

## 부산지역에 적합한 시간당 수평면 전일사량 산출모델의 비교분석

### Comparison Analysis of Estimation Models of Hourly Horizontal Global Solar Radiation for Busan, Korea

김기한\*† · 오기환\*\*

Kee Han Kim\*† and Kie-Whan Oh\*\*

(Submit date : 2013. 6. 13., Judgment date : 2013. 6. 20., Publication decide date : 2013. 9. 23.)

**Abstract :** Hourly horizontal global solar radiation has been used as one of significant parameters in a weather file for building energy simulations, which determines the quality of building thermal performance. However, as about twenty two weather stations in Korea have actually measured the horizontal global solar radiation, the weather files collected in other stations requires solar data simulation from the other meteorological parameters. Thus, finding the reliable complicated method that can be used in various weather conditions in Korea is critically important. In this paper, three solar simulation models were selected and evaluated through the reliability test with the simulated hourly horizontal global solar radiation against the actually measured solar data to find the most suitable model for the south east area of Korea. Three selected simulation models were CRM, ZHM, and MRM. The first two models are regression type models using site-fitted coefficients which are derived from the correlation between measured solar data and local meteorological parameters from the previous years, and the last model is a mechanistic type model using the meteorological data to calculate conditions of atmospheric constituents that cause absorption and scattering of the extraterrestrial radiation on the way to the surface on the Earth. The evaluation results show that ZHM is the most reliable model in this area, yet a complicated hybrid simulation methods applying the advantages of each simulation method with the monthly-based weather data is needed

**Key Words :** 수평면 전일사량(Horizontal global solar radiation), CRM(Cloud-cover radiation model), ZHM(Zhang and Huang model), MRM(Meteorological radiation model), 일사량 예측(Estimation of solar radiation).

\*† 김기한 (교신저자) : 미국 텍사스 A&M 대학교 대학원 \*†  
건축학과

E-mail : keehankim@outlook.com,  
Tel : +1-979-220-8199

\*\*오기환 : 동서대학교 건축설계학과

Kim, Kee Han (corresponding author) : Department of  
Architecture, Graduate School, Texas A&M University, U.S.A.  
E-mail : keehankim@outlook.com, Tel : +1-979-220-8199

\*\*Oh, Kie-Whan : Department of Architectural Design, Dongseo  
University.

## 기 호 설 명

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| $I_m$          | : 실측 수평면 전일사량 ( $W/m^2$ )         |
| $I_o$          | : 태양상수 ( $1,366.1 W/m^2$ )        |
| $I_e$          | : 대기권 밖 법선면 일사량 ( $W/m^2$ )       |
| $I_g$          | : 수평면 전일사량 ( $W/m^2$ )            |
| $I_b$          | : 수평면 직달일사량 ( $W/m^2$ )           |
| $I_d$          | : 수평면 확산일사량 ( $W/m^2$ )           |
| $I_{ds}$       | : 수평면 단일 확산일사량 ( $W/m^2$ )        |
| $I_{dm}$       | : 수평면 다중 확산일사량 ( $W/m^2$ )        |
| $I_{g-c}$      | : 청정일 수평면 전일사량 ( $W/m^2$ )        |
| $I_{b-c}$      | : 청정일 수평면 직달일사량 ( $W/m^2$ )       |
| $I_{d-c}$      | : 청정일 수평면 확산일사량 ( $W/m^2$ )       |
| $a$            | : 태양고도 (degree)                   |
| $\theta_z$     | : 천정각 (degree)                    |
| $N$            | : 운량, 0-10                        |
| $n$            | : 데이터 수                           |
| $\phi$         | : 상대습도 (%)                        |
| $T_n, T_{n-3}$ | : n 및 n-3 시의 건구온도 ( $^{\circ}C$ ) |
| $V_W$          | : 풍속 (m/s)                        |
| $\tau$         | : 일사량 투과율                         |
| $a_g, a_s$     | : 지표면 및 천공의 알베도 (albedo)          |

## 1. 서 론

건물 에너지 해석 프로그램 사용 시에 필수적인 기상파일에는 일반적으로 기본적인 기상 정보 외에 시간당 수평면 전일사량 또는 법선면 직달일사량과 같은 일사량정보가 포함되어 있다. 이들 일사량정보는 건물 에너지 해석의 정확성에 결정적인 영향을 미치는 중요한 요소이다. 그러나 현재 우리나라뿐만 아니라 선진국의 많은 기상관측소에서도 수평면 전일사량 또는 법선면 직달일사량의 실측이 이루어지지 않고 있다. 우리나라의 경우 92 개소의 유인 기상관측소 중에서 일사량의 측정 및 기록

이 이루어지고 있는 기상관측소는 서울, 부산, 대구, 광주 등의 대도시를 포함한 22 개소에 불과하다<sup>1)</sup>. 이들 지역을 제외한 다른 기상관측소에서는 수평면 전일사량 또는 법선면 직달일사량을 가장 신뢰할 수 있는 것으로 판단된 모델을 활용하여 예측한 결과를 활용할 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 수평면 전일사량을 예측하는 기존 모델들을 비교, 검토하여 해당 지역에 보다 정확도가 높은 개량된 수평면 전일사량 산출모델을 제공하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 우선 방법론의 도출을 위한 기초연구로서 부산지역을 대상으로 일사량을 비교분석하였으나, 향후 기후적 특징을 갖는 주요 대표 지역들을 대상으로 확대하여 검토, 비교함으로써 기상 정보가 없는 지역을 포함한 대한민국의 모든 지역의 일사량정보 파일을 작성할 수 있는 표준적 방법을 도출하는 것이 최종목표이다.

본 연구를 위해 사용된 부산지역의 기상정보는 한국기상청에서 제공하는 시간별 기상정보를 기본으로 이용하였으며, 예측 일사량에 대한 비교의 기준이 된 실측 수평면 전일사량은 2010년 부산기상관측소(위도 북위 35.1도, 경도 동경 129.02도, 고도 69.6m)에서 측정된 기상데이터로서, Kipp & Zonen사에서 개발한 CMP 21 Pyranometer 일사계를 사용하여 1분 간격으로 측정하여 시간 단위로 저장한 값을 이용하였다. 해당 기상 파일에는 일사량

1) Lee, K.H. & Sim, K.Y., Analysis and calculation of global hourly solar irradiation based on sunshine duration for major cities in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.30, pp.16~21, 2010.

외에 건구온도, 습구온도, 상대습도, 노점온도, 풍속, 풍향, 일조시간, 운량, 대기압 등의 일반적인 기상자료가 포함되었다. 누락된 시간의 기상정보는 일사량 산출모델의 계산에서 제외하였다.

수평면 전일사량의 산출모델의 개발은 1970년대부터 시작되었다. 현재까지 유럽, 북미, 아시아를 포함한 다양한 국가에서 그 지역에 맞는 다양한 모델들이 개발되어 왔으며, 그 정확도도 꾸준히 향상되어 왔다.

기존의 수평면 전일사량 산출모델을 크게 구분하면 회귀형 모델, 역학형 모델, 그리고 첨단장비를 이용한 모델로 나눌 수 있다. 대표적인 회귀형 모델로는 Could-cover Radiation Model (CRM)<sup>2)</sup>을 비롯해서 Zhang and Huang Model (ZHM)<sup>3)</sup>, Saudi Arabia Model<sup>4)</sup> 등이 있으며, 역학형 모델로는 Meteorological Radiation Model (MRM)<sup>5)</sup>, Upper-air Humidity Mode<sup>6)</sup> 등이 있고, 첨단장비를 이용하는 모델로는

특수 기상장비를 사용하여 취합한 기상정보를 사용하는 모델과 위성화상을 이용하는 모델<sup>7)8)</sup> 등이 있다.

이들 모델들은 각각의 장단점을 지닌다. 회귀형 모델은 과거 수년간의 그 지역 실측일사량과 기상정보와의 상관관계에서 지역계수를 도출하여 일사량을 산출하는 모델로서 각 지역의 지역계수를 도출해야 하는 번거로움이 있으나, 일단 지역계수를 도출하고 나면, 동일한 기후적 특성을 갖는 그 주변의 지역에도 적용할 수 있으며, 계산과정이 비교적 간단하고 산출 결과도 정확하다는 장점이 있다. 역학적 모델은 회귀형 모델과 달리 지역계수를 도출할 필요가 없이, 그 지역의 기상정보만으로 대기상의 상태를 계산하여 대기권 밖 일사량이 대기권을 통과하며 생기는 흡수, 산란 등을 고려하여 지표면에 도달하는 일사량을 바로 산출할 수 있는 장점이 있으나, 그 산출과정이 다소 복잡하며, 일반적인 기상관측소에서 측정하지 않는 별도의 기상정보들을 활용하는 경우가 많다는 단점이 있다. 그리고 첨단장비를 이용하는 모델은 위성화상을 통하여 그 지역의 기상상태를 파악하고 전일사량을 산출하는 모델로 다른 모델들에 비해 정밀도가 높은 경우가 많으나, 위성화상의 분석에 있어서 전문적인 지식과 위성장비를 필요로 한다는 단점이 있다.

- 2) Kasten F. & Czeplak G., Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud, *Solar Energy*, Vol.24, pp.177~189, 1980.
- 3) Zhang, Q.Y. & Huang Y.J., Development of typical year weather files for Chinese locations, *ASHRAE Transactions*, Vol.108, No.2, pp.1063~1075, 2002.
- 4) Akram A. et al., Simulation and modeling of solar radiation in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, Vol.6, No.2, pp. 107~118, 1995.
- 5) Badescu, V., Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, Chapter 14, *The Meteorological Radiation Model (MRM): Advancements and Applications*, Kambezidis, H. & Psiloglou, B., Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- 6) Yang K. & Koike T., Estimating surface solar radiation from upper-air humidity, *Solar Energy*, Vol.77, No.2, pp.177~186, 2002.

- 7) Perez R. et al., A new operational model for satellite-derived irradiances: description and validation, *Solar Energy*, Vol.73, No.5, pp.307~317, 2002.
- 8) Perez R. et al., Forecasting solar radiation: preliminary evaluation of an approach based upon the National Forecast Database, *Solar Energy*, Vol.81, No.6, pp.809~812, 2007.

본 연구에서는 이러한 여러 유형의 수평면 전일사량 산출모델 중에서 우선 일별 또는 월별 일사량 산출만 가능하고 시간별 일사량의 산출이 불가능한 모델은 제외하였다. 또한 고온건조한 지역이나 고위도지역을 대상으로 하여 우리나라의 기후조건에서는 활용할 수 없는 모델이 다수 있었다. 그 결과 대부분의 기상청에서 제공하고 있는 일반적인 기상정보만으로도 일사량의 예측이 가능한 모델 중에서 신뢰성이 높은 것으로 밝혀진 세 가지 모델을 선정하여, 비교분석을 실시하였다. 선택된 모델들은 미국난방냉동공조학회(ASHRAE)의 연구보고서<sup>9)</sup>에서 제시하고 있는 24개의 모델들 중에서 미국에서 가장 일반적으로 활용되고 있는 모델들이다.

## 2. 비청정일 일사량 산출모델

이미 많은 선행연구에 의해 비교적 정밀한 예측이 가능한 수준으로 그 유도과정과 산출 공식이 밝혀진 청정일의 일사량 예측과는 달리, 비청정일의 일사량 예측은 실제적으로 많은 변수들을 포함하고 있으며, 앞에서 설명한 것과 같이 아주 다양한 유형의 산출모델이 개발되어 있어 어느 특정한 방법을 그 지역의 기후조건에 이상적인 모델로서 선정하는 것이 쉽지 않다. 따라서 우리나라 남부 해안지역의 기후에 적합한 산출모델의 선정과 그 정밀도의 개선방안의 모색을 위하여 위에서 언급한

기준에 적합한 세 가지 비청정일 일사량 산출 모델인, CRM, ZHM, MRM을 중심으로 모델의 특성과 정밀성을 비교분석하였다. 각 모델의 특성과 유도과정을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

### 2.1 Could-cover Radiation Model(CRM)

Could-cover Radiation Model(CRM)은 Kasten & Czeplak<sup>2)</sup>에 의해서 개발된 시간당 수평면 전일사량 산출모델로서, 독일 함부르크에서의 과거 10년간 실측한 일사량과 운량정보로부터 도출한 그 지역의 지역계수를 이용하여 일사량을 산출한 모델이다. 이 모델은 Gul M. et al.<sup>10)</sup>, Munner & Gul<sup>11)</sup>에 의해 함부르크 이외 도시의 지역계수를 도출하여 일사량을 산출할 수 있도록 개량되었다. 이 모델은 정확성과 간편성으로 인해 현재 가장 보편적으로 이용되는 모델 중 하나로서, 대한민국 표준기상데이터의 일사량 산출에도 활용된 모델이다. 여기에서는 쾌청한 하늘을 나타내는 0 oktas에서 짙은 구름이 낀 하늘의 8 oktas까지의 운량정보와 그 지역의 태양고도를 이용하여 지역계수를 산출한다. 우리나라 기상청에서는 운량정보를 oktas가 아닌 10계급으로 제공하고 있으므로, 기존 산출식을 운량 10단계로 사용할 수 있도록 변형하였다. 본 연구에서는, 유효천

9) Krarti M. et al., Development of Solar Radiation Models for Tropical Locations, ASHRAE Project RP-1309, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2006.

10) Gul M. et al., Models for obtaining solar radiation from other meteorological data, Solar Energy, Vol.64, pp.99~108, 1998.

11) Munner T. & Gul M., Evaluation of sunshine and cloud cover based models for generating solar radiation data, Energy Conversion and Management, Vol.41, pp.461~482, 2000.

등이<sup>12)</sup> 도출한 부산지역 CRM 지역계수를 수정 없이 적용하였다. 유도방정식은 다음의 식 (1), (2)와 같으며, 지역계수는  $A=930$ ,  $B=64$ ,  $C=0.77$ , 그리고  $D=2.9$ 이다.

$$I_{g-c} = A \sin \alpha - B \quad (1)$$

$$I_g = I_{g-c} \{1 - C(N/10)^D\} \quad (2)$$

### 2.2 Zhang and Huang Model(ZHM)

Zhang & Huang<sup>3)</sup>에 의해 개발된 수평면 전일사량 산출모델은 중국의 베이징과 광저우에서 수년간 실측한 일사량과 건구온도, 상대습도, 풍속, 운량 등과 같은 기상정보를 이용하여 그 지역의 지역계수를 도출하고, 이것을 이용하여 일사량을 산출한 모델이다. 식 (3)은 수평면 전일사량 산출식으로, 본 연구의 대상지인 부산(위도, 북위 35.1도)은 중국 베이징(위도, 북위 39.9도)과 광저우(위도, 북위 23.1도) 사이에 위치하고 있으므로, 지역계수는 Zhang & Huang에 의해 사용된 값을 그대로 적용하였다. 유도방정식에 이용된 지역계수는,  $c_0=0.5598$ ,  $c_1=0.4982$ ,  $c_2=-0.6762$ ,  $c_3=0.02842$ ,  $c_4=-0.00317$ ,  $c_5=0.014$ ,  $d=-17.853$ ,  $k=0.843$ 이며,  $I_g$ 는 0 미만인 경우는 0으로 처리하였다.

$$I_g = [I_0 \sin \alpha c_0 + c_1(N/10) + c_2(N/10)^2 + c_3(T_n - T_{n-3}) + c_4\Phi + c_5V_w + d]/k \quad (3)$$

### 2.3 Meteorological Radiation Model (MRM)

Meteorological Radiation Model(MRM)은 Kambezidis & Psiloglou<sup>5)</sup>에 의해 개발된 시간당 수평면 전일사량 및 법선면 직달일사량을 산출하는 모델로 기본적으로 일조율, 운량, 건구온도, 습구온도, 대기압으로 구성된 기상정보를 이용하여 일사량을 산출하는 모델이다. 이 모델은 운량을 기준으로 청정일 일사량과 비청정일 일사량을 각각 구분하여 산출하는 모델로서, 앞서 언급한 기상정보를 이용하여 대기 중의 수증기량, 가스량 등을 계산한 후, 대기권 밖 일사량으로부터 대기권의 일사의 흡수, 산란을 계산하여 지표면에 도달하는 일사량을 산출한다. 계산과정이 다소 복잡하나, 일본과 영국 등의 유럽국가에서 실험한 일사량 예측모델에 관한 연구에서 상당히 신뢰할 수 있는 일사량 산출모델로 밝혀졌다. 그 전체 유도과정이 상당히 복잡하여 지면 관계상 주요 산출방정식만을 제시하였다. 모델과 관련한 보다 자세한 산출과정과 산출공식에 대해서는 Psiloglou & Kambezidis<sup>13)</sup>의 연구를 참조하길 바란다.

식 (4)에 의해 계산된 청정일 수평면 직달일사량( $I_{b-c}$ )과 식 (5)~(7)에서 구한 청정일 수평면 확산일사량( $I_{d-c}$ )의 합에 의해 청정일 수평면 전일사량( $I_{g-c}$ )이 구해진다. 그리고 확산일사량( $I_{d-c}$ )은 대기성분에 의한 단일 확산일사량( $I_{ds-c}$ )과 다중 확산일사량( $I_{dm-c}$ )의 합으로

12) Yoo, H.C. et al., Analysis of data and calculation of global solar radiation based on cloud data for major cities in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.28, No.4, pp.17~24, 2008.

13) Psiloglou, B. & Kambezidis, H. Performance of the meteorological radiation model during the solar eclipse of 29 March 2006, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, pp.6047~6059, 2007.

구성된다.

$$I_{b-c} = I_e \cos \theta_z \tau_w \tau_r \tau_o \tau_{mg} \tau_a \quad (4)$$

$$I_{ds-c} = I_e \cos \theta_z \tau_w \tau_o \tau_{mg} \tau_{aa} 0.5(1 - \tau_{as} \tau_r) \quad (5)$$

$$I_{dm-c} = (I_{b-c} + I_{ds-c})(\alpha_g \alpha_s) / (1 - \alpha_g \alpha_s) \quad (6)$$

$$I_d = I_{ds-c} + I_{dm-c} \quad (7)$$

$$I_y = I_{b-c} + I_d \quad (8)$$

여기에서  $I_e$ 는 대기권 밖 법선면 일사량을 나타낸다. 식 (4), (5)의 일사량 투과율  $\tau$ 의 첨자들은 순서대로 각각 수증기, 레일리 산란(Rayleigh scattering), 오존, 혼합가스, 에어로졸의 투과율을 나타내며,  $\tau_{aa}$ 와  $\tau_{as}$ 는 각각 에어로졸의 흡수와 산란에 의한 투과율을 나타낸다. 또한,  $\alpha_g$ 와  $\alpha_s$ 는 각각 지표면과 천공의 알베도(albedo)를 의미한다.

청정일 일사량의 경우와 마찬가지로, (9)에 의해 계산된 비청정일 수평면 직달일사량( $I_b$ )과 식 (10)~(12)에서 구한 비청정일 수평면 확산일사량( $I_d$ )의 합에 의해 비청정일 수평면 전일사량( $I_g$ )이 구해진다.

$$I_b = I_{b-c} T_c \quad (9)$$

$$I_{ds} = I_{ds-c} T_c + k^*(1 - T_c)(I_{b-c} + I_{ds-c}) \quad (10)$$

$$I_{dm} = (I_b + I_{ds})(\alpha_g \alpha_s) / (1 - \alpha_g \alpha_s) \quad (11)$$

$$I_d = I_{ds} + I_{dm} \quad (12)$$

$$I_y = I_b + I_d \quad (13)$$

여기에서  $T_c$ 는 구름 투과율을 나타내며,  $k^*$ 는 예측대상지의 위도에 따른 투과계수를 의미한다.

### 3. 기상정보를 이용한 일사량 산출결과 분석

본 연구과정에서 산출한 일사량의 정밀도를 검증하기 위하여 통계적 지표로서, Mean Bias Error(MBE), Root Mean Square Error(RMSE), 그리고 MBE와 RMSE로부터 도출되는 t-statistic 지표<sup>14)</sup>를 이용하였다. 식 (14), (15)는 각각 MBE와 RMSE 지표를 계산하는 식으로, MBE는 산출한 일사량의 과소평가 혹은 과대평가 판단에 적합하고, RMSE는 산출한 일사량이 실측 일사량에 비하여 어느 정도 분산되어 있는지를 파악하기에 적합하다. 그러나 이 두 지표를 동시에 신뢰도 검증을 위해 사용할 경우, 두 지표의 신뢰도가 상반되는 경우(예를 들어, MBE 값은 크고, RMSE 값은 작은 경우)가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 MBE와 RMSE를 동시에 이용하고 있는 지표인 t-stastic을 산출모델의 정밀도를 판단하는 최종적인 평가지표로 이용하였고, 그 식은 식 (16)과 같다. 동시에, 각 모델로부터 산출된 수평면 전일사량의 차이를 보다 직관적으로 판단하기 위해서 수평면 전일사량의 연평균 값도 모델 평가에 활용하였다.

$$MBE = \sum(I - I_m) / n \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\sum(I - I_m)^2 / n} \quad (15)$$

$$t = [(n-1)MBE^2 / (SE^2 - MBE^2)]^{1/2} \quad (16)$$

Fig. 1, 2, 3은 앞 장에서 서술한 일사량

14) Stone, R.J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models, Solar Energy, Vol.51, No.4, pp.289~291, 1993.

추출모델인 CRM, ZHM, MRM을 이용하여 2010년 부산지역 수평면 전일사량을 산출한 결과를, 실측 일사량에 비교하여 나타낸 것이다. 또한, 각각의 모델로부터  $R^2$ , MBE, RMSE, t-statistic, 그리고 일사량의 연평균 값을 계산하여 그림의 상부 여백에 나타내었다.

그림에서 쉽게 파악할 수 있듯이, CRM에 의한 산출 일사량 값은 분산의 정도는 양호하나 실측값에 비하여 전반적으로 크게 낮은 수치로 예측되었으며, ZHM은 실측값과 아주 근사한 평균값을 나타내나 분산의 정도가 상대적으로 높았으며, MRM은 독특하게 결과치의 분포가 그림에서 보듯이 2개의 그룹으로 나누어 형성되었으며, 300 W/m<sup>2</sup>이하의 낮은 일사의 경우에는 특히 예측 값이 부정확한 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 도출된 것은 CRM의 경우에는 사용된 지역계수의 수치가 낮아 문제가 발생한 것으로 보이며, MRM의 경우에는 계절별의 편차에 기인한 것으로 판단된다.

각 모델로부터의 산출된 일사량에 대한 분석 결과를 종합하면, t-statistic 수치에 있어서는 ZHM이 0.40로 가장 신뢰도가 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 MRM (6.20), CRM (30.55) 순으로, 신뢰도 수치에 있어 큰 차이를 보였다. 또한, 연평균 일사량 값에 있어서도 실측값인 166.58 W/m<sup>2</sup>에 ZHM (166.36 W/m<sup>2</sup>)과 MRM (162.80 W/m<sup>2</sup>)은 아주 근접한 결과를 도출하였으나, CRM (143.77 W/m<sup>2</sup>)의 경우는 큰 오차를 나타내었다. 따라서 정확한 지역계수의 도출이 CRM 방법에 있어서 결정적으로 중요한 과정인 것을 알 수 있다. MBE 수치에 있어서는 ZHM이,  $R^2$ , RMSE 수치에 있어서는 MRM이 가장 신뢰할 수 있는 모델인 것으로 파악되었다.

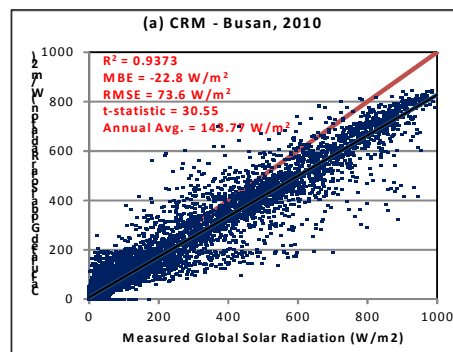


Fig. 1. The simulated horizontal global radiation by CRM, plotted against the measured radiation.

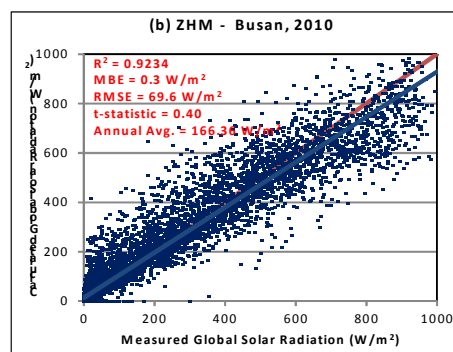


Fig. 2. The simulated horizontal global radiation by ZHM, plotted against the measured radiation.

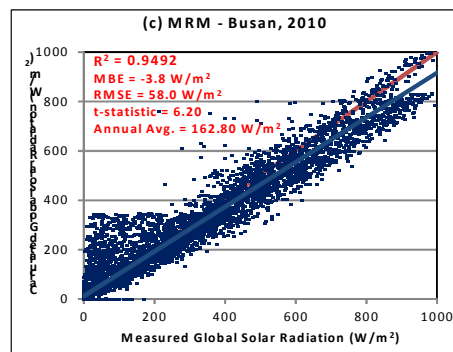


Fig. 3. The simulated horizontal global radiation by MRM, plotted against the measured radiation.

Table 1. Comparison of percentage difference and t-statistic values of monthly horizontal global radiation derived by three different models. (The highlighted colors indicate the most accurate model in each index.)

|     |             | Jan   | Feb   | Mar    | Apr   | May   | Jun  | Jul   | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Annual       |
|-----|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| CRM | % Diff.     | 17.1% | 14.1% | 12.1%  | 13.8% | 10.1% | 9.9% | 11.9% | 13.1% | 15.1% | 18.6% | 16.2% | 14.8% | <b>13.9%</b> |
|     | t-statistic | 2.51  | 1.82  | 1.31   | 1.85  | 1.50  | 1.58 | 1.40  | 1.80  | 2.02  | 2.53  | 2.54  | 2.10  | <b>6.23</b>  |
| ZHM | % Diff.     | -6.7% | -9.7% | -15.9% | -6.7% | 0.2%  | 2.4% | 6.6%  | 12.6% | 8.2%  | 3.6%  | -4.0% | -7.9% | <b>-1.4%</b> |
|     | t-statistic | 0.99  | 1.05  | 1.64   | 0.96  | 0.02  | 0.46 | 0.94  | 1.71  | 1.21  | 0.57  | 0.72  | 1.10  | <b>0.08</b>  |
| MRM | % Diff.     | 4.5%  | -3.9% | -8.4%  | -1.8% | 0.6%  | 2.0% | 4.2%  | 5.6%  | 5.6%  | 10.1% | 4.4%  | -1.2% | <b>1.8%</b>  |
|     | t-statistic | 0.98  | 0.35  | 1.01   | 0.24  | 0.10  | 0.38 | 0.60  | 0.99  | 0.88  | 1.83  | 1.06  | 0.22  | <b>1.26</b>  |

보다 세부적인 신뢰도 분석을 위해 월별 경향과 일별 경향을 비교분석하였다. Table 1은 각 모델의 월별 일사량의 오차율과 t-statistic을 나타낸 것이다. 오차율(% difference)에 있어서는 대부분의 달(1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12월)에서 MRM이 가장 실측 일사량에 근접한 것으로 나타났으며, 그 외의 달(5, 10, 11월)에서는 ZHM이 실측 일사량에 가장 근접한 것으로 나타났다. t-statistic으로 평가할 경우에도 모든 달에 걸쳐 같은 경향을 볼 수 있다. 그러나 연평균 값만을 고려할 경우 ZHM의 오차율이 -1.4%, t-statistic 수치가 0.08로 신뢰도가 아주 높은 우수한 모델인 것으로 나타났다. 종합적인 분석의 결과로 ZHM로 산출한 수평면 전일사량이 이 지역에 가장 적합한 모델임을 알 수 있었다.

이러한 복합적인 결과가 나타난 것은 각 모델에서 사용하는 기상정보 요소와 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. CRM의 경우는 운량만으로 일사량을 산출하나, MRM의 경우는 운량과 함께 일조율, 건구온도, 습구온도, 대기압을 이용한다. ZHM의 경우에는 운량과 함께 건구온도, 상대습도, 풍속을 이용하여 대기 중 수증기량의 움직임에 따른 일사의 흡수, 산란에 의한 영향을 반영한다. 일별 경향 분석도 역시 실시하였으나,

특정일에 대한 분석결과를 일반화하기에 어려움이 있어 본 논문에는 포함하지 않았다.

#### 4. 결 론

시간별 수평면 전일사량을 산출하는 세 모델인 CRM, ZHM, 그리고 MRM을 사용하여 부산지역의 2010년 일사량을 산출하여 실측 일사량과 비교분석하였다. 본 연구는 일사량을 실측이 이루어지지 않는 지역에 있어서 보다 정확한 일사량정보를 제공하기 위한 연구과정의 첫 단계로 운량 및 해수온의 영향이 상대적으로 높을 것으로 예상되는 부산지역을 대상으로 행하였다. 선택된 모델로부터 산출한 비청정일 수평면 전일사량을 실측 일사량과 비교분석한 결과, 전반적으로 ZHM에 의한 결과가 가장 신뢰도가 높았으나, 특히 여름철과 겨울철 등과 같은극한 기후에서는 그 오차가 크게 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 따라서 MRM에서 사용하는 일조율, 대기압 등을 반영하는 계절별 모델을 개발하면 그 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로의 연구에서는 다양한 기후조건에 적합한 보다 세분화된 조건을 갖는 수평면 전일사량 및 범



선면 직달일사량을 예측하는 프로그램의 개발을 위해 분석의 대상과 조건을 광범위하게 넓혀 연구를 진행할 필요가 있는 것으로 보인다.

## 후 기

이 논문은 2012년도 동서대학교 교내특별연구과제 지원을 받아 수행하였습니다.

## 참 고 문 헌

1. Lee, K.H., Sim, K.Y., Analysis and calculation of global hourly solar irradiation based on sunshine duration for major cities in Korea, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.30, pp.16~21, 2010.
2. Kasten F., Czeplak G., Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud, *Solar Energy*, Vol.24, pp.177~189, 1980.
3. Zhang, Q.Y., Huang Y.J., Development of typical year weather files for Chinese locations, Vol.108, No.2, pp.1063~1075, 2002.
4. Akram A., Zuhairy, Sayigh, A., Simulation and modeling of solar radiation in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, Vol.6, No.2, pp.107~118, 1995.
5. Badescu, V., Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, Chapter 14, *The Meteorological Radiation Model (MRM): Advancements and Applications*. Kambezidis, H., Psiloglou, B., Springer Berlin Heidelberg, 2008.
6. Yang K., Koike T., Estimating surface solar radiation from upper-air humidity, *Solar Energy*, Vol.77, No.2, pp.177~186, 2002.
7. Perez R., Ineichen P., Moore K., Kmiecik M., Chain C., George R., Vignola F., A new operational model for satellite-derived irradiances: description and validation, *Solar Energy*, Vol.73, No.5, pp.307~317, 2002.
8. Perez R., Moore K., Wilcox S., Renne D., Zelenka K., Forecasting solar radiation: preliminary evaluation of an approach based upon the National Forecast Database, *Solar Energy*, Vol.81, No.6, pp.809~812, 2007.
9. Krarti M., Huang J., Seo, D., Dark J., Development of Solar Radiation Models for Tropical Locations, ASHRAE Project RP-1309, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2006.
10. Gul M., Muneer T., Kambezidis H., Models for obtaining solar radiation from other meteorological data, *Solar Energy*, Vol.64, pp.99~108, 1998.
11. Munner T, Gul M., Evaluation of sunshine and cloud cover based models for generating solar radiation data, *Energy Conversion and Management*, Vol.41, pp.461~482, 2000.
12. Yoo, H.C., Lee, K.H., Park, S.H., Analysis of data and calculation of global solar radiation based on cloud data for major cities in Korea, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.28, No.4, pp.17~24, 2008.
13. Psiloglou, B., Kambezidis, H. Performance of the meteorological radiation model during the solar eclipse of 29 March 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, pp.6047~6059, 2007.
14. Stone, R.J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models, *Solar Energy*, Vol.51, No.4, pp.289~291, 1993.