

위성자료기반의 한반도 태양기상자원지도 개발

지준범*, 최영진**, 이규태***

*국립기상연구소 응용기상연구과(jbjee@korea.kr), **국립기상연구소 응용기상연구과(jychoi@korea.kr),
***강릉원주대학교 대기환경과학과(ktlee@gwnu.ac.kr)

The Development of the Solar-Meteorological Resources Map based on Satellite data on Korean Peninsula

Jee, Joon-Bum*, Choi, Young-Jean**, Lee, Kyu-Tae***

*Applied Meteorological Research Division, NIMR(jbjee@korea.kr),

**Applied Meteorological Research Division, NIMR(jychoi@korea.kr),

***Dept. of Atmospheric & Environmental Sciences, Gangneung-Wonju University(ktlee@gwnu.ac.kr)

Abstract

Solar energy is attenuated by absorbing gases (ozone, aerosol, water vapour and mixed gas) and cloud in the atmosphere. And these are measured with solar instruments (pyranometer, pheliometer). However, solar energy is insufficient to represent detailed energy distribution, because the distributions of instruments are limited on spatial. If input data of solar radiation model is accurate, the solar energy reaches at the surface can be calculated accurately. Recently a variety of satellite measurements are available to TERA/AQUA (MODIS), AURA (OMI) and geostationary satellites (GMS-5, GOES-9, MTSAT-1R, MTSAT-2 and COMS). Input data of solar radiation model can be used aerosols and surface albedo of MODIS, total ozone amount of OMI and cloud fraction of meteorological geostationary satellite. The solar energy reaches to the surface is calculated hourly by solar radiation model and those are accumulated monthly and annual. And these results are verified the spatial distribution and validated with ground observations.

Keywords : 태양 에너지(Solar energy), 태양-기상자원지도(Solar-meteorological resources map), 위성자료 (Satellites data), 한반도(Korean peninsula)

기 호 설 명

Θ	: 천정각 ($^{\circ}$)
I_{glo}	: 전천일사량 (W/m^2)
I_{dir}	: 직달일사량 (W/m^2)
I_{dif}	: 산란일사량 (W/m^2)

1. 서 론

신재생 에너지 발전과 관련하여 정부는 2012년부터 발전차액지원제에서 의무할당제로 변경적용을 발표하였다. 이에 따른 태양 발전사업의 성공은 태양에너지의 잠재량에 대한 사전조사가 필수적이 되며, 발전량에

대한 일차적인 정보는 태양광 자원지도에 의존적일 수 있다. 이러한 태양에너지의 분포를 연구하는 방법으로 직접관측 또는 태양복사모델이 이용될 수 있다.

태양광 발전은 무한한 태양에너지를 전기 에너지로 전환하여 기존의 석탄 및 석유 등의 화석연료를 대체할 수 있으며 탄소배출과 관련된 지구온난화를 저감시킬 수 있는 신재생에너지이다. 최근 태양에너지를 이용한 태양광 발전이 점점 증가에 추세에 있으나 태양광 발전 효율과 에너지 분포에 관련된 연구가 부족하다. 또한 태양에너지의 관측은 지표면에 설치된 관측기기(전천일사계)에 의존하여 관측되고 있으나 이들 관측지점은 한정적이기 때문에 한반도의 복잡한 지형에 대해서는 그 분포가 단순화되어 상세한 정보 제공에 어려움이 있다. 이러한 일사관측의 부족을 해소하기 위하여 주로 태양복사모델을 이용하여 계산된다.

위성자료와 태양복사모델을 이용한 지표면 일사량 계산과 관련된 연구로 지준범 등(2011)(1)과 조일성 등(2010)(2)이 있으며 한반도 영역의 태양에너지의 분포를 분석하였다. 이들 연구는 2009년 단일연도 자료를 이용하여 그 분포와 기후적 대표성을 보이기 어렵다. 따라서 이 연구에서는 2009년과 2010년의 자료들을 이용한 고해상도(1km 해상도) 결과와 4km 해상도의 11년(2000년부터 2010년까지)의 자료를 이용한 결과를 이용하여 지표면에 도달하는 태양에너지의 분포를 비교 분석하고 관측자료를 이용하여 검증하였다.

따라서 이 연구를 통하여 개발된 태양기상자원지도 또는 태양에너지의 분포결과는 태양광 발전 설비와 기후 및 기상연구의 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 자료 및 방법

2.1 단층태양복사모델

지표면에 도달하는 태양에너지의 계산은 조일성 등(2010)(2)에 의하여 개발된 GWNU

(Gangneung-Wonju National University) 태양복사 모델이 사용되었다. 고도별 입력자료의 부족과 계산 시간 및 효율을 고려하여 대기는 단일 기층으로 가정하였으며 Iqbal(1983)(3) 및 NREL(National Renewable Energy Laboratory)의 SPECTRAL2 모델(Bird, 1984(4))을 기반으로 개발되었다. 지표면에 도달하는 일사량은 대기 중에서 구름과 에어로솔 및 기체 성분들에 의해 흡수 및 산란되며 각 파장별 특성을 고려하였으며 태양에너지의 진행에 따라 직달 성분(I_{dir})과 산란 성분(I_{dif})으로 나누어 계산하고 두 성분은 태양 천정각(solar zenith angle, θ)을 고려하여 실제 지표면에 도달되는 전천일사량(I_{glo})으로 계산된다.

$$I_{glo} = I_{dir} \cos\theta + I_{dif} \quad (1)$$

태양복사 모델을 이용하여 실제 대기과 같은 계산을 위해서는 고도 및 기압에 따른 흡수 계수 변화를 고려할 수 있는 다층 모델의 사용이 필연이나 이 연구에서는 시·공간 분포에 따른 연직 입력 자료 확보 및 계산 시간문제를 해결하기 위하여 단일 기층을 가정하였으며 이로 인한 일정 수준의 오차 유발이 필연이다. 따라서 단일 기층 모델은 대기 성분 변화에 따라 다층의 상세모델(Line-by-Line Model; Chou and Suarez, 1999(5))과 비교하여 보정하였으며 정확한 평가를 위하여 Garand 등(2001)(6)의 42 종류의 연직 대기의 입력 자료를 사용하여 보정하였다(지준범 등, 2011(7)).

2.2 입력자료

GWNU 태양복사 모델을 가동하기 위해서는 수증기(또는 가강수량)와 오존 등의 태양복사 흡수 기체와 에어로솔 및 구름 자료가 요구되고 계산 지점의 지표면 기압과 고도 및 지표면 알베도 자료 등이 필수적이다. 이들 자료 중 기압 및 수증기량(또는 가강수량) 자료는 10 km 해상도의 기상청 지역에 보모델(Regional Data Assimilation and

Prediction System; RDAPS)의 분석자료를 이용하였다. 오존량은 1°×1° 해상도의 OMI (Ozone Monitoring Instrument) 센서 자료(일평균 및 월평균 자료)가 사용되었으며 에어로솔은 1°×1° 해상도의 MODIS 위성자료를 사용하였다. 계산 지점의 고도 자료는 미항공우주국(NASA)의 SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) 3s (약 90 m) 자료를 이용하였고 지표면 알베도는 MODIS 센서에서 관측된 월별 자료(해상도 0.05°)를 사용하였다.

또한 지표면에 도달하는 태양복사 에너지 감쇠 요소 중 가장 중요한 구름 자료(전운량)는 MTSAT-1R 등의 정지기상위성의 가시채널의 자료를 이용하였다. 4 km 및 1 km 해상도의 가시반사도 자료는 Kawamura 등(1998)(8)과 CMDPS (국립기상연구소, 2009(9))에서 개발된 방법으로 모수화하였다. 이상의 입력자료들은 한반도영역에 대하여 위성자료와 동일한 4 km 와 1 km 격자점으로 내·외삽하여 사용하였다(표 1).

Table 1. Input data for GWNU solar model.

Input Data	4 km × 4 km/1 km × 1 km
Topography	SRTM 3s (90 m × 90 m)
Surface Albedo	MODIS(Surface Albedo: 0.05° × 0.05°)
Aerosol	MODIS(Aerosol Optical Depth: 1° × 1°)
Ozone Amount	OMI(Total Ozone Amount: 1° × 1°)
Temperature, Pressure, Total Precipitable	RDAPS 10 km × 10 km
Water	
Cloud	Asia (≈4 km)/ Korea (≈1 km)

3. 결 과

연구 기간동안 한반도지역에 대하여 4 km(2000년부터 2010년까지)와 1 km(2009년부터 2010년까지) 해상도에 대하여 지표면 태양에너지를 1시간 간격으로 계산하였다.

한반도의 월 누적 지표면 태양에너지는 위도 별 및 태양 천정각에 크게 의존되기 때문에 여름철의 지표면 태양에너지는 겨울철에 비해 큰 값을 가지며 입력 변수 중 전운량에 따라서 큰 차이를 보인다. 즉 월누적 자료들은 대부분 저위도 지역이 고위도 지역에 비해 값이 크고 태양의 고도각이 높은 7월이 1월에 비해 2배 이상의 값을 가지지만 월누적 최대값은 여름철(6~8월)이 아닌 5월에 나타났으며 이는 여름철과 비교하여 5월 월평균 전운량이 작기 때문에 지표면에 도달할 수 있는 태양에너지가 많기 때문으로 분석된다.

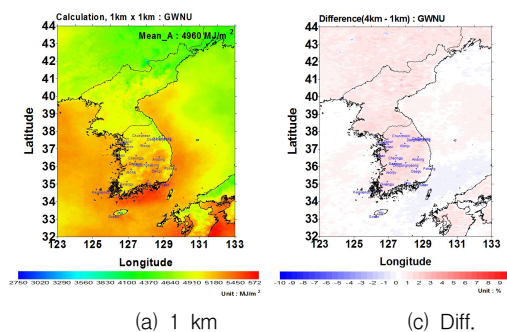


Fig. 1. Annual accumulated surface solar radiation with 1km resolution and difference between 4km and 1km resolutions.

그림 1(a)는 1km 해상도의 한반도의 연누적 평균(2009년과 2010년) 지표면 태양에너지 분포를 나타낸 것이며 그림 1(b)는 4km 해상도와 1km 해상도의 차이에 따른 일사량의 차이(%오차)를 나타낸 것이다. 대부분의 육상지역 특히 지형이 복잡한 곳에서 양의 편차가 나타났으나 그 차이는 ±10% 이내였다. 그림 2는 2009년의 1km 해상도 계산에서 지표면 일사량에 영향을 미치는 요소들에 대한 것으로 지형고도(a), 기온(b), 가강수량(c), 오존(d), 에어로솔(e), 구름(f)이다. 먼저 지형고도는 한반도 지형에 관한 정보가 표현되며 기온과 가강수량 및 오존의 경우는 대체로 위도의 함수로 나타나고 에어로솔의 경우는 서해안 지역에서 최대값이 나타나며 끝

으로 구름은 연누적 지표면 태양에너지 분포와 유사하게 나타난다.

대부분의 구름은 서쪽에서 동쪽으로 이동하게 되어 소백산맥 풍하측에 위치한 지역들에

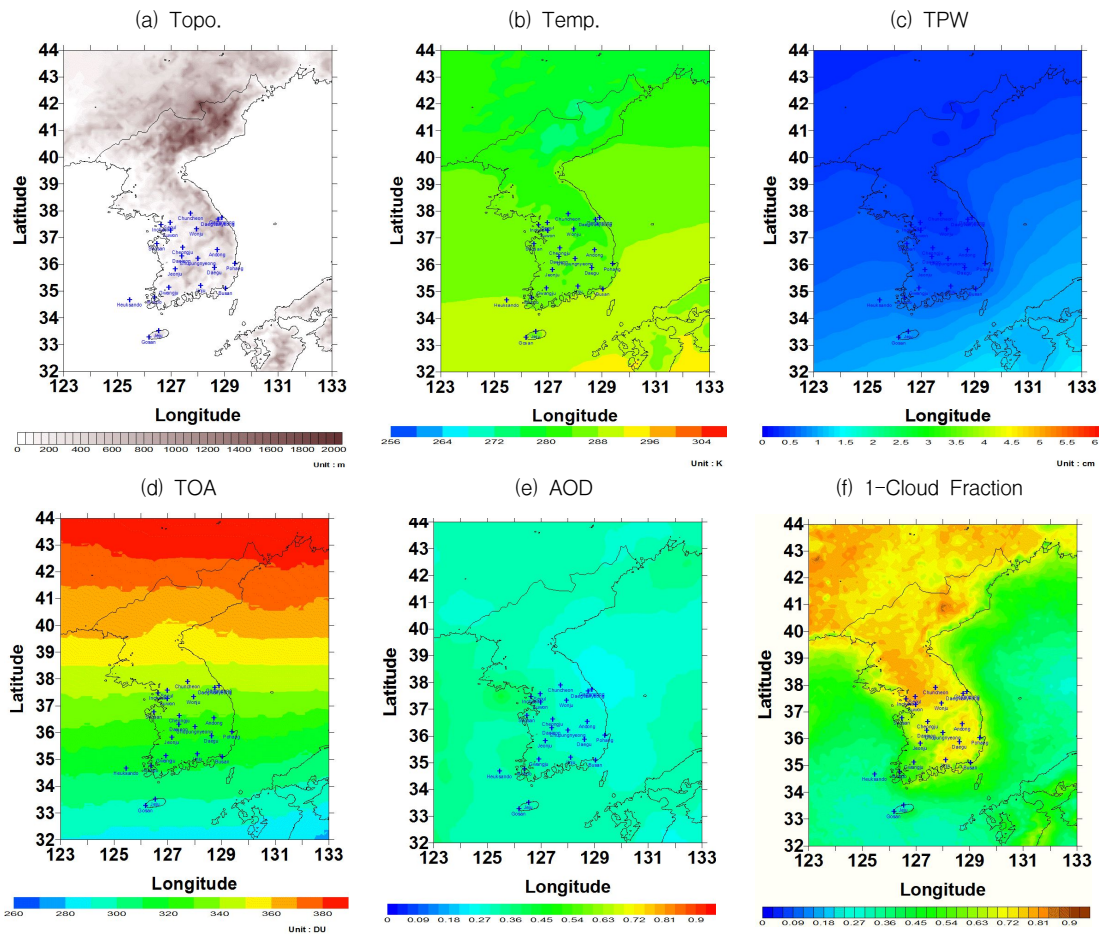


Fig. 3. Input data for GWNU solar radiation model during 2009. (Topography(a), Temperature(b), Total Precipitable Water(c), Total Ozone Amount(d), Aerosol Optical Depth(e) and Cloud Fraction(f))

지표면 태양에너지는 위도가 낮을수록 크며 한반도 서해안 지역이 다른 지역과 비교하여 에어로솔(그림 2(e))과 운량(그림 2(f))이 많기 때문에 연 누적 태양광은 상대적으로 작은 반면 안동과 대구 및 진주 등은 소백산맥 풍하 측 위치 등과 관련하여 작은 운량 때문에 태양에너지가 크다. 즉 최대값이 나타난 지역들은 비교적 낮은 위도대에 위치해 고위도에 비해 많은 일사량이 비취게 되며 편서풍대에 위치하여 주 풍향이 서풍으로

서 전운량이 적다. 따라서 동일한 위도대 지역들에 비해 강한 태양에너지를 받게 된다. 그리고 제주도의 경우 위도는 한반도에서 가장 낮은 위도에 위치하여 입사되는 태양에너지는 가장 많지만 지역적인 영향(도서지역)으로 구름이 자주 발생 또는 이동 및 정체하여 일조량이 작아 지표면에 도달하는 태양에너지의 강도가 강하지 못하다.

그리고 이 계산 결과를 기상청 22개 일사 관측소의 지표면 일사 관측 자료와 비교하였

고 상관성(R2)은 0.91이었으며 평방근오차(RMSE)는 67.53 W/m²였다(그림 3). 오차의 발생은 대부분은 구름에 의한 것으로 위성자료와 지표면 관측자료의 관측 시각의 차이에 의한 것이며 구름량을 모수화하는 조건표의 평활화에 따른 것으로 분석된다. 또한 이 연구에서 사용된 일사 관측 자료는 최근 장비 보정과 관리 운영 등을 개선하기 위하여 노력하고 있으나 자료의 신뢰성은 높지 못한 편이다. 그 이유로서는 장비 관리 및 분석을 위한 전문가 부족이 절대적이고 정확한 관측 자료 분석 및 보정을 위한 지속적인 연구가 요구된다.

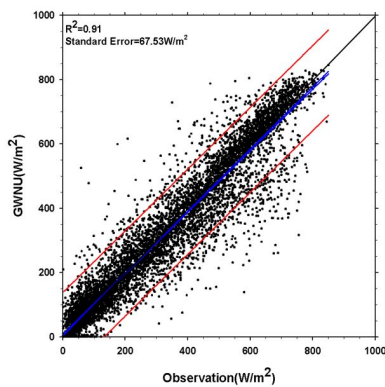


Fig. 1. Annual accumulated surface solar radiation with 1km resolution and difference between 4km and 1km resolutions.

4. 결 론

이 연구는 태양복사 모델과 입력 자료들을 이용하여 해상도 차이(4 km와 1 km)에 따른 한반도의 지표면 태양에너지의 시·공간 분포를 분석한 것이다. 그 결과 월 및 연 누적 지표면 태양에너지는 태양 천정각과 구름 분포에 크게 의존하여 나타났고 특히 2009년 5월에 지표면 일사량의 최대값이 나타났으며 그 이유는 태양 천정각이 높은 여름철보다 구름량이 적었기 때문이다.

해상도 변화에 따른 지표면 태양에너지의

차이는 지표면 자료와 구름관련 위성자료의 변화에 따른 오차에 의해 나타난 것이다. 또한 시간적으로는 해양성 기단의 영향으로 겨울철에 비해 구름이 많은 여름철에 오차가 크며 공간적으로는 육상에 보다 해상에서 오차가 더 크게 나타났으면 이는 입력 변수 중 일사량에 가장 영향력이 큰 구름 때문이다. 지역적으로 태양에너지의 강도가 가장 강한 지역은 안동과 대구 및 진주 부근으로써 그 원인으로는 위도대가 낮고 에어로솔이 비교적 적으며 특히 소맥산맥 풍하 측에 위치하여 동일한 위도 중에서도 가장 전운량이 작기 때문으로 분석된다.

계산된 태양-기상자원지도는 지상관측 일사량과 비교하였으며 상관계수는 0.91이었고 오차는 67.53 W/m²이었다. 오차의 원인은 구름의 모수화에 의한 것으로 위성자료를 이용한 구름산출의 개선이 요구된다.

결과적으로 태양복사 모델과 입력자료들을 이용해 한반도의 태양에너지를 월누적 및 연누적으로 산출하였으며 입력자료의 해상도 차이에 따라 오차가 발생하였고 이중 구름의 영향이 가장 크게 작용하였다.

후 기

본 연구는 2011년 국립기상연구소 주관의 “녹색성장 지원기술 개발”연구의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 지준범, 조일성, 이규태, 최영진, 2011: 지형 효과를 고려한 지표면 태양광 분포, 지구과학회지, Vol. 32, pp. 190-199.
2. 조일성, 지준범, 이원학, 이규태, 최영진, 2010, “복사 모델에 의한 남한의 지표면 태양광 분포”, 기후변화학회 Vol. 1, pp. 147-161.
3. Iqbal, M., 1983, “An Introduction to Solar Radiation”, Academic Press, New York,.

- pp. 390.
4. Bird, R. E., 1984, "A Simple Spectral Model for Direct Normal and Diffuse Horizontal Irradiance", Solar Energy No. 1, pp. 13-21.
 5. Chou, M. D. and M. J. Suarez, 1999, "A Solar Radiation Parameterization for Atmospheric Studies", NASA/TM-1999-104606, 15.
 6. Garand, L., D. S. Turner, M. Larocque, J. Bates, S. Boukabara, P. Brunel, F. Chevallier, G. Deblonde, R. Engelen, M. Hollingshead, D. Jackson, G. Jedlovec, J. Joiner, T. Kleespies, D. S. McKague, L. McMillin, J. L. Moncet, J. R. Pardo, P. J. Rayer, E. Salathe, R. Saunders, N. A. Scott, P. Van Delst, and H. Woolf, 2001, "Radiance and Jacobian intercomparison of radiative transfer model applied to HIRS and AMSU channels", J. of Geophys. Res. Vol. 24, pp. 17-31.
 7. 지준범, 이원학, 이규태, 조일성, 2011, "다층상세태양복사모델에 의한 단층 태양복사모델의 보정", 대기, Vol. 21, 151-162.
 8. Kawamura, H., S. Tanahashi, and T. Takahashi, 1998, "Estimation of insolation over the Pacific Ocean off the Sanriku coast", J. of Oceanogr. Vol. 54, pp. 457-464.
 9. 국립기상연구소, 2009, "통신해양기상위성 기상자료처리시스템 개발", 최종보고서, pp. 846.