

2012년 기상관측 결과와 한국형 수평면전일사량 예측식(I)

Prediction Correlation of Solar Insolation using Relationships between Meteorological Data and Solar Insolation in 2012

김하양* · 김정배**†

Kim Ha-Yang*, Kim Jeongbae**†

(Received 14 December 2015; accepted 04 February 2016)

Abstract : To well design the solar energy system, the correlation to calculate and predict solar irradiation is basically needed. So, this study was performed to reveal the relationships between the solar irradiation and four meteorological observation data(dry-bulb temperature, relative humidity, duration of sunshine, and amount of cloud) that didn't show from previous any other researches. And then, we finally proposed the various order non-linear correlation from the measured solar irradiation and four meteorological measurement data using MINITAB. To show the deviation and accuracy of the solar irradiation between measured and calculated, this study compared for the daily total solar insolation. From those results, the calculation error could well predicted about maximum 97% for the daily total solar insolation. But, the coefficients of the proposed correlations didn't show any relationships. So, needs more studies to make the proper one correlation for the country.

Key Words : 수평면전일사량(Solar insolation), 기상관측결과(Meteorological data), 건구온도(Dry-bulb temperature), 상대습도(Relative humidity), 일조시간(Duration of sunshine), 운량(Amount of cloud), 상관식(Correlation), 회귀분석(Regression Analysis)

1. 서 론

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.

**† 김정배(교신저자) : 한국교통대학교 에너지시스템공학과
E-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr, Tel : 043-841-5282
*김하양 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생

**† Kim Jeongbae(corresponding author) : Dept. of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation.
E-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr, Tel : 043-841-5282
*Kim Ha-Yang : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.

특히, 수평면전일사량의 측정지역은 전국적으로 15개 지역뿐이지만, 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.

국내 최초로 전국 5개 지역에서의 수평면일사량 측정치(1982년-1988년)를 일조와 운량과의 상관관계를 분석하고, 기존 국외 상관식들을 이용하여 계산한 월평균 일사량과의 차이를 분석하였다.¹⁾

국내에서 1990년 12월부터 측정되었던 서울 지역의 시간별 수평면전일사량 측정값을 활용하여 이전의 상관식으로부터 법선면직달일사량을 계산하고 이 값들을 실측한 법선면직달일사량과 비교하였으나, 청명일과 비청명일의 구분 그리고 계절별로의 차이를 구분하여 평가하지 못하였다.²⁾

서울에서 1991년-98년까지 측정되었던 법선면직달일사량에 대한 연평균 값들을 5개의 이전 상관식들의 계산 결과들과 비교하여 상관식들의 정확도를 평가하였으나, 다양한 지역 혹은 실시간 측정값과의 관계를 규명하지 못하였다.³⁾

1982년부터 1999년까지 12개 지역에서 측정된 연평균 수평면전일사량을 정확하게 계산할 수 있도록 하기 위하여 이전의 상관식을 이용하여 상관식의 독립변수인 일사율, 일조율, 운량의 지역별 계수값들을 지역별로 제시하였다. 온도 및 습도가 없이 월별 평균만을 비교함으로써 시간에 따른 연관성을 제시하지 못하는 한계를 가지고 있다.⁴⁾

1982-2008년까지의 전국 16개 지역에서의 측정된 수평면전일사량을 기준으로 온도, 습

도, 일조시간과 운량 중에서 운량을 선택하여 월평균 1일 대기권 밖 일사량과 수평면전일사량과의 비를 지역별로 제시하였다.⁵⁾

미국 나사의 지상관측시스템(GEOS-4) 위성영상을 이용한 일사량 예측기법을 적용하여 국내 16개 지역에서 1982.1-2009.12 기간 사이에 측정된 일사량과 비교하였다. 그 외 일사량을 측정하지 않는 23지역에 대한 일사량을 계산하고, 결과를 통합하여 국내 태양에너지 자원분포도를 제시하였다. 다만, 논문의 결론에서 기상 데이터인 일조, 운량, 온도 및 습도 등과 일사량과의 관계 규명이 더욱 필요함을 제시하였다.⁶⁾

부산 지역 비청정일의 측정 순간 수평면전일사량을 CRM(Cloud Radiation Model), ZHM(Zhang & Huang Model), MRM(Meteorological Radiation Model) 상관식들의 계산 결과와 비교하여 모델별 차이를 평가하였다. 다만, 다양한 기후 데이터들과 연계된 시간에 따른 일사량과의 관계를 명확하게 규명하지 못하였다.⁷⁾

위와 같은 국내의 일사량 예측을 위한 연구들에서 시간에 따른 기상 데이터와 일사량과의 관계를 제시하지 못하였다. 그러나 중국의 TMY(Typical Meteorological Year) 구축을 위해서 수평면전일사량 예측용으로 개발되었던 Zhang & Huang 모델은 지역의 시간에 따른 태양 고도각, 운량, 건구온도, 상대습도, 풍속을 고려하여 상당히 높은 정확도를 가지는 예측식을 제시하였다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 먼저 2012년 일년동안 일사량을 포함하여 기상을 관측하고 있는 15개 지역에 대하여 동계, 춘추계, 하계로 구분하여 특정일(청명일, 비청명일)의 시간에 따른 일사량과 기상 관측 데이터(건구온도, 상대습도, 일조시간, 운량)의 관계를 제시할 것이

다. 이렇게 정리된 관계로부터 수평면전일사량을 예측하기 위하여 Zhang & Hwang 모델과 유사한 우리나라의 특성에 적합한 기상관측 데이터를 독립변수로 하는 상관식을 제시하고자 하였다.

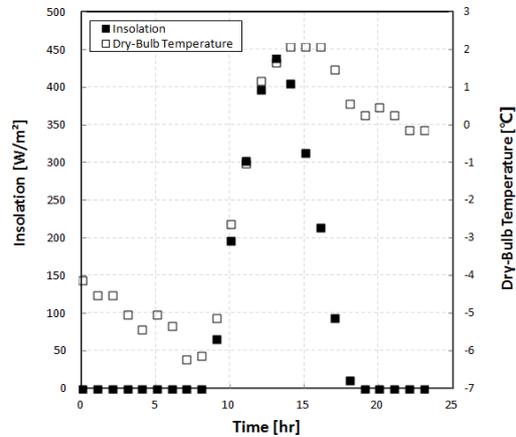
2. 2012년 기상 관측 결과

2012년 현재 기상청에서 일사량과 기상관측자료를 명확하게 제시하고 지역은 서울, 춘천, 강릉, 원주, 대전, 청주, 서산, 대구, 포항, 전주, 부산, 광주, 목포, 진주, 및 제주로 15개 지역이다.

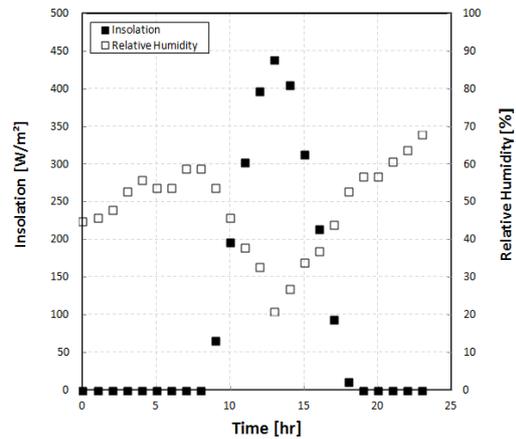
2012년 월별로 최소 7일 이상의 기상 관측 데이터 중에서 특히 일사량과의 연관성이 높은 건구온도 T_{db} , 상대습도 RH, 일조시간 t_{ds} , 및 운량 N들을 취합하여 지역별로 127일까지의 결과를 정리하였다.

127일 중에서 동계, 춘추계 및 하계 중에서 전국적으로 유사성을 가지는 청명일로는 2012년 1월 14일, 5월 6일, 8월 5일을, 그리고 비청명일로는 1월 3일, 5월 13일, 8월 2일로 선정하였다(청명일과 비청명일은 127일의 평균운량에 비하여 일평균 운량이 낮으면 청명일로, 높으면 비 청명일로 결정).

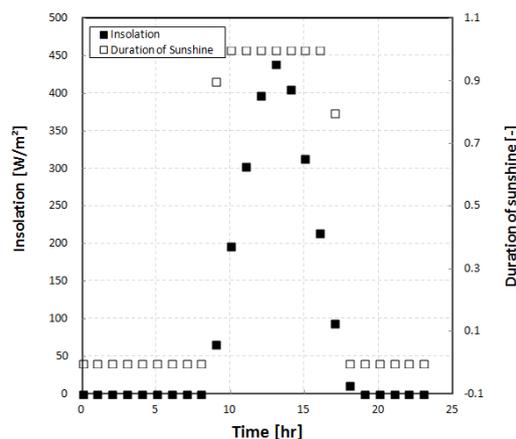
먼저, Fig. 1은 서울의 2012년 1월 14일의 건구온도, 상대습도, 일조시간과 운량과 일사량의 관계를 나타내었다. Fig. 1(a)에서와 같이 일사량은 건구온도와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 일사량의 최고점과 건구온도의 최고점은 2-3시간 정도의 간격이 있음을 알 수 있다. 일사량이 최고점을 중심으로 상대습도는 대칭적인 특성을 나타내었다.(Fig. 1(b) 참조) 일사량은 일조시간이 길면 높은 것으로 나타났고, 운량이 낮을수록 높은 것으로 나타났다(Fig. 1(c), (d) 참조).



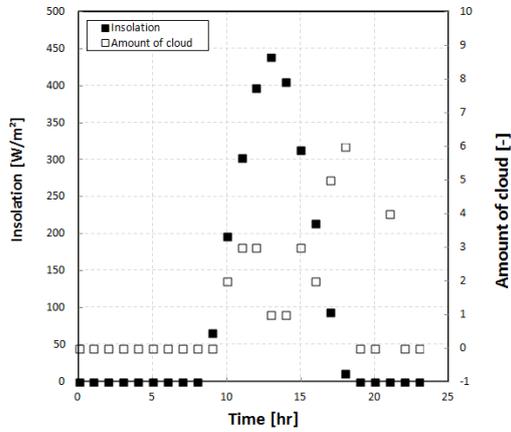
(a) Dry-bulb temp. and solar insolation



(b) Relative humidity and solar insolation



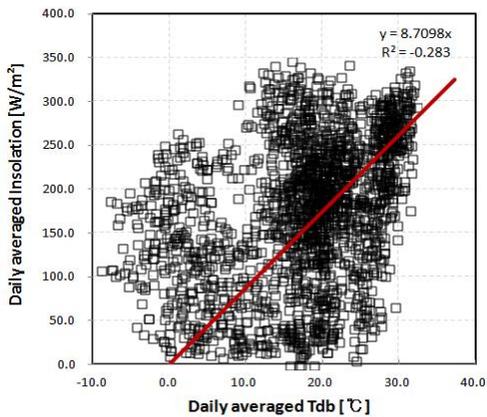
(c) Duration of sunshine and solar insolation



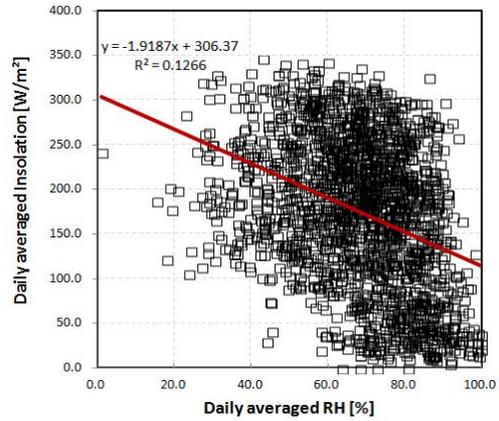
(d) Amount of cloud and solar insolation

Fig. 1 Meteorological data and Solar insolation with time of Seoul in Jan.14.2012.

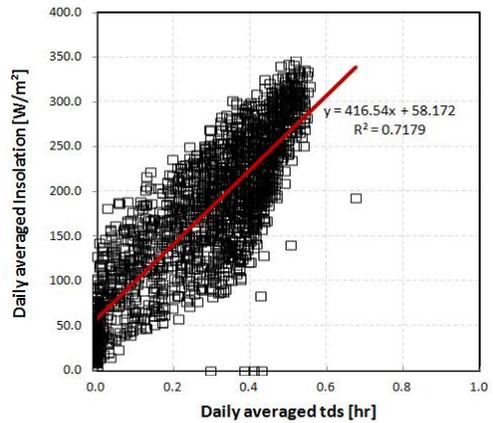
2012년의 127일 동안 일일 평균 건구온도, 상대습도, 일조시간과 운량에 대한 일일 평균 수평면전일사량과의 관계는 Fig. 2와 같이 나타났다. 건구온도와 일사량의 상관성은 그래프에 표시된 피팅한 식들의 정확도를 나타내는 R^2 값에서 알 수 있듯이 매우 낮은 것으로 나타나고, 상대적으로 상대습도, 일조시간 및 운량과의 상관성은 있으나 일조시간과 운량이 특히 높은 상관성을 보여주고 있다.



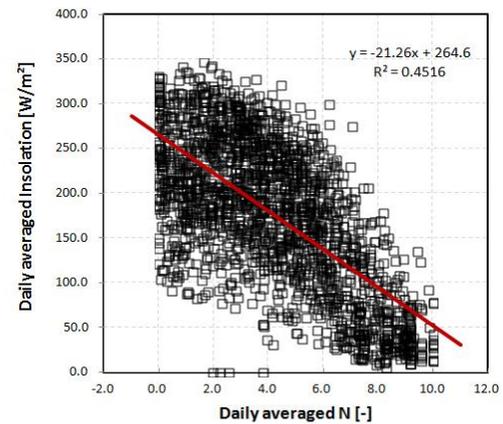
(a) Dry-bulb temperature and solar insolation



(b) Relative humidity and solar insolation



(c) Duration of sunshine and solar insolation



(d) Amount of cloud and solar insolation

Fig. 2 Daily averaged meteorological data and Solar insolation in 2012.

3. 수평면전일사량 예측식 제안

현재까지 국내에서 일반적으로 적용되고 있는 수평면전일사량을 예측하는 식은 참고문헌 11과 12에서 제안한 식(1)과 같다.

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_3 + \beta_2 X_4 \quad (1)$$

여기서, $X_3 = t_{ds}$, $X_4 = N$

식(1)은 연평균 수평면전일사량을 $\pm 1.9\%$ 수준으로 예측하고 있으나, 계수들은 지역별/월별로 다른 계수 값들을 적용하고 있는 단점이 있으며 또한 일일의 시간에 따른 일사량을 Fig. 3에서와 같이 전혀 다르게 예측하고 있음을 알 수 있다. 따라서 우선 일일의 시간에 따른 수평면전일사량을 정확하게 예측할 수 있는 예측식의 제안이 필요하고, 15개 지역에 대하여 얻어진 각각의 계수들의 상관성 분석을 통해 위도별 혹은 전국 단위의 예측식을 제안할 필요성이 있다.

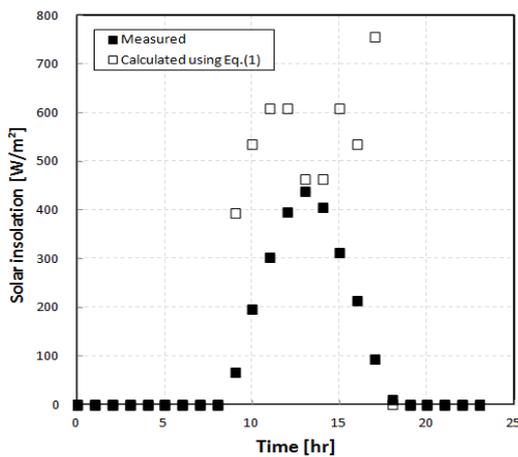


Fig. 3 Solar insolation behavior between measured and calculated using Eq.(1) in Seoul at Jan.14.2012.

하루의 시간에 따른 측정된 수평면전일사량

(I)을 예측할 수 있는 식을 식(1)의 기본 형태는 유지하면서 Fig. 1과 2의 결과로부터 제시할 수 있는 건구온도($X_1 = T_{db}$)와 상대습도($X_2 = RH$)를 포함하여 아래의 식과 같은 형태로 하여 각 기상변수들의 영향과 각 지역별과 일별 계수들의 상관성을 분석하였다. 측정된 수평면전일사량과 기상 데이터와의 상관식의 계수는 MINITAB의 회귀분석을 이용하여 구하였다.

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (2)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (3)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (4)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_4 X_4 \quad (5)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_5 X_5 \quad (6)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_6 X_6 \quad (7)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_7 X_7 \quad (8)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_8 X_8 \quad (9)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_9 X_9 \quad (10)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_{10} X_{10} \quad (11)$$

$$I = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \sim + \beta_{11} X_{11} \quad (12)$$

여기서, 각각의 변수는 아래와 같다.

$$X_5 = T_{db} \times RH, X_6 = T_{db} \times t_{ds}, X_7 = T_{db} \times N, \\ X_8 = RH \times t_{ds}, X_9 = RH \times N, \\ X_{10} = t_{ds} \times N, X_{11} = T_{db} \times RH \times t_{ds}$$

우선 시간별 수평면전일사량의 R^2 값들은 변수의 수가 증가할수록 높아짐을 알 수 있었고, 특히 Fig. 4에서와 같이 식의 형태가 복잡해지고 삼차원 변수도 포함하는 식(12)의 경우에는 일일의 시간에 따른 측정된 수평면전일사량 변화를 거의 정확하게 예측하고 있음을 알 수 있었다.

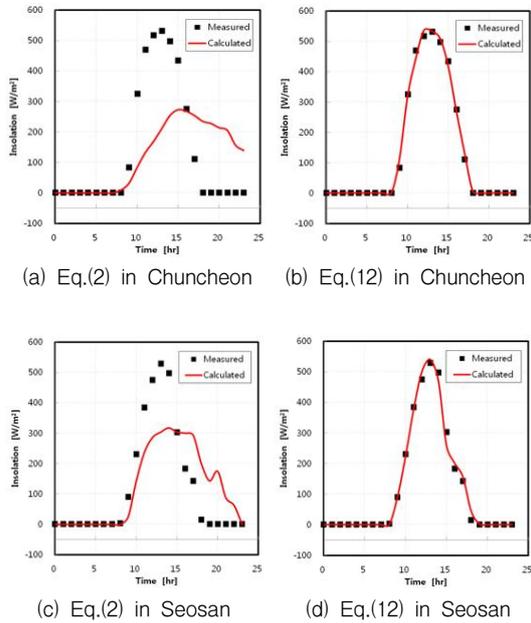
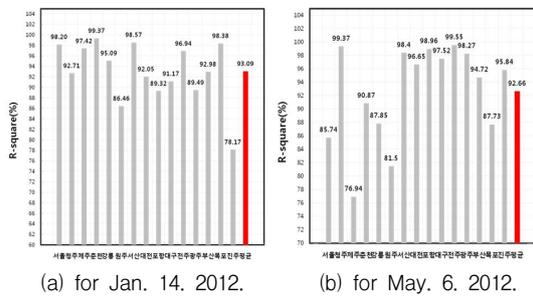
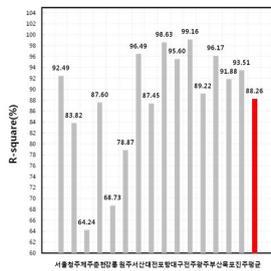


Fig. 4 Solar insolation behavior between measured and calculated using Eqs.(2)-(12) in Chuncheon and Seosan at Jan.14.2012.



(a) for Jan. 14, 2012. (b) for May. 6, 2012.



(c) for Aug. 5, 2012.

Fig. 5 R² values for various regions in 2012.

측정된 수평면전일사량을 가장 높은 정확도로 예측 가능한 식(12)의 경우에 청명일인 2012년 1월 14일, 5월 6일 및 8월 5일 각 지역별 R² 값들은 Fig. 5와 같이 평균적으로 91.3% 수준인 것으로 나타났다. 일반적으로는 일사량을 예측하는 상관식들은 춘추계와 하계에 더욱 정확도가 높아짐을 알 수 있으나, 식(12)의 경우에는 Fig. 5(c)에서와 같이 오히려 하계에 정확도가 낮아지는 경향을 확인하였다.

식(2)-(12)를 이용하여 2012년의 6일에 대하여 계산된 일일 수평면전일사량(I_{calculated})을 측정된 일사량(I_{measured})과 비교하여 그 정확도를 아래의 식(13)과 같이 평가하면, Fig. 6과 같이 식(2)에서 식(12)번으로 변화할수록 정확도가 증가하였다.

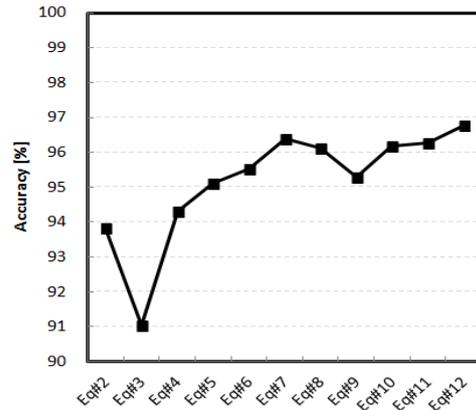


Fig. 6 Accuracy for Eq.(2)-(12) for 6 days.

특히, 식(12)번의 경우에는 최대 97%를 나타내었다. Fig. 7은 식(12)에 의해 계산된 일일 수평면전일사량과 측정값과의 관계를 보여주고 있다.

$$Accuracy = \left[1 - \left(\frac{\sum I_{calculated} - \sum I_{measured}}{\sum I_{measured}} \right) \right] \times 100 \quad (13)$$

Table 1. Coefficients of Eq. (12) for various regions in Jan. 14, 2012.

Region	Coefficient of Eq.(12)											
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	β_{11}
서울	9066.14	-9201.84	-15280	-87955.9	8674.21	15504.4	88300.4	-8494.22	175806	-290.678	20.2187	-176564
청주	14471.2	-14566	-29539.3	-10560.3	12401.4	29768.1	10952.8	-12124.8	-28024.4	-652.004	-64.2078	28257.2
제주	72727.1	-71158.3	-144617	1340950	1826.34	141514	-1306510	-1772.69	-4377270	25.1754	-65.7479	4269150
춘천	191.641	-229.446	-1020.39	-18901.3	17244	1097.77	19760.7	-16895.8	16140.5	-879.498	-186.296	-16526.3
강릉	-3960.62	3948.76	9199.73	13453.4	11770.8	-9157.68	-12114.6	-10693.5	36128.6	-4112.82	-238.787	-40252.5
원주	-2501.77	2543.21	3454.48	-33796.8	-6779.87	-3514.05	33724.5	6629.89	-5484.54	515.964	-118.376	7634.75
서산	-12238.2	12415.3	15308.9	-26207.4	244.889	-15534.1	27301.7	-179.449	55674.7	-82.5563	-15.0553	-57335.5
대전	5319.07	-5341.54	-7757.63	4654.19	-1003.02	7791.7	-2674.33	969.388	51432.1	83.8692	-178.472	-55351.3
포항	-40020.9	39633.5	95840.2	23087.4	10562.4	-94902.6	-22686.1	-10282.8	-159600	-804.251	-164.186	160593
대구	27345.4	-27214.1	-68378	-32909.8	-2069.83	68087.6	31589.2	2023	-265781	157.091	-91.0381	270997
전주	19816.3	-20061.4	-27782	43263	-13019.7	28150.3	-41457	12580.2	-2601.99	845.37	115.602	-354.425
광주	-2284.94	2165.36	-10121.1	-38432.8	3132.02	10381.8	37484.8	-3091.23	-8420.54	-93.291	61.7961	10775
부산	7304.09	-7241.87	-15130.4	-62805.4	-1448.01	14995	60205.2	1442.42	-8513.18	-11.7706	-23.7375	19064.1
목포	13430.1	-13435.9	-20879.8	-35075.3	182.249	20893.8	35936.8	-185.888	88184	2.99001	24.0389	-89544.2
진주	-1447.34	1418.59	66.474	8243.32	822.066	10.8482	-7501.43	-805.466	14695.1	-43.5478	10.1817	-15556.1

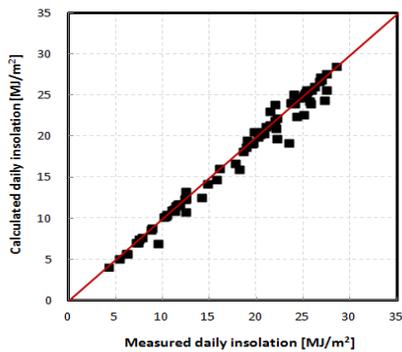


Fig. 7 Comparison between the measured and calculated using Eq.(12)

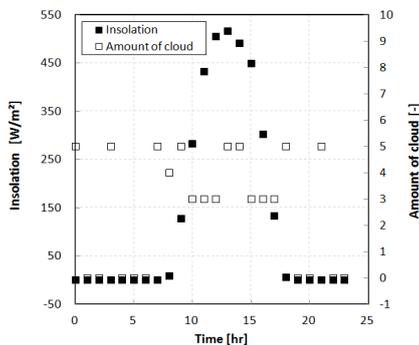


Fig. 8 Solar insolation and Amount of cloud with time at Jinju in Jan. 14, 2012.

특히 낮은 정확도의 결과는 Fig. 8에서와 같이 일사량이 높은 시간대 임에도 실제로 측정된 운량의 값이 상대적으로 높게 측정된 지역들에서 나타나는 것을 확인하였다. 각 지역별-일별로 식(12)에 대하여 얻어진 계수들($\beta_0 \sim \beta_{11}$)의 상관성은 Table 1에서와 같이 찾기 어려우며, 위도별로도 명확한 상관성을 유추할 수 없음을 확인하였다.

마지막으로 시간에 따른 수평면전일사량의 예측 정확도가 높은 것으로 알려져 있는 Zhang & Huang의 상관식(Z&H모델) 식(14)로 수평면전일사량을 서울에 대하여 계산하고 Fig. 9에 나타내었다.

$$I = \left[I_0 \cdot \sin(h) \cdot \left\{ \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 N^2 + \beta_3 (T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_4 RH + \beta_5 V_w \right\} + d \right] / k \quad (14)$$

여기서, 태양상수 $I_0=1355W/m^2$, h 는 각 지역의 고도각, $T_{db,n}$ 은 n 시간대의 건구온도, V_w 는 풍속(m/s), $d=-17.853$, $k=0.843$, $\beta_0 =0.5598$,

$\beta_1=0.4982$, $\beta_2=-0.6762$, $\beta_3=0.02842$, $\beta_4=-0.0317$, $\beta_5=0.014$ 임.

Fig. 9(d)에 나타낸 2012년 5월 6일 제주시의 경우에 Z&H 모델이 어느 정도 정확하게 시간에 따른 수평면전일사량을 예측하고 있는 것으로 나타나지만, 그러나 타 지역과 일자에 대해서는 Fig. 9(a)-(c)와 같이 다소 큰 오차를 가지고 있음을 알 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로 한반도 전 지역에 적용 가능한 수평면전일사량을 예측할 수 있는 예측식을 제안하기 위한 추가적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

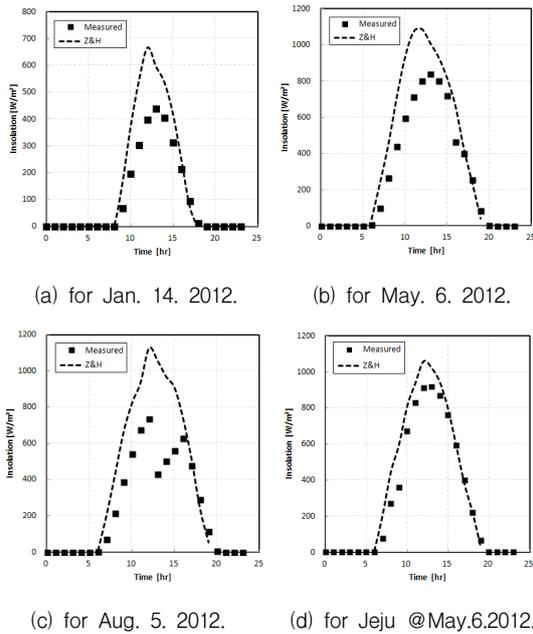


Fig. 9 Solar insolation with time between measured and Z&H prediction in Seoul.

4. 결 론

전국의 2012년 15개 지역의 기상 데이터와

수평면전일사량의 측정 결과를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 기상 데이터인 건구온도, 상대습도, 일조시간 및 운량과 수평면전일사량과의 15개 지역에 대하여 상관성이 매우 높았다.
- 2012년 15개 지역에 대하여 일일 평균 건구온도와 평균 일사량의 상관성은 상대적으로 매우 낮은 것으로 나타났다. 상대습도, 일조시간 및 운량과의 상관성은 있으나 일조시간과 운량이 특히 높은 것으로 나타났다.
- 수평면전일사량을 정확하게 예측하기 위하여 건구온도, 상대습도, 일조시간 및 운량의 4가지 기상변수를 포함하는 삼차 비선형 방정식을 제시하였고, 정확도는 최대 97% 이었다. 제시한 상관식의 계수들 간의 연관성은 지역/계절별로 나타나지 않음을 알 수 있었다.
- 전국 혹은 위도별로 적용 가능한 수평면전일사량을 예측하기 위한 한국형 모델식이 필요하고 이에 대한 추가적인 연구가 필요함을 확인하였다.

Reference

1. Jo, D. K, Lee T. K, Cho, S. H, Chea, Y. H, and Auh P. C, A Study on the Estimating Solar Radiation for Arbitrary Areas, Journal of Korea Solar Energy Society, Vol. 9, No. 3, pp. 25-36, 1989.
2. Yoon, J. H, Kim, C. B, and Jo, D. K, Performance Validation of Global to Direct/Diffuse Decomposition Models Using Measured Direct Normal Insolation of Seoul, Proceedings of KSES Conference, pp. 163-171, 1994.
3. Yoon J. H, Performance Validation of Five Direct/Diffuse Decomposition Models Using Measured Direct Normal Insolation of Seoul,

- Journal of KSES, Vol. 20, No. 1, pp. 45-54, 2000.
4. Jo, D. K, Chun, I. S, Lee, T. K, and Auh, C. M, Estimating Solar Radiation for Arbitrary Areas Using Empirical Forecasting Models, Journal of KSES, Vol. 20, No. 3, pp. 21-30, 2000.
 5. Jo, D. K and Kang, Y. H, A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover, Journal of KSES, Vol. 30, No. 4, pp. 15-21, 2010.
 6. Jo, D. K, Yun, C. Y, Kim, K. D, and Kang, Y. H, Estimation of Solar Radiation Distribution in Korea Using a Satellite, Journal of KSES, Vol. 31, No. 2, pp. 99-106, 2011.
 7. Kim, K. H and Oh, K. W, Comparison Analysis of Estimation Models of Hourly Horizontal Global Solar Radiation for Busan, Korea, Journal of KSES, Vol. 33, No. 5, pp. 9-17, 2013.
 8. Zhang, Q, Joe, H, and Lang, S, Development of Typical Year Weather Data for Chinese Locations, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Pt. 2, pp. 1-17, 2002.