**RESEARCH ARTICLE** 

# 실측 데이터를 활용한 태양광 발전 시스템의 출력 분석 및 추정 방법

김현우<sup>1</sup> • 안선주<sup>2</sup> • 윤상윤<sup>2</sup> • 최준호<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 전기공학과, 박사과정 <sup>2</sup>전남대학교 전기공학과, 교수

# Photovoltaic System Output Analysis and Tracking Method Based on the Surveyed Data

Kim Hyun-Woo<sup>1</sup> • Ahn Seon-Ju<sup>2</sup> • Yun Sang-Yun<sup>2</sup> • Choi Joon-Ho<sup>2+</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Candidate, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University <sup>2</sup>Professor, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

## **Abstract**

In this study, the measurement data from the photovoltaic demonstration site and the sensing data from solar radiation and temperature sensors are used to propose a method for analyzing photovoltaic output and a method for tracking it. For photovoltaic output analysis, the theoretical output and profile of the photovoltaic are derived based on the installation and history data. Using the proposed temperature coefficient, the theoretical calculation result of the photovoltaic output is supplemented with the expected output optimized for the site. For photovoltaic output tracking, the current photovoltaic output is tracked based on the amount of solar radiation and temperature sensor data. The site-optimized radiation and weather coefficients are derived from historical data, and the photovoltaic output is tracked by applying each coefficient to the sensing data for a certain time period. The proposed methods are designed and verified based on the survey data from a demonstration site established at Chonnam National University, Yongbong-dong, Gwangju.

**Keywords:** 온도 계수(Temperature coefficient), 일사량 계수(Radiation coefficient), 출력 분석(Output analysis), 출력 추정(Output tracking), 태양광 발전 시스템(Photovoltaic system), 날씨 계수(Weather coefficient)

# 기호 및 약어 설명

m : 2020년 6월 1일부터 해당 일까지의 일 수

 $P_{Am}, P_{Bm}, P_{Cm}, P_{Dm}, P_{E+Fm}$ : A, B, C, D, E + F 건물의 m일 일간 발전량

 $I_B$  : 지구 표면에 도달하는 태양의 일사량 [  $W/m^2$ ]

 $I_C$  : 태양광 발전원(Collector)에 비추는 태양의 일사량에 의한 빛의 세기 [  $W/m^2$ ]





Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.44, No.2, pp.37-49, April 2024 https://doi.org/10.7836/kses.2024.44.2.037

pISSN: 1598-6411 eISSN: 2508-3562

Received: 31 January 2024

Revised: 7 March 2024

Accepted: 11 March 2024

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.

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>Corresponding author: joono@jnu.ac.kr

 $I_{BC}$  : 직사광(Direct beam radiation) [ $W/m^2$ ]

 $I_{DC}$  : 산란광(Diffuse radiation) [ $W/m^2$ ]

 $I_{RC}$  : 반사광(Reflected radiation) [ $W/m^2$ ]

β : 태양의 고도각(Altitude angle) [degree]

Φ : 태양광 발전원의 방위각(Azimuth angle) [degree]

Σ : 태양광 발전원의 틸트각(Tilt angle) [degree]

C : 대기 확산 계수(Sky diffuse factor)

ρ : 지표면 반사율(Albedo)

n : 1월 1일부터 해당 일까지의 일 수

 $P_{\max}^{theo}$  : 태양광 발전원의 이론적인 최대 출력[kW]

 $P_{rated}$  : 태양광 발전원의 정격 출력[kW]

 $\eta_{PV}$  : 태양광 모듈의 정격 출력 효율(Photovoltaic efficiency)

 $\eta_{conv}$  : 전력 변환 장치의 전력 변환 효율(Conversion efficiency)

 $P_{\max}^{expected}$  : 태양광 발전원의 맑은 날씨 기대되는 최대 출력[kW]

T : 해당 일의 최고 온도[°]

 $T_{coeff}$  : 온도 계수(Temperature coefficient)

 $P_{real}$  : 실제 출력량[kW]

 $R_{sensor}$  : 일사량 실측량(Radiation sensing) [ $W/m^2$ ]

R<sub>coeff</sub> : 일사량 계수(Radiation coefficient)

W<sub>coeff</sub> : 날씨 계수(Weather coefficient)

#### 1. 서론

정부의 재생에너지 발전 비중 목표를 달성하기 위해 태양광 및 풍력과 같은 신재생 에너지원의 전력 계통 보급률은 꾸준히 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 하지만 외부 요인에 의해 영향을 크게 받는 신재생에너지원의 불안정한 출력 특성으로 인해 계통의 혼잡도 증가, 전압 및 주파수의 안정도 감소, 송배전 선로 및 설비 과부하 등의 문제가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 계통에 연계된 신재생에너지원에 대한 감시 및 관리 방안들과 예측 방안들이 연구되어왔다<sup>2-4)</sup>.

신재생 에너지원 중 높은 비중을 차지하는 태양광 발전원은 규모에 상관없이 전력 계통 전역에 연계된다. 경도와 위도, 설치각 등 설치 조건과 날씨와 온도 등 환경 조건에 따라 출력량이 민감하게 반응하는 태양광 발전원은 동일 위치에 설치되더라도 각 설비들의 이상적인 출력량과 패턴은 다른 형태를 보인다<sup>5-7)</sup>. 태양광 발전 설비

의 성능을 평가하기 위한 지표로 이론적인 출력량이 주로 활용되지만<sup>8)</sup>, 각 설비의 실제 출력량에 최적화되지 않아 온도 및 일사량을 통해 이를 예측하고 보완하기 위한 연구들이 수행되어왔다<sup>9-11)</sup>. 하지만 기상청의 예측이나예보데이터, 인공위성의 관측 데이터 등 외부 데이터를 요구하는 방안들은 큰 예측 오차에 대한 고려가 필요하거나 시스템 단위의 분석을 요구하기 때문에, 이력 데이터를 기반으로 태양광 발전 설비의 기대되는 출력량과 출력 패턴을 파악하기 위한 방안이 필요하다.

태양광 설비와 전력 변환 설비의 노후화나 기상 악화 등 자연적인 현상으로 인한 효율 감소, 출력 저하는 운영 자가 대처할 수 없으나, 일부 모듈의 비정상적인 작동이나 이물질의 그림자 등 비자연적인 현상으로 인한 출력 저하는 운영자가 감지하고 대처할 수 있다. 하지만 외부 요인에 민감한 태양광 발전 설비의 특성으로 인해 정상 적인 출력이 발생하지 않더라도 이를 자체적으로 판단하기 어렵다. 그러므로 실시간 단위의 계측 혹은 센서 데 이터를 활용하여 태양광 발전 설비의 출력량을 추정하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 2018년 호남 지역 광주광역시에 위치한 전남대학교 캠퍼스에 구축된 태양광 발전 사이트의 2020년 6월부터 2023년 5월까지의 실측 데이터와 2020년 10월부터 2021년 1월까지의 일사량 및 온도 센서 데이터를 기반으로 태양광 발전 설비의 연간 기대 출력량을 분석하고 현재 출력량을 추정하기 위한 방법을 제안한다. 이를 위해 이력 정보를 활용하여 태양광 발전 설비의 이상적인 출력량을 도출하기 위한 방법을 설계하고 실시간 데이터를 활용하여 태양광 발전 설비의 출력량을 추정하기 위한 방법을 제안한다. 제안된 분석 및 평가 방법들은 실증 사이트의 정보를 통해 설계되고 검증된다.

# 2. 본론

#### 2.1 전남대학교 태양광 발전 사이트

전남대학교의 태양광 발전 사이트는 Fig.  $1(a) \sim (f)$ 와 같이 캠퍼스 내 6개의 건물 옥상에 전체 675.4 kW 규모로 구축되었으며, 각 태양광 사이트의 경도, 위도, 방위각, 설치각에 대한 설치 정보는 Table 1과 같다. 전남대학교 캠퍼스 내에 위치한 각 건물들은 대체적으로 유사한 경도와 위도 값을 가지며, 방위각은 동일 지역 내 지붕의 장애물 및 음영이 고려되어 Building A  $\sim$  D가 유사한 값을 갖는다. PV 설치각은 캠퍼스의 미관을 해치지 않는 동일한 값이 적용되었다. 태양광 모듈과 인버터에 관련하여 상세한 정보는 Table 2와 같다. 태양광 모듈은 에너지 변환 효율이 16% 이상이고 단위 모듈 전압 37~V, 단위 모듈 전류 8.5~A를 갖는 한화 Q.Plus L-G4.1 335~W모델이 설치되었으며, 인버터는 용량에 따라 병렬 연결할 수 있는 설계 효율 95% 이상, 출력전압 380~V, DC측 maximum power point (MPP) 전압 570~800~V의 60~V의 60~V의 60~V의 60~V의 적용된 SMA STP 60-10가 연계되었다.

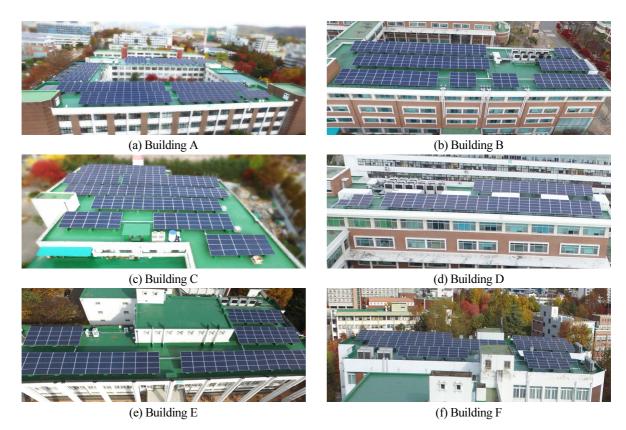


Fig. 1 PV generation sites of chonnam national university

Table 1 PV module installation information of each PV generation site

Site	Longitude [°]	Latitude [°]	Azimuth [°]	Installation Angle [°]
Building A	35.1783	126.9110	203.8	14
Building B	35.1782	126.9092	204.9	14
Building C	35.1797	126.9115	204.8	14
Building D	35.1786	126.9091	204.9	14
Building E	35.1780	126.9069	178.9	14
Building F	35.1780	126.9069	178.9	14

Table 2 Rated capacity installation information of each PV generation site

Cita	In	formation of PV Modu	Rated Capacity	Number of Inverter		
Site	Serial	Parallel	Total	[kW]	Number of inverter	
Building A	18	42	756	253.3	5	
Building B	18	16	288	96.5	2	
Building C	18	20	360	120.6	2	
Building D	18	10	180	60.3	1	
Building E	18	10	180	60.3	1	
Building F	18	14	242	84.4	2	

# 2.2 이력 정보를 활용한 태양광 발전 시스템의 출력 분석

# (1) 전남대학교 태양광 발전 사이트의 출력 패턴

전남대학교 태양광 발전 사이트에서 2020년 6월부터 2023년 5월까지 3년간 실측된 각 건물별 일간 태양광 발전량은 Fig. 2와 같다. 각 건물 별 통신 불량, 인버터 고장, 설비 점검 등으로 인한 데이터 손실을 보정하여 전 남대학교 태양광 발전 사이트의 연간 발전 패턴 및 발전량을 확인하기 위해 수집 기간 내 최대 일간 발전량이 나타난 2021년 4월 182(m=322) 정보를 기준으로 식(1)을 통해 Fig. 3과 같은 정규화를 수행하였다. 정규화된 정보를 기반으로 전남대학교 태양광 발전 사이트의 계절별 출력 상대량의 평균은 봄철 69%, 여름철 59%, 가을 철 54%, 겨울철 47%임을 확인할 수 있다.

Normalized output of 
$$m \, \text{day} = \max(\frac{P_{A,m}}{P_{A,322}}, \frac{P_{B,m}}{P_{B,322}}, \frac{P_{C,m}}{P_{C,322}}, \frac{P_{D,m}}{P_{D,322}}, \frac{P_{E+F,m}}{P_{E+F,322}})$$
 (1)

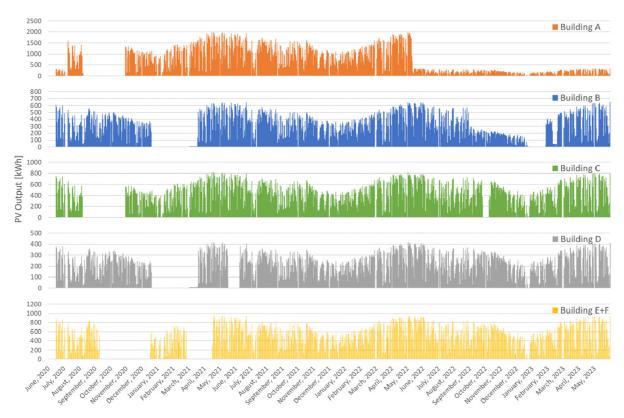


Fig. 2 Daily output data of each building in CNU PV site from June 2020 to May 2023

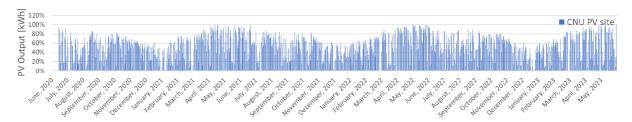


Fig. 3 Normalized daily output data of CNU PV site from June 2020 to May 2023

## (2) 태양광 발전 사이트의 출력 분석를 위한 온도 계수

태양광 발전 사이트의 출력을 분석하기 위해 태양광 발전원이 맑은 날씨 기준 최대 출력 가능한 기대값이 산출되어야 한다. Fig. 4와 같이 태양으로부터 지구 포면에 도달하는 일사량 $(I_B)$ 에서 태양광 모듈에 도달하는 일사량 $(I_C)$ 은 대기를 통해 모듈로 통과되는 직선 일사량 $(I_{BC})$ , 대기 중 분자와 에어로졸에 의해 산란되거나 반사된 확산 일사량 $(I_{DC})$ , 모듈 앞 지면과 다른 표면에서의 반사 일사량 $(I_{RC})$ 으로 구분할 수 있으며 이는 식(2) ~ (6)을 통해 계산할 수 있다. 최종적으로 식(7)과 같이 태양광 모듈의 정격출력 $(P_{rated})$ 과 설비들의 효율을 반영하여 Fig. 5와 같은 이론적인 출력량 $(P_{max}^{theo})$ 을 산출할 수 있다. 이때, 본 사이트에 설치된 태양광 모듈의 상세 특성에 따라 태양광 모듈의 정격 출력 효율 $(\eta_{PV})$ 에 초기 효율 97%, 연간 0.6% 효율 저하를 반영하였고, 전력 변환 장치의 전력 변환 효율 $(\eta_{conv})$ 은 97%를 적용하였다 $^{12}$ . 또한, 전남대학교 태양광 발전 사이트의 실제 데이터는 Building C의 정보를 활용하였으며, 손실된 데이터는 정규화된 데이터를 반영하여 환산하였다.

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} (2)$$

$$I_{BC} = I_B \times (\cos\beta \times \cos\Phi \times \sin\Sigma + \sin\beta \times \cos\Sigma)$$
(3)

$$I_{DC} = I_B \times C \times (\frac{1 + \cos \Sigma}{2}) \tag{4}$$

$$I_{RC} = I_B \times \rho \times (C + \sin \beta)(\frac{1 - \cos \Sigma}{2})$$
 (5)

$$C = 0.095 + 0.04\sin\left[\frac{360}{365}(n - 100)\right] \tag{6}$$

$$P_{\max}^{theo} = P_{rated} \times I_C \times \eta_{PV} \times \eta_{conv} = P_{rated} \times (I_{BC} + I_{DC} + I_{RC}) \times \eta_{PV} \times \eta_{conv} \tag{7}$$

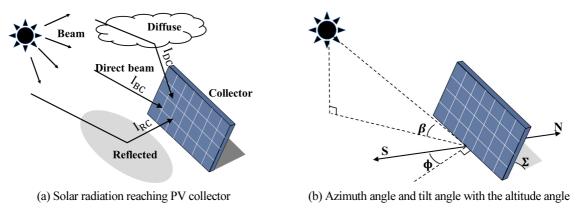


Fig. 4 Illustrating the PV collector<sup>8)</sup>

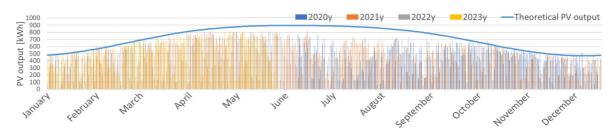


Fig. 5 Real and theoretical PV profile of CNU PV site from June 2020 to May 2023

누적된 3개년의 태양광 발전원 출력 프로필을 통해 전남대학교 태양광 발전 사이트는 이론적인 출력량과 달리 온도가 높은 5월부터 10월에 설비의 출력 성능이 현저하게 감소함을 확인할 수 있다. 따라서, 태양광 발전 설비의 정확한 출력을 분석하기 위해 실제 출력량에 영향을 미치는 온도, 습도 등의 환경 요인을 반영하여 태양광 발전 설비의 기대되는 출력량( $P_{\max}^{expected}$ )을 산출하기위한 방안이 필요하다.

본 논문에서는 태양광 발전 설비의 이론적인 출력량을 보정하여 해당 설비의 기대되는 출력량을 산출하기 위해 맑음 날씨의 일간 최고 온도를 환경 요인의 대표 값으로 선정하여 태양광 발전 사이트의 이론적인 출력량 대비 실제 출력량과의 상관관계를 분석하였다. 이에 대한 이력 정보를 Fig. 6과 같이 산점도로 표현하고 Curve fitting을 수행하면, 선형 추세선인 온도 계수 식(8)을 취득할 수 있다. 취득된 온도 계수를 식(9)와 같이 이론적인 출력량에 반영함으로써, 맑음 날씨 실제 출력량과 유사한 기대되는 출력량을 구할 수 있다. 태양광 발전원의실제 일일 출력량을 이론적인 출력량, 기대되는 출력량과 비교한 결과는 Fig. 7과 같다.

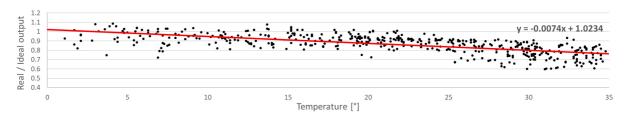


Fig. 6 Linear trend line of PV output and temperature in CNU PV site from June 2020 to May 2023

$$T_{coeff} = -0.0074 \times T + 1.0234 \tag{8}$$

$$P_{\max}^{expected} = P_{\max}^{theo} \times T_{coeff} \tag{9}$$

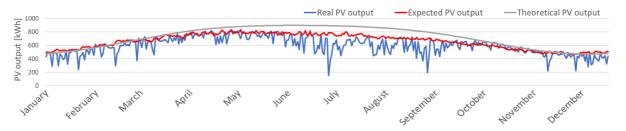


Fig. 7 Annual PV output comparison of real, expected and theoretical in CNU PV site

이론적인 출력량과 기대되는 출력량을 활용하여 전남대학교 태양광 발전 사이트의 출력을 계절별로 분석한 결과는 Table 3과 Table 4에 각각 정리하였다. 기대되는 출력량이 아닌 이론적인 출력량을 태양광 발전원의 출력 분석에 대한 기준값으로 선정하게 되면 환경 요인에 의한 출력 저하가 기준값에 반영되지 않아 태양광 발전원의 출력이 저평가된다. 특히, 환경 요인에 영향을 크게 받는 봄철과 여름철의 경우, 90 ~ 100%의 출력비가 621일 중 56일(9%)과 216일(35%)로 큰 차이가 나타난다. 그러므로 장기적인 이력 데이터를 기반으로 취득된

Table 3 PV output analysis result based on theoretical output of CNU PV site from June 2020 to May 2023

Date	Daily real output / daily theoretical output [%]										
	$0 \sim 10$	$10 \sim 20$	$20 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40\sim 50$	$50\sim60$	$60\sim70$	$70 \sim 80$	80 ~ 90	$90 \sim 100$	Total
Summer, 2020 to 2022	7	27	31	23	44	55	53	57	42	6	345
Fall, 2020 to 2022	1	8	10	6	7	10	12	18	47	64	183
Winter, 2020 to 2022	13	17	10	15	27	18	24	24	48	73	269
Spring, 2021 to 2023	5	23	15	10	19	15	20	38	81	50	276
Total	26	75	66	54	97	98	109	137	218	193	1073
	2%	7%	6%	5%	9%	9%	10%	13%	20%	18%	100%

Table 4 PV output analysis result based on expected output of CNU PV site from June 2020 to May 2023

Date		Daily real output / daily expected output [%]									
	$0 \sim 10$	$10 \sim 20$	$20 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40\sim 50$	$50\sim60$	$60\sim70$	$70 \sim 80$	80 ~ 90	$90 \sim 100$	Total
Summer, 2020 to 2022	4	21	29	21	19	40	46	35	46	84	345
Fall, 2020 to 2022	1	3	12	7	6	7	12	11	20	104	183
Winter, 2020 to 2022	14	15	11	17	25	21	22	24	39	81	269
Spring, 2021 to 2023	4	22	14	8	15	15	14	19	33	132	276
Total	23	61	66	53	65	83	94	89	138	401	1073
	2%	6%	6%	5%	6%	8%	9%	8%	13%	37%	100%

온도 계수를 반영한 기대되는 출력량을 사용함으로써, 기존 태양광 발전 사이트의 출력 상태를 정밀하게 분석할 수 있고 나아가 향후 해당 사이트의 기대되는 출력량을 효과적으로 파악할 수 있다.

#### 2.3 실시간 정보를 활용한 태양광 발전 시스템의 출력 추정 방법

이력 정보를 활용한 태양광 발전 시스템의 출력 분석 과정에서 얻어진 태양광 발전 설비의 기대되는 출력량과 태양광 발전원의 이력 정보를 통해 태양광 발전 설비의 일일 출력량을 분석할 수 있다. 하지만 이력 정보를 기반으로 하는 분석 방법은 태양광 발전 설비의 실시간 상태를 평가하기에는 적합하지 않다. 태양광 발전원의 출력이 제한되거나 이상이 생겼을 경우, 이를 신속하게 파악하고 조치하기 위해 이력 정보가 아닌 실시간 정보를 활용하여 태양광 발전 설비의 출력 상태를 평가하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 태양광 발전 사이트에서 일사량 센서와 온도 센서에서 계측된 실시간 정보를 활용하여 태양광 발전원의 정상적인 출력 상태를 평가하는 방법을 제안한다.

Fig. 8과 같이 일사량 센서에서 계측된 분단위 일사량 정보와 실제 태양광 발전원의 분 단위 출력은 유사한 패턴을 보인다. 즉, 태양광 발전 사이트의 일사량 정보에 최적화된 환산 계수를 적용하면 태양광 발전원의 실제 출력량을 추정할 수 있다. 태양광 발전원의 출력을 추정하기 위한 환산 계수는 식(10)과 같이 일사량 계수  $(R_{coeff})$ , 날씨 계수 $(W_{coeff})$ , 온도 계수로 구분된다. 전남대학교 태양광 발전 사이트에 최적화된 온도 계수는 식(8)과 같으며 1월에 대한 일사량 및 날씨 계수는 2.3-(1)을 통해 산정되었다.

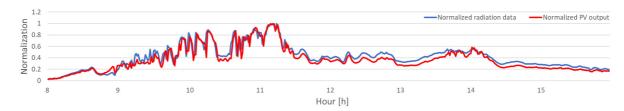


Fig. 8 Normalized profile of radiation data and PV output in CNU PV site

$$P_{real} = R_{sensor} \times R_{coeff} \times W_{coeff} \times T_{coeff}$$
(10)

#### (1) 전남대학교 태양광 발전 사이트의 환산 계수 선정

오차를 최소화하여 실제 출력량과 비례 관계를 갖는 일사량 계수를 분석하기 위해서는 유의미한 출력이 나오는 시간대의 이력 정보를 활용해야한다. Table 5와 같이 1월의 시간대 별 기대되는 출력량 대비 실제 출력량 정보를 통해, 출력 비가 70% 이상인 시간을 일사량 계수 산정을 위한 지표로 선정할 수 있다. 해당 시간들을 대상으로 식(11)과 같이 일사량 계수를 조사하면 전남대학교 태양광 발전 사이트의 1월 일사량 계수는 0.1451에서 0.1576 사이의 값이 도출되며 평균 0.1504의 값을 사이트 최적 일사량 계수로 선정하였다.

$$R_{coeff} = \frac{P_{real}}{R_{sensor}} \times \frac{1}{T_{coeff}} \tag{11}$$

Table 5 Ratio of real output to expected output and radiation coefficient in CNU PV site from January 2021

Поля	Hour Content		Date							
11001	Content	12	13	14	15	16	17			
10 h	Real/expected output	63%	69%	79%	34%	33%	85%			
10 11	Radiation coeff.	X	X	0.1576	X	X	0.1513			
11 h	Real/expected output	85%	78%	87%	59%	73%	94%			
11 11	Radiation coeff.	0.1494	0.1478	0.1543	X	0.1573	0.1556			
12 h	Real/expected output	91%	84%	90%	55%	84%	98%			
12 H	Radiation coeff.	0.1520	0.1467	0.1501	X	0.1501	0.1519			
12 h	Real/expected output	93%	85%	90%	45%	40%	99%			
13 h	Radiation coeff.	0.1540	0.1466	0.1475	X	X	0.1451			
14 h	Real/expected output	64%	83%	87%	34%	54%	69%			
14 11	Radiation coeff.	X	0.1475	0.1461	X	X	X			
15 h	Real/expected output	45%	75%	81%	26%	54%	91%			
13 11	Radiation coeff.	X	0.1529	0.1470	X	X	0.1470			

날씨에 의한 출력 저하를 반영하기 위해 식(11)을 통해 Table 6과 같이 시간대 별 날씨 계수와 그에 대한 일사 량을 분석하였다. 이때, Table 7과 같이 기상청의 날씨 정보와 실제 출력량을 기반으로 추정된 날씨가 일치하지 않는 경우가 존재하기 때문에, 실측된 일사량을 기준으로 자체 날씨 판단을 수행하였으며 Table 8과 같이 전남 대학교 태양광 발전 사이트의 1월에 최적화된 시간 별 일사량에 따른 날씨 계수를 선정하였다.

$$W_{coeff} = \frac{P_{real}}{R_{sensor} \times R_{coeff} \times T_{coeff}} = \frac{P_{real}}{R_{sensor} \times 0.1504 \times T_{coeff}}$$
(12)

Table 6 Radiation and weather coefficient in CNU PV site from January 2021

Hour	Contont		Date							
Houi	Content	12	13	14	15	16	17			
10 h	Radiation	144	345	367	185	178	418			
10 11	Weather coeff.	0.89	1.00	1.05	0.91	0.92	1.01			
111	Radiation	486	454	484	351	440	526			
11 h	Weather coeff.	1.00	0.99	1.03	0.96	0.96	1.03			
10.1	Radiation	514	507	534	363	527	591			
12 h	Weather coeff.	1.05	0.98	1.00	0.91	0.96	1.00			
13 h	Radiation	500	482	512	292	250	581			
13 11	Weather coeff.	1.04	0.98	0.98	0.87	0.90	0.96			
14 h	Radiation	394	390	417	186	214	313			
14 II	Weather coeff.	1.00	0.98	0.98	0.85	0.82	1.05			
1 <i>5</i> h	Radiation	171	238	270	105	210	325			
15 h	Weather coeff.	0.84	1.02	0.98	0.80	0.85	0.94			

**Table 7** Inconsistency case of weather history provided by the Meteorological Administration and self-weather judgment based on the ratio of real output to expected output

Content	Inconsistency case							
Weather history	Mostly Cloudy	Mostly Cloudy	Mostly Cloudy	Mostly Cloudy	Sunny	Sunny		
Real/expected output	77%	76%	79%	84%	64%	69%		
Self-weather judgment	Little cloudy	Little cloudy	Little cloudy	Little cloudy	Partly Cloudy	Partly Cloudy		

Table 8 Weather coefficient in CNU PV site from January 2021

Weather coeff.	Radiation range								
	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h			
0.8 [Overcast]	~ 105	~ 120	~ 135	~ 135	~ 135	$\sim 105$			
0.85 [Mostly cloudy]	$105\sim175$	$120\sim200$	$135\sim225$	$135\sim225$	$135\sim225$	$105\sim175$			
0.9 [Partly cloudy]	$175\sim245$	$200\sim280$	$225 \sim 315$	$225\sim315$	$225 \sim 315$	$175\sim245$			
0.95 [Little cloudy]	$245 \sim 315$	$280\sim360$	$315\sim405$	$315\sim405$	$315\sim405$	$245\sim315$			
1 [Sunny]	315 ~	360 ∼	405 ~	405 ~	405 ~	315 ~			

## (2) 환산 계수를 활용한 전남대학교 태양광 발전 사이트의 출력 추정

전남대학교 태양광 발전 사이트에서 1월 12일 ~ 17일 계측된 5분 평균 일사량 정보에 식(10)과 같이 온도 계수, 1월 일사량 계수, 날씨 계수를 적용하고 이를 실제 출력 정보와 비교하여 정확도를 측정하였다. 결과적으로

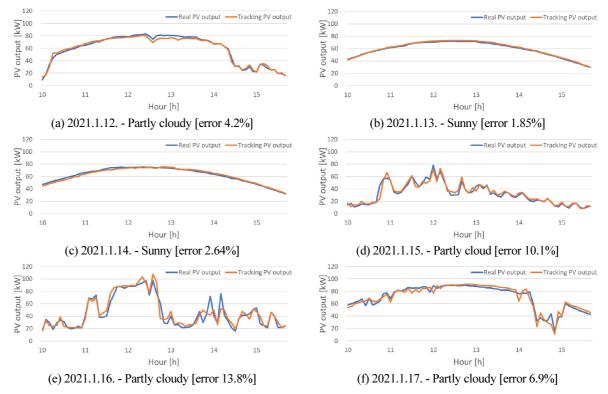


Fig. 9 Tracking PV output based on radiation data and real PV output in CNU PV site from January 12 to 17

Fig. 9와 같은 결과를 통해, 맑음 날씨의 경우 시간 평균 2.25%, 구름 조금 날씨의 경우 평균 8.7%의 실제 출력 량 대비 예측 오차로 실제 출력량을 추정할 수 있음을 확인하였다.

# 3. 결론

본 논문에서는, 태양광 발전 사이트의 설치 정보 및 이력 정보를 기반으로 태양광 발전 설비의 기대되는 일일 출력량을 분석하는 방법과 일사량 센서와 온도 센서 정보를 활용하여 태양광 발전 설비의 현재 출력량을 추정하는 방법을 제안하였다.

2020년 6월에서 2023년 5월까지 전남대학교 태양광 발전 사이트에서 3년동안 계측된 태양광 발전 시스템의 출력 정보를 분석하여, 연간 태양광 발전 설비의 기대되는 출력량 및 패턴을 계산하기 위한 온도 계수를 도출하였다. 태양광 발전 설비의 설치 위치 정보를 기반으로 하는 이론적인 출력 계산값에 사이트에 최적화된 온도 계수를 적용하여 계산 오차를 감소시켰으며, 이를 통해 태양광 발전 사이트의 기대되는 출력량을 계산하였고 실제 이력 정보와의 비교 분석을 수행하였다.

일사량 및 온도 센서에서 계측된 실시간 정보를 기반으로 태양광 발전 설비의 현재 출력 상태를 추정하기 위한 방법을 설계하였다. 태양광 발전 사이트에서 실측된 이력 정보를 기반으로 사이트에 최적화된 일사량 계수와 날씨 계수를 선정하였으며, 일사량 정보만을 활용하여 실제 출력에 대한 추정을 수행하였다. 제안된 방법은 맑음 날씨 평균 2,25%, 구름 조금 날씨 평균 8,7%의 오차를 가진다.

향후 실시간 데이터를 활용한 태양광 발전원의 출력 추정의 오차를 감소시키기 위해, 일사량 센서와 온도 센서의 데이터 수집 기간을 확장하고 조도 센서를 추가하여 연구를 진행하고자 한다.

# 후기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(RS-2023-00249376).

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(RS-2023-00274155).

#### REFERENCES

- 1. Kim, C., A Review of the Deployment Programs, Impact, and Barriers of Renewable Energy Policies in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 144, 110870, 2021, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021. 110870.
- 2. Jee, J. B., Lee, H., Min, J. S., Chae, J. H., and Kim, S., Analysis of Radiation Energy Budget Using WISE Observation Data on the Seoul Metropolitan Area, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 37, No. 6, pp. 103-114, 2017, https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.6.103.

- 3. Lee, Y. J. and Kim, Y. S., Prediction and Accuracy Analysis of Photovoltaic Module Temperature based on Predictive Models in Summer, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 37, No. 1, pp. 25-38, 2017, https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.1.025.
- 4. Lee, B. K., Kim, W. H., and Choi, J. H., Review on Data Acquisition of Renewable Power Generators, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 40, No. 3, pp. 1-20, 2020, https://doi.org/10.7836/kses.2020.40.3.001.
- 5. Lee, J. T., Kim, H. G., Kang, Y. H., Yun, C. Y., Kim, C. K., Kim, J. Y., and Kim, B. Y., Estimation of Optimal Angle for PV Panels Considering Building's Shadow in Daejeon, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 40, No. 3, pp. 43-52, 2020, https://doi.org/10.7836/kses.2020.40.3.043.
- 6. Lee, H. M., Bae, S. S., Choi, M. J., Kim, D. S., and Yoon, J. H., The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 42, No. 5, pp. 1-12, 2022, https://doi.org/10.7836/kses.2022.42.5.001.
- Lee, H. S., Kim, B. J., and Shin, U. C., Analysis of Power Generation Characteristics of a Photovoltaic System in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 39, No. 2, pp. 33-43, 2019, https://doi.org/10.7836/ kses.2019.39.2.033.
- 8. Gilbert, M. M., Renewable and Efficient Electric Power Systems, 2 edition, John Wiley & Sons, Canada, pp. 186-252, 2013.
- 9. Almaktar, M., Rahman, H. A., Hassan, M. Y., and Rahman, S., Climate-based Empirical Model for PV Module Temperature Estimation in Tropical Environment, Applied Solar Energy, Vol. 49, No. 4, pp. 192-201, 2013, https://doi.org/10.3103/S0003701X13040026.
- Jee, J. B., Zo, I. S., Lee, K. T., Lee, W. H., Choi, S. J., Analysis of Photovoltaic Panel Temperature and Photovoltaic Electric Power at Chuncheon Meteorological Station using Intensive Observation Period Data, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 42, No. 2, pp. 23-34, 2022, https://doi.org/10.7836/kses.2022. 42.2.023.
- 11. Kim, B. Y., Alba, V. C., Kim, C. K., Kang, Y. H., Yun, C. Y., and Kim, H. G., Non-linear Regression Model Between Solar Irradiation and PV Power Generation by Using Gompertz Curve, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 39, No. 6, pp. 113-125, 2019, https://doi.org/10.7836/kses.2019.39.6.113.
- 12. Wang, X. and Barnett, A., The Evolving Value of Photovoltaic Module Efficiency, Applied Sciences, Vol. 9, No. 6, 1227, 2019, https://doi.org/10.3390/app9061227.