



국내 인증용 에너지 성능 평가 도구의 태양광발전시스템 생산량 분석 방법 고찰 및 개선방안

The Review and Improvement Plan for Analysis Method of Photovoltaic System in Energy Performance Evaluate Tool for Certification in Korea

최민주* · 이효문** · 김동수*** · 강은호**** · 윤종호*****

Min-Joo Choi* · Hyo-Mun Lee** · Dong-Su Kim*** · Eun-Ho Kang**** · Jong-Ho Yoon*****

* Ph.D.Candidate, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (mickey5992@naver.com)

** Coauthor, Researcher, Center of Renewable Energy Architecture, Hanbat National Univ., South Korea (leehm0831@gmail.com)

*** Coauthor, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (dongsu.kim@hanbat.ac.kr)

**** Coauthor, Ph.D.Candidate, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (silverskang@gmail.com)

***** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (jhyoon@hanbat.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Using renewables has been considered as one of the reliable solutions for building applications to achieve zero-energy building goals. Photovoltaic (PV) systems are a highly applied option because of their ease of installation and cost-effectiveness. Effective evaluation methods and tools are needed to determine the building energy efficiency rate and acceptable zero-energy building certifications. This study aims to examine the PV generation analysis method of the evaluation tool for advancing the PV system evaluation method. **Method:** This study considers different PV calculation methods (e.g., ECO2, simple, one-diode, and PVWatts) and investigates the calculation characteristics of each approach to compare with the evaluation tool. Among the PV calculation methods, the most used one-diode model is adopted to compare the details of PV input variables and thus evaluate power generation performance under various simulation conditions for the improvement potential of the current evaluation tool. **Result:** Various input parameter conditions need to be reflected to improve the PV system analysis method of the evaluation tool. The evaluation tool should adopt the installation azimuth conditions for analysis and application scalability. In addition, the subdivision of the inclination is suggested as an improvement measure for further analysis options. The expansion of the installation azimuth can affect the utilization of the roof and elevation on the north side. The subdivision of the inclination enables a reliable zero-energy certification grade to improve through the calculation of more precise energy self-sufficiency rate evaluation results in a detailed manner.

KEYWORD

태양광발전시스템
에너지성능 평가 도구
태양광발전시스템 해석 모델
단위용량당 발전량
에코2

Photovoltaic System
Energy Performance Evaluate Tool
PV System Analysis Model
Energy Yield
ECO2

ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 3, 2023

Final revision received Feb. 1, 2023

Accepted Feb. 3, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

국토교통부가 발표한 2050 탄소중립 달성을 위한 녹색건축 활성화 방안에 따르면 기존 공공부문의 제로에너지 건축물(이하 ZEB) 의무화 로드맵을 한 번 더 강화하여 2025년부터 ZEB 4등급, 30년부터 ZEB 3등급으로 공공부문의 건축물 성능을 강화하고, 50년부터 공공부문과 민간부문을 포함한 모든 건축물의 ZEB 1등급 달성으로 ZEB 보급 확산 정책을 가속화 한다는 내용을 포함하고 있다[1]. 이에 따라 에너지자립률 확보 측면에서 신재생에너지 보급의 중요성이 높아지고 있다. 신재생에너지 요소로 적용되는 지열히트펌프, 연료전지, 태양광, 태양열 등의 다양한 기술 중 태양광발전 시스템(이하 PV 시스템)의 신재생에너지원별 에너지 자립률 민감도가 가장 높은 것으로 분석되고 있으며[2], 신재생에너지의 발전성능, 경제성, 내구성, 설치 및 유지관리의 용이성 등을 고려할 때 PV 시스템은

가장 우선적으로 적용할 수 있는 기술이다. 제로에너지건축물 인증 사례[3]의 신재생에너지 설치유형을 살펴보면 PV 시스템은 기본적으로 적용되어 있으며, 사례에 따라 지열, 연료전지, 태양열 등의 부가적인 신재생에너지 시스템 적용을 통해 건축물이 제로에너지화 되는 것을 확인할 수 있다.

제로에너지건축물 인증 의무화가 가속화되는 현시점에서 국내 유일한 건축물 에너지 성능 인증 평가도구인 ECO2 프로그램은 전반적인 보완 및 고도화를 통해 건축물에너지효율등급 및 제로에너지건축물 인증 결과의 신뢰성을 높일 필요가 있는 것으로 판단된다. ECO2 프로그램 개선을 위한 선행연구들을 살펴보면 에너지소요량 평가에 초점을 둔 고도화방안은 여러 방향으로 제시되고 있다. 하지만 제로에너지건축물 인증을 위해 필수적으로 고려해야 하는 신재생에너지의 생산량 평가 방법과 개선방안에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 국내 인증용 건축물 에너지 성능 평가 도구인 ECO2 프로그램의 신재생에너지 생산량 평가 방법을 고찰하고, 이에 따른 개선방안을 제안하는 데 목적이 있다.

1.2. 선행연구 고찰

이아람 외(2015)는 실제 공동주택을 대상으로 ECO2 프로그램과 실제 난방에너지 사용량을 비교하여 ECO2 프로그램의 정확도를 향상하기 위한 지역별 난방 보정계수를 산출하였다[4]. 이명주 외(2015)는 국가별 에너지효율 평가도구를 비교 분석해 ECO2 프로그램의 입력방식 및 입력항목에 대한 개선사항을 제시하였다[5]. 조수 외(2017)는 제로에너지빌딩 구성을 위한 패시브 및 액티브 기술 패키지의 개념을 제안하고 기술패키지 적용을 위한 ECO2의 개선 방안을 제시하였다[6]. 정재원 외(2021)는 2016년부터 2019년까지 4개년의 통계자료를 통해 연료, 전력, 지역난방, 지역냉방의 1차 에너지 환산계수를 새롭게 도출하였고[7], 송승영(2021)은 용도프로필의 개선 및 추가를 통한 인증체계 고도화 제안하였다[8].

선행연구에서 살펴본바와 같이 ECO2 프로그램의 개선을 위한 연구들은 에너지소요량 평가에 초점이 맞추어져 있다. 제로에너지건축물 인증을 위해서는 신재생에너지 적용이 필수인 반면, 신재생에너지 생산량 평가를 중점으로 진행된 ECO2 프로그램의 개선방안 연구는 찾아볼 수 없다.

이에 본 연구에서는 신재생에너지 중 가장 기본적으로 적용되는 PV 시스템 평가 방법의 고도화를 위해 ECO2 프로그램의 PV 시스템 발전량 해석방법을 고찰하고, 이에 따른 개선방안을 제안하고자 한다.

1.3. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 ECO2 프로그램을 포함한 기존 PV 시스템 해석 모델의 발전성능 분석을 통해 각 해석 모델 간의 특성 및 차이점을 비교·분석하고, 가장 범용적으로 사용되는 One-diode 해석 모델을 활용하여 설치조건(방위, 경사)에 따른 발전성능 분석을 통해 ECO2 프로그램의 PV 시스템 입력변수의 적정성을 평가하였다. 마지막으로 ECO2의 PV 시스템 분석 고도화를 위한 개선방안을 제안하였으며, 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

- Step 1 해석 모델에 따른 발전성능 분석
: 해석 모델 간 특성 및 차이점 분석
- Step 2 설치조건에 따른 33개 지역 평균 발전성능 분석
: 설치조건(방위, 경사)에 따른 ECO2 입력변수 적정성 평가
- Step 3 ECO2 프로그램의 PV 시스템 분석 개선방안 제안
: ECO2 프로그램의 PV 시스템 분석 방법 고도화를 위한 개선방안 제안

2. 해석 모델에 따른 발전성능 분석

2.1. 해석 모델 개요

PV 시스템 발전성능 분석을 위해 ECO2 해석 모델, Simple 모델, One-diode 모델, PVWatts 모델을 선정하였다. ECO2 프로그램은 ISO 13790과 DIN V 18599를 기준으로 개발되었으며, ECO2 해석 모델은 ECO2 프로그램의 PV 시스템 해석 모델이다. ECO2 해석 모델의 전력 생산량은 (Eq. 1)과 같이 계산된다[9].

Table 1. PV System Performance Coefficient of ECO2

Building Application Types of PV Module	PV System Performance Coefficient (f_{perf})
BIPV Module	0.7
Rear Ventilated Module	0.75
Mechanically Ventilated Module	0.8

$$E_{el-pv-out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{peak} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} \quad (\text{Eq. 1})$$

- E_{sol} : 태양광 시스템의 연간 태양 일사량 [(kWh/m²)/year]
- P_{peak} : 태양 일사 1kW/m²에서의 태양광 시스템의 전기 최대 출력 [kW]
- f_{perf} : 태양광 시스템 성능계수
- I_{ref} : 기준 태양 일사 [1kW/m²]

ECO2 해석 모델은 직류를 교류로 변환하는 시스템, 태양광 모듈의 실제 작동 온도, 태양광 모듈의 건물 적용 방식을 고려한 태양광 시스템 성능계수(f_{perf})를 제시하고 있다. ECO2 해석 모델의 태양광시스템 성능계수(f_{perf})은 Table 1.과 같으며, 건물에 적용된 태양광 모듈은 후면 환기 조건에 따라 밀착형 0.7, 후면통풍형 0.75, 기계환기형 0.8로 구분된다.

Simple 모델은 태양광 에너지 생산량을 예측하는 가장 간단한 모델로 전력 생산량은 (Eq. 2)와 같이 계산된다[10]. 단 5가지 변수만을 활용하여 발전량이 결정되며, 다양한 성능 손실 요소에 대한 변수가 없다는 특징이 있다.

$$P = A_{surf} f_{activ} \cdot G_T \cdot \eta_{cell} \cdot \eta_{invert} \quad (\text{Eq. 2})$$

- A_{surf} : PV 설치면적 [m²]
- f_{activ} : PV 설치면적 대비 태양전지 면적의 비율
- G_T : PV 어레이에 입사되는 총 일사량 [W/m²]
- η_{cell} : 모듈 변환 효율
- η_{invert} : DC에서 AC로의 변환 효율(인버터 효율)

One-diode 모델은 등가 회로 모델에 대한 방정식을 사용하여 단일 모듈의 전류-전압 특성을 예측한다. 회로의 전류 전압 방정식은 (Eq. 3)과 같다. 전류는 모듈 광전류(I_{ph}), 역포화 전류(I_0), 직렬 저항(R_s), 상수(γ) 4가지의 파라미터에 의해 계산된다[10].

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q}{\gamma k T_c} (V + I R_s) \right) - 1 \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

- I_L : 모듈 광전류 [A]
- I_0 : 다이오드 역포화 전류 [A]
- γ : 상수
- k : 볼츠만 상수
- T_c : 모듈 온도 [°C]
- R_s : 모듈 직렬 저항 [Ω]

PVWatts 모델은 Cell에 입사되는 일사량(I_{tr})과 계산된 Cell 온도(T_{cell}), STC 조건에서의 태양광 직류 출력(P_{dc0})을 통해 DC 전력을 계산한다. 기준온도(T_{ref})는 STC 조건에서의 25°C를 기준으로 설정된다[11].

$$P_{dc} = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref})) \quad (\text{Eq. 4})$$

I_{tr} : Cell에 입사되는 일사량 [W/m²]

P_{dc0} : STC 조건에서의 DC 출력

γ : 온도계수

T_{cell} : Cell 온도 [°C]

T_{ref} : 기준온도(25°C)

각 모듈 유형에 따른 효율, 모듈 표면, 온도계수(γ)는 Table 2.에 기재되어있으며, 적용된 온도계수에 따라 선형적으로 효율이 감소하는 것으로 가정되어있다. Standard는 태양광 모듈에서 가장 대중적으로 사용되는 다결정/단결정 실리콘 모듈을 나타낸다. Thin film은 박막형 모듈, Premium은 AR이 적용되어 있는 단결정 모듈을 의미한다[11].

각 해석 모델 간의 해석변수는 Table 3.에 정리되어있다. Simple, One-diode, PVWatts 모델은 전체 방위 및 설치 각도가 해석 변수로 고려되는 반면, ECO2 해석 모델은 동, 남동, 남, 남서, 서의 5가지 방위와 0°, 45°, 90°의 3가지 설치 각도만 제한적으로 고려한다. Simple 모델은 인버터 효율만을 반영하며 가장 적은 손실 요소를 고려하고 있고, One-diode 모델이 가장 많은 손실 요소를 고려하고 있다. ECO2 해석 모델과 PVWatts 모델은 손실 요소에 따라 별도의 성능계수가 반영되고 있다.

Table 2. Characteristics of PVWatts module type

Module type	Efficiency	Module surface	Temperature coefficient
Standard	14~17%	Glass	-0.47%/°C
Thin film	~11%	Glass	-0.2%/°C
Premium	18~20%	Anti-Reflective Coating	-0.35%/°C

2.2. 해석 조건

PV 시스템의 발전성능 분석을 위한 해석 조건으로 IWEC2에서 제공하는 서울지역의 기상 데이터를 활용하였으며, PV 모듈은 설치 각도 0°, 고정식 PV 설치 형태로 적용하였다. 분석을 위해 국내 S사의 430Wp, 효율 20.1%의 PV 모듈 및 H사의 효율 98.8% 인버터를 적용하였으며 자세한 사양은 Table 4.를 통해 확인할 수 있다.

각 해석 모델에 동일한 기상 데이터의 적용을 위해 Simple, One-Diode, PVWatts 해석 모델은 Energy Plus v8.9를 활용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, ECO2 해석 모델의 경우 제시하고 있는 PV 시스템의 태양 일사량, 최대 출력, 전력 생산량 식[9]에 기반하여 동일한 기상 데이터를 적용해 발전량을 재산출하였다.

Table 4. Applied PV Module and Inverter Electrical Characteristics

Parameter		Specification
Location Information	Weather Data	IWEC2
	Site Location	Seoul
Installation Condition	Tilt Angle	0°
	Install Type	Fixed PV
PV Module	Module Size	2,138mm × 1,002mm
	Cell Size	158.75mm × 158.75mm
	Number of Cell	78
	Pmax	430W
	Vmp	44.4V
	Imp	9.69A
	Isc	10.20A
	Voc	53.4V
	Module Type	Mono-crystalline silicon
	Module Efficiency	20.10%
	Temperature Coefficient Isc	0.01%/°C
Temperature Coefficient Voc	-0.21%/°C	
Temperature Coefficient Pmax	-0.29%/°C	
Inverter	Inverter Efficiency	98.8%

Table 3. Comparison of Analysis Variables of PV System Analysis Models

Parameter		ECO2	Simple	One-diode	PVWatts
Azimuth		△ (east, southeast, south, southwest, west)	O	O	O
Tilt Angle		△ (0°/45°/90°)	O	O	O
Module Type		O	X	O	O
Module Efficiency		O	O	O	△
Module electric Characteristics (Pmax, Vmp, Imp, Isc, Voc)		X	X	O	X
Module Install Area/Capacity		O	O	O	O
System Loss	Module Temperature Coefficient	Provide separate system performance factors considering three conditions	X	O (Isc, Voc, Pmax)	Provide temperature coefficient according to module type
	Install Type		X	O	△
	Inverter Efficiency		O	O	O

2.3. 분석 결과

해석 모델 간 특성 및 차이점을 평가하기 위해 해석 모델에 따른 단위용량당 월별 발전량을 분석하고, ECO2 해석 모델과 각 해석 모델의 발전성능 차이 비율을 비교하였다. Fig. 1.과 Table 5. 는 해석 모델에 따른 월별 수평면 PV 발전성능을 비교 분석한 결과이다. 각 해석 모델의 단위용량당 연간 수평면 발전량은 ECO2 해석 모델 1,003.44kWh/kWp·yr, Simple 모델 1,211.41kWh/kWp·yr, One-Diode 모델 949.49kWh/kWp·yr, PVWatts 모델 1,095.86kWh/kWp·yr로 나타났으며, ECO2 해석 모델을 기준으로 한 단위용량당 연간 수평면 발전량 차이 비율은 Simple 20.73%, One-Diode 5.38%, PVWatts 9.21%로 나타났다.

각 해석 모델의 발전성능 차이는 해석 모델에 따른 입력 및 해석 변수의 차이로 판단된다. 손실 요소를 가장 적게 고려하는 Simple 모델의 경우 일사량과 가장 근사한 값을 나타냈으며, ECO2 해석 모델은 가장 많은 손실 요소를 고려하는 One-diode 모델과 가장 유사한 값을 나타냈다.

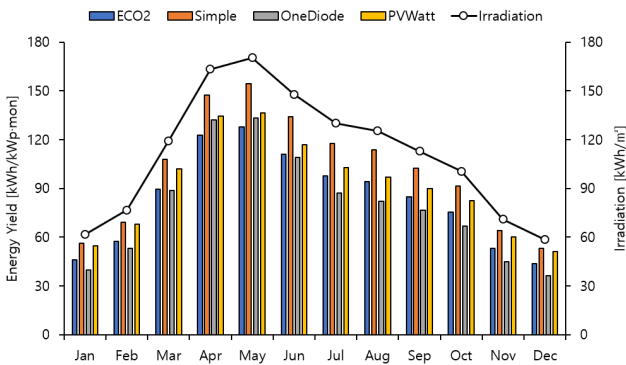


Fig. 1. Monthly Energy Yield for each model

Table 5. Comparison of Energy Yield for each model

Energy Yield (kWh/kWp)	ECO2	Simple	One-Diode	PVWatts
Jan	46.16	56.03	39.93	54.74
Feb	57.54	69.11	53.14	67.88
Mar	89.52	107.93	88.66	102.14
Apr	122.57	147.24	132.00	134.52
May	127.81	154.63	133.33	136.31
Jun	110.96	133.95	109.09	116.84
Jul	97.59	117.83	87.06	102.95
Aug	94.06	113.59	82.03	96.98
Sep	84.71	102.32	76.63	89.75
Oct	75.43	91.41	66.72	82.45
Nov	53.23	64.18	44.79	60.03
Dec	43.86	53.21	36.13	51.26
Total	1,003.44	1,211.41	949.49	1,095.86
Difference Ratio (%)	-	20.73%	5.38%	9.21%

3. 설치조건에 따른 발전성능 분석

앞서 언급한 바와 같이 ECO2 프로그램 내에서 PV 시스템의 설치 방위와 설치 각도는 제한적으로 고려가 가능하다. 설치 각도는 0°(수평), 45°, 90°(수직) 세 가지로 고려하고 있으며, 설치 각도 0°~22.5°는 0°(수평), 22.5°~67.5°는 45°, 67.5°~90°는 90°(수직)로 정의하고 있다. 설치 방위는 동, 남동, 남, 남서, 서 5가지로 고려하고 있으며, 정북향을 0°로 기준 하였을 때 67.5°~112.5°는 동향, 112.5°~157.5°는 남동향, 157.5°~202.5°는 남향, 202.5°~247.5°는 남서향, 247.5°~292.5°는 서향으로 정의하고 있다. Fig. 2., 3.는 ECO2 프로그램의 실제 화면과 ECO2 프로그램 내에서 인정하는 설치 방위 및 설치 각도 범위를 나타낸 것이다.

이러한 ECO2 프로그램의 제한적 입력변수 및 입력변수 범위의 적정성을 판단하기 위하여 PV 시스템 설치조건(방위, 경사)에 따른 전국 평균 발전성능을 도출하였다. 모듈의 전압, 전류 및 전기적 특성을 고려하여 정확도 높은 발전량 산출이 가능하며, 이러한 특징으로 태양광발전시스템의 성능(발전량 등)을 해석하는 상용 소프트웨어에서 보편적으로 활용되고 있는 One-Diode 모델을 활용하였다.

유사 목적인 선행 연구[12]가 존재하지만, 국내 주요 도시 6곳(서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 제주)만을 포함하고 있고 해당 자료만으로는 국내 전 지역의 발전성능을 예측하는 데 한계가 있으므로 33개 지역으로 대상을 확대하여 분석을 수행하였다.

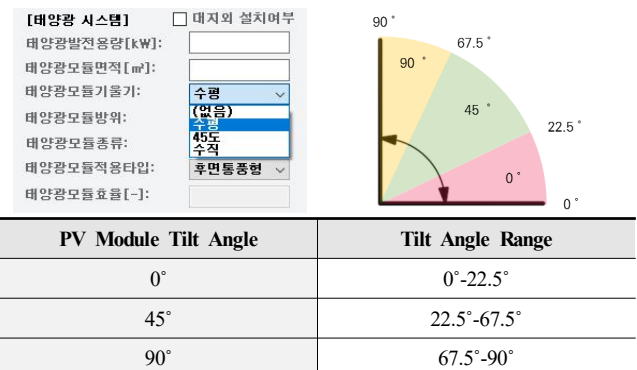


Fig. 2. PV Module Tilt Angle Range in ECO2 Program

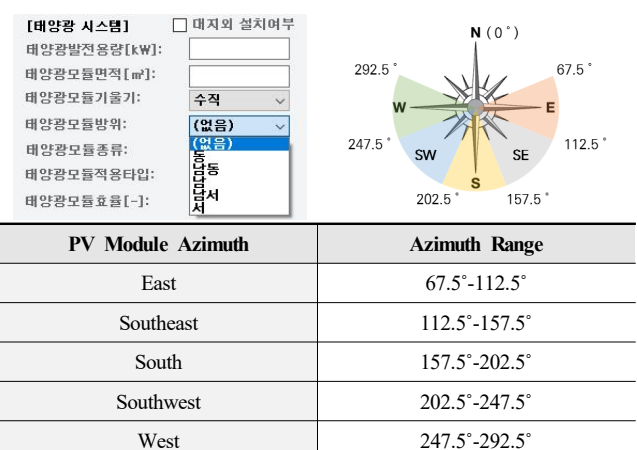


Fig. 3. PV Module Azimuth Range in ECO2 Program

3.1. 설치조건

One-Diode 모델을 활용하여 경사각별 방위각을 변경하여 분석을 수행하였다. 방위각은 0°(정북향)를 기준으로 30° 간격으로 총 12개 조건, 경사각은 0°(수평)를 기준으로 15° 간격으로 90°(수직) 조건까지 총 7개 조건을 기준으로 하였으며, Fig. 4.는 이를 이미지로 표현한 것이다. 표준기상자료는 ASHRAE(American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers)에서 제공하는 표준기상자료(International Weather for Energy Calculations v.2)를 활용하여 분석을 수행하였다. 지역에 대한 조건전정은 IWEC2에서 제공하는 대한민국의 전 지역인 국내 특별·광역시(서울, 인천, 대전, 광주, 대구, 울산, 부산, 제주), 경기도(수원), 강원도(철원, 춘천, 대관령, 동해, 강릉, 속초, 원주, 영월), 충청도(청주, 추풍령, 서산), 경상도(안동, 진주, 마산, 포항, 울진, 울릉도), 전라도(군산, 전주, 목포, 여수, 완도, 통영), 제주도(서귀포) 총 33개 지역 모두를 기준으로 분석을 진행하였다. 설치조건은 Table 6.와 같다.

3.2. 분석 결과

ECO2 프로그램의 제한적인 PV 시스템 설치조건 입력변수의 적정성을 판단하기 위해 One-Diode 모델을 활용하여 세분화된 설치조건(방위, 경사)에 따른 33개 지역 평균 발전성능을 분석하였다. Table 5.는 33개 지역 평균 발전성능분석 수행 결과를 통계 분석하여 대한민국 지역의 설치조건에 따른 일반적인 발전성능을 도출한 결과이다. Fig. 5.는 해석을 통한 PV 시스템의 일반적인 발전성능을 기준으로 설치조건(방위, 경사)별 발전량 분포를 나타낸 것이다.

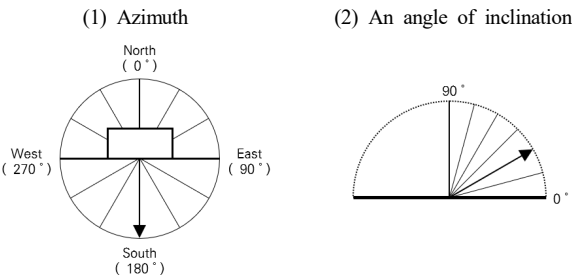


Fig. 4. Condition for Azimuth and An angle of inclination

Table 6. Installation Conditions for Simulation

Install Condition		Analysis variable
City	Metropolitan City	Seoul, Incheon, Daejeon, Gwangju, Daegu, Ulsan, Busan, Jeju
	Gyeonggi-do	Suwon
	Gangwon-do	Cheorwon, Chuncheon, Daegwallyeong, Donghae, Gangneung, Sokcho, Wonju, Yeongwol
	Chungcheong-do	Cheongju, Chupungryeong, Seosan
	Gyeongsang-do	Andong, Jinju, Masan, Pohang, Uljin, Ulleungdo
	Jeolla-do	Gunsan, Jeonju, Mokpo, Yeosu, Wando, Tongyeong
	Jeju-do	Seogwipo
Azimuth		0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°
An angle of inclination		0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°

전국 평균 단위용량당 연간 수평면 발전량은 1,143kWh/kWp·yr로 산출되었다. 즉, 우리나라의 수평면 설치조건을 갖는 시스템은 연간 1,143시간의 발전 시간을 가지며, 이를 1일로 환산했을 때 약 3.13시간의 발전 시간을 갖는 것으로 분석되었다. 정남향(180°)의 방위, 30°의 경사각 조건에서 1,311kWh/kWp·yr로 가장 우수한 발전성능을 나타냈으며, 방위각 150°에서 210°까지, 경사각 15°에서 45°까지의 범위에서 상대적으로 높은 발전량 1,250kWh/kWp·yr 수준의 범위를 나타냈다. 이후 방위각 120°에서 240°범위는 1,200kWh/kWp·yr의 수준을 나타내었다. 정남향(180°)을 기준으로 경사각 90°의 연간 발전성능은 888kWh/kWp·yr이며, 수직을 기준으로 방위각을 정동향(90°)과 정서향(270°)으로 적용할 경우 약 650kWh/kWp·yr 수준의 발전성능을 보였다. 전체를 기준으로 가장 낮은 발전량을 나타낸 조건은 정북향(0°)의 방위, 90°의 경사각 조건이며, 연간 발전성능은 317kWh/kWp·yr로 나타났다.

ECO2 프로그램의 PV 시스템 설치 방위각 입력변수는 Fig. 3.와 같으며, 이를(방위각 약 60°~300°) 기준으로 가장 낮은 발전성능을 나타낸 조건은 방위각 60° 및 300°, 경사각 90°의 조건으로, 연간 발전성능은 496kWh/kWp·yr의 수준을 보였다. 본 발전성능을 기준으로 하였을 때 정북향(0°, 360°) 및 30°, 330°의 방위, 60°의 경사각 조건에서 더 높은 발전성능을 나타내었다.

4. ECO2 프로그램 PV 분석 개선방안 제안

ECO2 프로그램은 PV 설치 각도를 0° (0°-22.5°), 45° (22.5°-67.5°), 90° (67.5°-90°) 3가지로 정의하고 있다. 이것이 의미하는 바는 '전방위에서 22.5° 이하의 설치 각도로 PV를 설치하게 되면 모두 0°의 발전성능으로 평가한다'라는 의미이며, 45°와 90°의 경우 방위에 따라 결과값이 달라지겠지만 '설치 각도 22.5°~67.5°는 45°의 발전성능으로, 설치 각도 67.5°~90°는 90°의 발전성능으로 평가하겠다'라는 의미이다.

가장 넓은 경사각 범위를 포함하는 PV 설치 각도인 45°의 경우 우리나라의 일반적인 PV 설치조건으로 보기 어려우며, Table 7.을 통하여 PV 경사각에 따른 발전성능을 살펴보면 ECO2 프로그램의 입력변수와 같이 광범위한 설치 각도를 범위에 따라 한 가지 각도로 지정하여 PV 시스템을 평가하는 것은 각 조건 내에서도 발전성능 차이를 보이므로 적합하지 않은 것을 알 수 있다.

예를 들어, 정남향(180°)의 경사각 15°로 설치된 PV 시스템의 경우 ECO2 프로그램으로 발전성능을 평가할 시 설치 각도가 0°로 입력되게 되고 이때, 약 9%의 발전성능 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 각 조건 내에서 보이는 발전성능 차이를 자세히 살펴보면 본 평가 방법은 인증을 위한 보수적인 평가 방식으로 해석하기에도 어려움이 있으며, 실제 PV 시스템 설치 조건과 ECO2 프로그램 내 설치 조건과의 발전성능 차이를 발생시키므로 더욱 정밀한 에너지 생산량 및 자립률 해석을 위해 설치 각도의 세분화가 필요하다.

ECO2 프로그램은 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침[13]의 태양광 설비 시공기준에 따라 PV 설치 방위를 동, 남동, 남, 남서, 서 5가지로 정의하고 있다. 본 지침에서는 일반 PV 시스템은 정남향을 기준으로 ±45° 이내(남동향부터 남서향까지)로 설치하도록 하고 있으

Table 7. Energy Yield according to installation conditions

Energy Yield (kWh/kWp)		An angle of inclination [°]						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Azimuth [°]	N(0°)	1,143	986	800	649	511	396	317
	ENN(30°)		1,007	845	697	569	463	369
	EEN(60°)		1,062	957	844	731	615	495
	E(90°)		1,131	1,084	1,010	911	789	649
	SEE(120°)		1,195	1,198	1,154	1,067	938	778
	SSE(150°)		1,242	1,279	1,258	1,176	1,041	860
	S(180°)		1,259	1,311	1,298	1,220	1,082	888
	SSW(210°)		1,242	1,280	1,259	1,178	1,043	862
	SWW(240°)		1,196	1,200	1,156	1,068	940	779
	W(270°)		1,131	1,086	1,012	913	792	651
	WWN(300°)		1,062	958	847	733	617	497
	WNN(330°)		1,008	846	698	571	464	369
	N(360°)		986	800	649	511	396	317

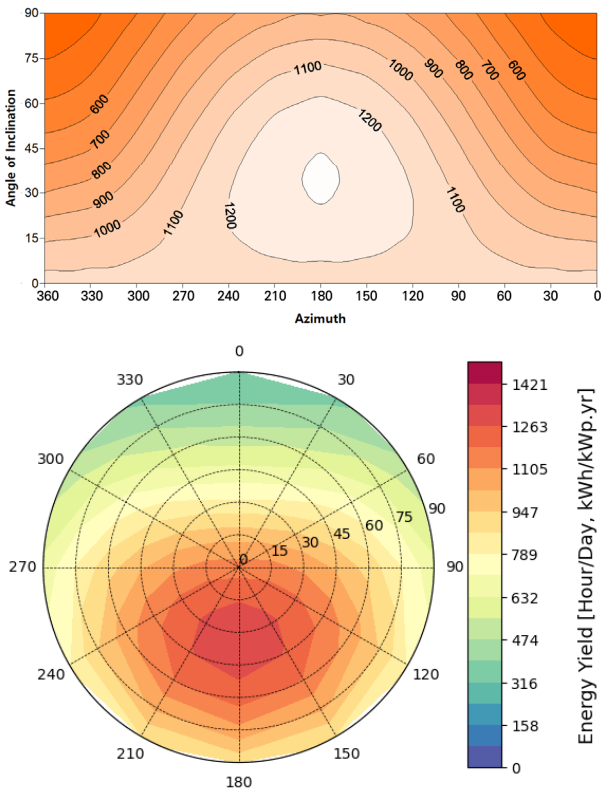


Fig. 5. Power Generation Distribution Charts according to Installation Conditions

며, 건물형 PV 시스템(건물일체형 PV 시스템 및 건축부착형 PV 시스템)의 경우 $\pm 90^\circ$ 까지(동향부터 서향까지) 설치하도록 하고 있다.

이는 발전성능을 고려하지 않은 무분별한 설치를 제한하기 위해 기준 되었지만, 위의 Table 7.과 Fig. 5.의 PV 시스템 설치조건(방위, 경사)에 따른 전국 평균 발전성능 분석 결과에 따르면 북향으로 PV 시스템이 설치되더라도 경사각에 따라 일부 설치조건은 남향의 설치조건보다 높은 발전량을 나타내는 것이 확인된다.

또한 이효분 외(2022)의 실측을 통한 북향 설치 PV 시스템의 발전성능 평가[14]에 따르면 동일 시스템에 남측 경사면과 북측 경사면에 대한 운영자료를 동시에 측정한 국내 지붕형 PV 시스템의 운영자료를 활용하여 정량적이며 객관적으로 PV 시스템의 북향 설치

타당성을 검증하였다.

ECO2 프로그램의 설치 방위 기준(방위각 약 $60^\circ \sim 300^\circ$)에서 발전성능이 가장 나쁜 설치조건인 방위각 60° 및 300° , 경사각 90° 의 경우 $496 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{yr}$ 의 수준의 발전성능을 나타내고 있다. 이를 전체 방위로 확대했을 때 정북향(0° , 360°)에 경사각 60° 로 설치했을 경우와 유사한 발전성능이 나타나는 것으로 분석되었으며, 경사각이 완만해짐에 따라 더욱 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 따라서 전방위($0^\circ \sim 360^\circ$) 또는 발전성능을 고려한 설치 방위의 확대가 필요하다[15].

5. 결론

본 연구는 ZEB 의무화가 가속화됨에 따라 건축물에너지효율등급 및 제로에너지건축물 인증 결과의 신뢰성을 높이기 위해 국내 유일의 건축물 에너지 성능 인증 평가도구인 ECO2 프로그램의 PV 시스템 발전량 분석 방법을 고찰하고 이에 따른 개선방안을 제시하였다. 본연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 각 해석 모델의 발전성능 차이는 해석 모델에 따른 입력 및 해석 변수의 차이로 판단되며, ECO2 해석 모델은 가장 많은 손실요소를 고려하는 One-diode 모델과 가장 유사한 값을 나타냈다.

(2) ECO2 프로그램의 제한적 입력변수 및 입력변수 범위의 적정성을 판단하기 위해 One-Diode 모델을 활용하여 PV 시스템 설치조건(방위, 경사)에 따른 전국 평균 발전성능 분석 결과, 정남향(180°)에 경사각 90° (수직)의 연간 발전성능은 $888 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{yr}$ 이며, 경사각 90° (수직)을 기준으로 방위각을 정동향(90°)과 정서향(270°)으로 적용할 경우 약 $650 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{yr}$ 수준의 발전성능을 보였다.

ECO2 프로그램의 PV 시스템 설치 방위각 입력변수(방위각 약 $60^\circ \sim 300^\circ$)를 기준으로 가장 낮은 발전성능을 나타낸 방위각 60° 및 300° , 경사각 90° 조건의 경우 $496 \text{ kWh/kWp}\cdot\text{yr}$ 수준의 연간 발전성능을 보였으며, 이를 전체 방위로 확대했을 때 정북향(0° , 360°) 및 30° , 330° 의 방위, 60° 의 경사각 조건에서 더 높은 발전성능을 나

타내었다.

(3) 건축물에너지효율등급 및 제로에너지건축물 인증을 위한 건축물 에너지 성능 평가 프로그램인 ECO2는 PV 설치 각도를 0° (0°-22.5°), 45° (22.5°-67.5°), 90° (67.5°-90°) 3가지로 정의하고 있다. PV 경사각에 따른 발전성능을 살펴보면 ECO2 프로그램의 입력변수와 같이 광범위한 설치 각도를 범위에 따라 한가지 각도로 지정하여 PV 시스템을 평가하는 것은 각 조건 내에서도 큰 발전성능 차이를 보이므로 적합하지 않다.

또한 ECO2는 PV 설치 방위를 동, 남동, 남, 남서, 서 5가지로 정의하고 있다. PV 시스템 설치조건(방위, 경사)에 따른 전국 평균 발전성능 분석 결과에 따르면 북향으로 PV 시스템이 설치되더라도 경사각에 따라 일부 설치조건은 남향의 설치조건보다 높은 발전량을 나타내는 것이 확인된다.

이에 더욱 정밀한 에너지 생산량 및 자립률 해석을 위해 설치 각도의 세분화 및 전방위(0°~360°) 또는 발전성능을 고려한 설치 방위의 확대를 개선방안으로 제시한다.

공동주택 제로에너지건축 의무화 초기 적용(공공 '23, 민간 '24) 및 추후 등급 상향을 고려하였을 때, 공동주택의 태양광 설치 가능 용량을 확보하기 위해 설치면적 및 각도가 제한된 입면 설치에 앞서 지붕면에서 최대한의 용량 확보가 필요하다. 설치 방위의 확대는 남향을 향하는 지붕에만 PV 시스템을 설치하는 박공지붕 및 입면의 북측면 활용과 다양한 지붕 디자인을 통한 공동주택 심미성에 영향을 줄 수 있으며, 설치 각도의 세분화는 더욱 정밀한 에너지 자립률 평가 결과 산출로 신뢰성 있는 제로에너지 인증등급을 제시할 수 있을 것으로 사료된다. 이는 건축물의 제로에너지 의무화 대상 건물이 확대되는 현시점에서 주요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (21CTAP-C163698-01).

References

[1] 국토교통부, 2050 탄소중립 달성을 위한 녹색건축 활성화 방안, 2021.06. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Green building revitalization plan to achieve carbon neutrality by 2050, 2021.06.)

[2] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서 Ver.3, 2022. // (Korea Energy Agency, Zero energy building certification technical element reference Ver.3, 2022.)

[3] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 컨설팅 지원 우수사례집, 2022. // (Korea Energy Agency, Best practices for zero energy building consulting support, 2022.)

[4] 이아람 외 5인, 건축물에너지효율등급 평가프로그램에 의한 공동주택 난방에너지 소요량과 실제 사용량 비교, 한국: KIEAE Journal, 제15권 제2호, 2015.04, pp.103-107. // (A.R. Lee et al., Comparing the actual heating energy with calculated energy by the amended standard building energy rating system for apartment buildings, Korea: KIEAE Journal, 15(2), 2015.04, pp.103-107.)

[5] 이명주, 김정운, 제로에너지건축물 계획을 위한 국내외 에너지성능관련 제도의 평가도구 비교분석 및 개선방안 연구, 한국: 대한건축학회 논문집 계획계, 제31권 제4호, 2015.04, pp.45-52. // (M.J. Lee, J.U. Kim,

A study of domestic and foreign system and evaluate tools relative to building energy performance analysis and improvement plan for zero energy building design, Korea: Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design, 31(4), 2015.04, pp.45-52.)

[6] 조수 외 3인, 제로에너지빌딩의 기술 패키지 적용을 위한 에너지성능 평가 도구 비교분석 및 개선방안 제안, 한국: 한국건축환경설비학회 논문집, 제11권 제4호, 2017.08, pp.319-330. // (S. Cho et al., An suggestion of improvement plan and analysis of comparison about the energy performance evaluation tools for application of the technical package in zero energy building, Korea: Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(4), 2017.08, pp.319-330.)

[7] 정재원 외 3인, 건축물에너지효율등급 인증제도의 고도화를 위한 1차 에너지 환산계수 개선안, 한국: 한국건축환경설비학회 건축환경설비, 제15권 제3호, 2021.07, pp.6-14. // (J.W. Jeoung et al, Improvement plan for primary energy conversion factor for advancement of building energy efficiency rating certification system, Korea: Building environment facility of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(3), 2021.07, pp.6-14.)

[8] 송승영, 건축물 에너지효율등급 인증 평가체계 고도화 - 용도 프로필, 한국: 한국건축환경설비학회 건축환경설비, 제15권 제3호, 2021.07, pp.22-28. // (S.Y. Song, Korea: Advancement of building energy efficiency rating certification evaluation system, 15(3), 2021.07, pp.22-28.)

[9] 국토교통부, 건축물 에너지성능의 정량적 평가방법 표준화를 위한 연구 (최종보고서, 한국건설기술연구원), 2014.12. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, A study for standardization of quantitative evaluation method of building energy performance (Final Report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), 2014.12.)

[10] The U. S. Department of Energy, EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation Engineering Reference, <https://energyplus.net/>, 2018.03.23.

[11] Technical Report NREL, PVWatts Version 5 Manual., <https://pvwatts.nrel.gov/>, 2014.09.

[12] 김동수, 신우철, 윤중호, 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구, 한국: KIEAE Journal, 제14권 제1호, 2014.02, pp.67-74. // (D.S. Kim, U.C. Shin, J.H. Yoon, Annual energy yield prediction of building added PV system depending on the installation angle and the location in Korea, Korea: KIEAE Journal, 14(1), 2014.02, pp.67-74.)

[13] 신재생에너지센터, 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침, 2022. // (The Center of New & Renewable Energy in Korea Energy Agency, Guidelines for support of new and renewable energy facility, 2022.)

[14] 이효문 외 4인, 실측을 통한 북향 설치 PV 시스템의 발전성능 평가, 한국: 한국태양에너지학회 논문집, 제42권 제5호, 2022.10, pp.1-12. // (H.M. Lee et al., The assessments of operational performance for north-facing PV system based on measured data, Korea: Journal of the Korean Solar Energy Society, 42(5), 2022.10, pp.1-12.)

[15] 최민주 외 4인, 국내 건축물 에너지 성능 평가도구(ECO2)의 태양광 시스템 분석 방법 고찰, 한국: 한국대한설비공학회 2022 하계학술발표대회논문집, 2022.06, pp.882-885. // (M.J. Choi et al., The review of evaluation tool (ECO2) for certification of building energy performance in Republic of Korea, Korea: 2022 Summer Annual Conference of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineering of Korea, 2022.06, pp.882-885.)