

# 운량 비측정 지역을 위한 수평면전일사량 예측 상관식의 수정모델 제안

조민철 · 김정배\*

한국교통대학교 에너지시스템공학과

## Proposal of Modified Correlation to Calculate the Horizontal Global Solar Irradiance for non-Measuring Cloud-cover Regions

Min-Cheol Cho · Jeongbae Kim\*

Department of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation,  
50 Daehak-ro, Chungju 27469, Korea

(Received 2016.11.02 / Accepted 2016.11.18)

**Abstract** : Recently, the authors of this paper proposed newly the correlation model to calculate the horizontal global solar radiation in Korea based the Zhang-Huang (ZH) model proposed in 2002 for China. Previous study was pronounced the correlation with a new term of the duration of sunshine proved as being closely related with the hourly solar radiation in Korea into ZH model. And then another modified correlation for the regions without measuring cloud cover was proposed and evaluated the accuracy and validity for those regions. So, this study was performed to propose modified correlation to calculate the horizontal global solar irradiance of non-measuring cloud-cover regions. Finally, this study proposed the new correlation that could well predict hourly and daily total solar radiation for all regions, various seasons, and various weather conditions including overcast and clear, with higher accuracy and lower error than other models proposed ever before in Korea for non-measuring cloud-cover regions.

**Key words** : Hourly horizontal global radiation, ZHM(Zhang and Huang model, Z&H 모델), Estimation of solar radiation, Cloud-cover, Correlation, Accuracies

### 1. 서론

우리나라의 신재생에너지 자원의 부존량의 평가와 평가 결과를 활용하는 예측 상관식을 제시하는 것은 매우 중요하다. 특히, 신재생에너지의 대표 분야 중의 하나인 태양광 분야는 태양에너지 자원량의 정확한 예측이 매우 필요하고 또한 중요하다.<sup>1)</sup>

특히, 수평면전일사량의 측정지역은 전국적으로 15개 지역(춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 광주, 진주, 부산, 목포, 제주)뿐이지만, 건구온도 등을 포함하는 기상 관측데이터의 측정개소는 300개 이상이므로, 태양에너지 분야의 보급사업의

수행지역이 확대됨에 따라 태양광 및 태양열 시스템의 설계를 위한 기초 자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사량 예측자료가 필요하다.<sup>1)</sup>

1982~2008년까지의 전국 16개 지역에서의 측정된 수평면전일사량을 기준으로 온도, 습도, 일조시간과 운량 중에서 운량을 선택하여 월평균 1일 대기권 밖 일사량과 수평면전일사량과의 비를 지역별로 제시하였다.<sup>2)</sup>

1982~2010년까지의 전국 16개 지역에서의 수평면 전일사량 측정값을 이론적으로 예측하는 식과 비교하고, 이를 보정하기 위하여 16개 지역에서 측정하고 있는 건구 온도, 상대 습도, 일조시간과 운량 중에서 운량과 일조시간을 선택하여 월평균 1일 대기권 밖 일사

\*Corresponding author, E-mail: jeongbae\_kim@ut.ac.kr

량과 수평면전일사량과의 비를 지역별로 제시하였다.

또한, 현재 기상청에서 측정하고 있는 일조, 운량, 건구 온도, 상대 습도 전체를 고려하는 일사량과의 관계 규명 이후에 기상 관측 변수를 포함하는 일사량 예측식의 필요성을 강조하였다.<sup>3)</sup>

16개 지역에서 측정되는 기상청 수평면 전일사량과 일사량과 연관성이 높은 기상데이터 중 건구온도( $T_{db}$ ), 상대습도(RH), 일조시간( $t_{ds}$ ), 운량(CC)들의 기상 변수들과의 관계를 파악하였다. 또한, 일일 시간별 수평면전일사량 예측식을 제안하기 위하여, 이전의 논문들에서 사용한 일일 혹은 월평균값이 아닌, 기상청 측정 수평면 전일사량과 위의 4개의 매개변수들을 활용하여 만들었다. 이렇게 얻어진 일사량 예측식으로부터 계산된 일사량 값들을 측정값과 비교 분석하였다.<sup>4)</sup>

이번 연구의 저자들은 현재 국내의 93개 기상 관측 지역 중에서 운량을 측정하고 있지 않는 54개 지역을 위해 2012년 15개 지역의 대표 6일의 데이터로부터 운량을 제외한 상태에서 아래의 식(1)과 같은 비운량 지역의 시간에 따른 수평면전일사량을 예측 계산할 수 있는 상관식을 제안하였다.<sup>5)</sup>

$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \begin{matrix} \beta_0 + \beta_1 (T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \\ \beta_2 RH + \beta_3 V_w + \beta_4 t_{ds} \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

여기서,  $I$ 는 수평면전일사량( $W/m^2$ ),  $I_0$ 는 태양 상수 ( $1355W/m^2$ ),  $h$ 는 고도각,  $T_{db,n}$ 은  $n$ 시간의 건구온도, RH는 상대습도(%),  $V_w$ 는 풍속 (m/s),  $t_{ds}$ 는 일조시간 (hr),  $\beta_0 \sim \beta_4$ 는 상수 계수들이며 아래와 같다.

$$\begin{matrix} \beta_0 = 0.44645, \beta_1 = -0.0147, \beta_2 = -0.327, \\ \beta_3 = 0.00362, \beta_4 = 0.391 \end{matrix} \quad (2)$$

그러나, 식(1)은 2012년 비운량 시간에 따른 수평면 전일사량을 측정 11개 지역 365일로부터 얻어진 식이 아니므로 어느 정도 정확성이 낮을 것이므로, 운량을 비측정 하고 있는 지역을 대상으로 하여 수정된 식의 제안이 필요하다.

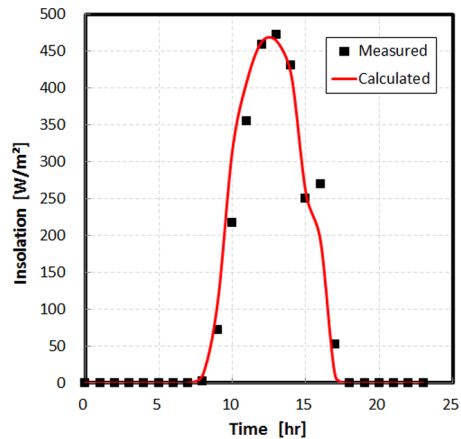
따라서, 본 연구에서는 저자들이 이미 제안한 시간에 따른 수정된 수평면전일사량 예측 상관식(KKP 모델) 식(1)을 활용하여 2012년의 365일 그리고 11개 수평면전일사량 측정 지역의 데이터로부터 비운량 지역

모델을 제안하고 그 상관식의 적용 가능성과 예측 정확도를 평가하였다.

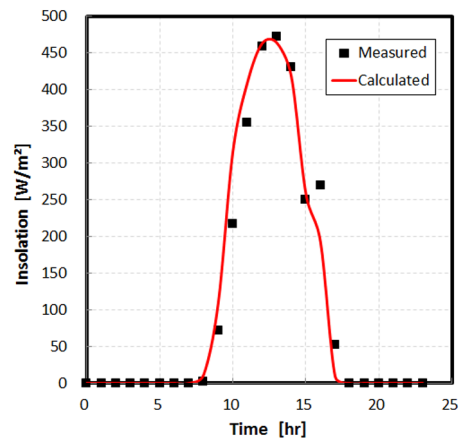
## 2. 비운량 모델의 수정식 정확도 평가 결과

2012년 운량을 측정하지 않으나, 수평면전일사량을 측정하고 있는 11개의 365일 기상 데이터를 이용하여 미니랩을 이용하여 얻어진 수정된 식은 식(1)과 동일한 형태이며 계수만 아래와 같이 식(3)으로 수정되었다.

$$\begin{matrix} \beta_0 = 0.36891, \beta_1 = -0.0039313, \beta_2 = -0.258, \\ \beta_3 = 0.0037, \beta_4 = 0.444241 \end{matrix} \quad (3)$$

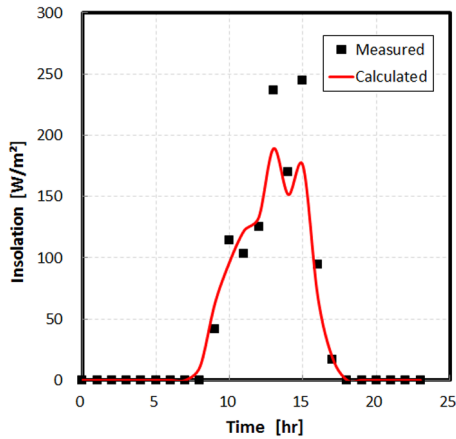


(a) Clear day-Eq.(2)

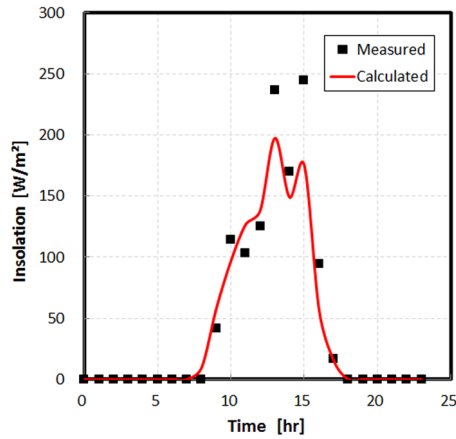


(b) Clear day-Eq.(3)

Fig. 1 Comparison between old and new coefficients for Jan. 1 in Gangneung.



(a) Overcast day-Eq.(2)



(b) Overcast day-Eq.(3)

Fig. 2 Comparison between old and new coefficients for Jan. 16 in Gangneung.

우선 식(1)에 식(2)와 식(3)을 적용하여 2012년 운량 비측정 지역 중의 하나인 강릉 지역에 대해 계산된 시간에 따른 수평면전일사량을 청명일인 2012년 1월 1일에 대해서는 Fig. 1과 같이, 비청명일인 2012년 1월 16일에 대해서는 Fig. 2와 같이 나타내었다.

동계의 청명일이 년중 청명일 중에서도 가장 수평면전일사량의 피크값이 낮은 경우이므로, 계산에 의한 값과 측정값을 비교 평가하기에 적합하다고 할 수 있다. Fig. 1에서와 같이 계수의 변화에 따른 차이를 명확하게 구분하게 어려울 만큼 예측 정확도가 두 계수 그룹 모두 높음을 알 수 있다.

이와 달리, 동계 비청명일인 1월 16일의 경우에는

Fig. 2와 같이 새로운 계수 그룹인 (b)가 측정값을 조금 더 근사하게 접근하고 있음을 알 수 있다.

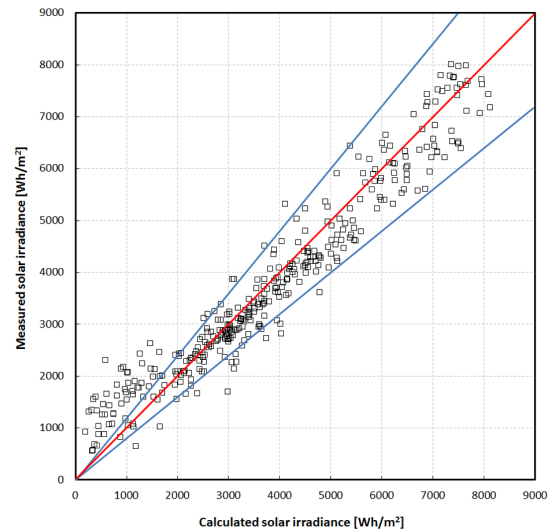
이와 같이 단순히 그래프 상에서 확인하기 어려운 정확도를 1일 총 수평면전일사량에 대한 일치율( $A_{total}$ , 식(4) 참조)과 수평면전일사량 피크 일치율( $A_{peak}$ , 식(5) 참조)로 평가하여 분석하여야 한다.

$$A_{total} = \frac{\sum I_{cal}}{\sum I_{meas}} \times 100 \quad (4)$$

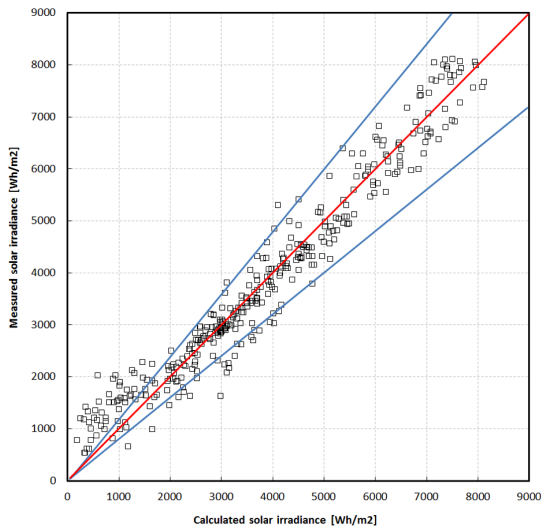
$$A_{peak} = \frac{I_{cal,peak}}{I_{meas,peak}} \times 100 \quad (5)$$

여기서,  $I_{cal}$  계산 수평면전일사량( $W/m^2$ ),  $I_{meas}$ 는 측정 수평면전일사량( $W/m^2$ )을 나타냄.

강릉 지역에 대하여 1일 총 수평면전일사량과 일일 피크수평면전일사량의 계산값과 측정값의 비교를 Fig. 3과 4에 나타내었다. Fig. 3(a)는 식(2)의 계수를 적용한 결과이며, Fig. 3(b)는 식(3)의 계수를 적용한 결과이다. 그림에서와 같이 두 계수의 계산값의 결과는 거의 유사한 형태를 나타내고 있으며, 일년 평균하면 면적일치율은 식(2)에 의해 111.8%의 값에서 식(3)의 계수 적용을 통해 110.4%로 다소 정확도가 높아짐을 알 수 있었고, 피크일치율은 식(2)의 계수는 108.7%를 나타내었으나 식(3)의 적용으로 107.3%로 또한 정확도가 작게나마 높아짐을 확인하였다.



(a) Annual results for Eq.(2)

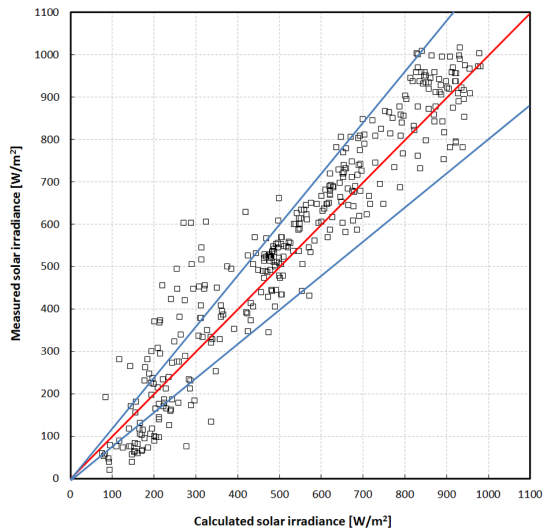


(b) Annual results for Eq.(3)

Fig. 3 Annual solar radiation comparison for 2012 yr. using KKP model with Eqs.(2-3) coefficients.

Table 1 Annual total solar radiation for models of Eqs(2-3)

Model	Avg. [%]	Std. dev. [%]	비고
Eq.(2)	96.38	5.89	
Eq.(3)	99.43	5.37	



(b) Annual results for Eq.(3)

Fig. 4 Daily peak solar radiation comparison for 2012 yr. using KKP model with Eqs.(2-3) coefficients.

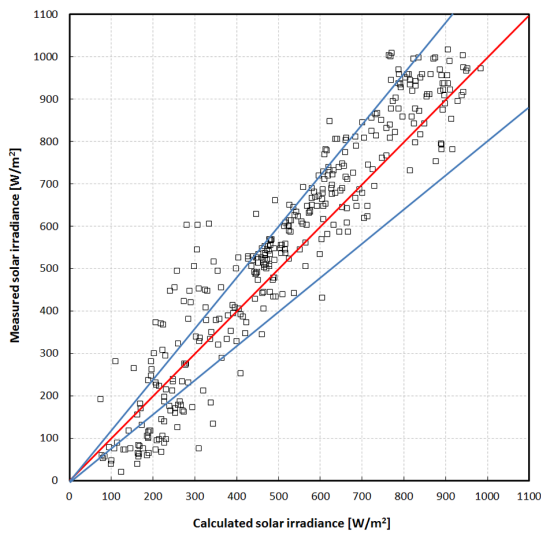
전체 운량 비측정 지역들에 대한 일년 총 수평면전일사량 계산 결과의 비교를 통해 식(1)의 정확도를 높일 수 있는 계수를 식(2) 혹은 식(3) 중 선정하여야 한다. 각각의 지역들은 강릉, 김해, 북창원, 양산, 경주, 청송, 광양, 보성, 영광, 고창, 순창으로 11개 지역이었다. Table 1에 2012년 11개 지역의 일년 총 수평면전일사량 계산값과 측정값을 나타내었다.

Table에서와 같이 일년 총 수평면전일사량으로 비교하면 식(3)의 계수를 적용한 결과는 기존의 결과보다 평균적으로는 3%의 정확도가 높아졌으며, 표준편차 또한 조금 개선된 것으로 나타나 새롭게 구해진 계수들인 식(3)이 좀 더 타당한 계수값인 것으로 평가할 수 있다.

### 3. 결론

국내의 운량 비측정 전지역에 적용 가능한 수평면전일사량 예측 모델식의 제안을 위한 연구결과로부터 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 비운량 계산 모델은 일년 총 수평면전일사량의 예측 정확도는 평균적으로 약 99.4% 수준으로 매우 높은 수준으로 위치 및 기상 조건에 관계없이 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다.



(a) Annual results for Eq.(2)

- 이러한 비운량 계산 모델식은 아래와 같이 고도 각, 건구온도, 상대습도, 풍속 및 일조시간을 가지는 비선형식으로 아래와 같다.

$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \beta_0 + \beta_1 (T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_2 RH + \beta_3 V_w + \beta_4 t_{ds} \right\}$$

$\beta_0 = 0.36891, \beta_1 = -0.0039313, \beta_2 = -0.258,$   
 $\beta_3 = 0.0037, \beta_4 = 0.444241$

### Acknowledgement

이 논문은 2016년도 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

### References

- 1) Kim H. Y. and Kim J., 2016, "Prediction Correlation of Solar Insolation using Relationships between Meteorological Data and Solar Insolation in 2012(I)", Journal of KSES, 36(1), 1-9.
- 2) Jo D. K. and Kang Y. H., 2010, "A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover", Journal of KSES, 30(4), 15-21.
- 3) Jo D. K., Yun C. Y., Kim K. D. and Kang Y. H., 2012, "A Study on the Estimating Solar Radiation in Korea Using Cloud Cover and Hours of Bright Sunshine", Journal of KSES, 32(2), 28-34.
- 4) Hwangbo S., Kim H., and Kim J., 2014, "A Basic Study to Predict Solar Insolation using Meteorological Observation Data in Korea", Journal of ICT, Vol. 4, No. 2, 27-33.
- 5) Jo M.C. and Kim J., 2016, "Prediction and Accuracy of Global Solar Irradiation with Time using Meteorological Observation Data (III)", Proceedings of KSES Annual Fall Conference, 23-23.