

지표면에서의 태양 복사 분포

이규태*, 최영진**, 이원학***, 지준범***, 조일성*

*강릉원주대학교 대기환경과학과(ktlee@gwnu.ac.kr, zoilsung@hotmail.com),
**국립기상연구소(yjchoikma@korea.kr),
***강릉원주대학교 자연과학연구소(whlee@gwnu.ac.kr, rokmc717@gwnu.ac.kr)

The distribution of Solar Irradiation at the surface

Lee, Kyu-Tae*, Choi, Young-Jin**, Lee, Won-Hack***, Jee, Jun-Bum***, Zo, Il-Sung*

*Dept. of Atmospheric & Environmental Sciences, Gangnung-Wonju National
University(ktlee@gwnu.ac.kr, zoilsung@hotmail.com),
**National Institute of Meteorological Research(yjchoikma@korea.kr),
***Natural Science Institute, Gangnung-Wonju National University(whlee@gdri.re.kr,
rokmc717@gwnu.ac.kr)

Abstract

The model to calculate the solar radiation at the surface was developed and the annual global solar radiation calculated by the model was compared with the KMA(Korea Meteorological Administration) surface measured data. The difference between calculated and measured values was distinguished clearly because of the calibration problem of the pyranometer, but the global distribution of solar radiation calculated by the model was very similar to NREL(National Renewable Energy Laboratory) result of USA.

Keywords : 태양복사모델(Solar Radiation Model), 전천일사(Global Solar Radiation), 전천일사계(Pyranometer)

1. 서 론

지표면에 도달하는 태양 복사는 태양의 입사각과 대기 중의 흡수 및 산란 성분들 그리고 지표면의 알베도 등에 따라 변화하나 태양 입사각 효과는 지표면 태양 복사 강도에 가장 중요하게 작용한다. 따라서 구름 없는 맑은 날의 경우 일반적으로 태양의 고도가 높은 여름철이 태양 고도가 낮은 겨울철 보다 그리고 위도가 낮은 지역이 위도가 높은 지역보다 많은 태양 복사가 지표면에 도달한다. 그리고 구름은 태양 복사 흡수와 산란의 중요 요소이기 때문에 지역적인 구름 분포는 태양 복사량을 결정하는 중요한 인자이고 또한 대기 중의 에어로졸은 가시광선과 자외선 파장 영역의 태양 복사를 산란시키며 성층권과 대류권의 오존은 자외선 영역의 태양 복사를 흡수하며 수증기와 이산화탄소는 적외선 파장 영역의 태양 복사를 흡수한다.

태양 복사의 한반도 및 전 지구 분포는 위에서 설명한 대기 성분들과 지리적인 환경에 따라서 크게 변화하기 때문에 지표면의 태양 복사 분포를 정확하게 나타내기 위해서는 복사 모델에 의한 이론적 계산 결과와 지표면 및 인공위성 관측 자료 등의 적절한 조합은 필연이며 이 연구에서는 우선적으로 태양 복사 모형을 개발하여 2008년 5월부터 한반도 및 전구에 대한 지표면 태양 복사량의 시공간 분포를 계산하였고 부분적으로 지표면 일사 관측 자료와 비교 평가하였다.

2. 태양 복사 전달 방정식

평행 평면 대기에서 광학두께가 τ_ν 인 기층의 복사 휘도 변화(dI_ν)는 다음과 같다.

$$\mu \frac{dI_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi)}{d\tau} = I_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) - J_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) \quad (1)$$

여기서 $\mu = \cos\theta$ 이고, θ 와 ϕ 는 복사의 진행 방향에 대한 천정각과 방위각이며 원천 함수 J_ν 는 아래와 같다.

$$J_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 \omega_\nu I_\nu(\tau_\nu, \mu', \phi') P_\nu(\mu, \phi; \mu', \phi') d\mu' d\phi' + Q_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) \quad (2)$$

이 식에서 ω 는 단일 산란 알베도(single scattering albedo)이고 P_ν 는 위상 함수이며 열역학 평형 상태에서의 원천 함수 $Q_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi)$ 는 다음과 같다.

$$Q_\nu^{(beam)}(\tau_\nu, \mu, \phi) = \frac{\omega_\nu(\tau_\nu) F_o}{4\pi} P_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi; -\mu_o, \phi_o) \exp(-\tau_\nu/\mu_o) \quad (3)$$

여기서 F_o 는 대기 상단으로 입사되는 태양 복사속(또는 태양 복사속 밀도, W/m^2)이다.

식(1)~(3)과 같은 복사전달 방정식의 정확한 해를 구하기 위해서는 여러 가지 종류의 입력 자료와 많은 계산 시간이 요구된다. 그러나 모형 대기 기층을 단층으로 가정할 경우 이 연구 결과와 같이 태양으로부터 방출되어 지표면에 도달하는 태양 복사는 Beer의 법칙(Muhammad Iqbal, 1983)에 근거하여 비교적 단순하게 모수화 할 수 있으며 이 연구에서 개발한 태양 복사 모형과 다른 종류의 모형에 의한 계산결과들을 표1에 나타내었다.

이 표에 나타난 여러 모형들 중에서 다층 모형은 모형 대기를 여러 개의 기층으로 분리하여 계산된 것으로서 상세모형에 의한 계산 값은 태양 복사 모형의 기준 값으로 사용되며 단층 모형은 대기를 한 개의 기층으로 계산한 것이기 때문에 다층모형에 비교하여 정확성이 낮다. 따라서 IQBAL과 NREL 및 COMS 등의 단층 모형 정확성은 표에 나타난 바와 같이 상세모형에 비교하여 낮으나 이 연구에서 개발된 KWNU 모델 정확성은 상세모형보다 크게 낮지 않다.

3. 결과 및 토의

2008년 5월~2009년 4월까지 1년 동안 월별로 계산한 한반도의 지표면 태양 복사 분포 중 6월과 12월의 결과를 그림 1에 나타내었다. 이 그림에서와 같이 지표면의 태양 복사는 위에서 설명한 바와 같이 위도에 따른 대기 외 일사량과 구름 및 에어로졸의 영향이 가장 중요하고 6월의 경우 한반도 북쪽의 지표면 일사량이 강하게 나타났고 남해안과 제주도 부근이 낮았으며 이 결과는 6월의 구름 분포 때문이다. 그리고 12월의 경우는 대체적으로 대구와 영남 지역의 태양 복사가 다른 지역 보다 강하게 나타났다. 마찬가지로 1년 동안의 계산한 지표면 태양 복사의 연평균 값을 관측 자료와 함께 그림 2에 나타냈다. 그 결과 대구와 영남 및 남해안 지역의 지표면 태양 복사가 강하게 나타났으나 관측 자료는 대구와 부산 지역 그리고 목포와 흑산도 지역 등이 강하게 나타나 계산 값과는 다소 큰 차이가 발생되었다. 그러나 같은 태양 복사 모델에 의하여 2008년 5월~2009년 4월까지 진구에 대한 연평균 지표면 태양 복사량 계산 결과를 미국 NREL의 결과와 함께 그림 3에 나타내었고 그들의 지표면 태양 복사 분포는 매우 유사한 경향을 나타내었다.

4. 결론

우리나라와 같이 전체 면적 중 산악 분포가 높은 지역에 대하여 지표면 태양 복사 시공간 분포를 정확하게 계산하는 것은 쉽지 않기 때문에 이러한 지역에서는 정확한 태양복사 모형 결과와 지표면 및 위성 관측 자료들이 적절하게 상호 보완되어야 한다. 그러나 태양 복사 모형 정확성은 비교적 단시간에 극복 가능하나 지표면 태양 복사(일사)의 정밀한 관측 자료 생산은 관측 장비 보정과 관측 환경 및 관리 문제들 때문에 쉽지 않고 최초의 우리나라 정지 기상위성(COMS)은 금년 말 정도에 쏘아 올려질 것이다. 즉 이 연구를 통하여 계산되는 태양 복사 시공간 분포 결과의 정확성은 부분적으로 지표면 및 인공위

성 관측 자료 등의 질 향상과 매우 밀접하기 때문에 관측 자료 생산 기관과 긴밀한 협력 관계를 유지하면서 계산 결과를 부분적으로 보정해야 할 것이다.

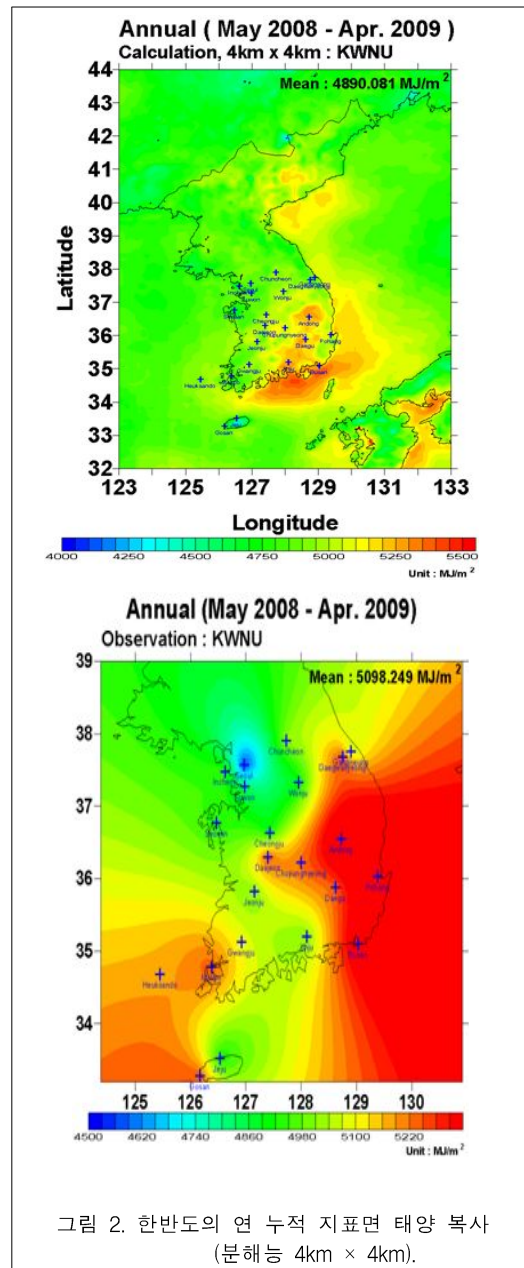
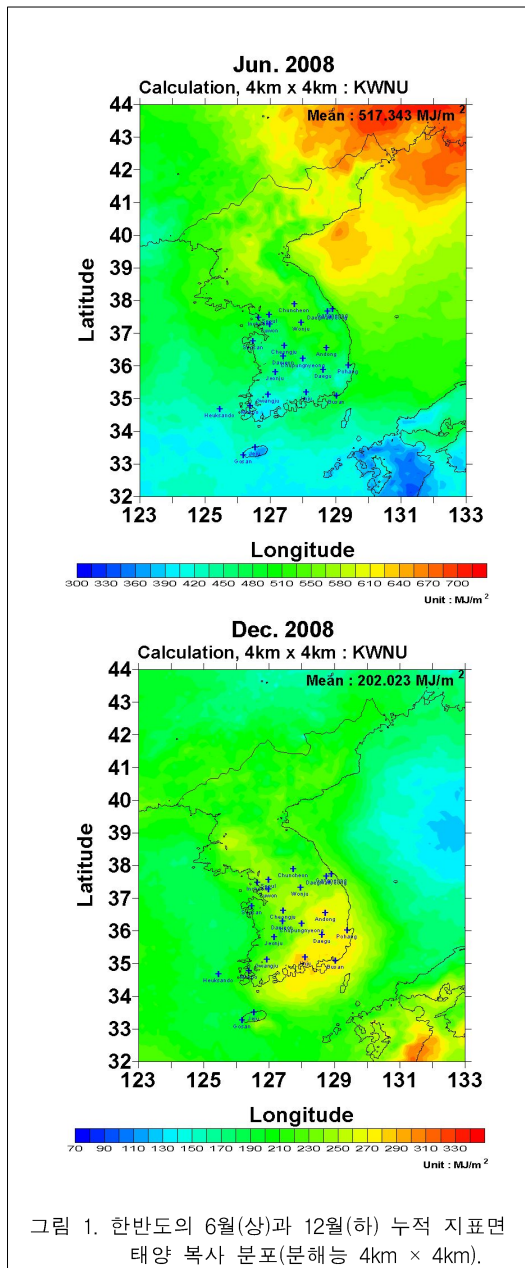
감사 : 본 연구는 국립기상 연구소 주관 “산업기상 응용모델 개발 I - 태양광 자원지도 개발”의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Muhammad Iqbal, 1983: An introduction to solar radiation. Academic Press. 390pp.

표 1. 열대 표준대기 자료 태양 천정각 0°에 의한 여러 태양 복사 모형들의 지표면 태양 복사량 계산 결과.

지표면 일사도	다중 모형		단중 모형				
	상세모형	벤드모형	스펙트럼모형			단일벤드모형	
	LBL	NASA	IQBAL	KWNU	NREL	COMS	BIRD
0.0	1066.43	1067.83	1089.20	1069.58	1082.72	1081.83	1071.07
0.1	1073.97	1074.92	1087.24	1077.05	1089.95		1071.34
0.2	1081.79	1082.25	1105.60	1084.93	1097.18		1071.82
0.3	1089.92	1089.84	1114.30	1083.03	1104.41		1071.89
0.4	1098.37	1097.70	1123.37	1101.50	1111.85		1072.17
0.5	1107.19	1105.87	1132.86	1110.24	1118.88		1072.46
0.6	1116.39	1114.36	1142.79	1119.42	1126.11		1072.75
0.7	1126.02	1123.21	1153.22	1129.08	1133.34		1073.04
0.8	1136.13	1132.46	1164.21	1139.16	1140.58		1073.34
0.9	1146.76	1142.16	1175.83	1149.83	1147.81		1073.64



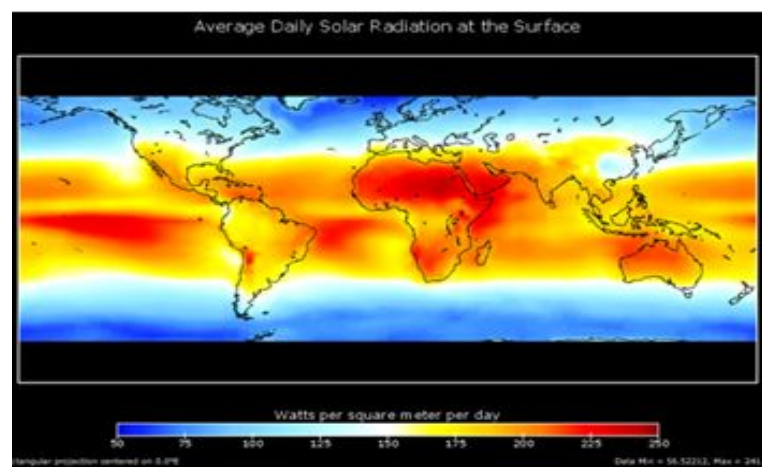
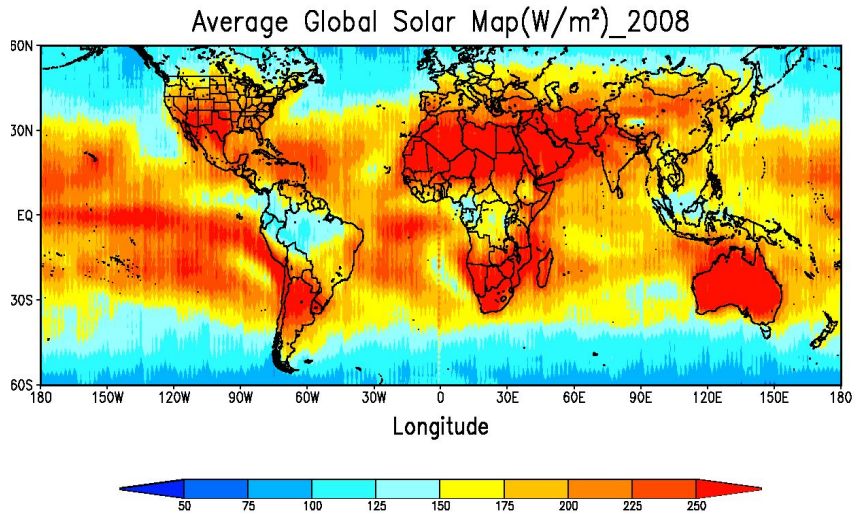


그림 3. 전구 연평균 지표면 태양 복사 (분해능 100km × 100km).