



기후 자료 분석을 통한 장기 기후변동성이 태양광 발전량에 미치는 영향 연구

김창기^{1)*} · 김현구²⁾ · 김진영³⁾

Assessing the Impact of Long-Term Climate Variability on Solar Power Generation through Climate Data Analysis

Chang Ki Kim^{1)*} · Hyun-Goo Kim²⁾ · Jin-Young Kim³⁾

Received 5 September 2023 Revised 22 September 2023 Accepted 25 September 2023 Published online 28 November 2023

ABSTRACT A study was conducted to analyze data from 1981 to 2020 for understanding the impact of climate on solar energy generation. A significant increase of 104.6 kWhm⁻² was observed in the annual cumulative solar radiation over this period. Notably, the distribution of solar radiation shifted, with the solar radiation in Busan rising from the seventh place in 1981 to the second place in 2020 in South Korea. This study also examined the correlation between long-term temperature trends and solar radiation. Areas with the highest solar radiation in 2020, such as Busan, Gwangju, Daegu, and Jinju, exhibited strong positive correlations, suggesting that increased solar radiation contributed to higher temperatures. Conversely, regions like Seosan and Mokpo showed lower temperature increases due to factors such as reduced cloud cover. To evaluate the impact on solar energy production, simulations were conducted using climate data from both years. The results revealed that relying solely on historical data for solar energy predictions could lead to overestimations in some areas, including Seosan or Jinju, and underestimations in others such as Busan. Hence, considering long-term climate variability is vital for accurate solar energy forecasting and ensuring the economic feasibility of solar projects.

Key words Solar irradiance(일사량), Long-term variability(장기변동성), Anomaly(오노말리), Solar power generation(태양광 발전)

Nomenclature

AEP : annual energy production

AN : anomaly

ASOS : automated synoptic observing system

CF : capacity factor

COMS : communication, ocean, meteorological satellite

CORDEX: coordinated regional climate downscaling experiment

GMS-5 : geostationary meteorological satellite - 5

GOES-9 : geostationary operational environmental satellite

MA : moving average

MTSAT2 : multi-functional transport satellite-2

NREL : national renewable energy laboratory

1) Principal Researcher, Renewable Energy Big Data Laboratory, Korea Institute of Energy Research

2) Principal Researcher, Renewable Energy Institute, Korea Institute of Energy Research

3) Principal Engineer, Renewable Energy Big Data Laboratory, Korea Institute of Energy Research

*Corresponding author: ckkim@kier.re.kr

Tel: +82-42-860-3517

Fax: +82-42-860-3462

OH	: operation hour
QC	: quality control
SAM	: system advisor model
TMY	: typical meteorological year
UASIBS - KIER	: university of arizona solar irradiance based on satellite - korea institute of energy research

모형 결과를 활용하고 있다. 예를 들어, Park *et al.*(2022)^[5]의 연구에서는 CORDEX–East Asia Phase II에 사용된 지역규모 기후예측 모형 결과로부터 동아시아 지역의 기후 변화 시나리오별 미래 일사량의 변동성을 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 국내 태양광 발전소 자원평가를 위해 1981년부터 2020년까지 대한민국 기상청에서 관측한 일사량 및 기온 자료를 수집하여 장기 변동성을 파악하고, 그 특성과 태양광 발전량과의 연관성에 대해서 분석하고자 한다.

1. 서 론

태양광 발전은 지속 가능한 에너지원으로서 탄소중립 및 기후변화 대응기술에서 가장 중요한 분야로 인식되고 있다.^[1] 그러나 태양광 발전소의 설계 및 운영은 기상현상에 의존하는데 특히 일사량 및 기온과 같은 기상요소는 태양광 모듈의 효율 및 발전량에 직접적인 영향을 준다. 그러므로 이들 기상요소의 장기 변동성을 이해하고, 나아가 태양광 발전 시스템 성능에 미치는 영향을 파악하는 것이 핵심이다. Šúri *et al.*(2005)^[2]는 유럽지역의 일사량 분포와 기온을 이용하여 유럽지역의 태양광 발전량에 대한 이론적인 잠재량을 산출한 바 있고, 국내에서는 Jo *et al.*(2004)^[3] 등이 태양광 발전단지 건설을 위한 태양광자원 정밀조사를 실시하기 위하여 국내 기상자료를 이용하여 일사량의 지역적 분포를 조사한 바 있다. 이 연구에서 한국 내에서의 일사량은 지리적 위치에 따라 다양한 양상을 보였는데, 한국의 동쪽 지역에서는 일사량이 서쪽 지역에 비해 높은 경향이 있으며, 계절에 따른 차이도 있었다.

최근에는 위성 영상을 이용하여 수평면 전일사량을 예측하는 기술이 연구되고 있는데, Kim *et al.*(2021)^[4]은 UASIBS – KIER(University of Arizona Solar Irradiance Based on Satellite – Korea Institute of Energy Research) 모델을 이용하여 1996년부터 2019년까지 GMS-5, GOES-9, MTSAT-2, COMS 위성영상 기반 일사량을 예측하였다. 해당 연구에서 일사량은 1년마다 6.935 kWh m^{-2} 만큼 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 이와 함께 기후변화에 따른 일사량의 장기 예측은 태양광 발전소 경제성 평가와 관련하여 중요한 요소이다. 최근 연구에서는 기후변화가 일사량에 미치는 영향을 분석하기 위해 전지구 규모 기후예측

2. 자료 및 연구방법

2.1 자료

기상청 기상자료개방포털로부터 1981년부터 2020년까지 Table 1에 제시된 전국 20개소의 ASOS(Automated Synoptic Observing System) 시간별 일사량과 기온 값을 제공받았다. 본 연구는 장기변동성 연구로서 연 누적 일사량 및 연 평균 기온을 주요 인자로 이용하기 때문에 기상청 기상자료개방포털에서 직접 해당 자료를 제공받을 수 있으나 관측 자료의 검정 작업이 필요하여 보다 고해상도 시간자료인 시간별 일사량과 기온을 사용하였다. 따라서 기상청 기상자료개방포털에서 제공되는 QC 인덱스를 이용하여 시간별 관측 자료를 1차 검정하였다. 2차 검정에서는 1차 검정을 통과한 자료를 이용하여 일일 누적 일사량을 계산하고, 일일 누적 일사량의 자료수가 1년 기준으로 362일 이상인 경우만 분석을 위해 사용하도록 하였다. Table 1에는 관측 지점 별 기간 및 연 누적 자료 수를 나타내었는데, 대전, 충청남도, 안동, 포항, 전주 그리고 제주 지점은 1981년부터 관측 업무가 시작되지는 않았으나 거의 1981년에 가까운 시기부터 관측 자료가 존재하므로 분석에 포함하였다.

관측 자료를 이용하여 1981년부터 2000년까지 20년간 기후 변동성을 파악하기 위한 자료군을 1981 기후자료군으로 정의하였고, 최근 20년간 기후 변동성을 파악하기 위해 2000년부터 2020년까지 기상 관측 자료를 이용하여 2020 기후자료군으로 정의하였다. 따라서 1981과 2020 기후자료군은 각각 1981년부터 2000년 그리고 2000년부터 2020년까지 기상 자료를 대표하는 군집으로 분류할 수 있다.

Table 1. Summary of automated synoptic observing system station and period for the investigation

ASOS Name	ASOS ID	Data Availability	Excluded Year
Daegwallyeong	100	1981 ~ 2020	1989
Chuncheon	101	1981 ~ 2020	
Gangneung	105	1981 ~ 2020	
Seoul	108	1981 ~ 2020	
Incheon	112	1981 ~ 2020	1996
Wonju	114	1981 ~ 2020	
Suwon	119	1981 ~ 2020	
Seosan	129	1981 ~ 2020	1988
Cheongju	131	1981 ~ 2020	
Daejeon	133	1984 ~ 2020	
Chupungnyeong	135	1982 ~ 2020	
Andong	136	1983 ~ 2020	
Pohang	138	1982 ~ 2020	
Daegu	143	1981 ~ 2020	
Jeonju	146	1982 ~ 2020	1996
Gwangju	156	1981 ~ 2020	
Busan	159	1981 ~ 2020	
Mokpo	165	1981 ~ 2020	
Jeju	184	1982 ~ 2020	
Jinju	192	1981 ~ 2020	

2.2 연구방법

2.2.1 아노말리 경향 분석

장기 변동성을 보다 면밀하게 분석하기 위한 방법으로

아노말리 경향 분석법을 선택하였다.^[6] 아노말리 경향 분석은 장기간 평균치에 대한 편차의 시간에 따른 경향성을 파악하는 방법이다. 연 누적 일사량을 적용하면 1981년부터 2020년까지 20년간 이동평균된 21개의 연 누적 일사량 자료가 Fig. 1과 같이 MA_{2000} , MA_{2001} , MA_{2020} 의 형태로 생산된다. 이후 21개의 이동평균 연 누적 일사량의 평균치에 대한 편차를 AN_{2000} , AN_{2001} , AN_{2020} 과 같이 연산하여 시계열의 형태로서 상관관계 등을 분석한다.

2.2.2 태양광 발전량 수치실험

장기간 기후변화에 따른 태양광 발전량의 변화를 진단하기 위하여 에너지 수치실험을 활용하였다. 에너지 수치실험에 활용된 모형은 미국 재생에너지연구소(NREL, National Renewable Energy Laboratory)에서 개발한 SAM(System Advisor Model) Version.2022.11.21.이다.^[7] SAM 모형을 이용하여 연간 발전량 등 수치실험을 위해서는 각 지점의 시간별 일사량 등 8760시간에 대한 시계열 자료가 필요하다. 본 연구에서는 1981과 2020 기후자료군에 해당하는 기상자료로부터 각각 표준기상년(TMY, Typical Meteorological Year) 기상자료를 추정하였다. 표준기상년 자료는 장기간 기후특성을 반영하도록 제작된 인위적 기상자료이다. 표준기상년 자료의 제작과정을 1981년 기후자료군을 예를 들면 1981년부터 2000년까지 1월 평균 일

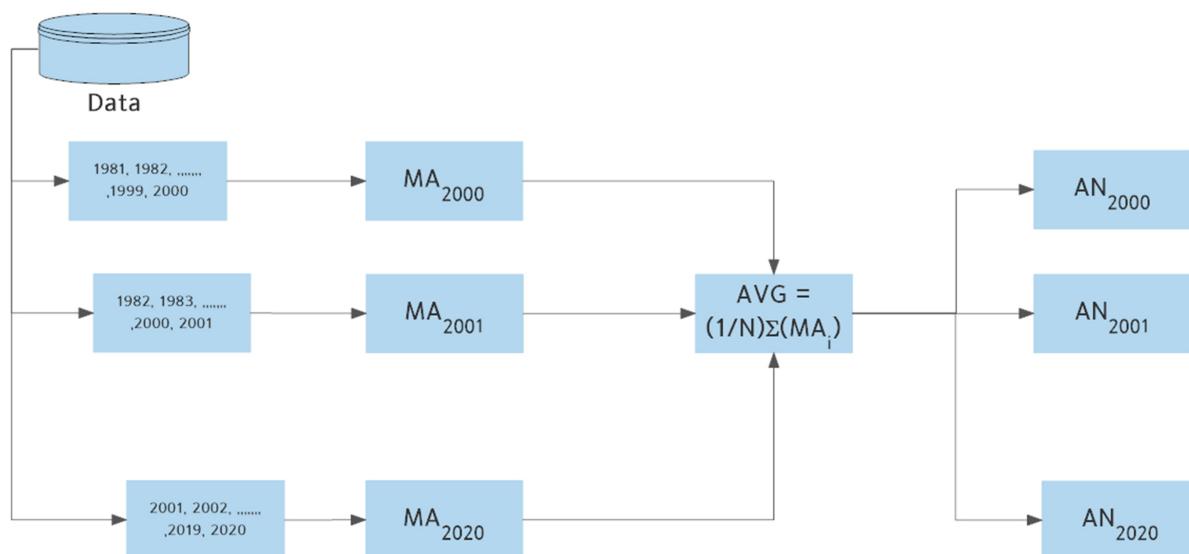


Fig. 1. Flowchart for deriving anomaly dataset from long-term climate dataset

Table 2. Design of solar power plants for the energy production simulation

Capacity (kW _p)	Tilting Angle (°)	Azimuth Angle (°)	Total Loss (%)	Albedo
500	20	180	14	0.2

사량의 자료 수는 20개이고, 20개의 1월 평균 일사량의 평균과 가장 유사한 1월 평균 일사량을 찾아 표준기상월로 선정한다. 2월부터 12월도 위와 같은 방법을 매월 표준기상월을 선정하고 12개의 표준기상월의 시간 자료를 시계열의 형태로 합성한 것이 표준기상년 자료로서 시간범위는 8760 시간이다. 네 태양광 발전량 수치실험을 위한 태양광 발전 시스템은 Table 2와 같이 설계하였고, 이외 설정은 SAM 모형 초기 설정값과 동일하게 적용하였다. 특히 Albedo가 0.2로 설정되어 있는데, 국내 관련 연구^[8]에 의하면 계절에

따라 Albedo가 0.1~0.2로 분포하므로 초기 설정값이 관측값과 크게 다르지 않다.

3. 결과

3.1 최근 및 과거 기후 비교

1981 기후자료군과 2020 기후자료군에 해당하는 연 누적 일사량의 평균값을 지점별로 Table 3에 정리하였다. 전체적으로 일사량이 연간 104.6 kWh m⁻² 증가함을 알 수 있다. 1981 기후자료군에서 연 누적 일사량이 가장 높은 지점은 진주로 1395.7 kWh m⁻²이고 두 번째로 높은 지점은 목포이다. 그러나 2020 기후자료군에서는 연 누적 일사량 분포가 바뀐다. 과거 1981년부터 2000년까지 가장 연 누적

Table 3. Summary of annual solar irradiance (kWh m⁻²) and annual mean temperature (°C) for 1981 and 2020 climate dataset, and correlation coefficients for anomaly values from annual solar irradiance and annual mean temperature with year at individual ASOS stations

ASOS Name	1981 climate dataset		2020 climate dataset		Correlation Coefficient Moving Average of Annual Solar Radiation	Correlation Coefficient Moving Average of Annual Mean Temperature
	Annual Solar Irradiance	Annual Mean Temperature	Annual Solar Irradiance	Annual Mean Temperature		
Daegwallyeong	1264.4	6.67	1400.1	7.41	0.932	0.994
Chuncheon	1237.6	11.22	1348.8	11.61	0.988	0.823
Gangneung	1259.2	13.12	1377.2	13.57	0.943	0.902
Seoul	1151.8	12.58	1265.6	12.94	0.911	0.819
Incheon	1279.0	12.15	1314.1	12.67	0.627	0.946
Wonju	1276.7	11.19	1371.1	12.28	0.947	0.980
Suwon	1186.4	12.09	1334.2	12.66	0.979	0.926
Seosan	1340.6	12.11	1348.0	12.18	-0.391	0.073
Cheongju	1259.7	12.46	1366.8	13.35	0.935	0.990
Daejeon	1328.8	12.94	1471.0	13.29	0.990	0.840
Chupungnyeong	1222.2	11.89	1385.6	11.87	0.960	-0.429
Andong	1315.7	12.03	1372.7	12.37	0.875	0.964
Pohang	1304.2	14.28	1370.6	14.70	0.748	0.938
Daegu	1268.7	14.05	1432.1	14.58	0.968	0.937
Jeonju	1237.1	13.44	1389.1	13.83	0.937	0.942
Gwangju	1294.2	13.82	1442.9	14.31	0.956	0.972
Busan	1296.1	14.69	1450.7	15.03	0.949	0.952
Mokpo	1366.9	14.02	1398.9	13.98	-0.120	-0.603
Jeju	1229.1	15.74	1356.1	16.29	0.986	0.967
Jinju	1395.7	13.29	1409.8	13.53	0.303	0.675
Average	1275.7	12.69	1380.3	13.12	0.771	0.730

일사량이 높았던 진주는 $1409.8 \text{ kWh m}^{-2}$ 으로 전체 20개 지점 중에서 5번째를 기록하여 상위 20%에 해당하지 못했다. 반대로 부산은 1981 기후자료군에서는 전체 20개 지점 중에서 7번째로 연 누적 일사량이 높았으나 20년이 지난 시점에서 대전에 이어 두 번째로 연 누적 일사량이 높은 지점으로 분석되었다.

1981 기후자료군에서 연 누적 일사량이 높은 상위 5개 지점은 진주, 목포, 서산, 대전 그리고 안동이었으며, 2020 기후자료군에서는 대전, 부산, 광주, 대구 그리고 진주였다. 따라서 대전과 진주는 두 기후자료군에서 모두 일사량이 높은 지역으로 분류되었으나 목포, 서산, 안동은 20년이 지난 시점에서 연 누적 일사량은 증가하였으나 증가량은 32.1 kWh m^{-2} 로 부산, 광주, 대구의 증가량인 155.5 kWh m^{-2} 에 비해 낮았다.

연 평균 기온은 지구온난화의 직접적인 증거가 되는 만큼 1981 기후자료군보다 2020 기후자료군이 모든 관측지점에서 높은 것을 보인다(Table 3 참조). 서산은 1981 기후

자료군에서는 평균 기온이 12.11°C 이고 2020 기후자료군에서는 12.17°C 로 20년간 약 0.06°C 만큼 증가하여 다른 지역에 비해 증가율이 낮았다. 또한 목포는 연 평균 기온이 14.02°C 에서 13.98°C 로 약 0.04°C 만큼 오히려 감소하기도 하였다. 연 평균 기온의 증가가 온실가스에 의한 지구온난화가 원인이기는 하지만 구름 발생의 감소에 의한 태양복사에너지의 증가도 하나의 원인이 되기도 한다.^[1] 이러한 이유로 서산과 목포 지역은 온실가스의 영향과 함께 구름 발생 증가에 의한 지표로 도달하는 태양복사에너지의 감소가 연 평균 기온의 증가율을 낮추는 역할을 했을 것으로 사료된다.

3.2 지점별 기상인자의 장기 변동성

각 관측지점에 대해서 1981년부터 2020년까지 매년 20년을 주기로 이동평균한 연 누적 일사량을 Fig. 2에 나타내었다. 서산, 목포 그리고 진주를 제외하고는 증가와 감소가 나타나지만 전체적으로는 연 누적 일사량이 증가하는 경향

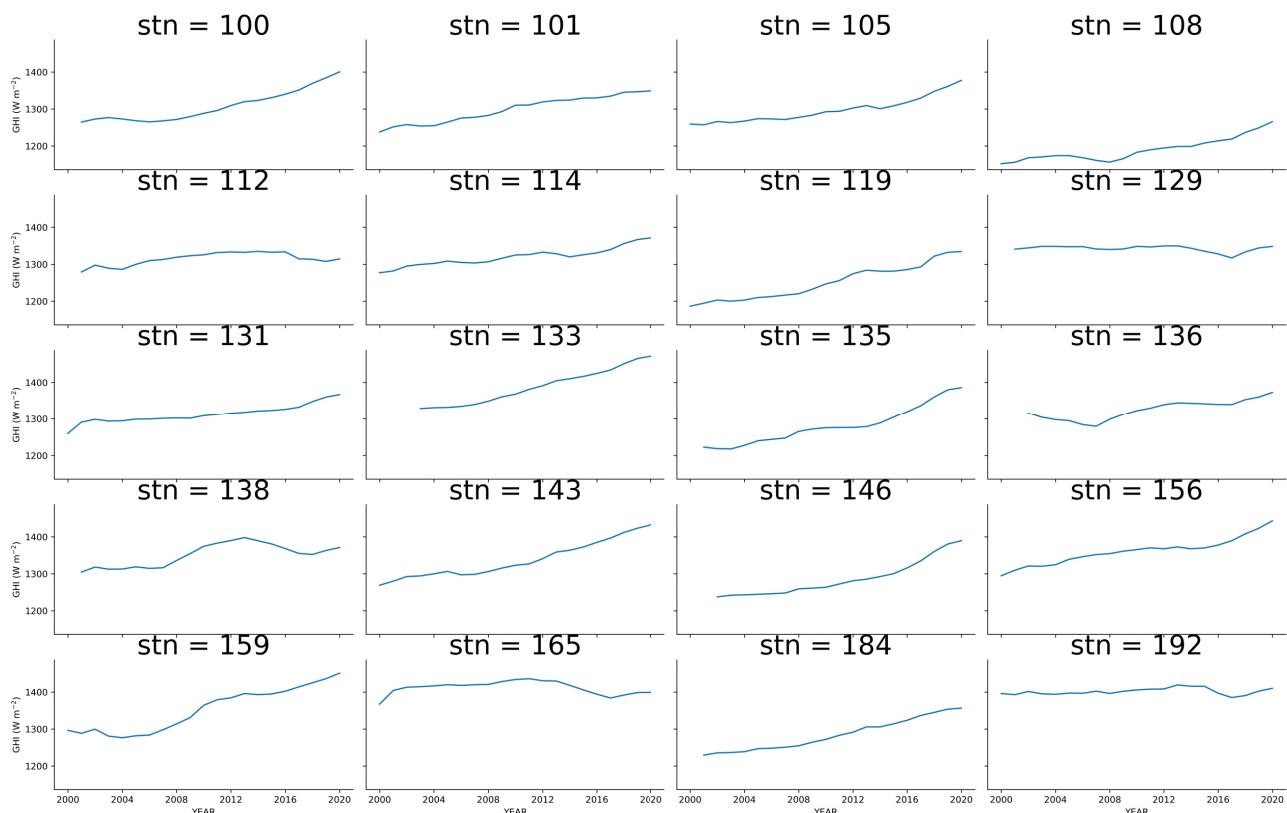


Fig. 2. Annual GHI (Global Horizontal Irradiance) as a function of time at 20 ASOS station. The number in each subplot indicates the ASOS ID in Table 1

을 보인다. 이를 보다 명확히 규명하기 위하여 수행한 아노말리 분석의 결과인 Fig. 3은 서산 지역에서 연 누적 일사량이 거의 일정하다가 1998년부터 2017까지 20년간 평균 연 누적 일사량이 가장 감소한 것을 보인다. 진주 지역의 장기 일사량 변동의 특성은 역시 서산 지역과 거의 유사하다. 목포 지역은 연 누적 일사량이 매년 증가하다가 2011년 을 기점으로 다시 감소하는데 이러한 경향은 목포 이외에도 크기에 차이는 있지만 인천과 포항에서도 나타난다. 이들 지역을 제외한 모든 지역에서는 연 누적 일사량이 매년 점진적으로 증가하는 경향을 보인다. 아노말리 경향을 정량적으로 진단하기 위하여 시간에 대해서 상관계수를 연산하여 Table 3에 정리하였다. 20개 지점에 대한 평균 상관계수는 0.77로서 양의 상관을 보여 시간이 지남에 따라 연 누적 일사량이 증가하는 것을 짐작 할 수 있지만 평균에 대한 표준편차는 0.379이고 최소값은 -0.391로서 시간에 따른 연 누적 일사량 증가를 모든 지역에 동일하게 적용하기는 어렵다. 앞서 언급하였듯이 서산 지역의 경우 상관계수는

-0.391로서 그 크기는 작아 시간과 일사량간의 상관도는 낮은 것으로 보이나 음의 상관을 보여 다른 18개 지점과는 다르게 시간이 지남에 따라 연 누적 일사량이 감소하는 경향을 나타낸다. 목포 지역 역시 음의 상관을 보이나 그 크기가 0.120로서 시간에 따른 연 누적 일사량의 장기 변동성은 큰 상관관계가 성립하지 않는다.

이외 진주, 인천 그리고 포항은 상관계수는 0.750보다 낮아 연 누적 일사량의 장기 변동성의 패턴이 다소 복잡함을 유추할 수 있다. 이들 5개 지역을 제외할 경우 평균 상관관계는 0.950이고 표준편차는 0.030으로 감소하여 지역에 상관없이 연 누적 일사량은 시간이 지남에 따라 단조 증가(monotonic increase) 하고 있음을 알 수 있다. 따라서 1981 기후자료군에서 일사량이 높았던 지점 중 서산과 목포는 연 누적 일사량이 기후학적으로 계속 감소하거나 거의 일정한 반면 2020 기후자료군에서 일사량이 높았던 부산, 광주 그리고 대구는 상관계수가 평균적으로 0.950 이상으로 일사량이 계속 증가하여 과거에 일사량이 높은 곳으로

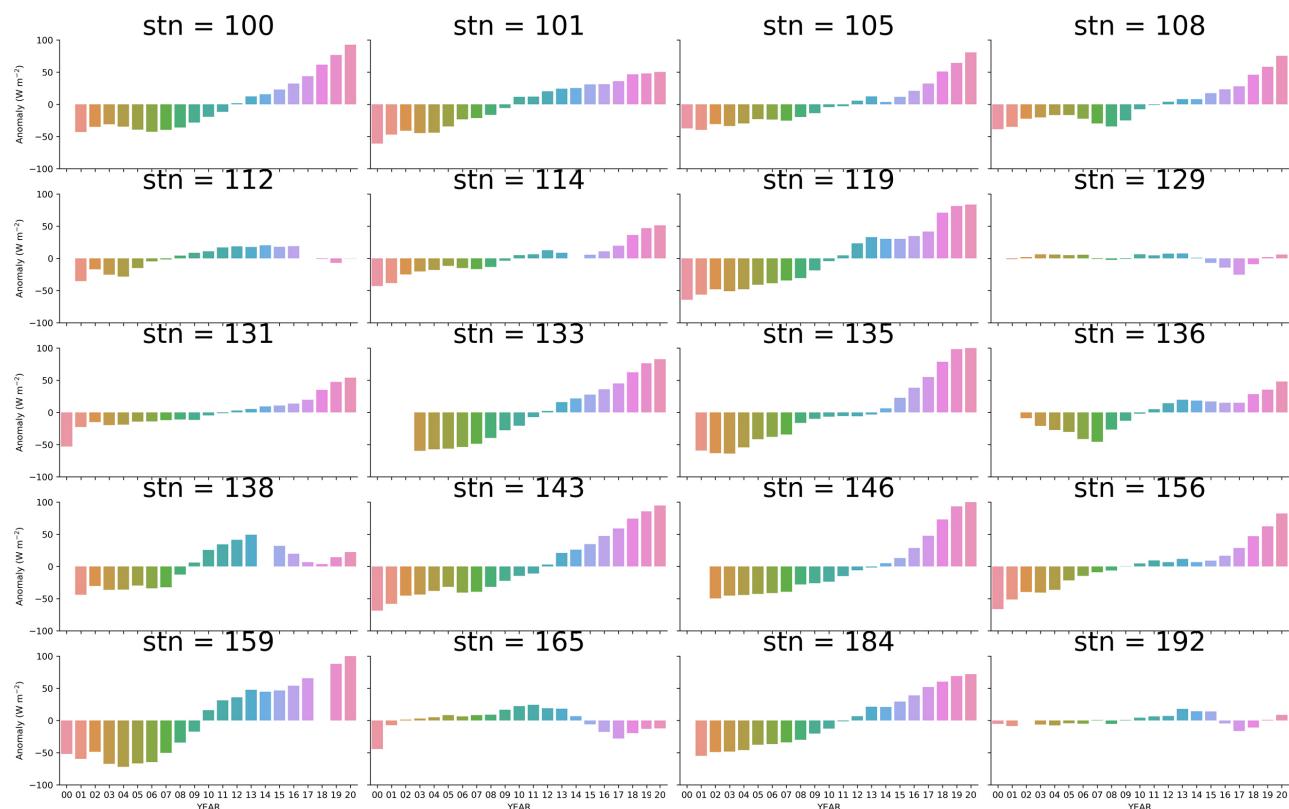


Fig. 3. Anomaly of moving average for annual solar irradiance as a function of time at 20 ASOS station. The number in each subplot indicates the ASOS ID in Table 1

알려진 목포, 서산 및 진주보다 더 일사량이 높은 곳으로 2020 기후자료군에서 분류되었다고 판단할 수 있다.

연 평균 기온의 장기 변동성을 나타낸 Fig. 4에서 대관령, 원주, 청주는 기온이 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 명확하게 보여주고 있다. 앞서 파악하였던 서산 지점은 연 평균 기온의 증가 및 감소 변화가 거의 없이 일정한 것을 알 수 있는데, 이것은 앞서 분석한 대로 구름 생성 감소로 인한 태양복사에너지의 감소와 온실험과에 의한 지구복사에너지의 증가가 복합적으로 나타나 이 지역의 기온 증가에 영향을 끼친 것으로 사료된다. 목포 지점은 2010년 기점으로 기온이 감소하는 경향으로 바뀌는데 이것도 일사량 감소가 연 평균 기온 증가율을 낮춘 것으로 판단 할 수 있다. 2020 기후자료군에서 연 누적 일사량이 높았던 부산, 광주, 대구의 연 평균 기온과 시간과의 상관관계는 평균적으로 0.954로서 높은 것을 알 수 있다 (Table 3 참조). 그러므로 온실가스에 의한 기온 증가와 함께 연 누적 일사량의 증가가 이들 지역의 기온 증가에도 기

여했음을 판단할 수 있다. 다만, 추풍령은 음의 상관관계를 보이는데 아노말리의 변동폭이 0.01°C 이내이므로 기온의 변화율은 큰 의미가 없다고 할 수 있다.

4. 토의

기후변동성이 에너지 생산량에 미치는 영향을 판단하기 위하여 SAM 모델을 이용한 에너지 전산모사를 수행하였다. 에너지 전산모사 과정에서 사용된 기상자료는 1981 기후자료군과 2020 기후자료군으로부터 얻어진 TMY 기상자료로서 Fig. 5에 부산 지점의 일사량의 시계열을 나타내었다. 2020 기후자료군을 보면 봄철(3~5월)의 일사량이 1981 기후자료군에 비해 증가한 것을 알 수 있다. 반면 서산 지점은 봄철 일사량의 장기변동성은 크게 다르지 않다 (Fig. 6 참조). 오히려 2020 기후자료군에서 여름철(6~8월) 일사량이 1981 기후자료군보다 감소하는 기후학적인 차

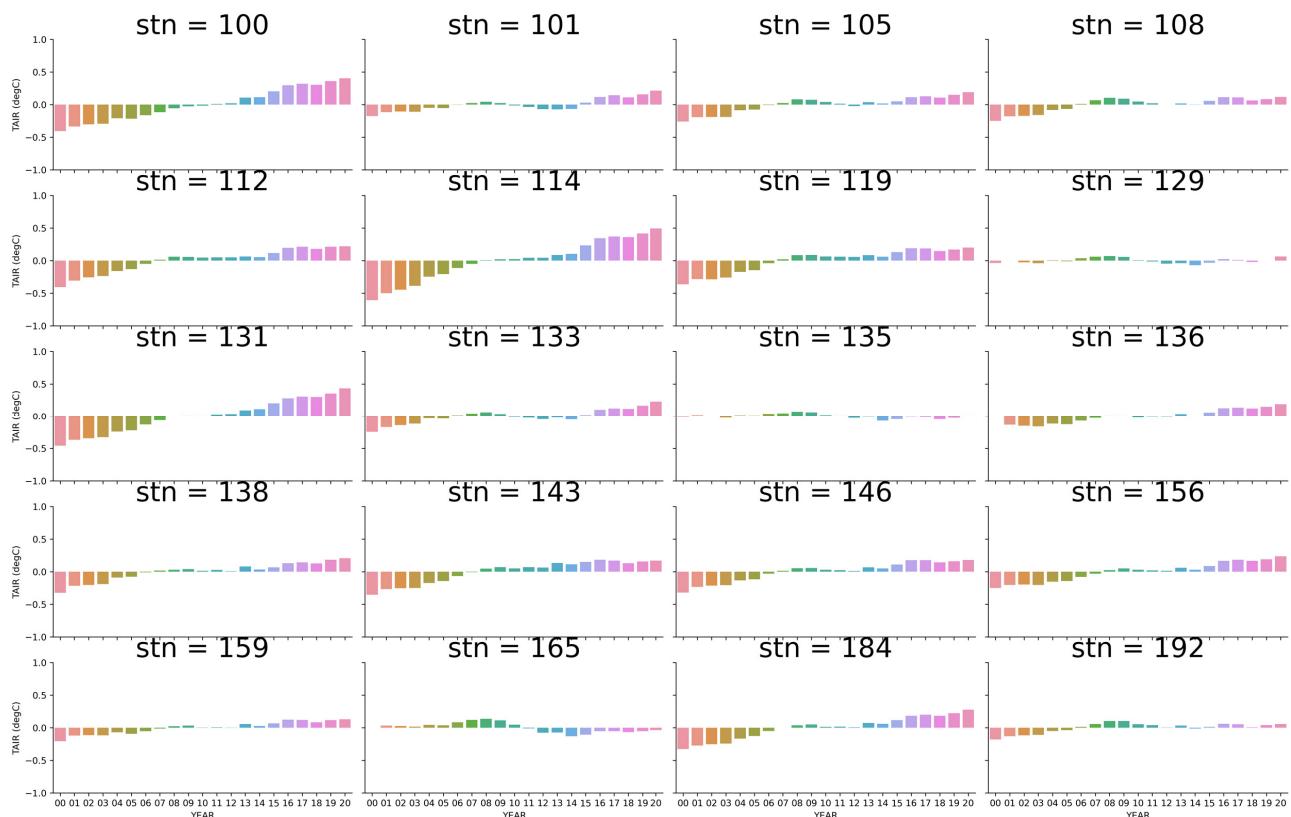


Fig. 4. Anomaly of moving average for annual mean temperature (TAIR) as a function of time at 20 ASOS station. The number in each subplot indicates the ASOS ID in Table 1

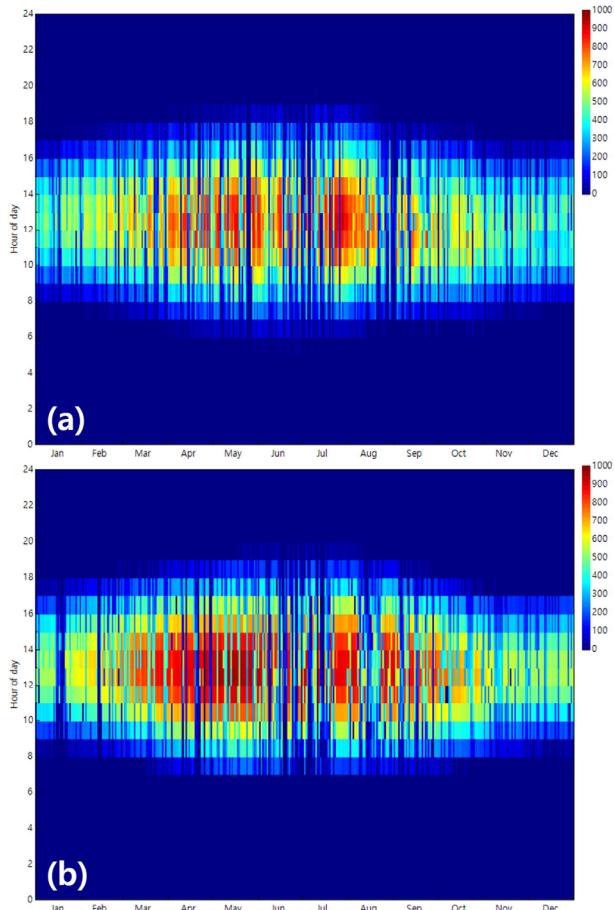


Fig. 5. Hourly mean solar irradiance from TMY dataset derived by 1981 (a) and 2020 (b) climate dataset at Busan ASOS observing station

이를 보인다. 진주 지점에서도 1981 기후자료군보다 2020 기후자료군에서 여름철 일사량이 감소하는 경향을 보여주고 있지만 봄철 일사량은 증가한다(Fig. 7 참조). 봄철과 여름철의 상반된 일사량의 장기변동성은 연 누적 일사량이 큰 변화가 없는 진주 지점의 기후학적인 특성의 원인이다.

일사량 장기변동성에 따른 태양광 발전량의 변화를 Table 4에 정리하였다. 부산 지점의 1981 기후자료군을 토대로 태양광 발전량을 연산한 결과 연간 610 MWh 전력이 생산되었고, 설비용량에 대한 발전량인 연간 발전 시간(OH, Operation Hour)은 1221 시간이었다. 이 시간은 연간 설비이용률, 13.9%에 해당되는 수치이다. 진주 지점은 1981 기후자료군에서 가장 높은 태양광 발전량인 651 MWh를 예측하였고, 연간 발전 시간은 1302 시간이었다. 따라서

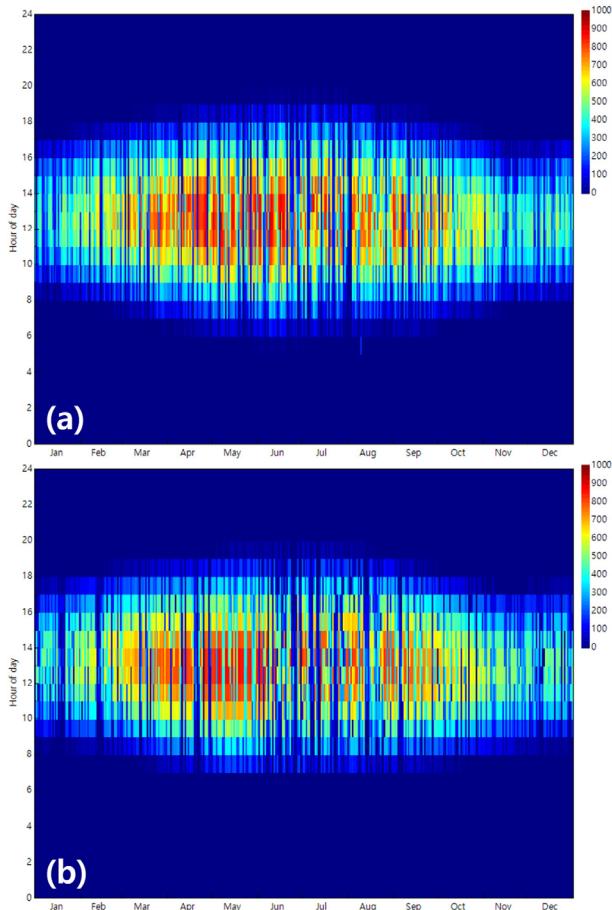


Fig. 6. Same as Fig. 5 but at Seosan

1981 기후자료군을 이용한 태양광 발전량은 부산, 서산, 진주 순으로 연간 발전량이 높게 모의되었다. 이러한 경향은 3.1에서 제시한 바와 같이 1981 기후자료군에서 연 누적 일사량이 진주 지점이 가장 높게 관측된 것과 일치한다. 하지만 태양광 발전량에 대한 지점별 특성이 시간이 지남에 따라 바뀐다. 부산 지점의 경우 2020 기후자료군을 이용한 태양광 발전량 예측 실험에서 연간 738 MWh에 해당하는 전력을 생산하였고, 연간 설비이용률은 16.9%로 약 3%p 증가하였다. 진주 지점 역시 부산 지점과 마찬가지로 장기적인 관점에서 태양광 발전량은 증가하여 연간 설비이용률이 14.9%에서 16.7%로 약 1.8%p 증가하였다. 그러나 태양광 발전량의 증가율은 부산 지점이 더 높은데 이것은 부산 지점의 일사량 증가율이 진주 지점보다 높기 때문이다. 반면 같은 기간 서산 지점의 태양광 발전량은 650 MWh로 1981 기후자료군을 이용한 실험에 비해 약 연간 18 MWh

증가하는데 그쳤다. 연간 설비이용률을 비교할 때 약 0.3%p 만이 증가하여 태양광 발전량의 장기변동성이 작다고 할 수 있다. 이것은 앞서 일사량의 장기변동성에서 분석한 것과 마찬가지로 서산 지점의 시간에 대한 연 누적 일사량의 변동성이 일정한 특성과 관계있다.

월별 태양광 발전량의 변화도 장기적인 차이를 보인다 (Fig. 8 참조). 1981 기후자료군을 이용한 부산 지점의 월별 태양광 발전량은 계절적인 편차가 크지 않다. 하지만

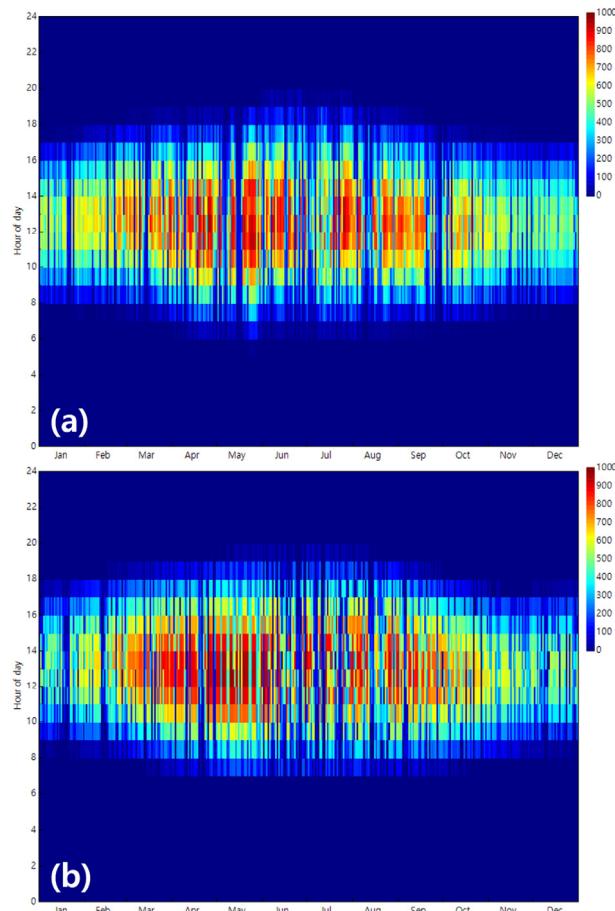


Fig. 7. Same as Fig. 5 but at Jinju

Table 4. Summary of AEP, CF and OH for 1981 and 2020 climate dataset at Busan, Jinju and Seosan ASOS stations

ASOS	1981 Climate Dataset			2020 Climate Dataset		
	AEP (MWh)	CF (%)	OH (h)	AEP (MWh)	CF (%)	OH (h)
Busan	610	13.9	1221	738	16.9	1477
Jinju	651	14.9	1302	730	16.7	1460
Seosan	632	14.5	1266	650	14.8	1300

2020 기후자료군에서는 계절적 편차가 증가하여 여름철 장마기간 일사량 감소에 의한 태양광 발전량의 급격한 감소를 보인다. 월별 태양광 발전량에 대한 1981과 2020 기후자료군의 표준편차는 부산 지점에서 5896 kWh과 9801 kWh로서 2020 기후자료군에서 더 높음을 알 수 있다.

이와 같이 2020 기후자료군에서 연 누적 일사량이 높았던 대전, 부산, 광주, 대구 그리고 진주 지점 중에서 부산 지점은 13.9%의 설비이용률을 보였으나 약 20년이 지난 시점에서 이 지점의 기후 조건은 큰 변동성을 보여 연간 설비이용률이 16.9%로 증가하였다. 만약 2023년 현재 새로운 태양광 발전사업을 위하여 자원평가를 수행할 경우 1981 기후자료군에서 사용된 자료를 이용하여 태양광 발전량을 추정하였다면 부산 지점은 지속적으로 태양광 발전량이 과소 예측되어 순현재가치(Net Present Value)는 \$202,762

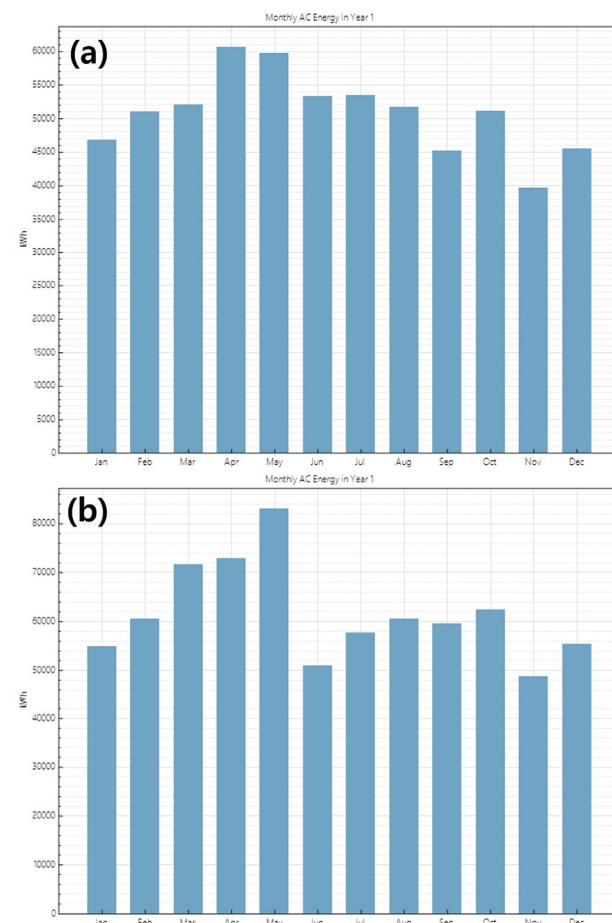


Fig. 8. Monthly energy production simulated by SAM with 1981 (a) and 2020 (b) climate dataset at Busan ASOS observing station

로서 2020 기후자료군을 사용한 자원평가에서 계산된 순 현재가치인 \$288,467 보다 낮아 사업성이 과소추정됨을 예측할 수 있다. 반면 서산 또는 진주와 같은 지점들에 대해서 과거 기후자료에 기반하여 태양광 발전소를 설치할 경우 태양광 발전량이 과대예측되어 사업성이 과대하게 추정될 가능성이 높다. 그러므로 장기 기후변동성을 고려한 태양광 발전량 예측이 필요하다고 할 수 있다.

5. 결 론

2020 기후자료군을 기반으로 한 연간 일사량 및 기온 데이터 분석 결과, 일사량은 1981 기후자료군 대비 전체적으로 104.6 kWh m^{-2} 증가한 것으로 나타났다. 1981 기후자료군에서의 일사량 분포와는 달리 2020 기후자료군에서는 지역별로 변화를 보였다. 특히, 부산은 연 누적 일사량이 증가하여 두 번째로 높은 지점으로 판측되었다. 이와 함께 기후 변화로 인한 연 평균 기온 증가도 관찰되었는데, 이는 지구온난화의 결과로 연결된다. 서산과 목포 지점은 일사량 증가와 동시에 구름 발생 증가로 인해 연 평균 기온의 상승률이 다른 지점에 비해 낮은 것으로 판단된다. 자료 분석을 통해 평균적으로 연 누적 일사량이 증가하는 경향이 나타났고, 이는 태양광 발전량에 영향을 미친다. 부산, 광주, 대구 등에서는 태양광 발전량이 증가하여 사업성이 향상되었지만, 서산과 목포 지역에서는 일사량 감소로 인해 과대 예측될 가능성이 높아 향후 태양광 발전량 사업에 대한 보완이 필요할 것으로 예상된다. 그러므로 장기 기후변동성을 고려한 태양광 발전량 예측이 매우 중요하며, 2020 기후자료군을 활용한 분석 결과를 토대로 태양광 발전량 평가를 수행해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평화원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20193710100061, 신재생발전 통합 관제시스템용 계통안정화 핵심요소 기술 개발).

References

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022, “Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change”, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- [2] Šúri, M., Huld, T.A., and Dunlop, E.D., 2005, “PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe”, *Int. J. Sustain. Energy*, **24**(2), 55-67.
- [3] Jo, D.-K., Kang, Y.-H., Lee, E.-J., and Oh, J.M., 2004, “A detailed survey on the solar availability for the construction of photovoltaic power generation sites”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, **24**(2), 83-88.
- [4] Kim, C.K., Kim, H.-G., Kang, Y.-H., Yun, C.-Y., Kim, B., and Kim, J.Y., 2021, “Solar resource potentials and annual capacity factor based on the korean solar irradiance datasets derived by the satellite imagery from 1996 to 2019”, *Remote Sens.*, **13**(17), 3422.
- [5] Park, C., Shin, S.-W., Kim, G., Cha, D.-H., Min, S.-K., Lee, D., Byun, Y.-H., and Kim, J.-U., 2022, “What determines future changes in photovoltaic potential over East Asia?”, *Renewable Energy*, **185**, 338-347.
- [6] Pierrehumbert, R., 2010, “Principles of planetary climate”, Cambridge University Press., Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- [7] Blair, N., DiOrio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou S., Neises, T., and Wagner M., 2018, “ System advisor model (SAM) general description (Version 2017.9.5.)”, National Renewable Energy Laboratory, <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>.
- [8] Kim, C.K., Kim, H.-G., Kang, Y.-H., and Yun, C.-Y., 2017, “Toward improved solar irradiance forecasts: Comparison of the global horizontal irradiances derived from the COMS satellite imagery over the Korean peninsula”, *Pure Appl. Geophys.*, **174**, 2773-2792.