

인공위성 영상을 이용한 지표 복사 요소 추정

장근창^{1*}, 원명수¹, 임종환¹, 강신규²

¹국립산림과학원 기후변화연구센터, ²강원대학교 환경학과

Satellite-based Estimates for Land Surface Radiation Components in Korea

K. Jang^{1*}, M. Won¹, J. H. Lim¹, and S. Kang²

¹Center for Forest & Climate Change, Korea Forest Research Institute

²Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

I. 서 언

지표 수준에서 단파 및 장파 복사량의 입사량(downward)과 방출량(upward)의 수지(budget)로 정의되는 순복사량(R_n , net radiation)은 기후/기상 예측 연구, 수문 모형, 농림기상 연구와 같은 다양한 분야에서 사용되는 중요한 요소이다. 지표 순복사량과 복사요소(radiation components)의 정확한 모니터링 기술은 육상-대기 간의 에너지 교환을 이해하기 위한 기회를 제공할 뿐만 아니라 증발산과 일차생산성 추정과 같은 다양한 기상학적 또는 생태학적 연구에 활용할 수 있다.

지난 수년간 지표 수준에서의 복사요소를 정확하게 감지하기 위한 지상관측망이 지속적으로 증가하고 있지만, 특정 지역에 집중적으로 설치되거나 광역 지역에서 하나의 관측소가 설치되어 복사요소의 공간적인 분포를 모니터링 하는 것에는 한계를 가지고 있다(Glenn *et al.*, 2007). 2000년 이래로 인공위성영상 자료를 이용하여 지표 수준의 복사요소를 추정하고자 하는 연구가 활발하게 진행 중이다. 특히 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)는 복사요소를 추정하기 위한 새로운 가능성을 제공하며, 지역 규모 또는 전구 규모에서의 지표 에너지 수지를 관측하는데 유용하게 사용될 수 있다. 하지만, 이러한 광학 또는 열적외 기반의 위성관측으로부터 지표 복사요소를 모니터링 하는 것은 구름 등에 의해 시공간적으로 연속적인 관측을 제한될 수 있다. 이러한 한계를 극복하고 위성 기반으로 연속적인 지표 복사요소를 산출하기 위해 광학/열적외 위성 자료와 레이더 영상 자료 간의 융합 기술을 활용하는 기술을 제시하고자 한다.

II. 자료 및 방법

2.1. 복사요소 산출

* Correspondence to : kcjang@korea.kr

복사요소는 단파복사량과 장파복사량의 입사량과 방출량으로 구성되며, 이들의 수치는 지표의 순복사량으로 표현된다(식 1).

$$\begin{aligned} R_n &= R_{sd} - R_{sup} + R_{ld} - R_{lup} \\ &= (1-\alpha)R_{sd} + R_{ld} - R_{lup} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, R_{sd} 와 R_{sup} 은 입사와 방출 단파복사량($W\ m^{-2}$), R_{ld} 와 R_{lup} 은 입사와 방출 장파복사($W\ m^{-2}$)이다. α 는 지표면 알베도를 의미한다.

청천화소(clear pixels)에 대한 복사요소 산정은 Jang *et al.*(2013)이 제안한 MODIS 기반의 지표 복사요소 산정 방법을 따랐다. 구름이 낀 화소에 대해서 입사 단파복사량은 Slingo (1981)이 제안한 구름의 투과율을 고려한 단파복사량 산정식과 함께 구름의 광학두께, 구름비율, 구름 온도 등과 같은 구름 특성 정보를 제공하는 MODIS 구름 산출물 자료를 이용하여 산출하였다. 장파복사량 산정 방법은 Bisht *et al.*(2010)이 제안한 방법을 이용하였다.

2.2. 기온 및 지표면 온도

기온과 지표면 온도는 장파복사량의 입사량과 방출량을 계산하기 위한 필수적인 요소이다. 이 연구에서는 흐린 날에 대한 온도 요소를 추정하기 위해 Aqua MODIS 기온과 지표면 온도 자료와 Advanced Microwave Scanning Radioneter - EOS (AMSR-E) 밝기 온도 자료와의 픽셀 기반의 선형회귀모형을 이용하여 흐린 날의 온도 자료를 복원하였다(Jang *et al.*, 2014).

2.3. 연구지역 및 입력 자료

지표 수준의 시공간적으로 연속적인 복사요소를 추정하기 위해 MODIS03 (geolocation fields), 04 (aerosol), 06 (cloud properties), 07 (atmospheric profiles), 43 (albedo) 자료와 함께 AMSR-E 밝기 온도(brightness temperature) 자료를 활용하였다. 산출된 복사요소의 평가를 위해 한국의 광릉(GDK)과 해남(HFK)에서 관측한 플럭스 자료를 활용하였다.

III. 결 과

주요 입력 자료인 기온과 지표면 온도는 맑은 날과 흐린 날에 대한 자료를 각각 산출하였으며, 광릉과 해남 플럭스 자료를 이용하여 평가하였다. Table 1은 기온과 지표면 온도 자료의 비교 결과를 제시한 것이다.

Table 1. Error statistics for air (Tair) and land surface temperatures (LST) at the GDK and HFK sites

Site	Variable	Clear sky (ME / RMSE)	Cloudy sky (ME / RMSE)
GDK	Tair (K)	-1.20 / 4.60	-1.30 / 4.10
	LST (K)	-0.65 / 2.44	-1.00 / 2.96
HFK	Tair (K)	-1.75 / 4.44	-1.52 / 5.12
	LST (K)	+2.13 / 5.20	+2.34 / 4.96

위성 자료로부터 획득한 다양한 기상 및 육상 자료를 이용하여 입사 및 방출 단파복사량과 장파복사량을 추정하였고, 각각의 결과는 광릉(GDK)과 해남(HFK) 플럭스 관측 자료를 이용하여 비교하였다. Fig. 1은 맑은 날과 흐린 날에 대한 복사요소 추정 결과를 나타낸 것이다. 맑은 날과 흐린 날에 대한 추정 결과는 전반적으로 지상관측 자료와 좋은 선형관계를 보이지만, 흐린 날에 대한 추정치는 맑은 날의 결과에 비해 다소 산개하는 경향을 보였다.

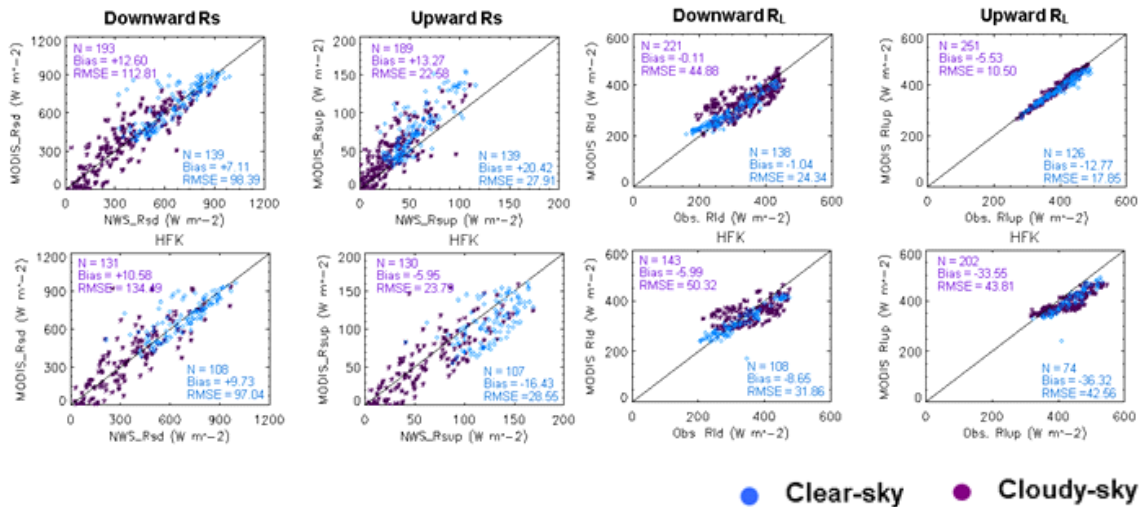


Fig. 1. Comparison of satellite-based radiation components with flux tower measurements. Upper and lower panels indicate the results at the GDK and HFK sites, respectively.

네 가지의 복사요소 결과를 이용하여 순복사량을 추정하였다(식 1). Fig. 2는 위성 기반으로 추정한 순복사량 결과와 광릉(GDK)과 해남(HFK) 플럭스 관측 자료 간의 결과를 나타낸 것이다. 맑은 날에 대한 두 지역에서의 평균편의(mean bias)는 각각 +16.81과 +43.49 $W m^{-2}$ 로 나타났으며, 흐린 날에 대해서는 +25.61과 +23.97 $W m^{-2}$ 로 나타났다. 맑은 날의 경우에는 대체로 지상 관측 자료와의 선형성이 잘 나타난 반면, 흐린 날의 경우에는 약간 산개하는 경향이 나타났다. 이것은 순복사량 산정 시 주요한 입력자료인 입사 단파복사량의 산개 경향이 크게 반영된 것으

로 사료되며, 향후 순복사량 추정 신뢰도 향상을 위해서 흐린 날에 대한 입사 단파복사량 추정 방법의 개선이 필요할 것으로 사료된다.

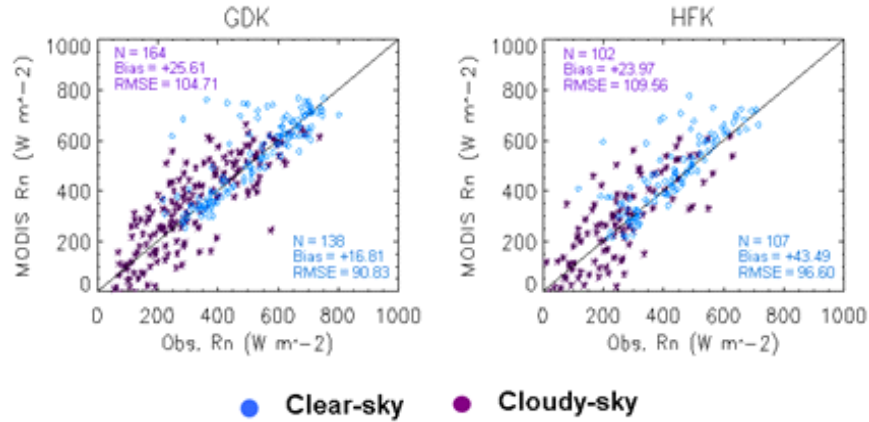


Fig. 2. Comparison of satellite-based net radiation with flux tower measurements at the GDK and HFK sites.

인용문헌

- Bisht, G. and R. L. Bras, 2010: Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study, *Remote Sensing of Environment* **114**, 1522-1534.
- Glenn, E. P., A. R. Huete, P. L. Nagler, K. K. Hirschboeck, and P. Brown, 2007: Integrating remote sensing and ground methods to estimate evapotranspiration. *Critical Reviews in Plant Sciences* **26**(3), 139-168.
- Jang, K., S. Kang, J. S. Kimball, and S. Y. Hong, 2014: Retrievals of all-weather daily air temperature using MODIS and AMSR-E data. *Remote Sensing* **6**, 8387-8404.
- Jang, K., S. Kang, Y.-J. Lim, S. Jeong, J. Kim, J. S. Kimball, and S. Y. Hong, 2013: Monitoring daily evapotranspiration in Northeast Asia using MODIS and a regional land data assimilation system. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere* **118**, 12972-12940.
- Slingo, A., 1989: A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *Journal of the Atmospheric Sciences* **46**(10), 1419-1427.