

국내 6개 지역 중심으로 분석한 일사량을 포함한 기상 데이터 특성

김정배[†]

한국교통대학교, 교수

On Meteorological Data Characteristics Including Solar Insolation for Domestic 6 Regions

Kim Jeongbae[†]

Professor, Korea National University of Transportation

[†]Corresponding author: jeongbae_kim@ut.ac.kr

Abstract

Research on a policy to expand the measurement locations of meteorological data nationwide is underway; further, various attempts to improve measurement accuracy have been made. This study quantitatively compared and analyzed the changes in meteorological data for six regions, including Corner 4 (Incheon, Gangneung, Mokpo, and Busan), Daejeon (central location), and Seoul (selected as symbolic representative locations). The results provided details of solar insolation, dry-bulb temperature, relative humidity, wind speed, cloud cover, and duration of sunshine.

Keywords: 국내(Domestic), 6개 지역(6 regions), 일사량(Solar insolation), 기상 데이터(Meteorological data), 건구 온도(Dry-bulb temperature), 일조 시간(Duration of sunshine)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.43, No.5, pp.1-7, October 2023
<https://doi.org/10.7836/kjes.2023.43.5.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 9 May 2023

Revised: 28 June 2023

Accepted: 4 August 2023

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근까지도 태양에너지를 이용하는 시스템들의 설계 단계에서부터 성능 예측 정확성을 높이기 위하여¹⁾ 그리고 시스템 운영 특성의 분석을 위하여²⁾ 일사량의 정확한 측정과 계산 평가가 이루어져야 함을 다양한 연구결과들이 제시하고 있다.

이를 위하여 지역별로 1991부터 2010년까지 20년간 데이터를 이용하여 국내 주요 10개 도시의 일사량을 포함하여 표준기상데이터를 제작하기도 하였다³⁾. 그리고 국내에서 다양하게 제시되고 있는 표준 기상 데이터 간의 정량적 비교 평가를 수행하기도 하였다⁴⁾.

이와 함께 건구온도($T_{db}[^{\circ}\text{C}]$), 상대습도($\theta_{RH}[\%]$, RH), 풍속($V_{wind}[\text{m/sec}]$), 운량(CC[-]) 및 일조시간($t_{ds}[\text{hr}]$)을 독립변수로 하여 수평면전일사량($I_s[\text{W/m}^2]$)을 계산할 수 있는 운량 모델(식(1))과 비운량 모델(식(2)) 제안하고, 중기 10년⁵⁾와 장기 30년⁶⁾ 기

간의 측정 일사량과 비교하여 정확성을 제시하기도 하였다.

$$I_{s, cal} = I_0 \sin(h) \{ \beta_0 + \beta_1(CC) + \beta_2(CC)^2 + \beta_3(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_4 RH + \beta_5 V_{wind} + \beta_6 t_{ds} \} \quad (1)$$

$$\beta_0 = 0.3248, \beta_1 = 0.128, \beta_2 = -0.210, \beta_3 = -0.00581, \beta_4 = -0.131, \beta_5 = 0.00736, \beta_6 = 0.388$$

$$I_{s, cal} = I_0 \sin(h) \{ \beta_0 + \beta_1(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_2 RH + \beta_3 V_{wind} + \beta_4 t_{ds} \} \quad (2)$$

$$\beta_0 = 0.44645, \beta_1 = -0.0147, \beta_2 = -0.327, \beta_3 = 0.00362, \beta_4 = 0.391$$

$I_{s, cal}$: 계산 수평면전일사량[W/m²], I_0 : 태양상수, 1355W/m², h : 태양 고도각[°], 하첨자 n: 시간

특히, Jo and Kang⁷⁾에는 1982년 ~ 2008년까지의 27년 동안 1년 수평면전일사량 데이터를 국내 16개 지역 별로 제시하고 있다. 이 데이터를 활용하여 저자가 분석한 결과, 16개 지역의 1년 기준 일사량 데이터의 표준편차는 $\pm 4.5\%$ 로 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있다. 그리고, Lee et al.⁸⁾에서는 국내 대부분 지역들의 일사량 편차가 크지 않으므로, 일사량 차이로 인하여 생산되는 태양광 발전량과 시스템 효율의 차이는 크지 않은 것으로 평가하기도 하였다.

일부의 선행연구들이 국내의 지역별 일사량의 차이가 상대적으로 낮은 수준이며, 이에 따른 태양광 발전량과 효율의 차이가 크게 나타나지 않는다고 제시하고 있음에도, 최근 국내에서는 태양에너지 이용 시스템들에 대한 지역별 예측 정확도를 높이기 위하여 많은 위치에 대한 일사량 측정이 필요하다는 요구에 맞춰 기상청(Korea Meteorological Agency)은 일사량을 측정할 수 있는 기상 관측소의 수를 증가시키기 위해 많은 노력을 하고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 약 6개의 지역을 선정하고, 6개 지역의 지난 20여 년간의 일사량을 포함한 기상 데이터의 경향과 변화 특성을 최소한 18개 지역 이상의 기상 데이터들과 비교하고 그 결과를 분석할 필요가 있음을 확인하였다.

이를 위하여, 대한민국의 코너 4개소(인천, 강릉, 목포, 부산)와 지리적 중심으로 판단되는 대전, 그리고 중요성을 고려하여 서울을 포함하는 6개 지역을 선정하여, 기상청에서 측정하고 제공하는 수평면전일사량의 정량적 변화 특성을 2000년부터 2021년까지 분석 검토하였다. 이러한 검토 기간은 Lee et al.³⁾, Cho and Kim⁵⁾, Kim⁶⁾에서 밝힌 바와 같이 2000년 이전에 측정되어 제시된 기상 데이터들에 있어서 일부 데이터의 누락 등의 문제가 있다는 점을 고려한 것이다. 6개 지역의 일사량 특성 분석과 평가를 위하여, 2007년까지는 18개 지역의 일사량(기상청 데이터를 2007년까지 정리한 Choi and Yun⁹⁾과 그 이후 2014년까지는 25개에서 34개 지역의 일사량(기상청 데이터를 2014년까지 정리한 Cho and Kim⁵⁾과 비교하였다. 그리고 선정된 6개 지역에 대하여 수평면전일사량을 계산 평가하는 데 중요한 기상 데이터들인 건구온도, 상대습도, 풍속, 운량 및 일조시간에 대하여 기상청에서 제공하는 2000년 이후 데이터의 변화 및 경향성을 분석 평가하여 제시하였다.

2. 분석 결과

2.1 일사량

Lee et al.³⁾에서는 10개 지역(부산, 청주, 대구, 대전, 강릉, 광주, 인천, 제주, 전주, 서울)의 1년 수평면전일사량을 데이터는 제공하면서도 지역별로 비교 분석하지는 않았다. 그러나, 저자가 제시된 10개 지역의 1년 평균 일사량에 대하여 동일 논문에서 고려한 10개 지역에 포함된 5개 지역(부산, 대전, 강릉, 인천, 서울)의 평균이 단지 0.19% 높은 수준이었으며, 나머지 5개 지역과 비교하여도 0.39% 높은 수준으로 지역별 편차가 그리 크지 않은 것을 확인하였다.

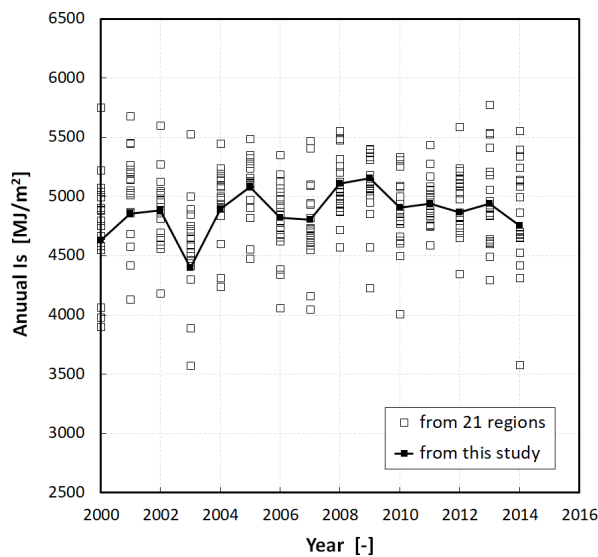


Fig. 1 Comparison between 6 regions and 21 regions for annual solar Insolation(Is)

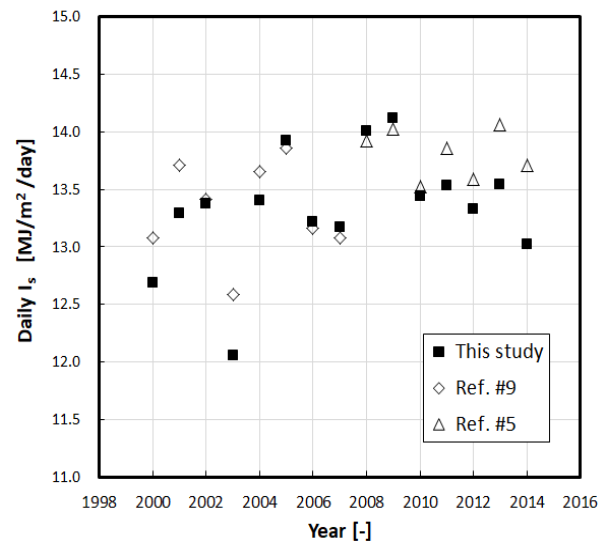


Fig. 2 Comparison between 6 regions and 21 regions for annual solar Insolation(Is)

그리고, 2000년부터 2014년까지 국내의 최소 18개에서 최대 21개 지역에서 측정된 수평면전일사량(Cho and Kim⁵⁾, Choi and Yun⁹⁾ 데이터)와 본 논문에서 고려한 6개 지역(인천, 강릉, 목포, 부산, 대전, 서울)에서 측정된 1년 수평면전일사량의 평균값을 연도별로 Fig. 1에 나타내었다. 2000년 이후 동일 연도 내에서도 지역별로 최대 $\pm 22.5\%$ 수준(6개 지역의 경우에는 최대 $\pm 12.4\%$ 수준)으로 그리고 전체 지역과 기간에 대해 평균으로는 $\pm 12.9\%$ 정도의 차이가 발생하고 있었다. Fig. 1의 연도별 측정 데이터를 평균하고, 이를 1일 기준으로 환산하여 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 6개 지역의 1일 수평면전일사량은 Cho and Kim⁵⁾와 Choi and Yun⁹⁾에서 제시한 전체 지역의 평균값과 비교하여 $\pm 5\%$ 이내의 다소 작은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 6개 지역의 연도별 일사량 변화의 경향성이 참고문헌들의 결과와 매우 유사함을 확인할 수 있었다.

태양에너지 이용 시스템들의 설계에 있어서 지역별 예측 정확도를 높이기 위하여 기초 데이터인 일사량의 측정 개소를 확대하는 정책과 추진에 있어서, 위에서 제시한 결과로부터 다양한 방식의 데이터 분석 결과를 활용

하여 구체적인 전략적 방향성을 제시할 필요성이 있다고 판단된다. 또한 일사량 데이터의 부재 혹은 명확성이 낮은 경우에는, 가까운 지역의 측정 데이터를 활용하는 것이 어느 정도는 대안이 될 수 있음을 알 수 있다.

2.2 기상 데이터

제시한 전국 대표 6개 지역의 평균적인 일사량 경향성이 전국적인 규모와 큰 차이가 없다는 결과로부터 수평면전일사량을 계산하기 위해 저자가 제안하였던 아래의 운량 포함 모델과 운량 비포함 모델에서 고려되는 기상 변수들(건구온도, 상대습도, 풍속, 운량, 일조시간)의 지난 약 20년간(2000년 ~ 2021년)의 기상청 측정 기상 데이터들의 경향성을 마찬가지로 6개 지역의 평균적인 변화 특성으로 검토하였다.

먼저, Fig. 3(a)에 나타낸 건구온도(이하 온도)의 경우에, 2000년 이후 1일 평균 온도는 13.62°C 이었으며, 6개 지역은 $\pm 3.39\%$ 편차를 나타내었다. 그리고 2000년의 1일 평균 온도 보다 2021년에는 1.15°C 증가하였음을 알 수 있었다. 각 지역별로는 강릉 1.06°C , 서울 1.11°C , 인천 0.67°C , 대전 1.79°C , 부산 0.8°C , 그리고 목포 1.46°C 증가하였다. 또한, 지난 20년간 1일 평균 온도 최대와 최소 온도의 차이는 강릉 2.12°C , 서울 1.67°C , 인천 1.47°C , 대전 1.90°C , 부산 1.89°C , 그리고 목포 2.12°C 수준으로 전국적으로 상당한 건구 온도의 증가가 있었음을 확인하였다. 그리고 6개 지역의 1일 최저 평균 온도는 2011년의 12.81°C 이었으며, 2021년이 최대인 14.49°C 이었음을 알 수 있었다.

Fig. 3(b)에 나타낸 상대습도(이하 습도)의 경우에, 2000년 이후 1일 평균 습도는 65.7% 이었으며, 6개 지역은 $\pm 2.84\%$ 편차를 나타내었다. 그리고 2000년의 1일 평균 습도 보다 2021년에는 1.0% 증가하였을 정도로 지난 20년간 습도의 변화는 거의 미미한 것으로 나타났다. 그러나 평균적인 경향과 달리 지난 20년간 1일 평균 습도 최대와 최소 습도의 차이는 강릉 11.76% , 서울 8.93% , 인천 16.78% , 대전 9.59% , 부산 10.41% , 그리고 목포 11.09% 수준임을 확인하였다. 그리고 6개 지역의 1일 최저 평균 습도는 2005년의 62.5% 이었으며, 2014년이 최대인 69.6% 이었음을 확인하였다.

Fig. 3(c)에 나타낸 풍속의 경우에, 2000년 이후 1일 평균 풍속은 2.73 m/sec 이었으며, 6개 지역은 $\pm 6.56\%$ 편차를 나타내었다. 그리고 2000년의 1일 평균 풍속 보다 2021년에는 0.79 m/sec 감소하였을 정도로 지난 20년간 풍속은 그림과 같이 점진적으로 감소한 것으로 나타났다. 그러나 평균적인 경향과 동일하게 지난 20년간 1일 평균 풍속 최대와 최소 풍속의 차이는 강릉 0.81 m/sec , 서울 1.07 m/sec , 인천 0.87 m/sec , 대전 1.62 m/sec , 부산 0.84 m/sec , 그리고 목포 1.80 m/sec 수준임을 확인하였다. 그리고 6개 지역의 1일 최저 평균 습도는 2019년의 2.52 m/sec 이었으며, 2000년이 최대인 3.36 m/sec 이었음을 확인하였다.

Fig. 3(d)에 나타낸 운량의 경우에는 그림에서와 같이 2000 ~ 2007, 2008 ~ 2018, 그리고 2019년 이후의 1일 평균 운량의 값이 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 경향은 기상 데이터 상에서 측정 결과가 부재한 시간이 과다하여 발생하는 것으로 확인되었다. 그리고 2019년 이후의 운량 데이터는 시간별로 정상적으로 측정되고 있음을 확인하였다. 그리고 2000년 이후의 각 지역별 평균 1일 기상 데이터의 값을 표에 나타내었다.

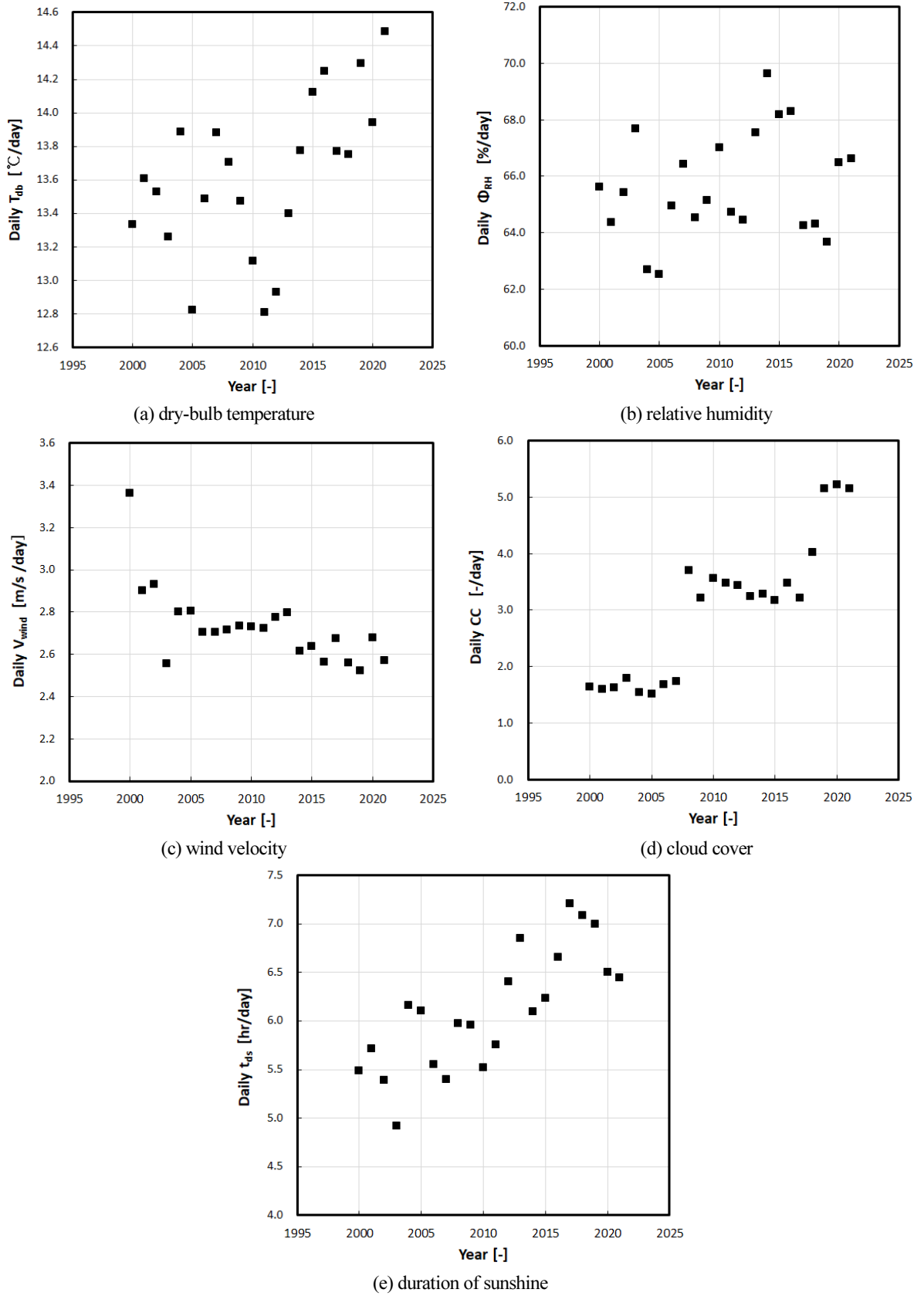


Fig. 3 Daily characteristic behavior of Meteorological data for 6 regions

Fig. 3(e)에 나타난 일조 시간의 경우에, 2000년 이후 1일 평균 일조 시간은 6.11 hr이었으며, 6개 지역은 $\pm 10.10\%$ 편차를 나타내었다. 그리고 2000년의 1일 평균 일조 시간 보다 2021년에는 0.95 hr 증가하였을 정도로, 건구 온도와 유사하게 지난 20년간 일조 시간은 그림과 같이 증가한 것으로 나타났다. 평균적인 경향과 동일하게 지난 20년간 1일 평균 일조 시간 최대와 최소 일조 시간의 차이는 강릉 2.29 hr, 서울 3.29 hr, 인천 2.16 hr, 대전 2.17 hr, 부산 2.53 hr, 그리고 목포 1.54 hr 수준임을 확인하였다. 그리고 6개 지역의 1일 최저 평균 일조 시간은 2003년의 4.92 hr이었으며, 2017년이 최대인 7.21 hr이었음을 알 수 있었다.

Table 1 Daily meteorological data for 6 regions

Items	Gangneung	Seoul	Incheon	Daejeon	Busan	Mokpo
Dry-bulb Temp. [°C]	13.62	12.98	12.72	13.31	15.06	14.03
Relative hum. [%]	58.15	60.81	68.59	67.64	62.73	76.07
Wind Vel. [m/sec]	2.62	2.36	2.90	1.78	3.27	3.46
Cloud cover [-]	4.94	4.99	5.10	5.27	4.96	5.78
Duration of sunshine [hr]	5.97	5.77	6.45	6.10	6.41	5.96
Insolation [MJ/m ²]	13.48	12.47	13.00	14.44	14.20	13.87

이번 논문의 목적 중의 하나로서 제시한 바와 같이 6개 지역의 측정 일사량만으로도 어느 정도 전국적 특성에 근접할 수 있다는 점을 바탕으로, 6개 지역 중에서 가장 평균적인 대표 지역을 확인하기 위하여 건구 온도, 상대 습도, 풍속, 운량, 일조 시간, 그리고 수평면전일사량에 대하여 연도별 6개 지역 1일 평균값 기준으로 각 지역의 평균값을 비교 평가하였다. 개별 지역의 상세 데이터는 Table 1과 같다. 그 결과 일사량은 강릉, 건구 온도는 강릉, 상대 습도는 대전, 풍속은 강릉, 일조 시간은 대전, 그리고 운량은 대전 지역이 가장 6개 지역의 평균값에 가까운 기상 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 전체 기상 데이터 특성으로는 대전이 6개 지역 중에서 가장 평균적인 기상 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

3. 결론

2000년 이후의 국내 주요 6개 지역(인천, 강릉, 목포, 부산, 대전, 서울)의 기상 관측소에서 측정된 수평면전 일사량, 건구 온도, 상대 습도, 풍속, 운량, 일조 시간의 기상 데이터들에 대하여 변화 특성을 정량적으로 분석하여 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 선정된 6개 지역의 수평면전일사량과 그 외 지역의 일사량과의 편차가 그리 크지 않음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 특히 일사량의 측정 개소의 확대 등의 정책적 방향에 대한 명확성을 제고할 필요가 있음을 그리고 특정 위치에 대한 부족한 데이터에 대하여 타 지역의 데이터를 어떻게 활용할 것인지에 대한 대안이 필요함을 알 수 있었다.

2. 일사량의 평가에 중요한 기상 데이터 특성으로는 대전이 6개 지역 중에서 가장 평균적인 기상 특성을 나타내고 있음을 확인하였다.
3. 6개 지역에 대하여 2000년의 1일 평균 건구 온도 보다 2021년에는 1.15°C까지 크게 증가하였음을 알 수 있었다. 마찬가지로 일조 시간의 경우에도 0.95 hr 정도 증가하였음을 확인하였다.
4. 검토 기간에 대하여 지역별 기상 데이터의 차이는 1년 수평면전일사량 기준으로 최대 $\pm 5\%$ 수준의 차이를 발생시킬 수준임을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Jo, E. H. and Lee, H. J., Variation of Solar Photovoltaic Power Estimation due to Solar Irradiance Decomposition Models, Journal of the KSES, Vol. 39, No. 3, pp. 81-89, 2019.
2. Kim, M., Jung, S., Kim, J., Lee, H., Kim, B., and Kim, S., A Study on Artificial Neural Network-based Solar Radiation Forecasting for Efficient Solar Photovoltaic System, Journal of KIIS, Vol. 29, No. 6, pp. 501-506, 2019.
3. Lee, H. J., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Generation of Typical Meteorological Year Data Suitable for Solar Energy Systems and Analysis of Solar Irradiance Data, New & Renewable Energy, Vol. 13, No. 3, pp. 24-33, 2017.
4. Kang, E. H., Kim, D. S., Lee, H. M., and Yoon, J. H., A Comparative Analysis of Solar Radiation in Korea's Typical Meteorological Year for Building Energy Analysis, Journal of the KSES, Vol. 42, No. 6, pp. 157-171, 2022.
5. Cho, M. and Kim, J., Correlation to Predict Global Solar Radiation and Accuracy Evaluation of that Correlation from Korea during 10 Years to 2014, New & Renewable Energy, Vol. 15, No. 4, pp. 21-27, 2019.
6. Kim, J., Correlation Analysis Between Measured Global Horizontal Solar Irradiance and Meteorological Data during 30 Yrs from 1985(III), Proceeding of the KSES Fall Conference, pp. 64, October 2019, Jecheon, Republic of Korea.
7. Jo, D. and Kang, Y. H., A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover, Journal of the KSES, Vol. 30, No. 4, pp. 15-21, 2010.
8. Lee, D. H., Kim, M. S., and Park, J. B., Solar Power Generation Difference by Region's Solar Radiation, Proceeding of the KIEE Summer Conference, pp. 80-81, June 2017, Busan, Republic of Korea.
9. Choi, M. H. and Yun, J. I., On Recent Variations in Solar Radiation and Daily Maximum Temperature in Summer, Journal of the KSAFM, Vol. 11, No. 4, pp. 185-191, 2019.