

지역별 건축물 데이터를 활용한 태양광발전시스템 설치 잠재량 산정에 관한 연구

신민수* · 이경수**

*한국산업기술대학교 에너지·전기공학과, 석사과정

**한국산업기술대학교 에너지·전기공학과, 조교수

A Study on the Installation Potential of Photovoltaic System Based on Regional Architectural Data

Shin Min-Su* · Lee Kyung-Soo**

*Department of Energy & Electrical Engineering, Korea Polytechnic University, Master course student

**Department of Energy & Electrical Engineering, Korea Polytechnic University, Assistant professor

†Corresponding author: kyungsoolee@kpu.ac.kr

Abstract

As the solar energy market grows, the need to investigate the potential of photovoltaic system is being highlighted. However, due to the lack of plain field, the system on top of buildings is being exploited. This paper analyzes the potential to install PV systems on the rooftops. First of all, with the aid of a photovoltaic system simulation software, buildings were designed in a specific area based on the architectural data. And then, with the same software, the potential to install photovoltaic system was explored by placing PV modules on the buildings' rooftops. The installation potential was calculated and simulated with consideration for obstacles on the rooftops. The parameters are composed of available area for system installation, area utilization rate, PV system power capacity, operation yield hour per day and performance ratio. In the simulation, 5 sites were analyzed based on their architectural data. In the end, reliable data that can be utilized were collected for the potential to install the system with the photovoltaic system simulation software.

Keywords: 태양광발전시스템 시뮬레이션 소프트웨어(Photovoltaic System Simulation Software), 건축물 데이터(Architectural Data), 설치 잠재량(Installation Potential), 면적 이용률(Area Utilization Rate), 일일 등가 가동시간(Operation Yield hour per day), 성능비(Performance Ratio)

기호설명

PR	: 성능비 (%)
L	: 위도 (°)
$S_{available}$: 태양광발전시스템 이용 가능 면적 (m^2)

OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.3, pp.29-45, June 2019
<https://doi.org/10.7836/kjes.2019.39.3.029>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 11 February 2019

Revised: 07 May 2019

Accepted: 08 May 2019

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.

- S_{module} : 태양전지 모듈 면적 (m^2)
- $N_{\text{available}}$: 태양전지 모듈 설치 가능 개수 (EA)
- S_{roof} : 건물 옥상 혹은 지붕 면적 (m^2)
- Y_f : 일일 등가 가동시간 (h/d)
- E_{out} : 일일 시스템 출력량 (kWh/d)
- P_o : 어레이 정격 전력 (kW)
- H_i : 일일 경사면 일조량 ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d}$)
- $G_{i, \text{ref}}$: STC 조건에서 기준 일조 강도(=1) (kWh/m^2)

그리스 문자

- α : 태양전지 모듈 경사각 [°]
- β : 태양 남중 시 고도각 [°]
- δ : 적위 [°]
- η : 면적 이용률 [%]

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화에 관한 관심이 커지면서 태양광을 중심으로 한 에너지 전환이 추진되고 있다. 이에 따라 우리나라는 평지가 적은 지형적 특성에 의해 설치 부지 부족 문제가 발생할 수 있어 건물을 활용한 태양광 발전시스템이 주목받고 있으며, 이러한 태양광발전시스템 보급을 확대하기 위해선 보급 계획의 기초가 되는 잠재량 산정이 선행되어야 한다.

기존 국내 연구 사례는 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 활용하여 AHP 기법¹⁾, 상관분석 기법²⁾, 공간 분석³⁾ 등을 통해 지상에 설치할 수 있는 태양광발전설비 입지 선정이 이루어졌다. 한국에너지기술연구원은 신재생에너지 자원지도 데이터를 근간으로 이론적, 지리적, 기술적 및 시장 잠재량을 산정^{4,5)} 하였으며, 지역별 일사량을 산정하기 위하여 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터에서 구축한 국내 16개 지점의 전수평면 일조량을 보간 적용하였다. 한국태양광산업협회는 지목별, 지역별, 지상설치대상별 및 건물설치대상별 태양광발전의 잠재량 조사 및 국내·외 사례 비교⁶⁾를 하였고, 업체를 통해 단위면적당 설치용량 인자를 제시하였지만, 업체의 실적이 30개 미만에 그쳐 데이터를 보완할 필요성이 있다. 또한, 현장조사 및 담당자 논의를 통한 태양광발전 잠재량 분석⁷⁾도 진행되었다.

해외 연구사례로 중서부 유럽지역의 경우 지붕 면적, 평면적 도출이 어려워 표본조사를 통해 태양광발전으로

활용 가능한 지붕과 벽면의 면적을 지상 면적 대비 비율로 추정⁶⁾하였으며, 독일 슈투트가르트는 항공기 스캐닝 결과를 바탕으로 태양광발전시스템 설치에 적합한 건물을 선정하고 면적을 산출하였다⁶⁾.

따라서 국내 선행 연구에는 지상형 태양광발전설비의 입지 선정을 통한 잠재량 조사 연구가 대다수이며, 건축물의 옥상 및 지붕 면적을 대상으로 한 태양광발전시스템 잠재량 조사는 부족한 실정이다. 이에 따라 본 논문은 건물을 활용한 태양광발전시스템에 주목하여 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

설치 잠재량 산정을 위해 교내를 포함하여 총 5개 사이트의 건축물 데이터를 기반으로 태양광발전시스템 시뮬레이션 소프트웨어인 Solar Pro 프로그램을 활용하여 3D CAD(Computer Aided Design) 설계를 진행하고, 건물 옥상 그리고 지붕에 태양전지 모듈을 배치하여 시스템을 구성하였다. 사이트별 잠재량 산정 분석은 건물 옥상 면적, 태양광발전시스템 이용 가능 면적, 면적 이용률, 태양광발전시스템 설치용량, 일일 등가 가동시간 및 성능비의 항목을 기준으로 시뮬레이션 결과를 제시하고 각각의 특징을 기술하였다.

2. 태양광발전시스템 설치 잠재량 산정 방법

건물을 활용한 태양광발전시스템에서 중요한 고려 요소는 주변 건물 또는 장애물에 의한 그림자 영향이다. 본 논문은 Solar Pro 프로그램의 3D CAD 기능을 이용하여 건물을 구성하고, 그림자 영향을 고려하여 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하였다.

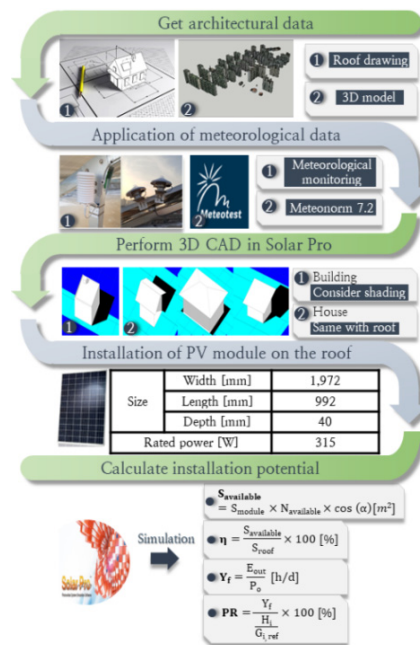


Fig. 1 Analysis process of installation potential of PV systems

Fig. 1은 태양광발전시스템 설치 잠재량 산정 방법을 순서도로 나타낸 것이다. 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하기 위해 옥상 도면, 3차원 가시화 모델과 같은 건축물 데이터를 수집하고, 지역에 맞는 기상환경 데이터를 적용하였다. 또한, Solar Pro 프로그램을 이용하여 지붕 형태에 맞추어 건물을 3D CAD 설계하고, 태양 전지 모듈을 배치한 후 시뮬레이션을 통해 각 사이트를 분석하였다.

2.1 건축물 데이터 수집

본 논문에서 연구대상으로 선정한 건물은 경기도 시흥시에 위치한 K 대학교와 4개 지역(서울특별시, 인천광역시, 강원도 춘천시, 경상북도 구미시)의 아파트 단지 또는 산업단지 일부이다. K 대학교의 경우 교내 자료를 통해 건물 높이 정보와 옥상 도면을 수집하였고, 그 외 지역은 국토교통부에서 제공하는 공간정보 오픈 플랫폼 ‘브이월드(Vworld)’ 지도의 3차원 가시화 건축물 데이터를 CAD 파일 형식으로 활용하였다.

Fig. 2(a)는 K 대학교 홈페이지에 게시된 캠퍼스 맵을 통해 건축물 전경을 나타내고 있으며, Fig. 2(b) ~ (e)는 브이월드 지도를 통해 4개 지역의 건축물 전경을 나타낸다. 5개 사이트의 건축물 세부 데이터는 각각 K 대학교(14개 건물), 서울특별시 A 아파트(5개 동), 인천광역시 남동국가산업단지(4개 기업), 강원도 춘천시 B 아파트(5개 동) 및 경상북도 구미시 C 아파트(3개 동)를 나타낸다.

Fig. 2(a) K 대학교의 건축물 데이터 중 건물 옥상과 지붕에 존재하는 장애물의 위치 및 크기 등은 실측과 계산을 통해 산출하였다. 반면, 나머지 4개 사이트는 3차원 가시화 건축물 데이터에 건물의 형태, 높이, 건물 옥상 및 지붕에 존재하는 장애물의 위치 및 크기가 정확히 반영되어 있어서 데이터를 가공하지 않고 직접 활용하였다.



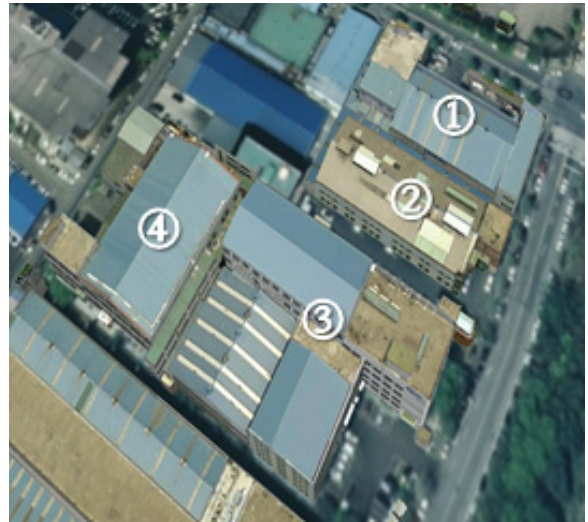
- | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------------------|
| ① 2 nd dormitory | ② Composite education | ③ A dong | ④ B dong |
| ⑤ C dong | ⑥ D dong | ⑦ E dong | ⑧ G dong |
| ⑨ P dong | ⑩ University-industry convergence HQ | ⑪ Administration | ⑫ Business incubator center |
| | ⑬ GYM | ⑭ Parking tower | |

(a) Architectural map of K university

Fig. 2 Panorama views of verification sites



① 301 dong ② 302 dong ③ 303 dong
④ 304 dong ⑤ 305 dong
(b) Seoul A apartment



① A' company ② B' company
③ C' company ④ D' company
(c) Part of Incheon namdong national industrial park



① 101 dong ② 102 dong ③ 103 dong
④ 104 dong ⑤ 105 dong
(d) Chuncheon B apartment



① 301 dong ② 302 dong ③ 303 dong
(e) Gumi C apartment

Fig. 2 Panorama views of verification sites (continued)

2.2 기상환경데이터 적용

K 대학교의 경우 교내에 기상 환경 모니터링 시스템이 구축되어 있어 모니터링 시스템을 통해 1년(2017년 3월 ~ 2018년 2월) 동안 측정된 1시간 평균 전수평면 일조량, 평균 기온 항목의 기상환경데이터를 적용하였다. Fig. 3과 Table 1은 K 대학교에 위치한 기상 환경 모니터링 센서 구성과 세부 사양을 나타낸다.

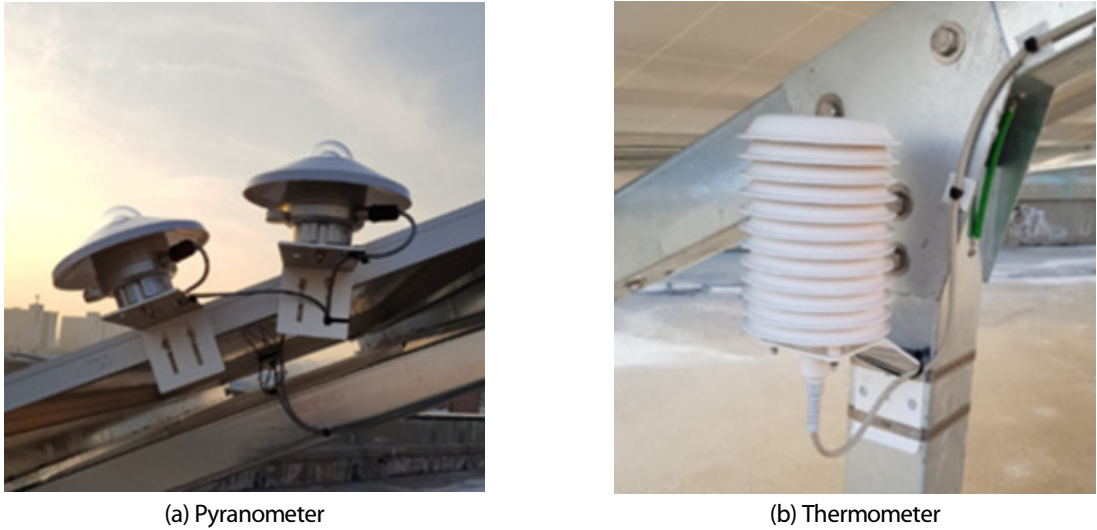


Fig. 3 Meteorological monitoring system at K university

Table 1 Sensor specifications of the meteorological monitoring system

Pyranometer	Sensitivity	10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
	Measuring range	0 ~ 2000 W/m^2
Thermometer	Accuracy	$\pm 0.15^\circ\text{C} \pm 0.1\%$ of measurement
	Measuring range	$-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$

서울특별시, 인천광역시, 강원도 춘천시, 경상북도 구미시는 Meteornorm 7.2(1991-2010) 자료를 통해 월별 평균 전수평면 일조량, 평균 기온을 적용하였다. Fig. 4는 Meteornorm 사이트를 나타내며 대표기후(Typical Meteorological Year, TMY) 자료로서 수십 년간 매월의 기후를 비교하여 각 월의 평균에 가장 가까운 달의 값을 그 월의 대표 기후로 선정하여 1년의 기상 자료를 만든 것이다.

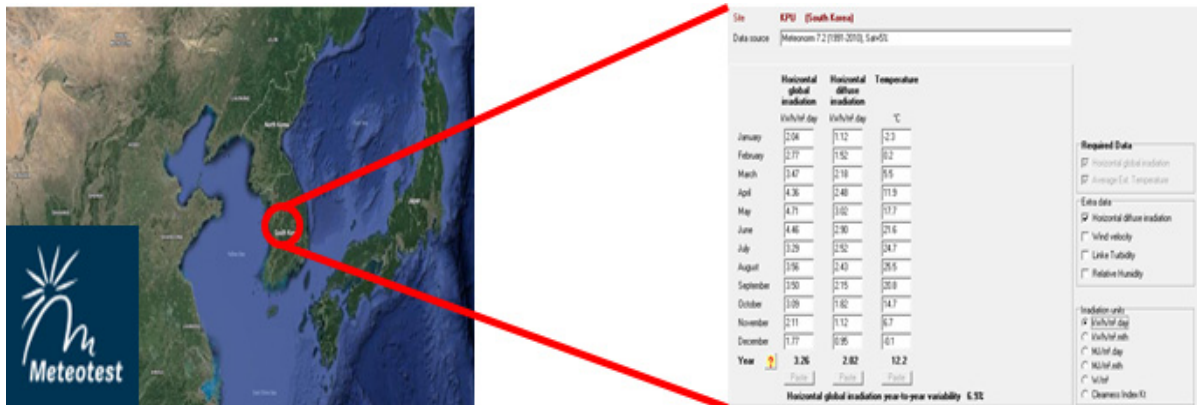


Fig. 4 Meteornorm meteorological data from Meteotest

2.3 Solar Pro 프로그램 내 3D CAD 활용

수집한 건축물 데이터를 기반으로 Solar Pro에서 3D CAD 기능을 이용하여 건물을 구성하였다. 건물 구성은 Building과 House 형식으로 나누어 진행하였으며, 특히 House 형식은 다음의 3가지 지붕 형태로 표현할 수 있다. Fig. 5는 5개 사이트에서 구성된 House 형식 중 Gabled(박공), Hip(모임), Shed(쉐드) 형태의 지붕 예시를 나타낸다.

Gabled 지붕은 책을 엮어놓은 모양의 지붕 형식이고 Fig. 2의(d), (e)와 같다. Hip 지붕은 사각형 평면의 지붕 중앙에 수평인 큰 용마루가 놓이고 그로부터 사방으로 경사면이 흐르고 있는 지붕이고 Fig. 2(a) 사이트에서 8번 건물과 같다. 또한, Shed 지붕은 한 방향으로 경사된 지붕을 나타내고 Fig. 2(a) 사이트에서 2번의 부속 건물과 같다.

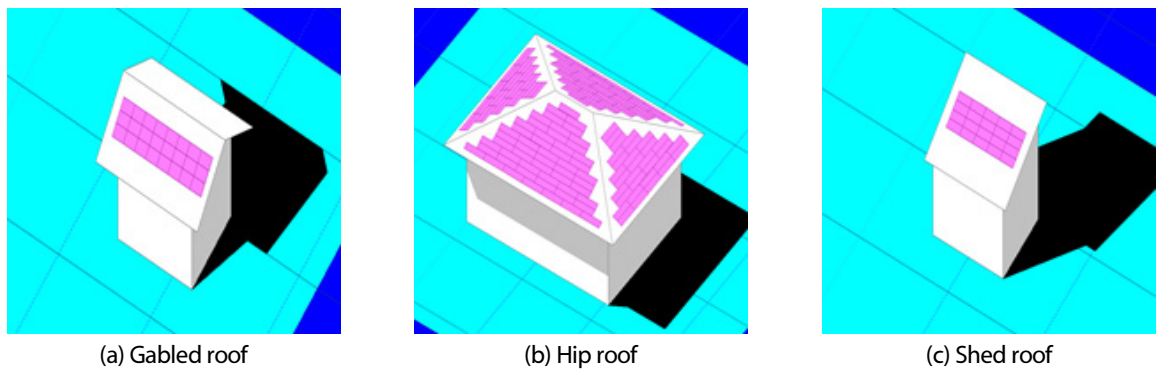


Fig. 5 Roof styles of Solar Pro software

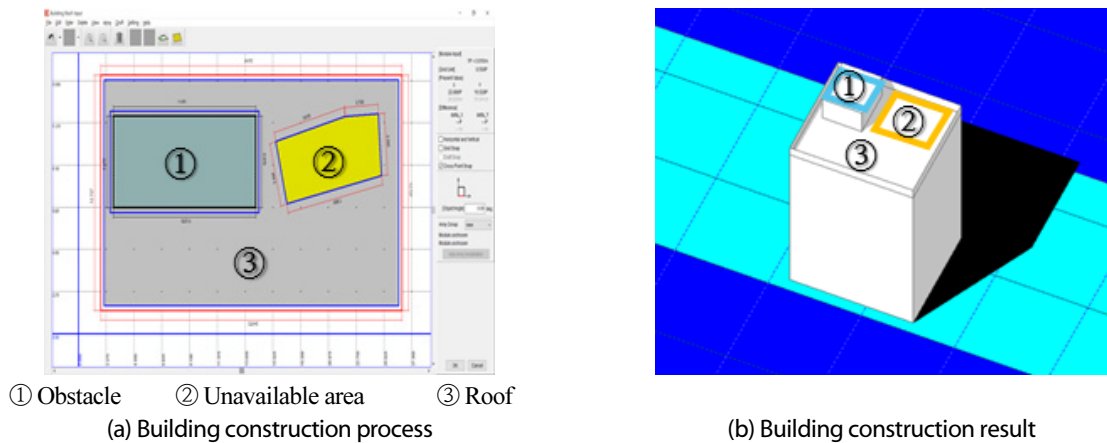


Fig. 6 Implementation process of 3D CAD work

구체적인 방법은 Solar Pro 프로그램에서 건축물 데이터 파일을 도면으로 열어서 도면에 나타난 건물 옥상 또는 지붕 형태를 따라 직접 3D CAD 설계를 하였으며 전기실, 계단실, 실외기 등과 같은 장애물의 위치 및 크기를 고려하여 건물을 구성하였다.

Fig. 6은 Solar Pro의 3D CAD에서 건물 옥상 또는 지붕 형태를 구성하고 장애물을 고려하는 과정을 나타낸다.

2.4 건물 옥상 또는 지붕 위에 태양전지 모듈 배치 수행

Solar Pro의 3D CAD 기능을 이용하여 구성된 건물에 태양전지 모듈을 배치하였다. 본 연구에서 적용한 태양전지 모듈은 국내에서 보급되는 태양전지 모듈로 Table 2와 같은 사양을 가진다.

Table 2 PV module specification using in the simulation

Size	Width [mm]	1,972
	Length [mm]	992
	Depth [mm]	40
Rated power [W]		315
The number of cells [EA]		72
Cell type		Polycrystalline
STC (Standard Test Condition) (1,000 W/m ² , 25°C, AM 1.5)	V _{oc} [V]	45.3
	I _{sc} [A]	9.02
	V _{mpp} [V]	37.3
	I _{mpp} [A]	8.45
	P _{mpp} [W]	315
Temperature coefficient	P [%/°C]	-0.41
	V [%/°C]	-0.31
	I [%/°C]	+0.055

태양광발전시스템 구성 시 Building 형식의 경우 태양전지 모듈의 경사각(α)은 식(1), (2)⁸⁾에 의해 계산된 춘·추분($\delta=0$) 경사각을 사용하였으며, 정남향을 바라보게 하여 1단 세로 설치를 하였다. 또한, 동지 09:00~15:00를 기준으로 경사각, 방위각에 의해 앞뒤 태양전지 모듈 간 음영이 발생하지 않도록 이격하였으며, 태양전지 모듈 밑 단 높이는 건물 옥상 난간의 높이와 같게 하여 난간에 의한 음영 손실을 최소화하였다. Fig. 7은 Building 형식의 건물 옥상에 태양전지 모듈을 배치한 예시이다.

House 형식의 경우 태양전지 모듈은 지붕 경사각에 맞추어 균일하게 배치하였다. 위 기준을 종합하여 본 논문에서 선정한 건물을 Solar Pro에서 구현한 후 태양전지 모듈을 배치하였다.

Fig. 2(a) 13번 건물과 같이 지붕의 형태가 Arch(아치)형인 경우에도 태양전지 모듈 배치 시 House 형식과 동일한 방식으로 지붕 형태에 맞추어 균일하게 구성하였으며, Fig. 2(a) 14번 건물의 경우에는 주차타워라는 시설의 특성을 고려하여 태양전지 모듈을 남동쪽으로 바라보게 하여 5단 세로 설치로 구성하였다.

$$\alpha = 90^\circ - \beta \tag{1}$$

$$\beta = 90^\circ - L + \delta \tag{2}$$

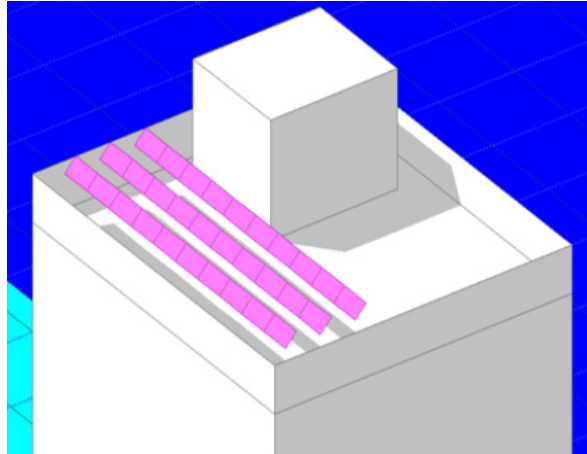


Fig. 7 Example of PV module installation on the rooftop of the building

2.5 태양광발전시스템 설치 잠재량 산정 시뮬레이션 수행

본 논문에서 구성한 태양광발전시스템을 기반으로 태양광발전시스템 설치 잠재량을 설치 면적, 용량, 연간 발전량 및 발전 성능 등 다양한 지표를 통해 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

설치 면적의 잠재량은 태양광발전시스템 이용 가능 면적($S_{available}$), 면적 이용률(η)을 산정하였다. 이용 가능 면적은 태양전지 모듈 간의 이격거리를 제외한 태양전지 모듈 전체 설치 면적이며, 면적 이용률은 건물 옥상 또는 지붕 면적과 이용 가능 면적의 비율을 나타낸다. 이용 가능 면적과 면적 이용률은 식(3), (4)에 의해 계산된다.

마찬가지로 동일한 시스템을 기반으로 발전 성능의 잠재량은 일일 등가 가동시간(Y_f)과 성능비(Performance Ratio, PR)를 산정하였다. 일일 등가 가동시간은 하루 동안 적산한 시스템 총 출력 전력량에서 정격 용량을 나눈 값이고, 성능비는 입력 에너지 대비 출력 에너지의 비율을 나타낸 것이다. Google 지도를 통해 수집한 위도, 경도, 고도 값을 각 지역에 맞게 Solar Pro에서 적용한 후 시뮬레이션 기능을 통하여 일일 등가 가동시간과 성능비를 산출하였으며 식(5), (6)⁹⁾에 의해 계산된다.

시뮬레이션 시 적용한 인버터는 효율 97%의 최대 전력점 추종 제어(Maximum Power Point Tracking, MPPT) 기능이 있으며, 중앙집중형 인버터로 각 건물의 태양광발전시스템 용량에 맞추어 건물별로 단일 인버터를 가정하였다.

$$S_{available} [m^2] = S_{module} \times N_{available} \times \cos(\alpha) \quad (3)$$

$$\eta [\%] = \frac{S_{available}}{S_{roof}} \times 100 \quad (4)$$

$$Y_f [h/d] = \frac{E_{out} [kWh/d]}{P_o [kW]} \quad (5)$$

$$PR [\%] = \frac{Y_f [h/d]}{\frac{H_i [kWh/m^2/d]}{G_{i,ref} [kW/m^2]}} \times 100 \quad (6)$$

3. 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

3.1 K 대학교 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

Fig. 8은 Solar Pro를 활용하여 K 대학교에 태양광발전시스템을 구성한 모습이며, Table 3은 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. K 대학교의 경우 발전 성능을 기준으로 가장 낮은 잠재량을 보인 건물은 Table 3의 10번의 산학융합본부 건물이다. 산학융합본부 건물은 Fig. 9와 같이 건물의 모든 가장자리 상단에 기둥과 장애물이 존재한다. 따라서 가장자리에 배치된 태양전지 모듈은 장시간동안 음영이 발생되어 산학융합본부 건물의 발전 성능이 가장 낮게 분석되었다.

또한, Table 3과 같은 태양광발전시스템이 구성되면 K 대학교는 한국전력공사 전력데이터 개방 포털시스템에 따른 경기도 시흥시 가구당 평균 전력 사용량(228.92 kWh/월)을 기준으로 726가구가 사용할 수 있는 전력을 발전할 수 있는 것으로 분석하였다.

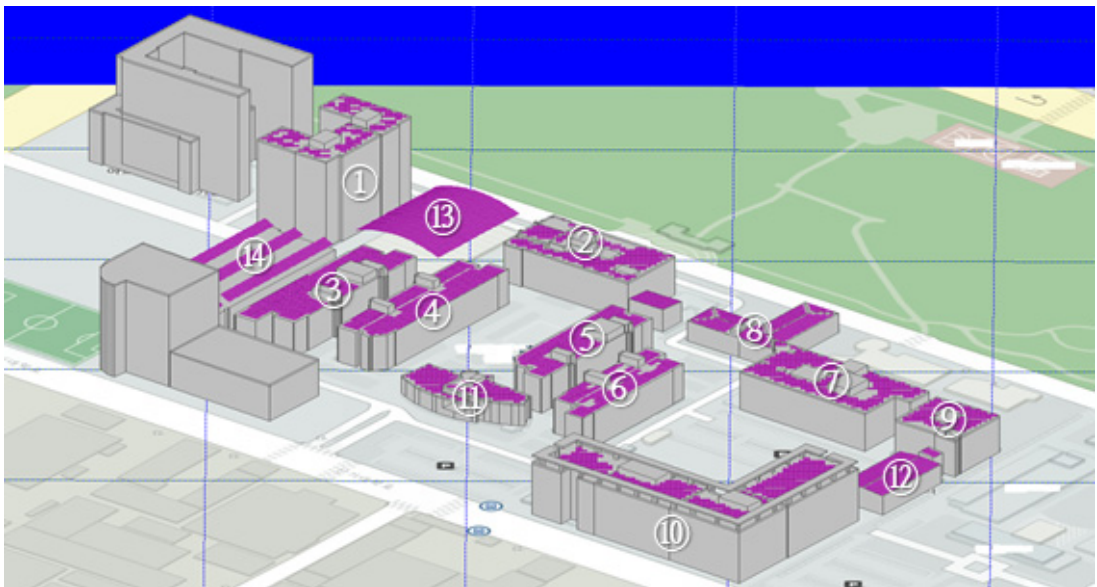
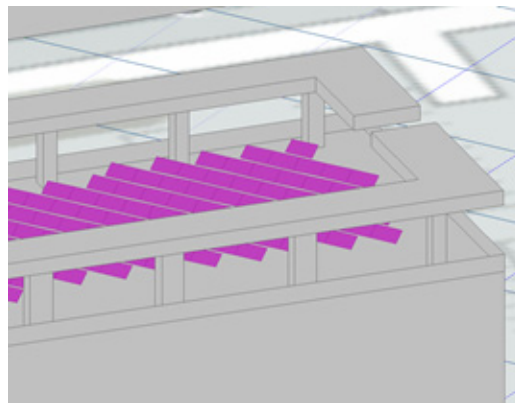


Fig. 8 Overview of PV module installation at K university

Table 3 Simulation results of installation potential of PV system at K university

	Building	$0S_{\text{roof}}$ [m^2]	$S_{\text{available}}$ [m^2]	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
①	2 nd Dormitory	1,349.49	210.91	15.63	42.53	3.56	74.61
②	Composite Education	1,983.48	498.67	25.14	93.56	3.41	76.10
③	A dong	1,272.81	1,163.02	91.37	187.43	2.74	67.15
④	B dong	1,476.56	1,139.56	77.18	183.65	3.02	74.05
⑤	C dong	1,265.09	766.22	60.57	123.48	2.93	71.72
⑥	D dong	1,138.09	684.13	60.11	110.25	3.05	74.84
⑦	E dong	2,130.91	371.83	17.45	74.97	3.66	76.69
⑧	G dong	1,067.12	688.59	64.53	110.88	3.25	79.30
⑨	P dong	827.83	156.23	18.87	31.50	3.72	77.96
⑩	University-Industry Convergence HQ	3,686.40	549.93	14.92	110.88	2.76	57.86
⑪	Administration	1,016.14	189.04	18.60	38.12	3.80	79.63
⑫	Business Incubator Center	814.80	657.29	80.67	105.84	2.77	67.79
⑬	GYM	2,134.78	2,054.04	96.22	330.75	2.98	73.91
⑭	Parking Tower	2,542.09	867.08	34.11	174.83	2.83	76.17
	Total capacity or average value	22,705.59	9,996.54	48.24	1,718.67	3.18	73.41

**Fig. 9** A detailed view of the rooftop of University-Industry Convergence HQ

3.2 서울지역의 A 아파트 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

Fig. 10(a)는 A 아파트 옥상에 태양전지 모듈을 구성한 모습이며, Table 4는 Solar Pro에서 수행된 시뮬레이션 결과이다. A 아파트의 경우 5개 건물 모두가 Building 형식의 건물이며, Fig. 10(b)와 같이 각 건물 중앙에 계단실, 기계실 등의 옥상층이 존재한다. 옥상층 주변 태양전지 모듈은 태양의 위치에 따라 옥상층에 의해 음영이 일정 시간 발생하여 일일 등가 가동시간에 영향을 받는다. 따라서 우리나라 지상형 태양광발전시스템의 일일 평균 등가 가동시간인 3.5 [h/d]보다 낮게 산출되었다.

또한, Table 4와 같이 A 아파트에 태양광발전시스템이 구성되면 서울특별시 가구당 평균 전력 사용량 (264.4 kWh/월) 기준으로 52가구가 사용할 수 있는 전력을 발전할 수 있을 것으로 확인하였다.

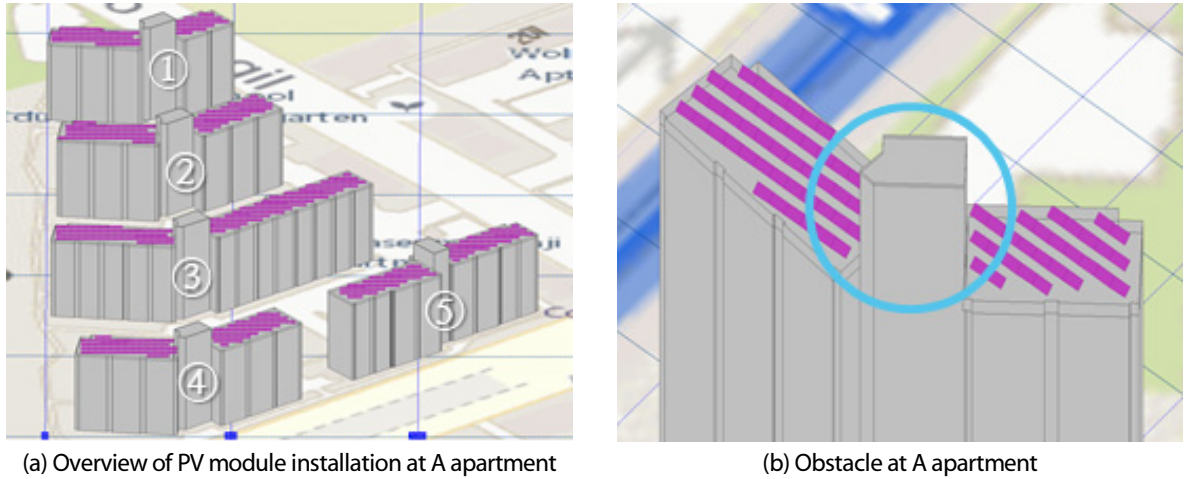


Fig. 10 Analysis of installation potential of PV system at A apartment

Table 4 Simulation results of installation potential of PV system at A apartment

	Building	S_{roof} [m ²]	$S_{\text{available}}$ [m ²]	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
①	301 dong	455.15	117.17	25.74	23.63	2.59	71.17
②	302 dong	619.70	164.04	26.47	33.08	2.66	72.97
③	303 dong	834.80	240.60	28.82	48.51	2.75	75.53
④	304 dong	619.70	164.04	26.47	33.08	2.67	73.36
⑤	305 dong	604.11	149.98	24.83	30.24	2.81	77.24
Total capacity or average value		3,133.46	835.83	26.47	168.54	2.70	74.05

3.3 인천지역의 산업단지 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

Fig. 11은 Solar Pro에서 인천광역시 남동국가산업단지 일부에 태양광발전시스템을 설치한 모습이며, Table 5는 설치 잠재량 산정 시뮬레이션 결과를 보여준다. 인천광역시 남동국가산업단지 일부의 경우 Building 형식의 사무 건물과 Fig. 5(a)와 같은 Gabled 지붕 형태의 공장 건물이 복합적으로 구성되어있다. Building 형식의 건물은 태양전지 모

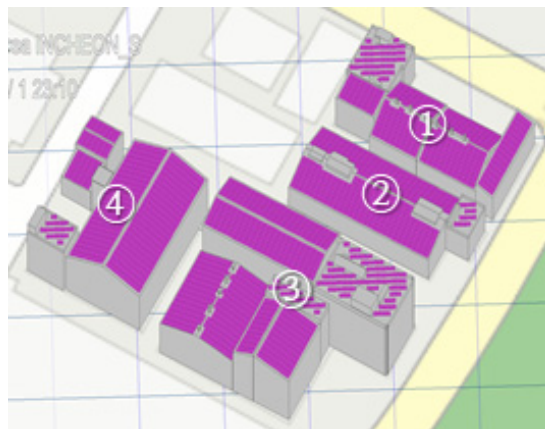


Fig. 11 Overview of PV module installation at Namdong national industrial park

둘 배치 시 태양전지 모듈 간 음영이 발생하지 않도록 이격거리를 두어 배치함으로써 이격하지 않고 지붕 경사각에 맞추어 배치한 Gabled 지붕 형태의 건물보다 면적 이용률이 낮게 산출되었다. 따라서 Table 5의 1, 3번 기업 건물은 Building 형식 건물에 의해 타 건물보다 낮은 면적 이용률이 산출되었다.

Table 5 Simulation results of installation potential of PV system at Part of Incheon namdong national industrial park

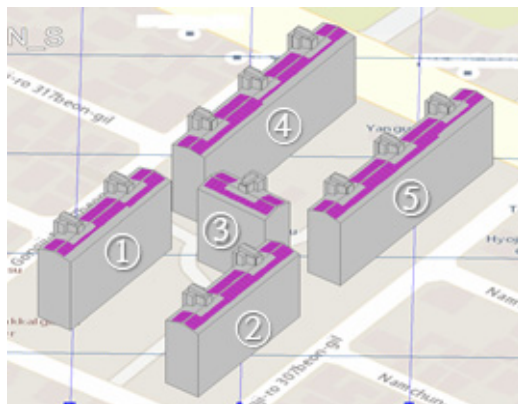
	Building	S _{roof} [m ²]	S _{available} [m ²]	η [%]	P _o [kW]	Y _f [h/d]	PR [%]
①	A' company	1,762.95	1,181.06	66.99	192.78	2.54	78.77
②	B' company	1,437.58	1,159.62	80.66	187.43	2.45	76.83
③	C' company	3,025.35	2,127.36	70.32	348.08	2.57	79.02
④	D' company	1,881.18	1,554.76	82.65	251.37	2.53	78.78
Total capacity or average value		8,107.06	6,022.80	75.16	979.66	2.52	78.35

또한, 인천광역시 남동국가산업단지에 Table 5와 같은 태양광발전시스템이 구성되면 인천광역시 가구당 평균 전력 사용량(257.02 kWh/월)을 기준으로 292가구가 1달 동안 사용할 수 있는 전력을 생산할 수 있을 것으로 확인하였다.

3.4 춘천지역의 B 아파트 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

Fig. 12(a)는 B 아파트에 태양광발전시스템을 구성한 모습이며, Table 6은 Solar Pro를 통해 수행된 시뮬레이션 결과를 나타낸다. B 아파트의 경우 5개 건물 모두가 Gabled 형식이다. 하지만 Fig. 12(b)와 같이 건물 구조상 지붕 가장자리에 태양전지 모듈을 설치할 수 있는 면적이 한정적이다. 따라서 면적 이용률이 평균 43.42%로 분석되었으며, 태양전지 모듈 배치 시 지붕 경사각에 맞추어 균일하게 배치함으로써 Building 형식인 A 아파트보다 높게 산출되었다.

또한, Table 6과 같이 B 아파트에 태양광발전시스템을 구성하면 강원도 춘천시 가구당 평균 전력 사용량(241.03 kWh/월)을 기준으로 64가구가 1달 동안 사용할 수 있는 전력을 발전하는 것으로 분석되었다.



(a) Overview of PV module installation at B apartment



(b) Unavailable area at B apartment

Fig. 12 Analysis of installation potential of PV system at B apartment

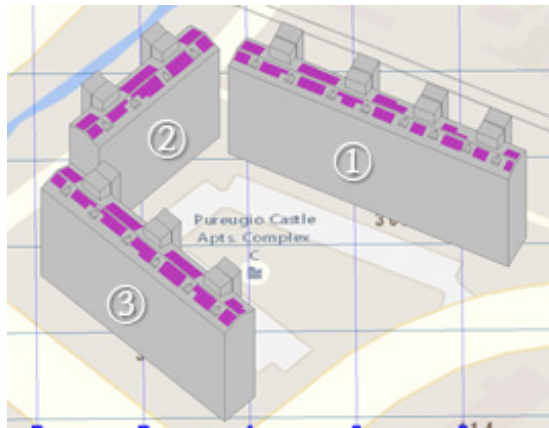
Table 6 Simulation results of installation potential of PV system at B apartment

	Building	S_{roof} [m ²]	$S_{\text{available}}$ [m ²]	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
①	101 dong	540.30	219.10	40.55	35.28	2.46	74.58
②	102 dong	540.30	250.40	46.34	40.32	2.50	75.00
③	103 dong	260.90	117.37	44.99	18.90	2.46	73.50
④	104 dong	810.45	356.03	43.93	57.33	2.51	76.18
⑤	105 dong	810.45	334.51	41.28	53.87	2.47	74.18
Total capacity or average value		2,962.40	1,277.41	43.42	205.70	2.48	74.69

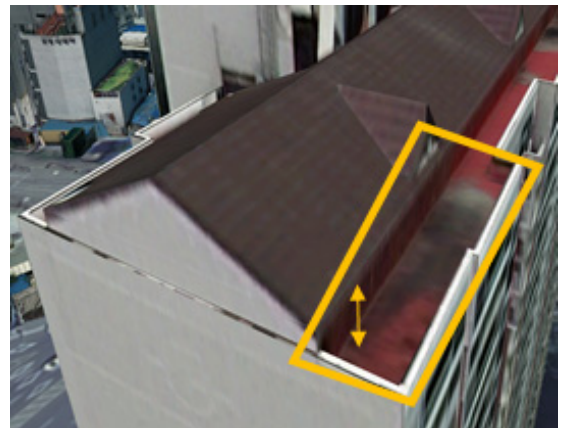
3.5 구미지역의 C 아파트 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

Fig. 13(a)는 Solar Pro를 이용하여 C 아파트에 태양전지 모듈을 구성한 모습이며, Table 7은 태양광발전시스템 설치 잠재량 산정을 위한 시뮬레이션 결과이다. C 아파트의 경우 또한 3개 건물 모두가 Gabled 형식이며, Fig. 13(b)와 같이 건물 구조상 지붕 가장자리에 태양전지 모듈을 설치할 수 있는 면적이 한정적이다. B 아파트 보다 유휴 옥상 면적이 더 적어 면적 이용률이 평균 36.09%로 B 아파트보다 더 낮게 산출되었다.

또한, C 아파트에 Table 7과 같은 태양광발전시스템이 구성되면 경상북도 구미시 가구당 평균 전력 사용량 (213.77 kWh/월)을 기준으로 47가구가 사용할 수 있는 전력을 생산할 수 있을 것으로 예상된다.



(a) Overview of PV module installation at C apartment



(b) Unavailable area at C apartment

Fig. 13 Analysis of installation potential of PV system at C apartment

Table 7 Simulation results of installation potential of photovoltaic system at C apartment

	Building	S_{roof} [m ²]	$S_{\text{available}}$ [m ²]	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
①	301 dong	891.52	266.05	29.84	42.84	2.76	75.89
②	302 dong	505.54	203.45	40.24	32.76	2.72	74.15
③	303 dong	778.47	297.35	38.20	47.88	2.69	73.98
Total capacity or average value		2,175.53	766.85	36.09	123.48	2.72	74.67

3.6 5개 지역의 태양광발전시스템 설치 잠재량 분석

본 논문에서 선정한 5개 사이트를 분석한 결과 면적 이용률은 A 아파트와 같은 Building 형식보다 B, C 아파트와 같은 House 형식의 건물이 더 높게 산출되었고, 일일 등가 가동시간과 성능비 등의 발전 성능은 K 대학교의 산학융합본부, A 아파트와 같이 건물 형태에 따른 그림자의 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

Tables 8과 9는 본 논문에서 산정한 태양광발전시스템 설치 잠재량에서 항목별 가장 높은 잠재량과 가장 낮은 잠재량으로 분석된 각 건물의 설치 잠재량을 나타낸다.

Table 8 Parameters of the building with the highest installation potential

Building	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
GYM	96.22	330.75	2.98	73.91
C' company	70.32	348.08	2.57	79.02
Administration	18.60	38.12	3.80	79.63

Table 9 Parameters of the building with the lowest installation potential

Building	η [%]	P_o [kW]	Y_f [h/d]	PR [%]
University-Industry Convergence HQ	14.92	110.88	2.76	57.86
103 dong	44.99	18.90	2.46	73.50
B' company	80.66	187.43	2.45	76.83

면적 이용률이 가장 높게 산출된 건물은 지붕 위 장애물이 없는 K 대학교의 체육관 건물이고, 인천광역시 남동국가산업단지의 C 기업은 House 지붕 형식의 건물 중 지붕 면적이 가장 넓어 설치 가능 용량이 가장 높게 분석되었다. 또한, K 대학교의 행정동 건물은 그림자 영향을 고려하여 수행한 Solar Pro 프로그램의 시뮬레이션 결과에 의해 일일 등가 가동시간과 성능비가 가장 높게 산정되었다.

K 대학교의 산학융합본부 건물은 옥상 구조상 장애물이 많아 면적 이용률과 성능비가 가장 낮게 분석되었고, 설치 가능 용량이 가장 낮게 산출된 건물은 지붕 면적이 가장 적은 B 아파트의 103동 건물이다. 또한, Solar Pro 프로그램의 시뮬레이션 수행에 의해 가장 낮은 일일 등가 가동시간으로 분석된 건물은 인천광역시 남동국가산업단지의 B 기업이다.

4. 결론

본 논문은 건축물 데이터를 기반으로 태양광발전시스템 시뮬레이션 소프트웨어 Solar Pro를 활용하여 5개 지역(경기도 시흥시, 서울특별시, 인천광역시, 강원도 춘천시, 경상북도 구미시)에서 구성한 건물의 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하였다. 각 건물의 건축물 데이터를 통해 건물의 형태와 높이, 옥상과 지붕에 존재하는 장애물 정보 등을 수집하였으며, 필요에 따라 직접 측정 및 계산을 하였다. 또한, 위도, 경도 및 고도에 대한 지역 데이터는 Google 지도를 통해 적용하였고 전수평면 일조량, 평균 기온의 기상환경데이터는 실측 자료와 Meteonorm 7.2

(1991-2010)를 적용하였다. 수집한 데이터를 기반으로 Solar Pro에서 3D CAD 기능을 사용하여 각 건물을 구성하고 태양전지 모듈을 배치해 태양광발전시스템 이용 가능 면적과 면적 이용률을 계산하였으며, 시뮬레이션 기능을 통해 일일 등가 가동 시간과 성능비를 산출하여 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하였다.

태양광발전시스템은 외부 환경 및 시스템 조건에 따라 발전량이 상이하게 나타났다. 따라서 실제 태양광발전 설비 시공업체, 판매자, 구매자 등이 본 논문에서 설정한 시스템과 다르게 설계할 시 본 논문에서 계산한 태양광발전시스템 설치 잠재량과 상이하게 나올 수 있으며, 설계에 맞추어 태양전지 모듈, 인버터, 경사각, 방위각 등과 같은 값을 변경하면 최적의 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) Solar Pro 프로그램의 3D CAD 기능을 이용하여 건물을 구성하고 그림자 영향을 고려하여 시뮬레이션 수행 및 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정하였다.
- (2) 신뢰성 높은 건축물 데이터를 이용하여 건물 단위의 소규모로 분석하였으므로 오차가 적은 실질적인 잠재량을 산정하였다.
- (3) 구성한 태양광발전시스템의 설치 잠재량을 용량뿐만 아니라 태양광발전시스템 이용 가능 면적, 면적 이용률, 일일 등가 가동 시간, 성능비와 같이 다양한 지표로 산출하였다.
- (4) Solar Pro에서 태양광발전시스템 구성 시 태양전지 모듈의 경사각, 방위각 등과 같은 설계 요소를 태양광발전설비 시공업체, 판매자, 구매자 등의 요구에 맞게 바꿀 수 있으므로 시스템 잠재량을 다방면에 활용할 수 있다.
- (5) 우리나라 수도권의 경우 지리적 한계로 인해 건물을 이용한 태양광발전시스템이 요구되기 때문에 수도권 대상 태양광발전시스템 보급 계획에 참고 자료로 활용할 수 있다.
- (6) 국내 모든 건물의 건축물 데이터와 각 건물 주변에 신뢰성 있는 기상환경데이터가 구비되면 전국의 건물을 대상으로 태양광발전시스템 설치 잠재량을 산정할 수 있다.

후기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 신재생에너지 표준화 및 인증지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호: 2018G00341, 2018G01261).

REFERENCES

1. Lee, J. Y. and Kang, I. J., A Study of PV System Facilities Using Geo-Spatial Information System, Journal of The Korean Society for Geo-spatial Information Science, Vol. 18, No. 2, pp. 99-105, 2010.
2. Park, J. I., A Study on the Suitability Analysis of New and Renewable Energy Power Plant Using Correlation Analysis and GIS, Mokpo National University, Ph. D thesis, 2011.
3. Oh, M. C., Kim, S. M., Koo, Y. H., and Park, H. D., Analysis of Photovoltaic Potential and Selection of Optimal Site near Gumdeok Mine, North Korea, Journal of the Korean Society for New and Renewable

Energy, Vol. 14, No. 3, pp. 44-53, 2018.

4. Yun, C. Y., Cho, S. M., Kim, S. Y., Kim, J. Y., Kim, C. K., Kim, Y. M., Kim, H. G., and Kang, Y. H., Estimation of Solar Energy Potential based on Grid Calculation in Korea, Conference of The Korean Society for New and Renewable Energy, pp. 77-77, 2017.
5. Yun, C. Y., Kim, K. D., and Jeong, J. H., The Establishment of the GIS based Resource Map System for New and Renewable Energy, Journal of The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 2, No. 4, pp. 27-32, 2006.
6. Knowledge Economy Technology Innovation Project Report, The Construction of Expanded Foundation through the Survey of the Potential of Photovoltaic system, The Ministry of Knowledge Economy, 2011.
7. Park, J. H., Photovoltaic Potential and Economic Analysis of Environmental Infrastructure Busan, Dong Eui University, Master thesis, 2016.
8. Mo, S. C., Optimum Design by PV System Simulation of PV Power Plant, Seoul National University of Technology, Master thesis, 2010.
9. Bong, W. G. and Lee, K. S., Solar & energy engineering 1, Ent media, pp. 314, 2017.