

1985년부터 2014년까지의 측정 수평면전일사량과 기상데이터 간의 경향 및 상관성 분석

김 정 배*

한국교통대학교 자동차공학전공

Analysis of Trends and Correlations between Measured Horizontal Surface Insolation and Weather Data from 1985 to 2014

Jeongbae Kim*

Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju 27469, Korea
(Received 2019.10.15 / Accepted 2019.11.18)

Abstract : After 30 years of KKP model analysis and extended 30 years of accuracy analysis, the unique correlation and various problems between measured horizontal surface insolation and measured weather data are found in this paper. The KKP model's 10yrs daily total horizontal surface insolation forecasting was averaged about 97.7% on average, and the forecasting accuracy at peak times per day was about 92.1%, which is highly applicable regardless of location and weather conditions nationwide. The daily total solar radiation forecasting accuracy of the modified KKP cloud model was 98.9%, similar to the KKP model, and 93.0% of the forecasting accuracy at the peak time per day. And the results of evaluating the accuracy of calculation for 30 years of KKP model were cloud model 107.6% and cloud model 95.1%. During the accuracy analysis evaluation, this study found that inaccuracies in measurement data of cloud cover should be clearly assessed by the Meteorological Administration.

Key words : Horizontal solar irradiance, Meteorological data, Annual change, Regional characteristics, TMY(Typical Meteorological Year)

Nomenclature

I_{cal} : calculated solar irradiance, W/m^2
 I_{meas} : measured solar irradiance, W/m^2
 $I_{cal,peak}$: calculated solar irradiance during the peak
time, W/m^2
 $I_{meas,peak}$: measured solar irradiance during the peak
time, W/m^2
 I_o : solar constant, $1355W/m^2$
 h : solar altitude angle, degree
CC : cloud cover, 0-10

$T_{db,n}$, $T_{db,n-3}$: dry-bulb temperature at n & n-3 hours, $^{\circ}C$
RH : relative humidity, %
 V_w : wind speed, m/s
 t_{ds} : duration of sunshine, 0-1
 d, k : locality coefficient
 n : number of data

1. 서론

우리나라의 신재생에너지 자원들에 대한 부존량의 평가와 평가 결과를 활용하는 예측 상관식을 제시하는 것은 매우 중요하다. 특히, 신재생에너지의 대표 분야 중의 하나인 태양광 분야는 태양에너지 자원량(일

*Corresponding author, E-mail: jeongbae_kim@ut.ac.kr

사량, solar irradiance)의 정확한 예측이 매우 필요하고 또한 중요하다. 정확한 예측식들의 정확성은 당연히 기존에 국내의 다양한 지역에서 측정하고 있는 수평면전일사량(horizontal solar irradiance)의 값들과의 비교를 통해 검증하게 될 것이다.¹⁾

그렇다면, 각 지역의 기상 관측소에서 측정되고 있는 기상 데이터와 수평면전일사량의 값들에 대한 경향성을 분석하고 이러한 경향 분석으로부터 측정값들의 정확성 혹은 신뢰성을 높이는 것은 매우 중요하다.

국내에서는 이러한 일사량의 지역별 연도별 특성분석을 통해 TMY라고 하는 표준기상자료를 만들기 위해 노력하고 있는데, TMY(Typical Meteorological Year)는 기상연구 및 예측에 주로 사용되는 기상통계 데이터베이스로서 장기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 기상의 특징을 반영하는 TMM(Typical Meteorological Month)을 선택하여 얻은 1년 기간의 기상자료이다.²⁾ 이러한 TMY는 국내에서도 11년 동안 일사관측소에서 관측된 기상자료와 일사량 자료를 이용하여 일사량의 TMY를 설정하기도 하였다.²⁾

최근의 기상변화를 고려하고 일사량 데이터의 정밀성도 크게 향상시킨 TMY2를 개발하고 있는데, TMY2는 TMY에 비해 측정 일사량 자료를 바탕으로 대표월을 선택하는 방법, 지수들의 가중치 결정방법, 누락자료 처리방법 등이 개선되었다고 한다.³⁾

일반적으로 태양열 시스템의 해석에 널리 이용되고 있는 트랜시스(Tmsys) 상용 프로그램에서 제공하고 있는 우리나라 6개 도시의 TMY2 기상데이터와 1999년 1월부터 2005년 6월까지의 기상청 제공 기상데이터를 비교분석하여, 우리나라 6개 도시의 TMY2 기상데이터 파일은 외기온도를 제외한 모든 데이터에 있어 상당한 오차를 나타내고 있었고, 이는 TMY2 파일이 갖는 30년 대표월의 특징을 감안하더라도 이용하기에는 다소 불충분한 기상데이터 자료임을 확인할 수 있었다고 한다.⁴⁾

또한, TMY 개발과 상관없이 국내의 측정 수평면전일사량에 대한 기본적인 통계적 분석 방법을 적용하여 경향성과 지역별 특성 혹은 전국적인 특성에 대한 제시가 필요함을 보였다.⁵⁾

수평면전일사량의 경향성도 중요하지만 수평면전일사량은 기상청에서 동시에 측정하고 있는 건구온도(dry-bulb temperature, Tdb), 상대습도(relative humidity, RH or Φ), 풍속(wind velocity, Vw), 전운량(cloud cover,

CC), 일조시간(duration of sunshine, tds)과의 상관성과 동시에 분석되어야 하고, 그리고 이러한 상관성에 대한 분석은 수평면전일사량의 예측식으로 저자들인 제안한 KKP 모델의 예측 정확도를 높이기 위하여도 매우 중요함을 증명하였다.⁶⁾

이러한 일련의 연구를 통해 제안된 KKP 모델의 10년 정확성 분석을 마치고 이를 확장한 30년간의 정확성 분석 과정에서 측정된 수평면전일사량과 측정된 기상데이터 간의 특이한 상관성과 다양한 문제점들이 발견되어 본 논문에서 제시하고자 한다. (본 논문은 참고문헌 7의 발표를 확장한 논문이다.)

2. KKP 모델식의 정확성

전국의 2005~2014년 약 18개 지역의 측정 수평면전일사량과 기상데이터의 측정 결과를 이용하여 본 연구에서 제안한 계산 모델을 활용한 계산을 통해 KKP 모델의 1일 총 수평면전일사량의 예측 정확도는 평균적으로 약 97.7% 수준이었으며, 1일 피크 시간에서의 예측 정확도는 약 92.1%, MBE (-11.1 Wh/m²), RMSE (77.8Wh/m²), Peak MBE(-59.64W/m²), Peak RMSE (94.03W/m²)을 나타내어 전국적으로 위치 및 기상 조건에 관계없이 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다. KKP 모델식은 고도각, 운량, 건구온도, 상대습도, 풍속 및 일조시간을 고려하는 비선형식으로 아래와 같다.

$$I = I_o \sin(h) \left\{ \begin{array}{l} \beta_0 + \beta_1(CC) + \beta_2(CC)^2 + \\ \beta_3(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_4 RH + \\ \beta_5 V_w + \beta_6 t_{ds} \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.3248, \beta_1 = 0.128, \beta_2 = -0.210, \\ \beta_3 &= -0.00581, \beta_4 = -0.131, \beta_5 = 0.00736, \\ \beta_6 &= 0.388 \end{aligned}$$

현재 국내의 다수 지역의 운량 측정 결과가 없는 상황을 고려하여 기존에 제안되었던 KKP 모델을 수정한 비운량 모델은 아래와 같다.

$$I = I_o \sin(h) \left\{ \begin{array}{l} \beta_0 + \beta_1(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \\ \beta_2 RH + \beta_3 V_w + \beta_4 t_{ds} \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.36891, \beta_1 = -0.0039313, \beta_2 = -0.258003, \\ \beta_3 &= 0.00370125, \beta_4 = 0.444241 \end{aligned}$$

수정된 KKP 비운량 모델의 1일 총 수평면전일사량 예측 정확도는 KKP 모델과 유사하게 98.9%이었고, 1일 피크 시간에서의 예측 정확도 93.0%, MBE(-13.9Wh/m²), RMSE(88.9Wh/m²), Peak MBE (-60.93W/m²), Peak RMSE(98.47W/m²)이었다.

여기에 사용된 KKP 모델에 대한 수평면전일사량의 예측 정확도와 오차 특성을 평가하기 위하여 식(3)과 같이 1일 총 수평면전일사량 일치율(Dtotal), 식(4)와 같이 일일 일사량 피크 일치율 값(Dpeak), 식(5)와 같이 MBE(Mean bias error) 그리고 식(6)과 같이 RMSE(Root mean square error)를 고려하였다. 여기서, ΣI_{cal} 는 측정 1일 총 수평면전일사량이며, ΣI_{meas} 는 예측 1일 총 수평면전일사량을 나타낸다.

특히, 식(4), (7), (8)과 같이 다른 일사량 예측 모델 연구에서 고려하지 않았던 일일 24시간 내에서 수평면전일사량의 최댓값과 동일 시간에서의 계산값을 추가로 비교하여 평가하였다.

$$D_{total} = \frac{\Sigma I_{cal}}{\Sigma I_{meas}} \times 100 \quad (3)$$

$$D_{peak} = \frac{I_{cal,peak}}{I_{meas,peak}} \times 100 \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\Sigma_{i=1}^n (\Sigma I_{cal} - \Sigma I_{meas})}{n} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (\Sigma I_{cal} - \Sigma I_{meas})^2}{n}} \quad (6)$$

$$Peak\ MBE = \frac{\Sigma_{i=1}^n (I_{cal,peak} - I_{meas,peak})}{n} \quad (7)$$

$$Peak\ RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (I_{cal,peak} - I_{meas,peak})^2}{n}} \quad (8)$$

더하여 전국의 1985~2014년까지 30년간의 측정 수평면전일사량과 기상데이터의 측정 결과에 대한 KKP 모델의 식(3)을 이용한 정확도 평가 결과는 운량 모델 107.6%, 비운량 모델 95.1%이었다. (Fig. 1, 2 참조)

그런데, 이렇게 평가된 정확성을 연도별로 표시하면서 Fig. 3과 같은 이상한 경향을 발견하였다. 2000년 이전과 이후의 정확성에 확연한 차이를 알게 된 것이다.

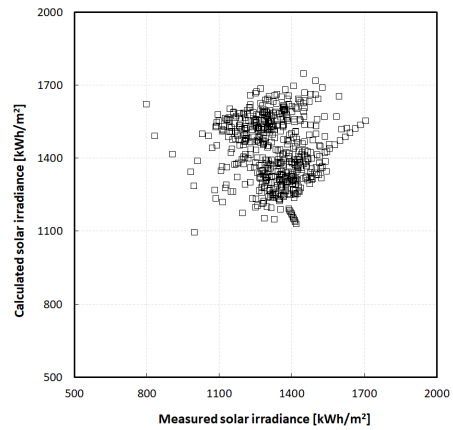


Fig. 1 Solar radiation comparison for 1985~2014 yr. using KKP model with cloud cover

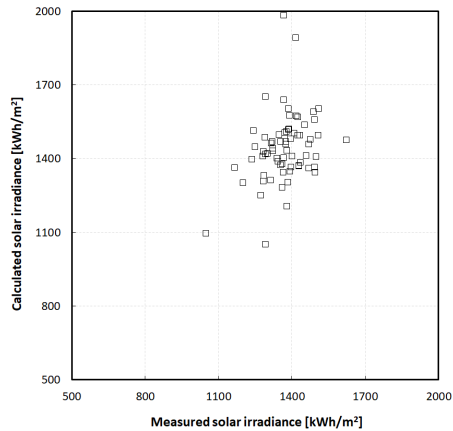


Fig. 2 Solar radiation comparison for 1985~2014 yr. using KKP model without cloud cover



Fig. 3 Mean accuracy of annual horizontal solar irradiance with years

따라서, 이러한 경향의 원인을 찾아내어야 하며 이를 위해 측정된 모든 기상데이터들을 분석할 필요성이 있었다.

3. 30년간 기상데이터 분석 결과 및 토의

우선, 1985년부터 2014년까지 광주광역시에 대하여 측정된 수평면전일사량을 월별로 합하고 측정된 기상데이터들도 모두 합하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림과 같이 기상 데이터와 측정 일사량을 12개월이라는 작은 개수로 파악한 것에 의한 것인지 나름의 경향성을 확인할 수 있었다.

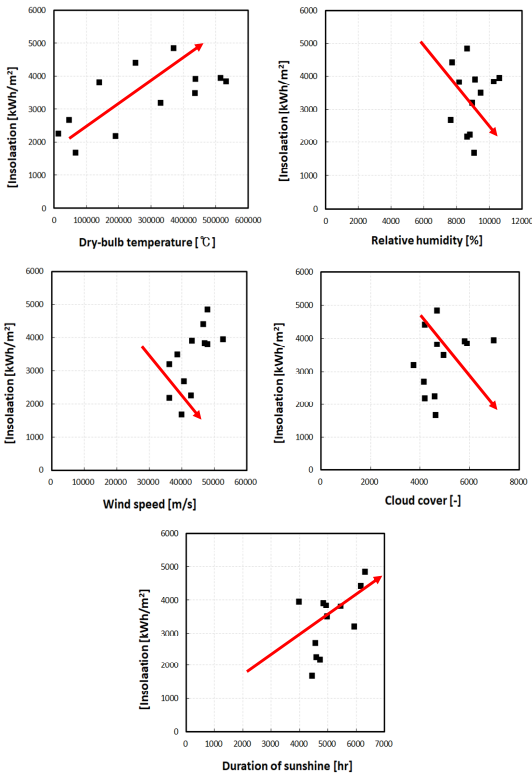
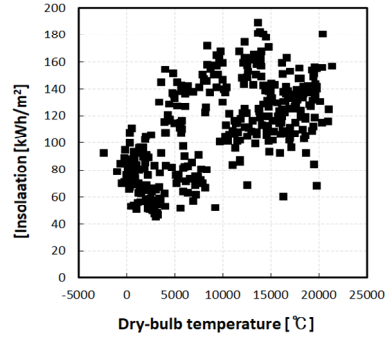
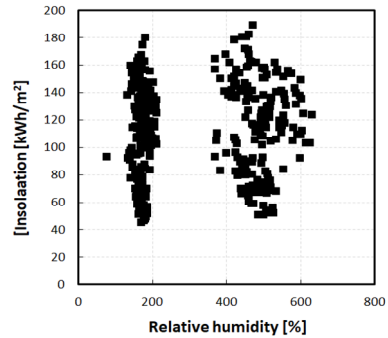


Fig. 4 Monthly sum of horizontal solar irradiance and weather data with years

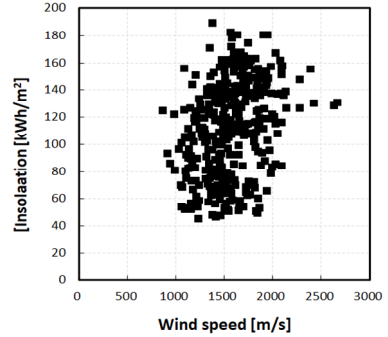
좀 더 세밀한 분석을 위하여 30년간 각 월별 기상데이터의 합과 측정된 수평면전일사량의 합을 아래의 Fig. 5와 같이 데이터의 개수는 30년에 12개월이므로, 총 360개이다. 그림에서와 같이 건구온도, 상대습도, 풍속과 일조시간과 일사량과의 경향성은 어느 정도 있음을 확인할 수 있다. 그러나 운량은 심각한 수준의 차이를 보여주고 있었다.



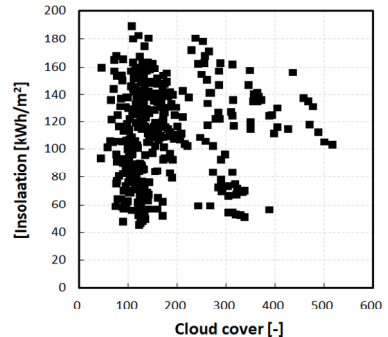
(a) between isolation and dry-bulb temperature



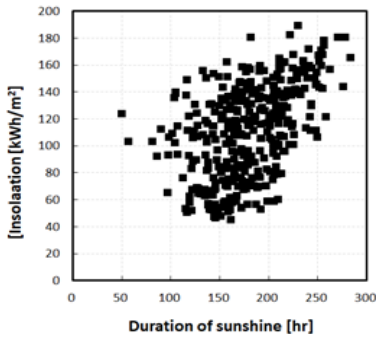
(b) between isolation and relative humidity



(c) between isolation and wind speed



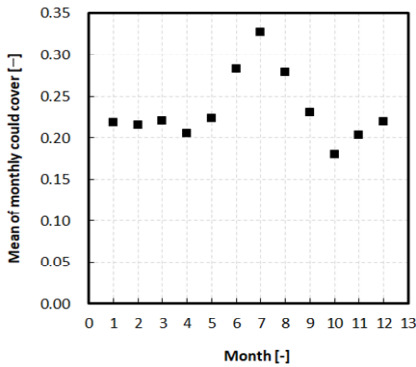
(d) between isolation and cloud cover



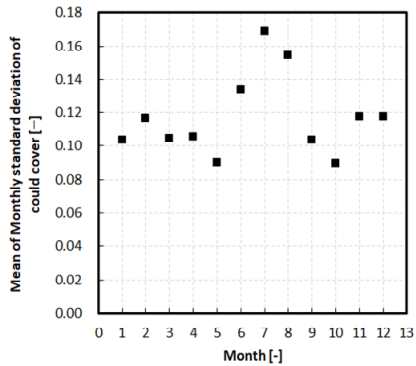
(e) between isolation and duration of sunshine

Fig. 5 Monthly sum of horizontal solar irradiance and weather data with years during 30yrs

특히, 월별로 운량의 측정 데이터를 평균과 표준편차를 구해보면 아래의 Fig. 6과 같이 표준편차가 평균의 50%에 상당할 정도로 측정 데이터의 정확성이 불안정함을 보여주고 있다.



(a) Mean of monthly cloud cover



(b) Mean of monthly standard deviation of cloud cover

Fig. 6 Trends of measured cloud cover with months during 30yrs

4. 결론

1985년부터 2014년까지 측정된 시간에 따른 수평면전일사량의 데이터와 제안된 KKP모델의 계산 수평면전일사량의 데이터를 비교하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) KKP 모델의 10년간 1일 총 수평면전일사량의 예측 정확도는 평균적으로 약 97.7% 수준이었으며, 1일 피크 시간에서의 예측 정확도는 약 92.1%를 나타내어 전국적으로 위치 및 기상 조건에 관계없이 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다.

2) 측정된 KKP 비운량 모델의 10년간 1일 총 수평면전일사량 예측 정확도는 KKP 모델과 유사하게 98.9%이었고, 1일 피크 시간에서의 예측 정확도 93.0%이었다.

3) KKP모델의 30년에 대한 계산 정확도 평가 결과는 운량 모델 107.6%, 비운량 모델 95.1%이었다.

4) 특히, 제안된 모델식들에서와 같이 계산되는 수평면전일사량은 건구온도, 풍속, 상대습도, 일조시간, 운량 등의 기상 데이터 중에서 특히, 일조시간과 운량이 일사량과 높은 상관성을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 제시하는 운량의 측정 데이터에 대한 비정확성은 명확하게 기상청에서 평가가 이루어져야 한다. 즉, 기상청에서 제공하고 있는 일조시간과 운량데이터의 정확성 혹은 신뢰성을 평가하는 것은 매우 중요함을 알 수 있다.

References

- 1) M.C. Cho and J. Kim, "Proposal of Modified Correlation to Calculate the Horizontal Global Solar Irradiance for non-Measuring Cloud-cover Regions", Journal of ICT, 6(2), pp. 29-33, 2016.
- 2) K.S. Shin, C.R. Yoon, and S.D. Park, "TMY2 Weather data for Korea", Proceedings of the The Korean Society For New And Renewable Energy Conference, pp. 243-246, 2009.
- 3) K.W. Lee, J. Kim, and J.A. Gieseke, "Collection of Aerosol Particles by Packed Beds", Env. Sci. Tech. 13 (4), p.1761, 1978.
- 4) W.K. Choi, H.G. Lee, and S.J. Suh, A Reliability Assessment of the Korea's Typical Meteorological Years 2 in Trnsys, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 22(2), pp. 219-226, 2006.

- 5) M.C. Cho, H. Lim, J.E. Kwak, J.M. Kang, D.H. Hwang and J. Kim, "The Study on the Characteristics of the Horizontal Solar Irradiance Measured at 18 Regions during 2005 to 2014 and on the Analytical Method", Journal of ICT, 7(1), pp. 11-14, 2017.
- 6) M.C. Cho, H. Lim, J.E. Kwak, J.M. Kang, D.H. Hwang and J. Kim, "Analytical Study on Relationships and Characteristics of Global Solar Irradiance and Meteorological Data measured in Daegu during 1985 to 2014", Journal of ICT, 7(2), pp. 7-12, 2017.
- 7) J. Kim, "Correlation Analysis Between Measured Global Horizontal Solar Irradiance and Meteorological Data during 30 yrs from 1985(III)", Proceedings of the Korean Solar Energy Society Fall Conference, pp. 64-64, 2009.