낮아졌다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 MTSAT-1R 자료를 이용하여 동아시아 지역에 대한 표면도달일사량을 산출하였다. 사용된 모델은 Kawamura *et al.* (1998)가 제시한 물리 모델을 기본으로 하고, 구름 존재 시 발생했던 바이어스를 제거하기 위해 Tanahashi *et al.* (2005)가 제시한 구름 감쇠 LUT (Look Up Table)를 이용하였다. LUT를 통한 구름 감쇠 계수 산출 시 사용되었던 TBB값은 구름감쇠 산출 시 낮은 민감도를 보였다(Tanahashi *et al.*, 2001). 따라서, Tanahashi *et al.* (2001) LUT에서 제시된 방법, 즉 기존의 밝기 온도를 태양 천정각 값으로 대체하는 방법을 이용하여 구름 감쇠 계수를 산출하였다. 이는 구름 감쇠 산출 시, 운정 온도를 통해 구름의 감쇠 정도를 유추하는 방법보다는 입사하는 태양 복사 에너지의 실제 구름 투과 길이를 결정짓는 태양 천정각을 이용하는 것이 더 낮은 바이어스를 보인다.

일반적으로 사용되었던 정시 위성 관측 일사값과 동시간 지상 관측값과의 비교 방법에서, 두 기기의 관측 특성 차이에 의해 발생하는 시간적 불일치를 보정함으로써 실제 비교 검정값의 정확도를 향상 시켰다. 높은 태양 천정각 지역에서 발생하는 산점도의 이원화 현상이 본 연구에서 제시된 시간 불일치 조정을 통해서 일대일 대응선으로 균집화 되는 것을 볼 수 있었다. 본 연구에서 제시된 시간 불일치 조정을 통한 일사량 검보정 개선 방법은 향후 일사량 산출시 필요한 모델 최적화 과정의 효율성을 증대시키고, 또한 정확한 일사량 산출 모델 개선을 위한 기초 연구가 될 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 기상청의 “통신해양기상위성 1호 기상자료처리시스템개발”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 기상연구소, 2005. 통신해양기상위성 1호 기상자료처리시스템개발(III), 기상청.
- 기상연구소, 2006. 통신해양기상위성 1호 기상자료처리시스템개발(IV), 기상청.
- 기상연구소, 2007. 통신해양기상위성 1호 기상자료처리시스템개발(V), 기상청.
- Frouin, R., and B. Chertock, 1991. A technique for Global Monitoring of net Solar Irradiance at the Ocean Surface. Part I: Model. *J. Appl. Meteor.*, 31: 1056-1066.
- Gautier, C., G. Diak, and S. Masse, 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *J. Appl. Meteor.*, 19: 1005-1012.
- Kawai, Y., and H. Kawamura, 2005. Validation and improvement of satellite-derived surface solar radiation over the Northwestern Pacific Ocean. *Journal of Oceanography*, 61: 79-89.
- Kawamura, H., S. Tanahashi, and T. Takahashi, 1998. Estimation of insolation over the Pacific Ocean off the Sanriku Coast. *Journal of Oceanography*, 54: 457-464.
- Kizu, S., 1995. *A study on thermal response of ocean surface layer to solar radiation using satellite sensing*. Doctoral Thesis. Tohoku University. 100p.
- Otkin, J. A., M. C. Anderson, J. R. Mecikalski, and G. R. Diak, 2005. Validation of GOES-based insolation estimates using data from the U.S. climate reference network. *Journal of Hydrometeorology*, 6: 460-475.
- Pinker, R. T., R. Frouin, and Z. Li, 1995. A review of satellite methods to derive surface short-wave irradiance. *Remote Sensing of the Environment*, 51: 108-124.
- Schmetz, J. 1989. Towards a surface radiation climatology: Retrieval of downward irradiance from satellite. *Atmospheric Research*, 23: 287-321.
- Spencer, J. W. 1971. Fourier series representation of the position of the sun. *Search*, 2(5): 172
- Tanahashi, S., H. Kawamura, T. Matsuura, T. Takahashi, and H. Yusa, 2001. A system to distribute satellite incident solar radiation in real-time. *Remote Sensing of Environment*, 75: 412-422.
- Tarpley, J. D., 1979. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite. *Journal of Applied Meteorology*, 18: 1172-1181.
- Vonder H., T. H. and J. S. Ellis, 1978. *Determination of the solar energy microclimate of the United States using satellite data*. Final Report, NASA Grant NAS5-22372, Colorado State University.
- Yeom, J. M., K. S. Han, Y. Y. Park, and Y. S. Kim, 2006. A representativity test on the pyranometer measurement of surface solar insolation through satellite observation. *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(5): 389-396.