

# 공공건축물 신재생에너지 의무 설치 비율에 따른 태양광 발전량 실측 및 평가

## Measurement and Evaluation of Solar Power Generation Based on Mandatory Installation Ratio of Renewable Energy in Public Buildings

노 상 태\*  
No, Sangtae

### Abstract

The purpose of this study is to systematically analyze the power generation amount of the solar power generation system installed at the Chungju Campus of Korea National University of Transportation and predict the solar power generation amount considering the climate and geographical conditions of the Chungju region, thereby improving the development of solar energy business in the region. It is about evaluating possibilities. This study evaluated whether the mandatory ratio of new and renewable energy was met by comparing and analyzing the predicted and actual power generation of the solar power generation system at K-National University in Chungju. As a result of the study, the error rate of the solar power generation prediction model based on weather data was found to be very low at 0.9%, which proves that predictions that reflect actual climate conditions have high accuracy. These results can be used as important basic data to increase energy independence in the Chungju region in the future and to expand additional solar power facilities.

키워드 : 태양광 발전, 발전량 계산식, 태양광 발전 시뮬레이션, 발전효율

Keywords : solar power generation, power generation calculation formula, solar power generation simulation, power generation efficiency

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경

현대 사회는 산업화와 도시화가 급속히 진행됨에 따라 에너지 소비량이 폭발적으로 증가하였다. 이로 인해, 지구온난화와 환경 문제가 심화되었으며, 이는 전 세계적으로 에너지 절약과 친환경적인 에너지 사용의 필요성을 높였다. 특히, 지구온난화는 화석연료 사용에 따른 온실가스 배출이 주요 원인으로 지목되며, 이에 대응하기 위해 많은 국가들이 화석연료 사용을 줄이고 신재생에너지로의 전환을 가속화하고 있다.

대한민국 또한 이러한 세계적 흐름에 발맞추어 에너지 이용 합리화법을 제정하여, 국가 전체 에너지 사용량을 줄이고 보다 효율적인 에너지 관리를 목표로 하고 있다.

특히, 건축물에서 소비되는 에너지는 국가 전체 에너지 소비의 큰 비중을 차지하고 있어, 이를 효율적으로 관리하고 절감하는 것은 국가적 차원의 중요한 과제로 부각되었다. 국토교통부에 따르면, 국내 에너지 소비량 중 약 20~30%가 건축물에서 발생하고 있고, 이러한 건축물에서의 신재생에너지 사용 의무화는 매우 중요한 정책적 수단으로 작용한다. 이를 바탕으로, 2010년부터 공공건축물 신재생에너지 의무 설치 비율이 단계적으로 강화되었으며, 현행 법규에 따르면, 공공건축물은 건물 에너지 사용량 대비 일정 비율 이상의 신재생에너지를 설치해야 한다.

신재생에너지 태양광 발전은 설치 및 유지 보수 측면에서 경제적이며, 도심 내 설치가 용이해 공공건축물에서 널리 활용되고 있다. 태양광 발전은 화석연료를 대체할 수 있는 대표적인 친환경 에너지원으로, 무한한 태양 에너지를 이용하여 전력을 생산함으로써 온실가스 배출을 줄일 수 있다. 이에 따라 많은 공공건축물에서 태양광 설비가 설치되고 있지만, 실제로 이러한 태양광 발전 설비가 법적 요구 조건을 충족하는지 여부에 대한 검증이 필요하다. 신재생에너지 설치 의무화 제도는 공공건축물의 에너지 효율 향상과 국가의 온실가스 감축 목표 달성에

\* 한국교통대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, stno@ut.ac.kr)

This was supported by Korea National University of Transportation in 2024

기여하기 위한 중요한 정책이지만, 설계된 대로 태양광 발전 설비가 실제로 요구하는 발전량을 충족하고 있는지는 실질적인 검토가 이루어져야한다.

### 1.2 연구의 목적

이 연구의 목적은 주 소재 K국립대학교에 설치된 태양광 발전 시스템의 발전량을 체계적으로 분석하고, 충주 지역의 기후와 지리적 조건을 고려해 태양광 발전량을 예측함으로써 이 지역에서 태양광 에너지 사업의 가능성을 평가한다. 구체적으로, 시뮬레이션 프로그램과 계산식을 사용해 예측한 발전량을 실제 발전량과 비교하여, 예측치가 얼마나 정확한지 평가한다. 이를 통해 충주캠퍼스의 태양광 발전 시스템이 실제로 얼마나 효율적인지 분석한다.

또한, 이 연구는 에너지 이용합리화법에 따라 공공건축물에서 요구되는 신재생에너지 의무 설치 비율을 충주캠퍼스의 태양광 발전 시스템이 충족하고 있는지 평가한다. 이를 위해 캠퍼스의 전체 에너지 사용량 중에서 태양광 발전이 차지하는 비율을 분석하고, 법적으로 요구되는 기준과 비교함으로써 신재생에너지 의무 설치 제도의 실효성을 검토한다.

마지막으로, 태양광 발전이 충주캠퍼스의 에너지 자립도에 얼마나 기여하는지를 분석하여, 에너지 비용 절감과 친환경 에너지 사용 확대에 미치는 영향을 살펴본다. 이를 바탕으로 지속 가능한 에너지 전략을 수립할 수 있는 기초 자료를 제공하며, 향후 캠퍼스의 에너지 절감 및 친환경 캠퍼스 구성에 기여할 실증적 데이터를 확보하는 것이 이 연구의 궁극적인 목표이다.

### 1.3 연구의 방법 및 절차

본 연구는 충주 소재 K국립대학교의 태양광 발전량을 분석하기 위해 다음의 방법을 사용하였다. 첫째, 태양광 시뮬레이션 시스템인 PV\*SOL을 활용하여 충주캠퍼스의 태양광 패널이 설치된 15개 동의 태양광 발전량 예측값을 도출하여 실제 발전량과 비교하였다. 이 시스템은 기후 조건, 설치 각도, 패널 효율 등을 고려하여 발전량을 예측할 수 있다. 둘째, 수식 계산을 통해 이론적인 발전량 예측값을 산출하여, 실제 발전량과 비교하였다. 셋째, 2022, 2023년 충주 소재 K국립대학교 실제 태양광 발전량 데이터를 수집하여 시뮬레이션 예측값 및 계산식을 통한 예측값과 상관관계분석을 통해 비교 분석함으로써 예측 정확성을 평가하였다. 마지막으로, 2011년부터 시행된 공공기관 신재생에너지 설치의무화 제도를 기반으로 한국교통대학교의 태양광 설치 및 발전 현황을 분석하고, 총 에너지 사용량에 대한 신재생에너지의 의무 공급 비율을 만족하는지 검토하였다.

## 2. 기존 연구 및 기준 검토

### 2.1 태양광 발전량 예측 이론

(Lee, 2004)는 일사량 분포함수, 태양전지 효율 그리고

태양전지 변환효율 보정계수를 이용하여 태양광 발전시스템의 발전량을 예측 할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 일사량의 랜덤한 특성을 나타내기 위해 확률분포를 도입 하였으며, 연구대상인 지역의 장기간에 걸친 기상 데이터를 근거로 하였다. 태양광 발전시스템의 단기간 또는 장기간에 걸쳐 얻을 수 있는 발전량을 예측할 수 있다. 위 연구에서는 일사량 분포함수, 태양전지 효율, 그리고 태양전지 변환효율 보정계수를 활용한 발전량 예측 방법론을 참고하였다.

(Lee, 2017)의 연구에서는 일사량이 태양광 발전에서 중요한 요인임을 밝혔다. 일사량이 있어야 태양광 에너지가 전력으로 바뀔 수 있기 때문이다. 그러나 일사량의 세기가 증가할수록 효율에 대하여 포화를 하므로 일정 일사량 이상이라면 더 이상 발전 효율이 높아지지 못한다는 것을 알 수 있었다.

일사량 확률분포함수를 이용한 태양광 발전시스템 발전량 예측 본 연구는 이전 연구들에서 제시된 일사량 확률분포함수, 태양전지 효율, 시스템 설계 파라미터 등을 참고하여, 해당 지역의 태양광 발전량을 예측할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 태양광 발전시스템 설계 시 단기 및 장기 발전량을 사전에 예측하고, 일사량 분포를 고려하여 최적의 설치 지점을 결정하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 또한, 일사량뿐만 아니라 주위 온도까지 함께 고려할 경우 더욱 정확한 발전량 예측이 가능할 것으로 사료된다.

‘수상태양광 연간발전량 영향 인자 연구’는 다음 식(1)과 (2)와 같이 태양광 발전량 예측식을 제안하였고, 본 연구에서는 식(1), (2)를 이용하여 태양광 예측 발전량을 계산하였다.

$$P = F \times U \times 24(H) \times 365(DAY) \quad \text{식(1)}$$

P = 예측 연간 발전량 (kWh)

F = 설비용량 (Kw)

U = 이용률(%)

수식 식(1)에서 사용된 이용률은 아래와 같은 수식 식(2)를 이용하여 산정하였으며 수식에 사용된 계수들의 정의는 아래와 같다.

$$U = \frac{S}{24 \times 1} \times 75.2 \times 121 \times 110.24 \quad \text{식(2)}$$

S = 일사량 (Kwh/m<sup>2</sup>/day)

\*75.2(%) = ‘태양광 시스템 종합 설계계수’

\*121(%) = ‘30° 경사면 일사량 계수’

이론식 예측 발전량은 식(1), (2)를 통해 산출 되었으며, 그 결과를 표(3)과 그림(2)로 제시 하였다. 표(3)은 예측 발전량을 수치화하여 보여주며, 그림(2)는 예측 발전량과 실제 발전량을 시각적으로 비교하여 제시 하였다.

Table 1 Comparison of Input Variables for PV Simulation Software

Category	Softare		
	PV syst	Solar Pro	PV*SOL
Input Variables			
Location	O	O	O
Module Type	O	O	O
Module Size	O	O	O
Module Number	O	O	O
Module Capacity	O	O	O
Inverter Type	X	X	O
Inverter Number	X	O	X
Inverter Capacity	X	X	X
Generation Type	O	O	X
Tilt Angle	O	X	O
Install type	O	O	X
Azimuth	O	O	O
Install area	O	O	O
Efficiency	O	O	O
Price	O	O	X

2.2 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 도구

현재 여러 종류의 유료 및 무료의 태양광 시스템 발전량 예측 시뮬레이션 소프트웨어가 활용되고 있다.

(No. 2014) 연구에서는 대한민국 C시지역(북위 37도 N/경도 127.9도 E)의 월별, 일별 태양광 발전량 데이터와 태양광 발전량 예측 프로그램으로 많이 사용되는 RETSCREEN, HOMER, PV SYST, SAM(System Advisor Model), SOLAR PRO를 이용해 실제 발전량과 입력요소에 따른 프로그램의 결과 값을 표 1과 같이 비교하여, 실제 발전량과 예측값 간의 오차를 분석하였다.

pvsyst는 스위스에서 개발된 프로그램으로 태양광 에너지 및 시뮬레이션에 대한 이익, 손실을 볼 수 있다.

solar pro는 모듈설정, 지역영향, 모듈의 동작, 모듈의 그림자를 포함한 태양광 발전 시뮬레이션 프로그램 실제 데이터를 바탕으로 그림자 분석, 경제성 분석, 발전량 계산 가능하다.

PV\*SOL은 인버터 입력, 패널 세대 유형, 설치유형 등의 입력조건이 제한적이지만 무료인 프로그램 중 입력조건이 가장 다양하기에 채택하였다.

본 논문에서는 <표1>의 시뮬레이션 프로그램 중 PVsyst, Solar Pro, PV\*SOL의 성능을 비교하여 연구에 가장 적합한 PV\*SOL 프로그램을 사용하였다.

태양광 발전량 예측 관련 기존 연구는 대부분 1개 건물을 대상으로 하였다. 본 연구는 공공건축물 15개의 실제 발전량 데이터와 기상청에서 실측 일사량 데이터를 사용하여 예측결과의 정확성을 검토하고 분석했다는 점에서 기존 연구와 차별성을 두었다.

2.3 공공건축물 신재생에너지 설치 기준

신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령은 연면적 1,000제곱미터 이상의 건축물에 신재생에너지 설치를 의무화했다. 표 2는 시행령에 따른 해당 건축물의 연도별 신재생에너지 공급 의무비율이다.

본 연구에서는 K국립대학교의 신축 및 리모델링 건축물들이 해당 연도별 신재생에너지 공비율을 만족하는지 검토하였다.

Table 2 Yearly Renewable Energy Supply Obligation Rate

Year	2009	2011~2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020~
Rate(%)	5	10	11	12	15	18	21	24	27	30

신재생에너지 의무비율은 건물의 총 에너지 사용량에서 일정 비율을 신재생에너지로 충당해야 하는 제도이다. 신재생에너지 공급 의무비율 충족 여부 계산 기준은 다음 식(3)과 같다.

$$I = \frac{R}{E} \times 100 \text{ (식 3)}$$

I = 신재생에너지 공급비율(%)

R = 태양광 발전량(TOE)

E = 연간 총 에너지 사용량(TOE)

3. 태양광 예측 발전량과 실제 발전량 비교

3.1 이론식에 의한 예측 발전량과 실제 발전량 비교

본 연구에서는 태양광 설치 용량 산정시 널리 적용되고 있는 이론식(식(1, 2))의 정확성을 검토하기 위해 이론식에 의한 발전량과 실제 발전량을 표 3에 비교하였다. 실제 발전량은 충주에 위치한 국립 K대학교 건축물(표4의 N,O,P 건물)의 태양광 설비의 2023년도 발전량이다. 해당 설비의 발전 기록은 월별로 수집되었으며, 기상청에서 제공하는 충주 지역의 2023년도 일사량, 기온, 습도, 기온 등의 기상 데이터를 이용하여 월별 예측 발전량을 계산하였다. (표4의 N,O,P 건물)에 설치된 H사 태양광 패널 효율 정보를 기반으로 발전량 예측 모델을 구성하였다.

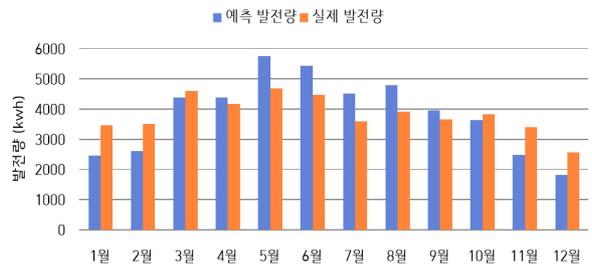


Figure 1 Monthly Comparison of Theoretical Calculated Output and Actual Generation

그림1과 표3은 이론식에 의한 예측 발전량과 실제 발전량의 비교 결과를 보여준다. 분석 결과, 1월, 2월, 3월, 10월, 11월, 12월에는 이론식 예측량이 실제 발전량보다 다소 낮게 나타났으며, 4월, 5월, 6월, 7월, 8월, 9월에는 이론식 예측량이 실제 발전량보다 다소 높게 나타났다.

그러나 연간 합계를 기준으로 보면 두 값은 거의 일치하였고, 연간 상대 오차율은 약 0.9%로 이론식 예측값이 실제 발전량 보다 낮았다.

Table 3 Monthly Comparison of Theoretical Calculated Output and Actual Generation

Month	Theoretical (kwh)	Actual (kwh)	Err. (%)
1	2,230	3,459	40.7
2	2,375	3,500	33.7
3	3,988	4,606	4.8
4	3,976	4,173	4.8
5	5,213	4,680	18.6
6	4,926	4,481	17.5
7	4,098	3,602	20.2
8	4,347	3,914	18.3
9	3,585	3,650	7.6
10	3,295	3,829	5.4
11	2,258	3,392	36.3
12	1,646	2,559	41
Total	41,938	45,845	0.8

3.2 시뮬레이션 예측값과 실제 발전량 비교

본 연구에서는 K 국립대 공공건축물 15개를 대상으로 2022, 2023년 동안의 발전량 데이터를 PV\*SOL 시뮬레이션 예측값과 비교하였다.

Table 4 PV\*SOL input values for target buildings

Building	Location	Module type	Size(m <sup>2</sup> )	입력변수			Tilt	Azimuth	area(m <sup>2</sup> )		
				Number	Capa. (kWp)	Inverter					
A	Latitude :36.970092, Longitude: 127.871709	LG400 N2W-A5	2.1	50	20	LG	30°	south	100		
B				63	25.2	ESS			126		
C				125	50	Home 8			250		
D				84	33.6	LG ESS Home 10			168		
E				75	30	LG ESS Home 8			150		
F				270	108	LG ESS Home 10			540		
G				SS-BM 250C	1.6	120			30		216
H				LG315 N1K-A5, LG310 N1C-G4, LG305 N1C-G4	1.7, 1.64	156			49.14	LG ESS Home 8	281
I				LG400 N2W-A5	2.1	150			60		120
J				LG370 Q1C-V5	1.7	198			73.26	LG ESS Home 10	357
K						126			46.62		227
L				LG400 N2W-A5	2.1	180			75.6		360
M						112			47.04		224
N				Hanwha Q.CELLS - Q.PEAK DUOXL-G9.3 460 Rev1	2.1	108			49.68	Q.VOLT HYB-G3 15.0kw 3P	16
O						70			32.2		140
P											

표4는 각 건물들의 태양광 설치 데이터대로 PV\*SOL 시뮬레이션 입력데이터이다. A, B, C, D, E, F 건물에 사

용된 태양광 모듈은 PV\*SOL에 등록되지 않은 모듈이라 발전효율이 유사한 LG400N2W-A5 모듈로 대체하여 시뮬레이션을 진행했다. 모든 건물에서 태양광 설치 경사각도는 30도였으며 방위각은 정남향이었다. PV\*SOL은 기상 데이터로 meteonorm의 데이터를 적용하고 있다.

그림2는 건물별 시뮬레이션 예측값과 실제 발전량을 비교한 그래프이다. 16개 건물 중 11개 건물은 시뮬레이션 값이 실제 발전량보다 낮았고, A, B, E, H 건물만 시뮬레이션 값이 실제 발전량보다 높았다.

표5는 월별로 시뮬레이션 예측값과 2022, 2023년 실제

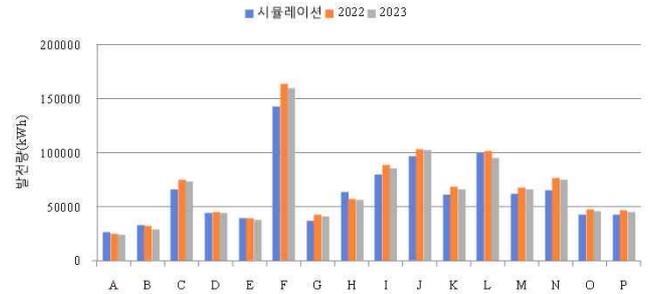


Figure 2 Annual Simulation Predicted Values vs. Actual Generation for 2022 and 2023

발전량을 비교한 결과이다. 대부분의 건물에서 연간 발전량을 기준으로 예측치 대비 ±10% 내외의 오차가 나타났다. C, F, G 건물의 실제 연간 발전량은 예측값보다 최대 10~14% 높았다.

이처럼 실제값이 예측값보다 큰 기간은 주로 봄(3~5월)과 가을(9~10월)에 집중되며, 이는 이 시기 기온이 적절하고 구름 없는 맑은 날씨가 많았던 것과 관련될 가능성이 크다. 3.1절에서 이론식 예측값이 겨울철에 실제발전량보다 낮았고, 여름철에 높았던 경향과는 달랐다.

A, H 건물은 예측 대비 -5% ~ -11%의 발전량 감소를 보였다. 특히 겨울철(11~12월)과 여름철(7~8월) 발전량이 저조했다. 이는 장비의 성능 저하나 일조량 부족의 영향을 받았을 가능성이 있다.

예를 들어 E, H 건물은 2022년과 2023년 모두 11~12월 발전량이 크게 줄었는데, 이는 동절기에 음영이 발생하였을 가능성이 있다.

연도별 발전량 차이로는 대부분 건물에서 2022년 발전량이 더 높았으며, 기상 조건 차이가 주요 요인으로 추정된다.

F, G 건물과 같이 연간 발전량이 일정하게 높은 경우도 있지만, 일부 건물은 계절에 따라 발전량 편차가 크게 나타났다.

연도별 가장 편차가 컸던 사례로 B 건물은 2023년 발전량이 11.9% 감소하였다. L 건물은 2022년에는 예측을 초과(+2.09%)했지만 2023년에는 -4.9% 하락하였다.

계절별 발전량 변화 패턴으로는 봄(3~5월)과 가을(9~10월)이 예측과 일치하거나 초과하는 발전량을 보이는 시기로, 기온이 적당하고 일조 시간이 길어 발전에 유리하다. 예를 들어, C, F 건물의 발전량은 봄과 가을에 예측치를 크게 상회했다. 이러한 성과는 기기 과열 없이 최적의 온도에서 작동하기 때문일 수 있다.

Table 5 Comparison of Simulation Predicted Values with Actual Generation for 2022 and 2023

Buildings	Capacity (kW)	predicted/years	Monthly Generation(kWh)												Annual Generation (kwh)
			Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
A	20	Predicted	2,061	1,860	2,427	2,536	2,675	2,379	2,081	2,231	2,202	2,324	1,738	1,916	26,430
		2022	2,080	1,973	1,644	2,816	2,966	2,228	2,142	1,693	2,245	2,187	1,811	1,330	25,115
		2023	1,937	2,018	2,642	2,309	2,534	2,422	1,875	2,100	1,714	1,814	1,650	1,093	24,107
B	25	Predicted	2,592	2,336	3,049	3,187	3,360	2,985	2,610	2,800	2,771	2,925	2,181	2,405	33,201
		2022	2,010	2,859	2,769	3,621	3,973	2,854	2,808	2,259	2,935	2,624	1,819	1,151	31,682
		2023	1,741	2,318	3,288	2,951	3,280	3,147	1,867	2,712	2,547	2,564	1,763	1,073	29,251
C	49.92	Predicted	5,153	4,651	6,067	6,339	6,689	5,947	5,202	5,577	5,505	5,809	4,345	4,791	66,075
		2022	5,861	6,568	6,074	7,758	8,612	6,402	6,248	5,121	6,415	6,141	5,091	4,289	74,580
		2023	5,598	5,599	7,207	6,548	7,327	7,078	5,808	6,252	5,799	6,104	5,483	4,269	73,072
D	33.32	Predicted	3,468	3,126	4,079	4,265	4,494	3,996	3,494	3,747	3,709	3,914	2,919	3,218	44,431
		2022	3,363	3,959	3,705	4,852	5,326	3,848	3,826	3,063	3,982	3,770	3,009	2,193	44,895
		2023	3,225	3,358	4,467	4,023	4,488	4,306	3,473	3,817	3,562	3,714	3,217	2,241	43,891
E	30.6	Predicted	3,092	2,791	3,640	3,804	4,013	3,569	3,121	3,346	3,303	3,486	2,607	2,875	39,645
		2022	2,871	3,528	3,314	4,352	4,822	3,415	2,865	2,563	3,543	3,256	2,469	1,978	388,975
		2023	2,625	2,977	3,980	3,595	4,022	3,857	3,081	3,388	3,144	3,188	2,049	1,861	37,766
F	108.99	Predicted	11,152	10,057	13,121	13,715	14,457	12,859	11,245	12,053	11,928	12,576	9,392	10,353	142,909
		2022	12,480	14,243	13,195	17,335	19,303	14,045	13,946	11,169	14,324	13,551	11,117	8,658	163,367
		2023	11,930	12,037	15,943	14,386	16,211	15,657	12,704	13,860	12,832	13,419	11,821	8,832	159,631
G	30	Predicted	2,936	2,644	3,440	3,576	3,739	3,291	2,871	3,083	3,071	3,279	2,453	2,723	37,105
		2022	3,287	3,826	3,538	4,556	4,970	3,633	3,569	2,873	3,759	3,581	2,904	1,830	42,326
		2023	3,089	3,177	4,212	3,741	4,134	3,969	3,195	3,292	3,319	3,505	3,098	2,239	40,971
H	49.14	Predicted	4,991	4,496	5,861	6,123	6,451	5,731	5,008	5,373	5,318	5,617	4,194	4,629	63,791
		2022	4,109	5,065	4,771	6,251	6,926	5,076	5,033	4,015	5,178	4,866	3,872	2,245	57,407
		2023	3,974	4,294	5,739	5,185	5,829	5,639	4,542	4,967	4,605	4,785	4,106	2,776	56,441
I	60	Predicted	6,196	5,587	7,290	7,620	8,031	7,144	6,247	6,696	6,627	6,987	5,218	5,752	79,394
		2022	6,486	7,562	7,266	9,577	10,768	7,922	7,895	6,273	7,813	7,210	5,823	3,809	88,403
		2023	6,034	6,350	8,590	7,990	9,033	8,791	7,115	6,639	7,009	7,198	6,210	4,431	85,390
J	73.26	Predicted	7,440	6,713	8,810	9,258	9,798	8,719	7,617	8,178	8,077	8,489	6,297	6,920	96,315
		2022	6,917	8,389	8,436	11,300	12,955	9,731	9,620	7,636	9,145	8,222	6,442	4,496	103,290
		2023	6,860	7,149	9,825	9,351	10,757	10,623	8,674	9,278	8,506	8,563	7,230	5,617	102,431
K	46.62	Predicted	4,737	4,272	5,607	5,894	6,235	5,546	4,846	5,204	5,148	5,409	4,006	4,403	61,308
		2022	4,677	5,563	5,558	7,435	8,499	6,357	6,342	5,026	6,018	5,419	4,279	2,928	68,100
		2023	4,387	4,667	6,413	6,146	7,084	6,912	5,636	5,935	5,352	5,311	4,441	3,416	65,699
L	75.6	Predicted	7,780	7,024	9,161	9,574	10,101	8,990	7,863	8,421	8,315	8,770	6,564	7,235	99,797
		2022	6,901	8,249	8,706	11,875	13,745	10,416	9,674	7,457	8,825	7,487	5,887	2,660	101,885
		2023	5,565	6,430	9,236	9,097	10,673	10,548	8,550	8,991	7,958	7,482	6,096	4,280	94,906
M	47.04	Predicted	4,846	4,370	5,702	5,961	6,282	5,588	4,888	5,237	5,185	5,467	4,082	4,498	62,106
		2022	5,075	5,840	5,592	7,227	8,051	6,049	5,968	4,847	5,965	5,652	4,564	2,948	67,777
		2023	4,830	4,961	6,582	6,033	6,823	6,613	5,392	5,826	5,352	5,511	4,773	3,378	66,073
N	49.68	Predicted	5,084	4,580	5,991	6,283	6,626	5,888	5,141	5,518	5,469	5,762	4,283	4,719	65,343
		2022	5,776	6,647	6,310	8,114	9,026	6,751	6,725	4,667	6,762	6,375	5,174	4,092	76,419
		2023	5,610	5,649	7,445	6,762	7,554	7,326	6,006	6,430	5,945	6,151	5,512	4,317	74,707
O	32.2	Predicted	3,292	2,965	3,879	4,067	4,290	3,812	3,329	3,572	3,541	3,730	2,773	3,055	42,304
		2022	3,660	4,173	3,857	5,064	5,619	4,031	4,017	3,211	4,141	3,915	3,218	2,542	47,447
		2023	3,459	3,500	4,606	4,173	4,680	4,481	3,602	3,914	3,650	3,829	3,392	2,559	45,845
P	32.2	Predicted	3,292	2,965	3,879	4,067	4,290	3,812	3,329	3,572	3,541	3,730	2,773	3,055	42,304
		2022	3,541	3,841	3,794	4,998	5,547	4,016	3,993	3,170	4,097	3,859	3,116	2,348	46,319
		2023	3,360	3,425	4,552	4,118	4,632	4,480	3,570	3,800	3,621	3,793	3,329	2,430	45,110

여름철(6-8월)에는 대부분 건물에서 발전량 저하가 관찰되었다. 이는 기온 상승과 장마철 구름의 영향으로 판단된다. 고온 환경은 태양광 패널의 효율을 저하시키기 때문이다. 특히 A, B 건물에서 이 현상이 두드러지게 나타났다.

겨울철(11-12월)에는 발전량이 예측량 대비 저조한 것으로 나타났다. H 건물은 겨울철 발전량이 가장 큰 폭으로 감소했으며, 이는 동작 이상이 있는 시스템으로 인한 것으로 추측된다.

C, F, G 건물은 정상적인 시스템의 작동, 음영이 없는 이상적인 패널 설치를 통해 예측치를 초과한 발전량을 보인 것으로 판단된다.

반면, 예측치를 밑돈 H 건물은 패널 청소나 인버터 상태 점검, 패널 손실 등의 유지 보수 문제가 원인일 수 있다. L 건물의 경우 2022년에는 예측을 초과했으나 2023년에는 감소. 이는 설비 노후화 또는 기상 조건 변화에 대한

대비가 필요하다고 보여진다.

### 3.3 신재생에너지 공급 의무 비율 평가

본 연구에서는 신축 또는 리모델링된 K 국립대 5개 건물의 신재생에너지 생산량이 법규에서 정하는 연간 총 사용 에너지 비율을 만족하고 있는지 평가하기 위해 표 6을 식 3에 의해 작성하였다.

5개 건물 중 A, G 건물은 공급의무 비율을 충족하였고, D 건물은 미미한 차이로 충족하지 못했고, B, H 건물은 큰 폭으로 충족하지 못하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 건축물 지붕에 설치된 태양광설비만을 대상으로 하였다. 지상 유휴공간에 설치된 태양광 설비를 다수 보유한 대학 캠퍼스의 경우 개별 건물의 의무비율 만족 여부는 중요하지 않으나, 표 6의 결과로 공공건축물의 계획 시 태양광 설비의 설치 공간 확보의 중요성을 확인하였다.

Table 6 Annual Energy Consumption and Renewable Energy Supply Status by New and Renovated Buildings at K National University

	Year of Completion	Year of Remodeling	Total Floor Area (m <sup>2</sup> )	Annual Electricity Usage		Annual Gas Usage		Total Usage (TOE)	PV Generation		Supply Obligation Rate (%)	Renewable Energy Supply Ratio(%)
				(kWh)	(TOE)	(m <sup>3</sup> )	(TOE)		(kWh)	(TOE)		
A	2013	신축	1,649	80,254	18	x	x	18	25,116	5.78	11	31.3
B	2013	신축	16,600	494,808	114	20,160	21	135	31,682	7.29	11	5.4
D	1985	2019	2,666	262,088	60	10,898	11	72	81,657	18.78	27	26.21
G	1990	2014	5,408	197,482	45	31,464	33	78	42,326	9.73	12	12.44
H	1983	2016	8,430	253,674	58	28,744	30	88	57,407	13.2	18	14.95

4. 결론

본 연구에서는 공공건축물인 K국립대의 태양광 발전량을 분석하기 위해 PV\*SOL 시뮬레이션과 수식 기반 예측을 수행하고, 이를 2022, 2023년 실제 발전량과 비교하였다. 또한, 신재생에너지 의무 설치 제도의 기준을 적용해 태양광 발전 시스템의 효율성을 평가하였다.

분석 결과, PV\*SOL과 수식으로 예측된 연간발전량은 대체로 실제 측정된 발전량과 유사한 경향을 보였으나, 여름과 겨울철에는 다소 차이가 있었다.

기상 조건과 발전량의 상관성을 분석한 결과, 장마철과 겨울철 발전량 감소는 기후 변화와 직결된다고 볼 수 있다. 이러한 계절적 요인을 예측에 반영해 예측 모델을 보정할 필요가 있을 것이다. 또한, 특정 건물에서 발생한 예외적인 발전량 변화는 기후뿐만 아니라 태양광 장비, 지붕 구조나 음영 문제와도 관련될 수 있다.

K 국립대의 태양광 발전 설비는 신재생에너지 의무 설치 제도의 기준을 충족하고 있으며, 이를 통해 일정 수준의 에너지 자립을 달성하고 있다. 이는 공공기관의 에너지 절감 및 탄소 배출 저감에 실질적으로 기여하고 있음을 보여준다.

태양광 발전 시스템의 성능 최적화를 위해 계절적 발전량 변동성을 최소화하는 방안이 요구된다. 이에 따라, 발전 패널의 주기적인 유지·보수와 발전량 모니터링 시스템의 고도화가 필요하며, 기후 변화에 따른 발전 손실을 예측하기 위한 예측 모델의 개선이 필요하다. 추가적으로, 배터리 저장 시스템을 도입함으로써 발전 효율을 극대화하고 에너지 활용도를 높일 수 있을 것이다.

본 연구는 태양광 발전 성과를 실증적으로 분석함으로써 신재생에너지 의무 설치 제도의 실효성을 평가하고, 에너지 효율화와 탄소 중립 목표 달성을 위한 기초 자료를 제공하였다. 향후 연구에서는 장기적인 발전 데이터를 활용한 심층 분석과 다양한 환경 변수를 반영한 최적화 방안을 제시함으로써, 대학 및 공공기관의 에너지 자립도를 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. 국토교통부, “대한민국 에너지 소비 현황”, 2020
2. 방성태. "공공기관 신재생에너지 설치의무화 제도의 개선에 관한 연구." 국내석사학위논문 忠南大學校 大學院, 2017. 대전
3. 산업통상자원부, “신재생에너지 의무 설치 제도 개요”, 2020
4. Chung, (2019). Comparison of Estimation Methods by Different Photovoltaic Software and Performance Evaluation
5. Lee, I.R., Bae, I.S., Jung., C.H, KiM, J.O., & S, H. (2004) Dept. of EE. Hanyang University S-energy, Photovoltaic Generation System Output Forecasting using Irradiance Probability Distribution Function.
6. Lee, D.H., Kim, M.S., & Park, J.B. (2017) Konkuk University. Solar Power Generation Difference by Region's Solar Radiation.
7. No, (2014). Comparison of Measured and Predicted Photovoltaic Electricity Generation and Input Options of Various Softwares
8. Study on the Influential Factors of Floating PVAnnual Generation 2019
9. Yoo, G.H., Jeong, I.S., Moon, C.J., Choi, J.H., Jeon, J.E, & Jung., C.Y. (2020). Mokpo National University, Green Energy Institute, Analysis of solar power generation according to insolation in Mokpo.