공공데이터포털에 등재된 천리안 1호 위성영상 기반 일사량의 검증 및 관측 일사량의 한계점

김창기* · 김현구** · 강용혁* · 김보영**

*한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실, 책임연구원

**한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실, 선임연구원

Evaluation of Satellite-Derived Solar Irradiance and Limitation in Ground Observation

Kim Chang Ki* · Kim Hyun-Goo** · Kang Yong-Heack* · Kim Bo-Young**

*Principal Researcher, New and Renewable Energy Resource Map Laboratory, Korea Institute of Energy Research

**Senior Researcher, New and Renewable Energy Resource Map Laboratory, Korea Institute of Energy Research

[†]Corresponding author: hyungoo@kier.re.kr

Abstract

Recently, satellite-derived solar irradiance data, generated by the Korea Institute of Energy Research, has been opened for public use via the Public Big Data Platform organized by the Ministry of Public Administration and Security. These data are the monthly mean of daily total irradiance for the domain with latitude between 32°N and 40°N and longitude between 124°E and 130°E with a horizontal resolution of 1 km. The purpose of this study is to evaluate the monthly mean of daily total irradiance by comparing it with the ground truth obtained from the Automated Synoptic Observing System (ASOS) in the Korea Meteorological Administration (KMA). For the investigation period, that is, from 2012 to 2019, the average value of the correlation coefficients for all stations is 0.913. In addition, the root mean square error, which is normalized to the observation, is 12.2%, which is larger than that reported in previous studies. The ground observations employed for the evaluation were not performed by data quality control system. In the Daejeon station, in-situ observation from ASOS in KMA is significantly different from the measurement that is controlled by a data quality system, which means that in-situ observation from ASOS in KMA would be dangerous for use in the evaluation. With the solar irradiance controlled by the data quality control system, the root mean square error is reduced from 15.8% to 5.3%. Therefore, it is necessary to examine the in-situ observation via data quality control for the quantitative analysis of satellite-derived solar irradiance.

Keywords: 공공데이터 포털(Public Big Data Platform), 위성영상 기반 일사량(Satellite Derived Solar Irradiance), 종관관측시스템(Automated Synoptic Observing System), 품질평가(Data Quality Control)

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.6, pp.121-134, December 2020
<https://doi.org/10.7836/kjes.2020.40.6.121>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 20 November 2020

Accepted: 02 December 2020

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.

기호설명

AAOS	: Automated Agricultural Observing System
ASOS	: Automated Synoptic Observing System
BSRN	: Baseline Solar Radiation Network
CERES	: The Clouds and the Earth's Radiant Energy System
DHI	: Diffused Horizontal Irradiance
DNI	: Direct Normal Irradiance
ECMWF HRES	: European Center for Medium Weather Forecast High RESolution
ERA-5	: ECMWF ReAnalysis 5 th Generation
GHI	: Global Horizontal Irradiance
KIER	: Korea Institute of Energy Research
MERRA-2	: The Moden-Era Retrospective analysis for Research and Application version 2
rMBE	: relative Mean Bias Error
rRMSE	: relative Root Mean Square Error
UASIBS-KIER	: University of Arizona Solar Irradiance Based on Satellite – KIER

1. 서론

신재생에너지 자원평가 및 변동성 예측을 위한 여러 방법론에 기반한 예보 모형들이 개발되고 있다¹⁾. 자원평가를 위한 기초 자료로서 신재생에너지 자원정보가 요구되는데, 2020년 9월 22일에 한국에너지기술연구원에서는 천리안 1호 및 2호 위성영상 기반 태양자원지도 데이터를 한국정보화진흥원이 운영하는 공공데이터 포털에 등재하여 대국민 공개서비스를 시작하였다. 이 자료는 천리안 위성 영상의 원시 데이터와 한국에너지기술연구원과 미국 애리조나대학교가 공동개발한 UASIBS – KIER (University of Arizona Solar Irradiance Based on Satellite – Korea Institute of Energy Research) 모델을 이용하여 생산된 수평면 전일사량으로 현재는 일 누적 일사량을 월별로 평균한 형태인 월평균 일 누적 일사량(Monthly Mean of Daily Total Irradiance, kWh m⁻² d⁻¹)로 제공하고 있다. UASIBS – KIER 모델과 관련된 선행 연구^{2,3)}에서 일 누적 일사량의 오차율이 지역별로 5% ~ 10% 사이를 보인바 있다. 그러나 선행 연구에서는 분석 기간이 1년에 불과하여 모델 성능에 대한 장기적인 검증은 하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 공공데이터 포털에 등재된 천리안 1호 위성영상 기반 태양자원지도 데이터를 이용하여 공개된 일사량 데이터의 시간 범위와 동일한 기간에 대해서 지상 관측 일사량과 정량적으로 비교하여 신뢰성을 검증하고자 한다. 또한 검증에 사용된 지상 관측 일사량에 대한 신뢰성을 재분석 자료를 이용하여 평가하고자 한다.

2. 연구자료 및 검증방법

2.1 천리안 1호 위성영상 기반 일사량

공공데이터 포털에 등재된 신재생자원지도데이터 중에서 태양자원 천리안 1호 수평면 전일사량(이하 천리안 일사량)을 본 연구에 이용하였다⁴⁾. 이 자료는 일 누적 일사량($\text{kWh m}^{-2} \text{d}^{-1}$)을 월별로 평균한 것으로서 2012년 1월부터 2019년 12월까지 1 km 해상도로 위도 32°N부터 40°N와 경도 124°E부터 130°E의 모든 격자점에 대해서 제공되고 있다. Fig. 1은 위성영상 기반 일사량의 표출 영역을 나타내고 있다.

Fig. 1 Domain for Satellite derived solar irradiance datasets provided by public big data platform and locations of 42 ASOS stations in KMA. Details are listed in Table 1

2.2 ERA-5 재분석 자료

ERA-5 (ECMWF ReAnalysis 5th Generation)⁵⁾는 유럽기상국의 현업 예보 모형인 ECMWF HRES (European Center for Medium Weather Forecast High REsolution)의 예보 결과와 양상블 자료동화 시스템을 이용하여 재분석한 자료로서 수평 해상도는 약 31 km이고, 지면부터 1 hPa 고도까지 137개로 구분된 개별 층에서 대기 예보에 대한 재분석 자료를 제공하고 있다. 이 중에서 Surface solar radiation downwards를 추출하여 공공데이터 포털에 등재된 천리안 1호 위성영상 기반 일사량과 동일한 기간에 대해서 비교하였다.

2.3 MERRA-2 재분석 자료

MERRA-2 (The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Application version 2)⁶⁾는 미국 NASA의 Goddard Space Flight Center에서 개발한 GEOS 예보 모형을 기반으로 생산된 재분석 자료로서 수평 해상도는 동서 방향으로 0.5°이고 남북 방향으로 2/3°이다. 이 중에서 지표에 도달하는 일사량의 시간 평균 값인 avg1_2d_rad_Nx 를 추출하여 공공데이터 포털에 등재된 천리안 1호 위성영상 기반 일사량과 동일한 기간에 대해서 비교하였다.

2.4 CERES 위성영상 기반 일사량 자료

CERES (The Clouds and the Earth's Radiant Energy System)⁷⁾ 프로젝트의 생산물 중에서 위성영상 기반 일사량 자료가 미국 NASA로부터 제공되는데, 이것은 극궤도 위성 영상을 이용하여 전 지구에 대한 일사량을 생산한다. 다만 기본적으로 극궤도 위성이므로 시간 해상도가 12시간 이상 되기 때문에 지역에 따라 결측되는 시간이 존재하므로 재분석 자료 등을 이용하여 보완하게 된다. 이것의 공간 해상도는 1°로서 격자별 일사량 중에서 가장 해상도가 낮다. Kim et al.⁸⁾은 미국 서부지역에 대해서 위성영상 기반 일사량과 앞서 소개한 MERRA-2의 전신인 MERRA 재분석 자료와 CERES 위성영상 기반 일사량 자료를 비교하였는데, 정확도는 공간해상도에 따라 비례하는 경향을 보여 공간해상도가 가장 낮은 CERES가 정확도 역시 가장 낮았다.

2.5 관측자료

기상청에서 제공하는 ASOS (Automated Synoptic Observing System)에서 일사량을 관측하는 42개 지점에 대해서 2012년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지 일 누적 일사량을 공공데이터 포털을 통해서 제공받았고, 이것을 월별로 평균하여 월평균 일 누적 일사량으로 재생산하였다. Fig. 1에 나타난 지점 번호는 42개 ASOS 관측 지점의 위치이다. 이와 함께 Table A.1에는 42개 ASOS 관측 지점에 대한 위경도 및 지점명을 함께 나타내었다.

2.6 Error Metrics

위성영상 기반 일사량의 오차를 정량적으로 파악하기 위하여 관측값에 대해서 정규화된 상대 오차(MBE)와 제공근오차(RMSE)를 각각 식(1)와 (2)과 같이 정의하여 계산하였다. 여기서 F, O, N은 각각 수평면 전일사량에 대한 추정치, 관측치 그리고 샘플수를 의미한다. 이와 함께 관측치와 추정치간의 상관관계를 파악하기 위하여 피어슨 상관계수를 함께 계산하였다.

$$rMBE = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (1)$$

$$rRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i} \quad (2)$$

3. 결과

천리안 일사량과 함께 제공되는 위경도 정보를 이용하여 2012년 1월부터 2019년 12월까지 96개월에 대한 월평균 일 누적 일사량을 추출하고 이를 전국 42개 기상청 ASOS 지점에서의 관측 일사량과 정량적으로 비교한 결과를 Table 1에 나타내었다. 우선 모든 ASOS 지점에 대한 관측 일사량은 평균적으로 $3.846 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이고, 표준편차는 $0.295 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이다. 이에 비하여 천리안 일사량은 $3.656 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 관측 일사량에 비해 4.5% 정도 일사량을 낮게 추정하고 있음을 알 수 있다. 피어슨 상관계수는 0.913으로 천리안 일사량과 ASOS 일사량간의 상관성은 높은 것으로 보이나 rRMSE의 평균은 14.9%를 보여 선행연구인 Kim et al.³⁾와 비교해 볼 때 높은 것을 확인 할 수 있다. 지역적으로는 서울(108)과 부산(159)에서 낮은 rRMSE를 나타내고, 보성군(258)과 강진군(259)에서 높은 rRMSE를 보여주고 있다.

Table 1 Error statistics for monthly mean of daily total irradiance from public big data platform (NIA GHI) and KMA (ASOS GHI) for each ASOS station during the investigation period

Station ID	ASOS GHI ($\text{kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	NIA GHI ($\text{kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	R	rMBE (%)	rRMSE (%)
93	3.768	3.545	0.972	-5.91	10.15
95	4.818	3.953	0.984	-17.95	19.40
100	3.875	3.360	0.967	-13.30	15.49
101	3.700	3.552	0.958	-3.98	10.30
102	4.403	3.861	0.991	-12.31	13.85
104	3.743	3.474	0.967	-7.20	10.62
105	4.013	3.450	0.966	-14.02	16.47
108	3.518	3.631	0.969	3.20	8.58
112	3.610	3.750	0.945	3.88	11.99
114	3.871	3.528	0.977	-8.86	11.48
119	3.556	3.617	0.907	1.71	14.48
129	3.488	3.583	0.906	2.71	15.55
131	3.779	3.610	0.965	-4.48	10.18
133	4.245	3.633	0.976	-14.41	16.84
135	3.910	3.647	0.956	-6.74	11.54
136	4.093	3.741	0.966	-8.59	12.27
138	3.574	3.664	0.861	2.51	16.67
143	4.132	3.749	0.956	-9.27	12.68
146	3.949	3.608	0.972	-8.62	11.83
155	4.237	3.794	0.982	-10.44	12.27

Table 1 Error statistics for monthly mean of daily total irradiance from public big data platform (NIA GHI) and KMA (ASOS GHI) for each ASOS station during the investigation period (Continue)

Station ID	ASOS GHI ($\text{kWh m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	NIA GHI ($\text{kWh m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	R	rMBE (%)	rRMSE (%)
156	4.011	3.621	0.971	-9.72	12.22
159	3.958	3.831	0.959	-3.22	8.38
165	3.628	3.645	0.952	0.46	9.92
168	3.523	3.944	0.960	11.95	14.88
172	3.682	3.511	0.863	-4.65	17.84
177	3.996	3.657	0.991	-8.47	9.91
184	3.730	3.442	0.974	-7.71	12.09
185	3.471	3.547	0.846	2.20	21.71
192	3.710	3.820	0.823	2.96	17.68
251	3.762	3.589	0.843	-4.59	20.59
252	4.072	3.488	0.984	-14.33	15.75
253	3.464	3.705	0.842	6.95	18.85
254	4.036	3.653	0.787	-9.47	22.93
255	3.645	3.690	0.782	1.24	19.34
257	3.316	3.706	0.697	11.76	28.03
258	3.588	3.824	0.748	6.57	23.08
259	3.628	3.632	0.309	0.09	37.37
263	4.121	3.724	0.975	-9.64	11.33
264	4.123	3.757	0.976	-8.90	11.17
266	4.194	3.789	0.981	-9.65	10.92
276	3.958	3.630	0.977	-8.29	11.06
283	3.652	3.615	0.951	-1.01	9.96
AVG	3.824	3.681	0.913	-4.47	12.26

보다 상세한 분석을 위해 42개 ASOS 지점에 대한 연구 기간 동안의 월평균 일 누적 일사량과 천리안 일사량의 산포도를 Fig. 2에 나타내었다. Table 1에서 상관계수가 높은 지점에서 산포도의 분산이 적은 것을 확인할 수 있다. 다만 상관계수가 0.9보다 낮은 지점에서는 관측 일사량과 천리안 일사량간의 차이가 극명하게 나타난다. 특히 고창(172), 고창군(251), 순창군(254), 보성군(258) 그리고 강진군(259) 지점에서는 데이터의 분포가 가지 형태로 나타나 천리안 일사량이 특정 기간 또는 특정 기상현상에 대해서 왜곡하는지 확인할 필요가 있다. 또한 대전(133) 지점에서는 천리안 일사량이 다른 지점처럼 일사량의 분포가 여러 갈래로 분포하거나 분산이 크지는 않았지만 천리안 일사량이 관측 일사량에 비해 약 14.4%정도 작았다. 이에 대한 내용은 토의에서 기술하고자 한다.

Fig. 2 Scatter plots of monthly mean of daily total irradiance from public big data platform (NIA GHI) and ASOS (OBS GHI) for each station

4. 토 의

우선 천리안 일사량과 ASOS 지점에서의 관측 일사량간의 상관도 분석의 결과가 다른 일사량 자료 군에서도 나타나는지 확인하기 위하여 ERA-5 일사량을 42개 ASOS 지점에 대해서 관측 일사량과 비교하였다. Fig. 3을 보면 천리안 일사량과 마찬가지로 고창(172), 고창군(251), 순창군(254), 보성군(258) 그리고 강진군(259) 지점에서 데이터가 여러 갈래의 가지 형태로 분포하여 모든 일사량 데이터가 관측 일사량에 대해서 일관성이 있는 분포 특성을 보인다. 추가적으로 MERRA-2 일사량과 CERES 일사량도 관측 일사량과 교차 검증을 수행하여 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 관측 일사량에 대해서 격자별 일사량이 보다 넓게 분포하여 퍼져있는 양상을 확인할 수 있다. 관측 일사량과 천리안 일사량, ERA-5 일사량, MERRA-2 일사량 및 CERES 일사량간의 상관계수는 각각 0.886, 0.894, 0.857, 0.848로서 0.9보다 작다.

그러나 천리안 일사량은 ERA-5 일사량과 0.960의 높은 상관계수를 보이고 MERRA-2 일사량과는 0.915의 상관계수를 보인다. ERA-5 일사량은 MERRA-2 일사량과 CERES 일사량과는 각각 0.935와 0.930의 상관

Fig. 3 Same as Fig. 2 except from ERA-5 (ERA GHI)

Fig. 4 Cross correlation matrix of monthly mean of daily total irradiance ($\text{kWh m}^{-2} \text{d}^{-1}$) from ASOS (O), public big data platform (N), ERA-5 (E), MERRA-2 (M) and CERES (C) together with correlation coefficient on each figure

계수를 갖는다. 그리고 공간해상도가 낮은 일사량 자료인 MERRA-2 일사량과 CERES 일사량은 서로 0.954의 높은 상관계수를 보여 공간해상도에 대한 민감도가 높음을 유추할 수 있다. 이러한 상관분석을 미루어 짐작할 때 ASOS 지점에서 관측된 일사량과의 비교에서 관측 일사량 자체에 대한 정확도를 의심할 여지가 있다. 실제로 선행 연구인 Kim et al.³⁾에서는 지상 관측 일사량을 BSRN (Baseline Solar Radiation Network) 프로젝트의 품질평가 기법을 적용한 이후 위성영상 기반 일사량을 검증하는데 사용하였다.

본 연구에서는 대전(133) 지점에서의 관측 일사량을 확인하기 위하여 인근 지역에 위치한 한국에너지기술연구원(36.383°N, 127.359°E)에서 Kipp & Zonen 사의 CM-11pyranometer를 이용하여 관측한 1분 단위 수평면 전일사량(GHI)과 Kipp & Zonen사의 CHP-1 pyrheliometer를 이용하여 관측한 1분 단위 법선면 직달일사량(DNI)을 사용하였다. 또한 같은 제조사의 SOLYS-2 Sun Tracker에 pyrheliometer와 pyranometer를 추가적으로 설치하고 pyranometer에는 shadow ball을 설치하여 수평면 산란일사량(DHI)도 직접 관측하였다. 일사량 자료 품질평가에 사용된 기준은 다음과 같다.

- (a) $\theta_s < 75^\circ$
- (b) $GHI > 0$ and $DHI > 0$ and $DNI \geq 0$
- (c) $DNI < 1100 + 0.03 \times (90^\circ - \theta_s)$
- (d) $DNI < S_{0n}$
- (e) $DHI < 0.95S_{0n}\cos^{1.2}(90^\circ - \theta_s) + 50$
- (f) $GHI < 1.50S_{0n}\cos^{1.2}(90^\circ - \theta_s) + 100$
- (g) $|(DNI\cos\theta_s + DHI - GHI)/GHI| < 0.05$
- (h) $DHI/GHI < 1.05$ when $GHI > 50$ and $\theta_s < 75^\circ$
- (i) $DHI/GHI < 1.10$ when $GHI > 50$ and $\theta_s > 75^\circ$

여기서 θ_s 는 태양천정각을 의미하고 S_{0n} 은 태양상수를 의미한다. 위의 기준에서 한 가지라도 만족하지 못하면 품질평가를 통과하지 못한 사례로 판단하였다.

ASOS 지점에서의 관측 일사량과 정량적 비교를 위해서 1분 단위 수평면 전일사량이 품질평가를 통과하지 못하여 일 누적 일사량을 산정할 수 없는 날이 발생하면 해당 월은 ASOS 지점에서의 관측 일사량과 비교하지 않았다. 그 결과 2012년 1월부터 2019년 12월 기간 동안 총 30개월에 해당하는 월평균 일 누적 일사량을 산정할 수 있었다. Fig. 5(a)는 대전(133) 지점에서의 관측 일사량과 한국에너지기술연구원에서 품질평가를 통해 선별된 수평면 전일사량(이하 KIER SOLYS 일사량)을 비교한 것이다. 대전(133) 지점에서의 ASOS 관측 일사량이 KIER SOLYS 일사량 보다 좀 더 높은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. 평균적으로 해당기간 ASOS 관측 일사량은 $4.281 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이지만 KIER SOLYS 일사량은 $3.758 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이다. 이러한 차이는 일사계 초

기 설정 문제, 보정 여부 또는 품질 평가 유무에 의한 것으로 판단된다. 기상청 ASOS 지점에서의 관측 일사량은 누적 일사량의 형태로 제공되므로 어느 시점에서 일사량이 오작동에 의해서 기록되었는지 판단하기 어렵다. 반면 KIER SOLYS 일사량의 경우 품질평가 단계 중에서 (f)항과 같이 이론적으로 제측될 수 없는 높은 일사량을 제거할 수 있는 물리적 판단 근거를 보유하고 있다. 또한 법선면 직달일사량 및 수평면 산란일사량을 동시에 관측함으로써 성분별 일사량간의 상관관계를 통해 품질평가를 할 수 있기 때문에 국가참조표준데이터로서 활용되고 있기도 하다⁹⁾. KIER SOLYS 일사량과 천리안 일사량을 비교한 Fig. 5(b)를 보면 기존 대전(133) 지점에서의 관측 일사량과는 편향된 분포를 보여 기울기가 0.79이지만 KIER SOLYS 일사량과는 편향성이 거의 소멸되어 기울기가 0.94로 1에 가깝다. 또한 천리안 일사량의 rRMSE는 대전(133) 지점에서의 관측 일사량에 대해서는 15.8%였지만 KIER SOLYS 일사량에 대해서는 5.3%로 정확도가 증가하였다.

Fig. 5 Scatter plot of monthly mean of daily total irradiance from KIER SOLYS, public big data platform (NIA GHI) and ASOS in Daejeon (133) station (KMA GHI). (a) [KIER SOLYS — KMA GHI] and (b) [NIA GHI — KMA GHI (black circle), NIA GHI — KIER SOLYS (blue circle)]

한편 보성군(258) 지점에서의 관측 일사량과 천리안 일사량은 크게 3개의 갈래로 분화되어 있는 양상을 보였는데, 같은 지점에서 AAOS (Automated Agricultural Observing System)에서 관측된 일사량을 기상청으로부터 제공받아 분석하였다. 2012년 1월부터 2019년 12월까지 보성군(258) 지점에서의 ASOS와 AAOS의 월평균 일 누적 일사량을 Fig. 6(a)에 산포도로 나타내었다. AAOS도 농업기상관측으로서 지상 관측 기기를 기반으로 측정된 일사량임에도 불구하고 천리안 일사량과의 산포도에서처럼 3개의 가지로 분포하는 양상을 보이고 있다. 따라서 보성군(258) 지점에서의 ASOS 관측 일사량 자체에 대한 오류 가능성을 지적할 수 있다. Fig. 6(b)는

보성군(258) 지점에서 ASOS 관측 일사량과 AAOS 농업기상관측 일사량을 천리안 일사량과 비교한 것으로서 ASOS 관측 일사량과 천리안 일사량은 선형 회귀선의 기울기가 0.72이고 결정계수는 0.52이지만 AAOS 농업기상관측 일사량과 천리안 일사량은 선형 회귀선을 기울기가 1.05로 거의 1에 가까워진다. 결정계수는 0.93으로 증가하여 AAOS 농업기상관측 일사량과 천리안 일사량의 분포의 분산이 감소하여 천리안 일사량의 정확도가 증가하는 것으로 판단할 수 있다. AAOS 농업기상관측 일사량을 기준으로 계산한 결과 rRMSE는 12.4%로 감소하였다. 다만 AAOS 농업기상관측 일사량도 앞서 KIER SOLYS 일사량과 같이 품질평가 단계를 거치지 않았으므로 일사량 자체에 대한 신뢰성이 높다고 할 수 없다. 만약 보성군(258) 지점에서도 품질평가 단계를 수행한 이후 정량 비교를 한다면 rRMSE는 보다 더 감소할 것으로 예상된다.

Fig. 6 Scatter plot of monthly mean of daily total irradiance from AAOS (AGR GHI), public big data platform (NIA GHI) and ASOS in Boseong-Gun (258) station (KMA GHI). (a) [AGR GHI — KMA GHI] and (b) [NIA GHI — KMA GHI (black circle), NIA GHI — AGR GHI (blue circle)]

5. 결론

지금까지 공공데이터 포털에 등재된 천리안 1호 위성영상 기반 태양자원지도 일사량을 기상청 ASOS 지점에 대해서 정량적으로 검증하였다. 자료간의 상관성을 나타내는 상관계수는 평균 0.913이고, rRMSE는 12.2%였다. 다만 지역적으로 낮은 상관계수는 보이는 지역이 있었고, 특히 강진군(259) 지점에서는 rRMSE가 37.37%를 나타내어 위성영상 기반 일사량 또는 일사량 산정 모델인 UASIBS - KIER 모델의 신뢰성에 의문이 존재하였다. 그러나 다른 격자별 일사량 자료인 ERA-5, MERRA-2, CERES 일사량을 추가적으로 기상청 ASOS 지점에서의 관측 일사량과 비교하였을 때 오차의 경향이 천리안 일사량과 유사함을 발견하였다. 따라서 기상청

ASOS 지점에서의 관측 일사량에 대한 신뢰성 자체가 의심되어 이를 검증하기 위해 대전(133) 지점과 보성군(258) 지점에서 다른 관측 일사량을 확보하여 비교하였다. 대전(133) 지점 인근 지역에 위치한 한국에너지기술연구원에서 관측한 일사량 자료를 품질평가에 의해 선별한 이후 천리안 일사량과 비교한 결과 선형 상관성이 0.79에서 0.94로 증가하였다. 또한 보성군(258) 지점에서 동시에 관측된 AAOS 농업기상관측 일사량을 사용하여 천리안 일사량과 비교했을 때 결정계수가 기존 0.54에서 0.93으로 증가하였다. 그러므로 위성영상 기반 일사량 및 모델 기반 일사량을 검증하기 위한 지상 관측 일사량으로서 기상청 ASOS 지점에서의 관측 일사량의 정확도가 의심되는 상황에서 공공데이터 포털에 등재된 위성영상 기반 일사량의 정확도 검증을 이행하는 것을 다소 무리가 있는 것으로 판단된다. 또한 이러한 신뢰성을 잃은 지상 관측 일사량을 활용하여 통계적 학습 모델 또는 머신러닝 모델을 사용할 경우 매우 왜곡된 학습결과가 반영된 모델이 생산될 것이다. 그러므로 지상 관측 자료에 대한 품질평가를 진행할 수 있는 관측소, 예를 들어 BSRN 프로젝트나 미국의 SURFRAD (Surface Radiation Budget) Network, ARM (Atmospheric Radiation Measurement) 프로그램과 같은 곳에서 생산된 자료를 통해 검증을 수행해야 위성영상 기반 일사량 또는 모델 예보 일사량 등을 비교 검증할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20194210200010, 농어촌 커뮤니티 단위 재생에너지 자원조사).

REFERENCES

1. Kleissl, J., Solar Energy Forecasting and Resource Assessment, Academic Press, 1st Ed., p. 416.
2. Kim, C. K., Kim, H.-G., Kang, Y.-H., and Yun, C.-Y., Toward Improved Solar Irradiance Forecasts: Comparison of the Global Horizontal Irradiances Derived from the COMS Satellite Imagery Over the Korean Peninsula, Pure Appl. Geophys., Vol. 174, pp. 2773-2792, 2017.
3. Kim, C. K., Kim, H.-G., Kang, Y.-H., Yun, C.-Y., and Lee, Y. G., Intercomparison of Satellite-Derived Solar Irradiance from the GEO-KOMSAT-2A and HIMAWARI-8/9 Satellites by the Evaluation with Ground Observations, Remote Sens., Vol. 12, p. 2149, 2020.
4. DATA.GO.KR, <https://www.data.go.kr/data/15066413/fileData.do> (Accessed 2020.9.24).
5. Copernicus Climate Change Service (C3S) : ERA5: Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalyses of the Global Climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), Date of Access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>, 2017 (Accessed 2020.10.1).
6. Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., et al., The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), J. Clim., Vol. 30, No. 14, pp. 5419-5454, 2017. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.
7. Loeb, N. G., Su, W., Doelling, D. R., Wong, T., Minnis, P., Thomas, S., and Miller, W. F., Earth's Top-of-atmosphere Radiation Budget, ScienceDirect, Reference Module in Earth Systems and Environmental

Sciences, 2016. Full PDF Version doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10367-7.

8. Kim, C. K., Holmgren, W. F., Stovern, M., and Betterton, E. A., Toward Improved Solar Irradiance Forecasts: Comparison of Downwelling Surface Shortwave Radiation in Arizona from Satellite, Pure Appl. Geophys., Vol. 173, pp. 2929-2943, 2016.
9. NCSRD, <https://www.srd.re.kr:446/datacenter/centerList.do> (Accessed 2020.10.1).

Table A.1 Summary of ASOS Stations operated by Korea Meteorological Administration

Station ID	Station Name	Latitude (°N)	Longitude (°E)
93	Bukchuncheon	37.947	127.754
95	Cheolwon	38.148	127.304
100	Daegwallyeong	37.677	128.718
101	Chuncheon	37.903	127.736
102	Baeknyengdo	37.974	124.712
104	Bukgangneung	37.805	128.855
105	Gangneung	37.752	128.891
108	Seoul	37.571	126.966
112	Incheon	37.478	126.625
114	Wonju	37.338	127.947
119	Suwon	37.258	126.983
129	Seosan	36.777	126.494
131	Cheongju	36.639	127.441
133	Daejeon	36.372	127.372
135	Chupungnyeong	36.220	127.995
136	Andong	36.573	128.707
138	Pohang	36.032	129.380
143	Daegu	35.878	128.653
146	Jeonju	35.841	127.119
155	Changwon	35.170	128.573
156	Gwangju	35.173	126.892
159	Pusan	35.105	129.032
165	Mokpo	34.817	126.382
168	Yeosu	34.739	127.741
172	Gochang	35.349	126.599
177	Hongseong	36.658	126.688
184	Jeju	33.514	126.530
185	Gosan	33.294	126.163
192	Jinju	35.164	128.040
251	Gochanggun	35.427	126.697
252	Yeongwanggun	35.284	126.478
253	Gimhaesi	35.227	128.893
254	Sunchanggun	35.371	127.129
255	Bukchangwon	35.226	128.673
257	Yangsansi	35.307	129.020
258	Boseonggun	34.763	127.212
259	Ganjingun	34.626	126.769
263	Euryeonggun	35.323	128.288
264	Hamyanggun	35.511	127.745
266	Gwangyangsi	34.943	127.691
276	Cheonsonggun	36.435	129.040
283	Gyeonjusi	35.817	129.201