



RESEARCH ARTICLE

# 건축물 창면적비에 따른 건물일체형 태양광 발전의 적용방안에 관한 연구

이태규<sup>1</sup> · 김정욱<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>상명대학교 그린에너지연구소 연구원, <sup>2</sup>상명대학교 전기공학과 교수

## A Study on the Application Effect of Building Integrated Solar Power Generation according to the Window Area Ratio of Building

Lee, Tae-Kyu<sup>1</sup> · Kim, Jeong-Uk<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Green Energy Laboratory, Sangmyung University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Electrical Engineering, Sangmyung University, Seoul, Korea

\*Corresponding author: Kim, Jeong-Uk, Tel: +82-2-781-7602, E-mail: jukim@smu.ac.kr

### ABSTRACT

This study aimed at an effective installation method that can satisfy the energy saving and indoor comfort of the building by dividing the building-integrated solar power generation into the external wall fixed solar power generation and the solar power generation installed at the window. As a result, when fixed solar power generation and photovoltaic power generation are installed on the windows, the larger the window area ratio of the outer wall of the building is, the more disadvantageous is energy saving and comfort satisfaction. In conclusion, the optimal experimental model is a model with a window area ratio of 0%. However, considering the architectural elements and the results of previous studies, the realistic optimal model is thought to be close to WWR 60%. In the future, it is judged that additional research is needed in consideration of architectural factors such as aesthetics and structure.

**주요어** : 건물일체형 태양광발전, 태양광 발전량, 건물에너지 요구, 쾌적도, 트랜시스

**Keywords**: BIPV, Solar Power Production, Building Energy Demand, Comfort Ratio, TRNSYS

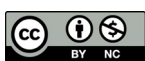
### OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2021 February, 15(1): 1-18  
<https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20210001>

pISSN : 1976-6483  
eISSN : 2586-0666

**Received:** December 4, 2020  
**Revised:** February 10, 2021  
**Accepted:** February 15, 2021

© 2021 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

### 연구의 배경

국내에서는 에너지이용합리화를 위한 저탄소 녹색성장기본법과 신재생에너지 개발, 이용, 보급 촉진법에 의거 에너지 관련 국가 계획을 추진하고 있다. 정부의 에너지 기본계획은 환경 친화적인 에너지 공급을 통해 온실가스 배출 감소를 목표로 하고 있으며 특히, 공공기관 설치 의무화를 통해 에너지사용량의 일정 비율을 신재생에너지로 공급하도록 하는 제도가 대표적이다(Korea Energy Agency, 2020). 신재생에너지 설치의무화 제도는 신재생에너지 설비의

보급, 확산에 기여하고 신재생에너지 공급 기반 조성에 있어 중요한 역할을 담당하고 있다. e-나라지표의 에너지원별 발전량 현황에 따르면 2010년 약 1.7%를 차지하던 신재생에너지원의 비중이 2019년 기준 약 6.5%에 달할 만큼 국내 신재생에너지원 활용이 확대되었음을 판단할 수 있다.

한편, 2019년 기준 신재생에너지의 발전설비 비중은 전체의 약 13%를 차지하고 있으며 에너지원별 분석에 따르면 태양광 발전의 비중이 약 67%를 차지할 만큼 국내에서는 대중적이다. 태양광 발전은 상대적으로 설치가 용이하며 대형 설비를 필요로 하지 않아 기계소음이나 진동이 없으며 전력부하에 효과적으로 대응할 수 있는 이점이 있다. 또한, 수명이 길어 최근 태양광 발전을 활용한 소규모 전력 중개사업과 에너지 프로슈머 계획 등 여러 부가 정책들이 추진되고 있다(Long-term Power Planning Office, 2020). 서울시는 ‘2022 태양의 도시, 서울’ 프로젝트를 시행하여 시민을 대상으로 하는 태양광 보급을 확대해왔다. 100만 가구 태양광 발전 보급을 목표로 시행한 해당 프로젝트는 녹색에너지 산업 육성의 발판을 마련하였으며 2022년 1 GW의 용량을 확보하여 약 544천톤의 온실가스 감축이 예측된다(Environmental Policy Division of Seoul, 2022).

정부의 신재생에너지 보급 지원사업 개편에 따르면 향후 태양광 발전 동향의 변화를 예상할 수 있다. 지금까지 건축물의 지붕이나 옥상에 구조물을 최적각도 30°로 세워 설치하는 옥상 설치형 태양광 발전이 보급됨에 따라 설치 가능한 부지와 공간의 문제가 대두되어왔다(Kim and Kim, 2018). 국내는 지형적 한계로 인해 신재생에너지 계획이 비현실적이라는 지적도 있으며 신재생에너지 3020의 신재생에너지 비율을 20%를 목표를 달성하기 위해서는 서울시 면적의 60%에 달하는 면적을 태양광 발전 시설로 채워야 하는 문제점이 있다(Kim, 2017). 그 해결책 중 하나가 건물일체형 태양광 발전(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)이다. 대표적으로 태양광 발전 모듈을 건축물의 벽면에 부착하는 방식과 건축물의 유리 마감재를 대체할 수 있는 투과형 창호 태양광 발전이 있다. BIPV는 기존 건축물 옥상에 설치했던 태양광 발전 모듈을 건축물 일반 외장재에 부착하는 형태로 설치할 수 있어 건축물의 다양한 공간에 설치가 가능한 장점이 있고 건축물의 외피 디자인에 적용할 수 있는 효용성이 있어 널리 보급되고 있다. 대표적으로 서울시는 최근 BIPV의 보급을 위해 설치비 지원사업을 운영하고 있으며 전국 최초로 시범사업을 추진하였다(Yeo, 2020). 전세계 시장 전망에서도 옥상 설치형 태양광 발전에 비해 설치 공간에 대한 제약이 적은 BIPV에 대한 시장의 성장이 예상되는 것으로 나타났다(Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2019).

BIPV는 설치 공간 확보에 용이할 수 있지만 반대로 건축물 외피 구조에 의존해야 하는 한계점도 있다. 최근 사무용 건축물뿐만 아니라 주거시설과 편의시설 등에도 커튼월 구조의 외피시스템이 적용되면서 건축물의 외피 창면적비(Window to Wall Ratio, WWR)가 증가하는 추세이다. 건축물의 WWR가 증가하게 되면 BIPV를 설치할 수 있는 외피 면적을 확보하기 어렵다(Yoon et al., 2013). 한국전자기술연구원(KETI)에서는 창 면적의 증가에 따른 기존 BIPV의 대안으로 투과형 창호 BIPV를 개발한 사례가 있다. 해당 사례의 투과형 BIPV는 투명한 태양전지를 유리면에 부착하여 창호의 기능과 태양광 모듈의 기능을 동시에 할 수 있는

장점이 있다(Korea Electronic Technologies Institute, 2020). 최근 투과형 BIPV에 대한 연구개발은 건축물 외피의 상당부분을 BIPV 설치에 활용할 수 있게 하며 설치용량 확보에 유리하게 작용하고 있다. 또한, 투과형 창호 BIPV와 기존 외벽에 부착하는 고정식 BIPV는 상호보완적으로 설치할 수 있어 건축물에 태양광 발전 도입 시 그에 대한 설치계획을 적절히 세울 필요가 있을 것으로 생각된다.

### 소결

건축물 옥상에 설치하는 태양광 발전의 부지 문제로 최근 BIPV의 보급이 촉진되어 왔다. 일반 고정식 BIPV는 건축물 외벽에 부착하는 형태로 다양한 공간에 설치 가능하고 외피 디자인으로 활용 가능한 장점이 있지만 건축물의 커튼월 외피시스템이 도입되면서 설치가능 면적이 줄어드는 추세이다. 이에 고정식 BIPV의 대안으로 투과형 창호 BIPV가 개발되면서 태양광 발전 용량 확보가 가능하게 되었다. 건축물의 태양광 발전 설치 시 두 모델의 적절한 설치계획 수립이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 건축물에 BIPV 보급 활성화를 목적으로 고정식 BIPV와 투과형 창호 BIPV를 동시에 고려하는 설치계획의 필요성을 인지하고 건축물에 BIPV를 설치하는 상황을 구현한 시뮬레이션 모델의 에너지 요구량과 생산량 비교를 통해 직접적 관련 요소인 창면적비에 따라 두 가지 BIPV 모델을 적절하게 배치할 수 있도록 하는 방안을 마련하고자 한다.

### 선행연구 고찰

Jung(2020)은 건축물 재생에너지 사용의 의무화와 재생에너지 의무공급에 따라 2025년 기 능성 태양광의 상용화를 예상했다. 특히, 기능성 태양광은 경관과 디자인 조건을 충족할 수 있는 건물일체형 태양광, 창문형 태양광, 태양광 건축외장재 등의 형태가 트렌드로 자리 잡을 것으로 전망했다(Jung, 2020). Shukla et al. (2017)는 BIPV 기술개발에 대한 전반적인 동향을 분석하였다. 대표적인 BIPV 제품을 필름형, 타일형, 모듈형, 창호형, 부착형으로 구분하였고 각 기술별 LCA (Life Cycle Assessment, LCA) 분석을 통해 수익성을 평가하였다. 현재 BIPV 기술은 건축물 외피 어느 부분에도 설치가능한 수준이지만 태양광 발전은 태양 일사량을 일반적으로 최대로 받기 위해 설치되어 옥상에 설치하는 경우가 약 80%에 달한다. 연구결과에 따르면 커튼월과 BIPV 시장은 가장 빠른 성장을 보이는 부문 중 하나이며 향후 기술발달에 따라 고효율, 저비용 그리고 친환경적 효과를 가져올 것이라 예상했고 특히, 건축물의 외피에 설치하는 부착형과 창호형, 필름형의 성장을 전망하고 있다(Shukla et al., 2017). Yun (2018)는 비주거형 고층건물의 제로에너지화를 위한 방안으로 투과형 BIPV 시스템이 바람직한 응용시장이 될 것이라 평가하였다. 비주거용 건축물의 에너지 소비 구성비는 전기 소비량이 70%에 달하며 비주거용 건축물과는 달리 패시브적 기술 도입이 제한적이므로 자연광을 확보하면서 전기를 생산할 수 있는 이점으로 제시하였다. 또한, 제로에너지 건축물의 구현은 BIPV의 고효율화, 컴팩트화, 건물 일체화 기술의 병행이 필요할 것이라 강조하였다(Yoon, 2018).

빠르게 성장하고 있는 BIPV 시장과 향후 BIPV의 트렌드 전망에 따라 본 연구의 결과는 제로에너지건축물의 설계와 재생에너지 의무화 비율 충족을 위한 태양광 발전의 설치계획 수립 시에 고려할 만한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 연구의 범위

본 연구에서는 BIPV의 설치용량에 직접적 영향을 미치는 건축물의 창면적비를 고려하여 벽체에 부착하는 BIPV 모듈과 투과형 창호 BIPV를 도입할 때 시뮬레이션 케이스별 건축물의 에너지 요구량 변화와 태양광 발전량의 비교 분석을 수행하고 두 BIPV 모델의 적절한 설치계획을 연구하였다. 각 시뮬레이션 케이스는 동일한 연면적을 갖는 건축물 모델의 창면적비를 조정하고 그에 따른 두 BIPV 모델의 설치용량과 설치 가능 면적을 산정한다. 또한, 투과형 창호 BIPV 설치 시 건축물 외피 유리의 기능을 동시에 갖고 있어 일반 고정식 BIPV와는 달리 태양 일사에 의한 실내의 열 환경에 영향을 줄 수 있는 것으로 판단하여 각 케이스별 실내 쾌적도 분석을 함께 수행한다.

결론적으로 시뮬레이션 대상 건축물의 최적 설계모델은 에너지 요구량이 가장 적고 BIPV 설치에 따른 에너지 생산량이 가장 많아 제로에너지화에 근접하면서 실내 쾌적도에 대한 영향을 최소화할 수 있는 모델로 결정한다.

## 연구의 방법

### 대상 건축물 상세

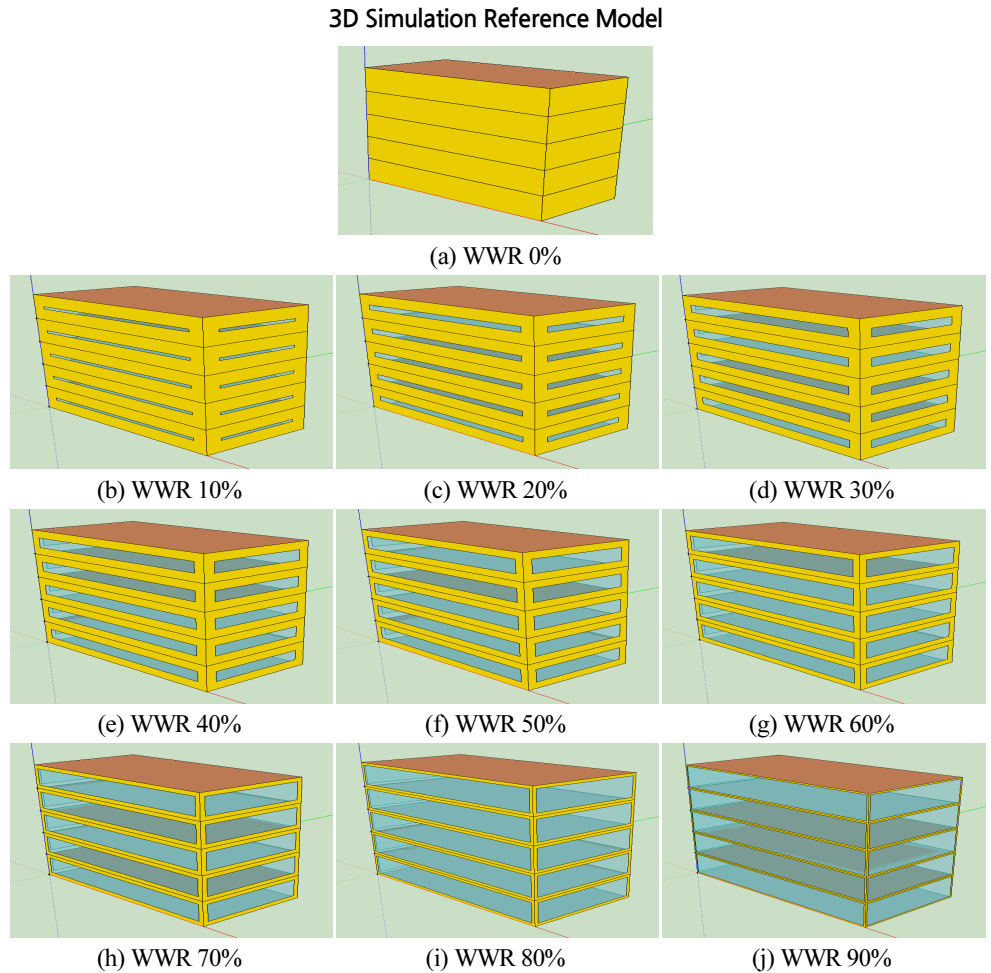
연구에 사용한 건축물 모델은 서울특별시에 위치한 사무 용도의 건축물로 가정하였다. 건축물 3D 모델링 툴인 스케치업 확장을 활용하여 아래 Figure 1과 같이 제작하였다. 건축물의 외피는 커튼월 시스템을 적용하였으며 건축물은 국내 건축물의 에너지 절약 설계기준에 의거 방형의 남향 건축물로 가정하였다. 건축물은 냉난방 공조설비 용량산정 기준 설정온도 난방 시 20°C, 냉방 시 26°C를 유지하도록 하고 북측 입면에는 창호를 설치하지 않는 것으로 하였다(MOLIT, 2018a).

본 건축물은 2025년 제로에너지건축의 의무화가 강화됨에 따라 제로에너지건축물 인증 의무 기준인 연면적 1,000 m<sup>2</sup>를 갖는 5층 사무용 건축물로 가정하였다. 또한, 아래 벽면 구조에 따라 외벽, 내벽, 외기에 직접 면한 천장(옥상), 외기 직접 면한 바닥으로 구분하고 서울특별시의 강화된 열관류율 기준을 적용하였다(MOLIT, 2018b).

창호는 고단열의 로이(Low-Emissivity) 복층창에 아르곤 가스를 주입한 제품을 사용하였다. 상세는 아래 Table 1과 2에 기술하였다. 최대 수용가능 인원은 적정 업무공간 면적기준에 관한 선행연구를 참고하여 공용부를 제외한 각 층 50명으로 산정하였다(Kim et al., 2013)].

창호를 설치하지 않는 기본 모델부터 전체 입면의 면적 대비 0%부터 90%까지 건축물의 창면적비를 조정하여 제작한 총 10개의 모델에 대해 비교 분석하고자 한다. 창면적비 0% 모

텔의 경우 고정식 BIPV의 태양광 발전의 비중이 가장 높고 반면 창면적비 90% 모델은 고정식 BIPV의 설치면적을 최소화, 투과형 BIPV의 설치면적이 최대가 된다.



**Figure 1.** Simulation Reference Buildings

**Table 1.** Wall Properties

Category	Specification	
	Thickness [m]	U-value [ $W/m^2K$ ]
Exterior Wall	0.163	0.260
Interior Wall	0.123	0.360
Roof	0.408	0.150
Ground Floor	0.252	0.220

**Table 2.** Window Properties

Category	Specification	
	U-value [ $W/m^2K$ ]	Solar Heat Gain Coefficient [%]
ClimaGuard (Ar)	1.0	53

## 태양광 발전 모듈 상세

태양광 발전 모듈은 아래 Table 3과 같은 물성값을 갖는 제품을 사용하였다. 건축물의 벽면에 설치하는 BIPV 모듈과 창호에 부착하는 투과형 BIPV 모듈은 비교에 용이하도록 같은 물성값을 갖는 것으로 하며 모듈 개당 요구면적은 2 m<sup>2</sup>이다.

**Table 3.** Specifications of BIPV Module

Category	Specification
Short-circuit current [A]	13.08
Open-circuit voltage [V]	45.72
Voltage at max power point [V]	37.17
Current at max power point [A]	12.1
Temperature coefficient of Isc [A/K]	+0.05
Temperature coefficient of Voc [V/K]	-0.41
The number of cells	48
Cover Emissivity	0.9
Normal Transmittance-Absorptance	0.85

## 시뮬레이션 모델링

TRNSYS 시뮬레이션 모델은 다음과 같은 방법으로 제작하였다. 시뮬레이션을 통해 산출할 수 있는 결과는 대표적으로 연간 태양광 발전량, 건축물의 냉난방에너지 요구량, 실내온도 변화가 있다. 태양광 발전량은 기상데이터의 주변온도, 태양의 고도각, 태양 일사량, 태양일사 입사각, 풍속 등을 입력받아 내부 파라미터인 태양광 모듈의 설치각, 셀의 수 등에 의해 계산된다. 건축물은 실내온도와 외기온도를 매시간 비교하고 실의 설정온도 범위를 벗어나는 경우 냉난방을 가동하는 것으로 한다. 건축물의 연간 냉난방에너지 요구량은 건축물 벽체 및 창의 단열계수, 실내외 온도차, 입면의 면적에 비례하여 산출할 수 있다. 산출결과는 TRNSYS 내 프린터 옵션을 활용하여 저장한다.

## 시뮬레이션 구성모듈

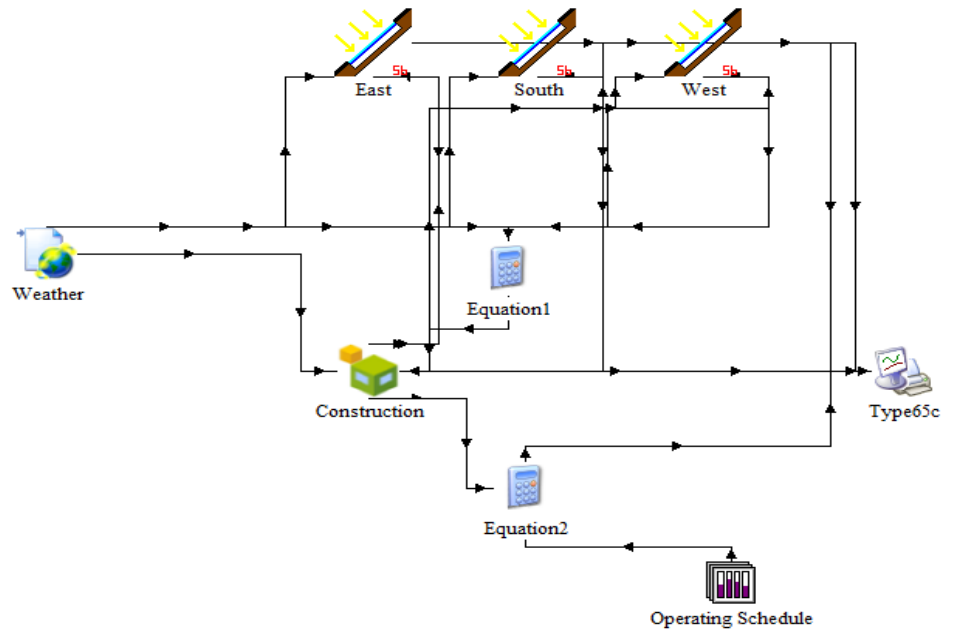
TYPE56은 건축물의 구조, 공조조건, 내부발열 등을 포함한다. 건축물의 운영시간은 일반적인 사무용 건축물과 같이 오전 8시부터 오후 6시이며 고용노동부 사무실 공기관리 지침에 의거 환기횟수는 시간당 4회, 건축물의 기밀성능 기준에 따라 침기 1.5회로 적용하였다 (Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2013). 건축물의 내부발열은 사람의 인체발열과 조명, 전기기기의 발열로 구분하고 건축물 운영시간에 따라 구현하였다.

본 연구에서 사용한 기상데이터는 서울특별시의 기상 측정값을 기반으로 한 TMY2 포맷이다. 표준 TMY (Typical Meteorological Year) 기상자료는 특정 지역의 태양에너지 자원을

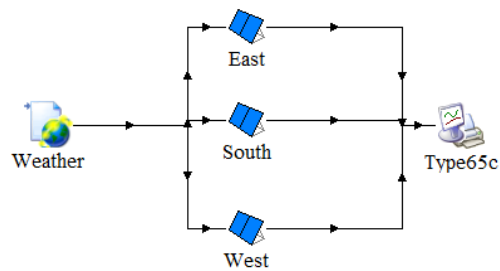
기술한 일반적인 데이터다. TMY 자료는 수년간의 데이터 축적을 활용하여 전체 측정기간 동안의 월 평균값에 가장 가까운 기상데이터를 선택적으로 취합하고 있으며 동적 시뮬레이션에 주로 활용된다(Christiana and Stuart, 2012).

태양광 발전 모듈은 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 기능을 가지며 기상데이터의 일사량 값, 태양광 모듈의 직병렬 회로 수, 설치면적 등을 입력으로 받아 태양광 발전량을 출력한다. TRNSYS 내 벽체 고정형 태양광 발전 모듈은 모듈의 개수, 투과형 창호 BIPV 모듈은 설치면적이 대표적인 변수이다. 시뮬레이션 모델은 아래 Figure 2와 같다. 시뮬레이션 모델은 창호형 BIPV 시뮬레이션 모델과 벽체 고정형 BIPV 시뮬레이션 모델로 구분하여 제시하였다.

태양광 발전 모듈은 설치위치에 따라 발전효율과 발전시간대가 다르므로 동향, 남향, 서향으로 구분하여 설치하는 것으로 구현하고 기상데이터로부터 입력받는 일사량을 건축물 입면의 향에 따라 나누어 각 태양광 발전 모듈의 입력으로 전달한다.



(a) BIPV mounted on the Window



(b) Fixed BIPV

Figure 2. TRNSYS Simulation Models

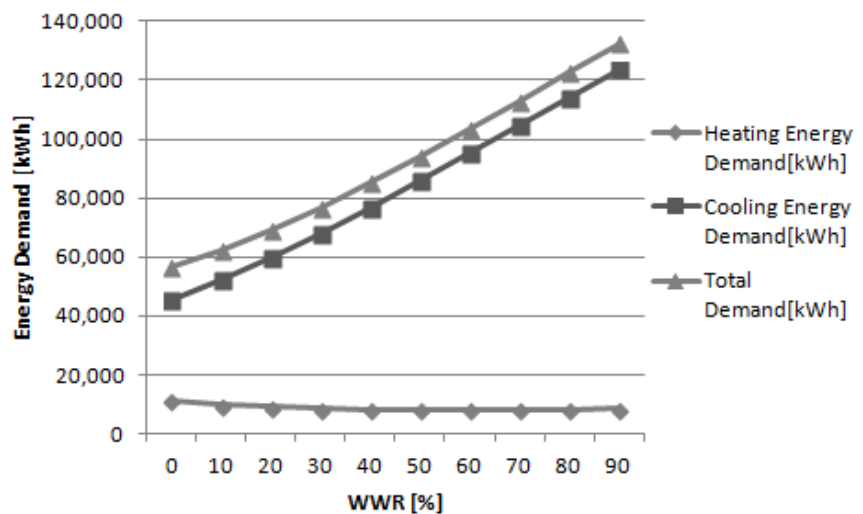
## 연구결과

### 건축물 에너지 요구량 분석

BIPV를 설치하기 전 건축물의 에너지 요구량 분석에서는 아래 Table 4와 같은 결과가 도출되었다. 먼저, 건축물의 난방에너지 요구량의 경우 WWR이 클수록 줄어드는 경향을 보였다. 다만, WWR 60%를 기점으로 다소 상승하였으나 그 차이는 미미한 것으로 보였다. 반면, 냉방에너지 요구량은 여름철 넓은 창으로 유입되는 태양 일사량이 증가함에 따라 냉방부하의 증가로 이어져 WWR이 클수록 냉방에너지의 요구량이 급증하는 것으로 나타났다. 실험 결과에 따르면 연간 총 냉난방에너지 요구량의 경향은 냉방에너지 변화에 의존적인 것으로 나타났다. 변화의 경향은 아래 Figure 3에 표현하였다.

**Table 4.** Annual Energy Demand

WWR	Heating Energy Demand [kWh]	Cooling Energy Demand [kWh]	Total Demand [kWh]
0%	11,240	45,275	56,515
10%	9,992	52,304	62,296
20%	9,169	59,928	69,097
30%	8,660	68,120	76,780
40%	8,367	76,787	85,154
50%	8,230	85,819	94,049
60%	8,211	95,128	103,339
70%	8,277	104,593	112,870
80%	8,410	114,126	122,536
90%	8,595	123,663	132,258



**Figure 3.** Trend of Annual Energy Demand according to increasing WWR



### BIPV 적용에 따른 영향 분석

건축물의 동향, 남향, 서향 입면에 고정식 BIPV를 설치 시 발전량 시뮬레이션 결과는 아래 Table 5와 같다. 고정식 BIPV의 경우 설치 가능면적에 의존하며 WWR이 클수록 사용면적이 줄어 결과적으로 발전량이 적은 특성을 보였고 실험결과 서향의 발전량이 동향에 비해 다소 많은 것으로 나타났다. 특이점으로 고정식 BIPV는 외벽에 부착하는 방식으로 설치하여 본 실험과정에서 일부 시뮬레이션 모델에 대해 약 1 m<sup>2</sup>의 차이로 인한 설치 불가한 경우도 있었다. 해당 사례는 BIPV 모듈의 크기가 클 경우 설치 불가면적이 증가할 것으로 생각되며 투과형 창호 BIPV에 비해 설치면적 확보에 어려움이 있을 것으로 생각된다.

**Table 5.** Annual Power Production (Fixed Solar Power)

WWR	Power Production on the East Slope [kWh]	Power Production on the South Slope [kWh]	Power Production on the West Slope [kWh]	Total Power Production [kWh]
0%	23,380	60,713	24,393	108,486
10%	20,886	54,642	21,791	97,318
20%	18,704	48,570	19,514	86,788
30%	16,210	42,499	16,912	75,621
40%	14,028	36,428	14,636	65,091
50%	11,534	30,356	12,034	53,924
60%	9,352	24,285	9,757	43,394
70%	6,858	18,214	7,155	32,227
80%	4,676	12,143	4,879	21,697
90%	2,182	6,071	2,277	10,530

투과형 창호 BIPV는 태양광 발전량 분석뿐만 아니라 실내에 투과되는 태양일사와 열에너지에 의한 냉난방 에너지 요구 변화와 WWR 조정에 따른 실내 환경변화를 동시에 분석할 필요가 있다.

**Table 6.** Annual Power Production (BIPV mounted on the Window)

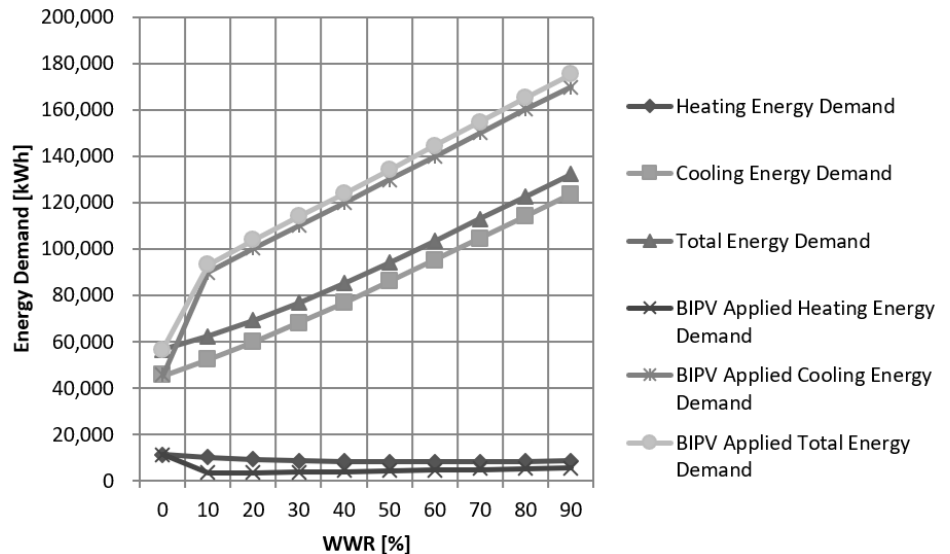
WWR	Power Production on the East Slope [kWh]	Power Production on the South Slope [kWh]	Power Production on the West Slope [kWh]	Total Power Production [kWh]
0%	0	0	0	0
10%	2,589	8,660	2,664	13,913
20%	5,179	17,320	5,327	27,826
30%	7,768	25,980	7,991	41,739
40%	10,358	34,640	10,654	55,652
50%	12,947	43,300	13,318	69,565
60%	15,537	51,959	15,981	83,477
70%	18,126	60,619	18,645	97,390
80%	20,716	69,279	21,308	111,303
90%	23,305	77,939	23,972	125,216

먼저, 정량적인 태양광 발전량 시뮬레이션 결과는 위의 Table 6과 같이 도출되었다. WWR 0% 모델은 유리마감을 하지 않는 모델로 투과형 창호 BIPV 모듈의 설치가 불가하며 나머지 모델에 대한 태양광 발전량은 창호의 비율이 클수록 넓은 면적에 시설이 가능하여 WWR에 비례하여 발전량이 증가하였다.

투과형 창호 BIPV 설치에 따른 건축물의 에너지 요구량 변화는 아래 Table 7과 같았다. BIPV를 설치하지 않은 건축물과 비교 할 때 난방에너지 요구량의 경우 WWR 0% 모델에서 가장 많은 것으로 나타났으며 벽체 대비 창의 면적을 10%만 가산하여도 대폭 줄어드는 것으로 나타났다.

**Table 7.** Annual Energy Demand (BIPV mounted on the Window)

WWR	Heating Energy Demand [kWh]	Cooling Energy Demand [kWh]	Total Demand [kWh]
0%	11,240	45,275	56,515
10%	3,417	89,795	93,212
20%	3,510	100,270	103,780
30%	3,719	110,006	113,725
40%	3,963	119,865	123,828
50%	4,231	129,834	134,065
60%	4,520	139,862	144,382
70%	4,834	149,901	154,735
80%	5,170	159,896	165,066
90%	5,528	169,797	175,325



**Figure 4.** Trend of Changing Annual Energy Demand according to applying BIPV

Figure 4는 WWR에 따른 건축물의 연간 냉난방에너지 변화량을 나타낸 그래프이다. 실험 결과에 따르면 투과형 창호 BIPV 모듈을 설치 후 겨울철 태양 일사의 유입뿐만 아니라 태양

광 모듈의 표면온도와 실내 온도 차에 따른 열에너지의 유입으로 난방에 요구되는 에너지양 변화는 WWR이 클수록 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 반대로 냉방기에는 열에너지의 유입이 냉방부하로 작용하면서 WWR 0% 모델과 비교할 때 나머지 모델에서 냉방에너지 요구는 2배 이상 증가하며 증가 폭 역시 줄어들지 않았다.

### 실내 쾌적도 분석

실내 쾌적도 분석은 실내 공조구역에 대한 쾌적지표(Percent Mean Value, PMV) 값을 활용하여 비교하였다. 쾌적도에 영향을 주는 대표인자는 온도와 기류, 습도, 실내발열, 외기와 열교환 등이 있다. 일반적으로 PMV 지표는 쾌적한 열환경의 범위를 표현하는 데 사용되며 열적 중립상태(PMV=0)를 기준으로  $\pm 0.5$  범위를 쾌적한 것으로 정의한다(ASHRAE, 2010). 본 연구에서는 건축물의 외벽과 창호, 환기, 투과형 창호 BIPV 모듈에 의한 온도, 기류, 습도의 변화를 적용하였고 김포트 값과 내부발열에 의해 활동계수와 착의계수의 변화를 구현하였다.

재실자의 활동과 착의에 관한 기준은 아래 Table 8과 Table 9에서 보이는 바와 같이 ISO 7730 국제표준에 의거 적용하였다. 먼저, 착의계수의 경우 크게 냉방기와 난방기, 간절기로 구분하고 선행연구를 참조하여 월별 착의계수 산정하였다(Ghita and Catalina, 2014).

재실자의 활동계수는 사무용 건축물의 업무 특성을 반영하였고 그 값은 1.0 (Seated, Relaxed) ~ 1.6 (Standing, Light Work)의 범위가 적합한 것으로 판단하여 업무시간 동안의 시나리오를 통해 재실자의 활동을 구현하였다. 상세는 아래 Table 10과 같다.

**Table 8.** ISO 7730 Clothing Factor Data

Clothing Ensemble	Clothing Factor [clo]
Nude	0.0
Shorts	0.1
Light Summer Clothing	0.5
Light Working Ensemble	0.6
Typical Business Suit	1.0
Typical Business Suit + Cotton Coat	1.5
Light Outdoor Sportswear	0.9

**Table 9.** ISO 7730 Metabolic Rate Data

Degree of Activity	Metabolic Rate [met]
Seated, Relaxed	1.0
Seated, Light Work	1.2
Standing, Light Work	1.6
Standing, Moderate Work	2.0
Walking, 2 km/h	1.9
Walking, 3 km/h	2.4
Walking, 4 km/h	2.8

**Table 10.** Clothing and Metabolic Scenario

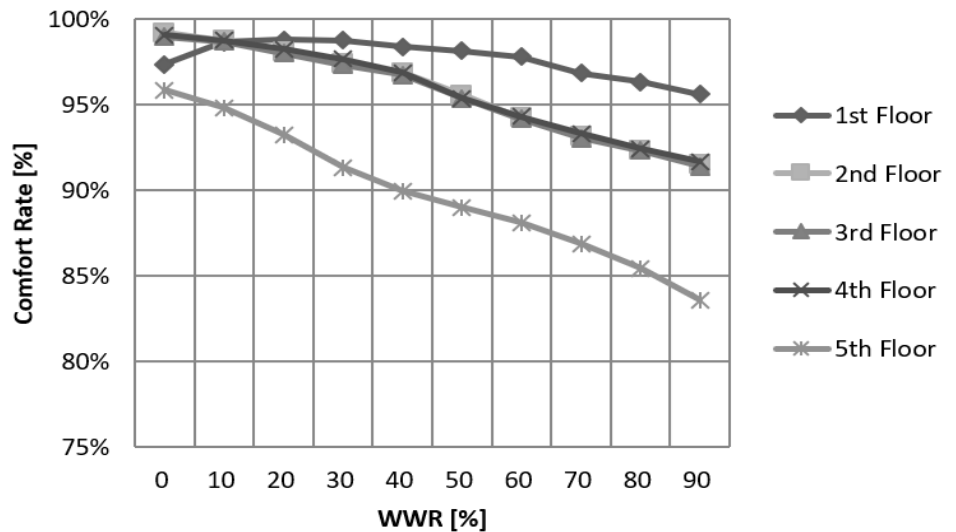
Month	Clothing Factor [clo]	Hour	Metabolic Rate [met]
1	1.6	1	0
		2	0
2	1.5	3	0
		4	0
3	1.4	5	0
		6	0
4	1.0	7	0
		8	1.0
5	0.8	9	1.2
		10	1.2
6	0.7	11	1.2
		12	1.0
7	0.5	13	1.2
		14	1.6
8	0.5	15	1.6
		16	1.2
9	0.7	17	1.2
		18	1.0
10	1.0	19	0
		20	0
11	1.4	21	0
		22	0
12	1.6	23	0
		24	0

먼저, BIPV 설치 전 건축물의 쾌적범위 충족률은 아래 Table 11과 같았다. 건축물의 연간 운영시간(공조운전시간, 재실시간 등)은 1년 8,760시간 중 2,610시간이며 냉난방 설정온도 각 20°C, 26°C 설정 시 WWR 0% 모델은 각 층에서 평균 약 97%를 상회하는 시간동안 쾌적 범위를 만족하였다. 결과적으로 쾌적범위 충족률은 WWR이 0%부터 30%까지의 범위에서 큰 차이를 보이지 않았지만 30% 모델을 기점으로 WWR 증가 시 쾌적범위 충족률은 감소하는 경향을 보였다.

태양광 발전 모듈 설치 후의 결과는 아래 Table 12와 같았다. 투과형 창호 BIPV 모듈을 적용 시 건축물의 WWR 비율이 높아질수록 쾌적범위 충족률은 낮아지는 결과를 보였다. 결과적으로 기존 로이유리를 BIPV로 대체할 시 실내외 열 유입 또는 손실이 크고 단열적 취약한 것으로 보인다. 다만, Figure 5와 6에서 보이는 바와 같이 BIPV 설치 시 WWR 변화에 따른 쾌적범위 충족률의 감소폭은 기존에 비해 소폭 작아지는 결과가 나타났다.

**Table 11.** Annual Comfort Rate according to WWR

WWR	1st Floor	2nd Floor	3rd Floor	4th Floor	5th Floor
0	97.36%	99.20%	98.97%	99.08%	95.86%
10	98.66%	98.77%	98.70%	98.77%	94.83%
20	98.81%	98.08%	98.01%	98.24%	93.26%
30	98.77%	97.39%	97.32%	97.66%	91.34%
40	98.39%	96.90%	96.74%	96.90%	89.96%
50	98.16%	95.59%	95.36%	95.36%	89.00%
60	97.82%	94.25%	94.18%	94.33%	88.12%
70	96.86%	93.14%	93.07%	93.33%	86.90%
80	96.32%	92.38%	92.34%	92.41%	85.44%
90	95.63%	91.53%	91.42%	91.69%	83.60%



**Figure 5.** Annual Comfort Rate according to WWR

**Table 12.** Comfort Ratio with Comfort (BIPV mounted on the Window)

WWR	1st Floor	2nd Floor	3rd Floor	4th Floor	5th Floor
0	97.36%	99.20%	98.97%	99.08%	95.86%
10	97.93%	95.21%	95.02%	95.40%	92.18%
20	97.20%	94.87%	94.87%	95.02%	91.26%
30	96.70%	94.64%	94.64%	94.79%	89.92%
40	96.32%	94.10%	94.10%	94.33%	89.04%
50	95.98%	93.60%	93.60%	93.49%	87.85%
60	95.59%	92.72%	92.72%	92.64%	86.78%
70	94.94%	91.92%	91.80%	92.03%	85.71%
80	94.18%	91.42%	91.46%	91.49%	84.33%
90	93.60%	90.57%	90.50%	90.80%	82.95%

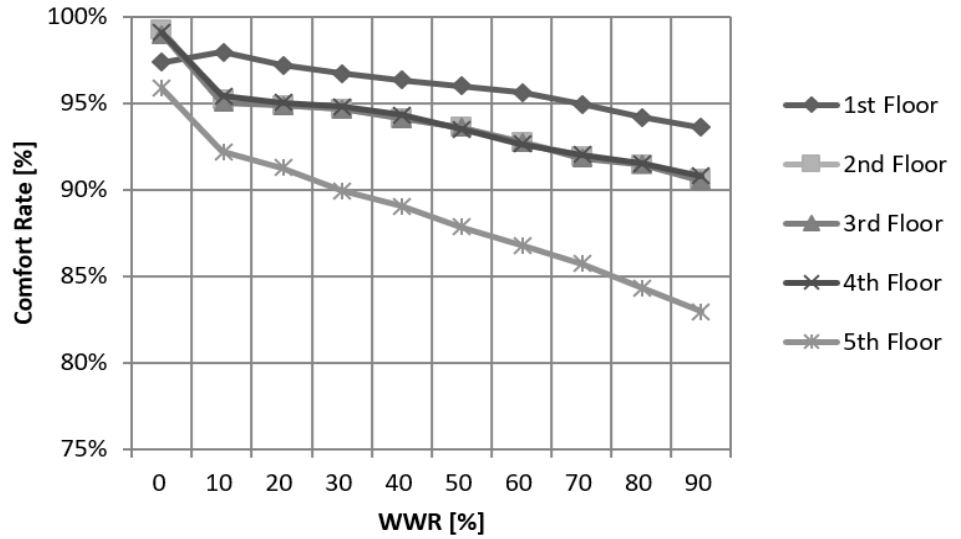


Figure 6. Annual Comfort Rate according to WWR (BIPV mounted on the Window)

창호형 BIPV의 설치 전후 실내 쾌적도의 변화에 대한 시뮬레이션 결과는 아래 Table 13과 같았다. Figure 7에서 보이는 바와 같이 창면적비가 0%인 모델과 10%인 모델을 비교할 때 쾌적도 변화의 폭이 가장 큰 것으로 나타났으며 이후 90% 모델까지는 쾌적도 감소폭이 줄어들었다. 대상 건축물의 각 층별 쾌적도 변화 분석에서는 3, 4, 5층에서 유사한 경향으로 감소폭이 줄었고 특히 1층의 경우 WWR 30% 모델까지 쾌적도가 급격하게 감소하였으나 이후 모델에서는 유지되거나 다소 감소하는 경향을 보였다. 결론적으로 창호형 BIPV를 설치 시 대상 건축물의 쾌적도는 감소하였고 WWR 20% ~ 40% 모델에서 감소 폭이 가장 컸다.

Table 13. Synthesis of Difference in Annual Comfort according to WWR

WWR	1st Floor	2nd Floor	3rd Floor	4th Floor	5th Floor
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	-0.73%	-3.56%	-3.68%	-3.37%	-2.64%
20	-1.61%	-3.22%	-3.14%	-3.22%	-1.99%
30	-2.07%	-2.76%	-2.68%	-2.87%	-1.42%
40	-2.07%	-2.80%	-2.64%	-2.57%	-0.92%
50	-2.18%	-1.99%	-1.76%	-1.88%	-1.15%
60	-2.22%	-1.53%	-1.46%	-1.69%	-1.34%
70	-1.92%	-1.23%	-1.26%	-1.30%	-1.19%
80	-2.15%	-0.96%	-0.88%	-0.92%	-1.11%
90	-2.03%	-0.96%	-0.92%	-0.88%	-0.65%

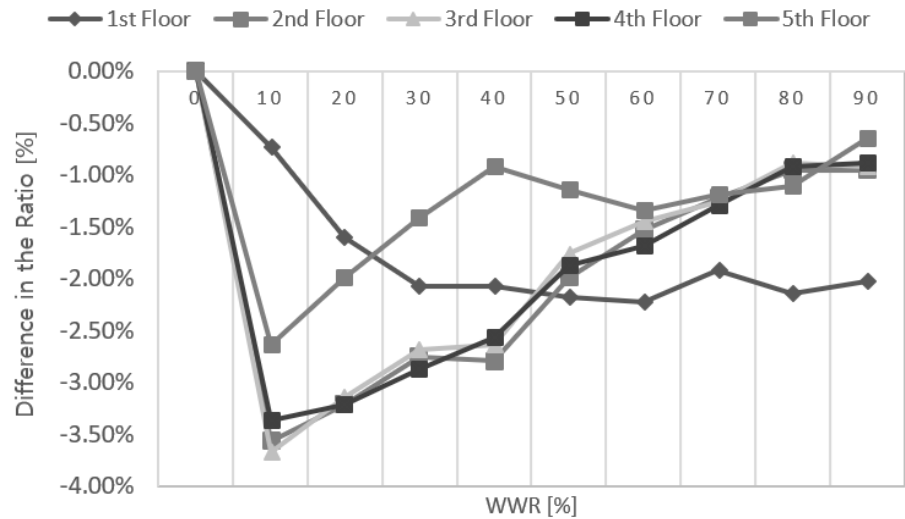


Figure 7. Difference in the Comfort Ratios according to applying BIPV mounted on the Window

### 결과 종합

연간 건축물의 에너지 요구량과 태양광 발전에 의한 에너지 생산량의 비교 결과는 아래 Table 14와 같았다.

종합적으로 WWR의 비율이 높아질수록 건축물의 난방부하 감소보다 냉방부하의 증가폭이 더 큰 결과를 보여 연간 총 냉난방에너지의 요구량은 증가하는 것으로 나타났다. 반면, BIPV 설치에 따른 연간 에너지 생산량은 벽체 고정식 태양광 발전에 비해 투과형 창호 BIPV의 발전효율이 높은 것으로 나타나 WWR이 클수록 발전량이 많은 것으로 나타났다. 결과적으로 실험 대상 건축물에 BIPV 설치 시의 에너지 절감효과는 적게는 77%에서 많게는 192%로 플러스 에너지 건축물을 구현 가능한 것으로 나타났다.

정량적인 수치로 볼 때 WWR이 0%부터 30% 모델에서는 플러스 에너지 효과를 얻을 수 있었고 해석적으로 WWR 0%인 건축물이 제로에너지화와 쾌적도 유지의 측면에서 가장 최적의 모델인 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서 도출된 WWR 0% 모델은 건축적인 요소를 고려할 때 현실적으로 적용하기에 어려운 것으로 판단된다. 향후 건축물의 미관과 구조 등을 고려한 심화연구가 필요할 것으로 생각된다. WWR이 사무용 건축물 내 재실자의 업무 수행 능력에 미치는 영향에 관한 국내 선행연구에 따르면 WWR 60% 모델에서 업무 수행능력이 가장 높은 것으로 평가되었고 또한, 업무의 부담 강도가 가장 낮은 것으로 나타났다(Yeom et al., 2020). 이에 본 연구의 현실적인 최적모델은 선행연구의 최적모델과 동일 범주일 것이라 사료된다.

**Table 14.** Annual Synthesis of Results

WWR	Energy Demand (according to applying BIPV) [kWh]		Power Production (according to applying BIPV) [kWh]			Max. Value of Difference in Comfort Ratios	Net-Energy [kWh]	Saving Rate [%]
	Fixed	Mounted on the Window	Fixed	Mounted on Window	Total			
0%	56,515	56,515	108,486	0	108,486	0%	-51,971	192%
10%	62,296	93,212	97,318	13,913	111,231	-3.68%	-18,019	119%
20%	69,097	103,780	86,788	27,826	114,614	-3.22%	-10,834	110%
30%	76,780	113,725	75,621	41,739	117,360	-2.87%	-3,635	103%
40%	85,154	123,828	65,091	55,652	120,743	-2.80%	3,085	98%
50%	94,049	134,065	53,924	69,565	123,489	-2.18%	10,576	92%
60%	103,339	144,382	43,394	83,477	126,872	-2.22%	17,510	88%
70%	112,870	154,735	32,227	97,390	129,618	-1.92%	25,117	84%
80%	122,536	165,066	21,697	111,303	133,000	-2.15%	32,066	81%
90%	132,258	175,325	10,530	125,216	135,746	-2.03%	39,579	77%

## 결론

본 연구에서는 최근 태양광발전 특히, 건물일체형 태양광 발전의 확대보급을 시행함에 따라 태양광 발전 모듈을 건축물에 시설 시 야기될 수 있는 문제에 대한 해결에 기여하고 또한, 건축물에서 소비되는 에너지의 절감, 실내 쾌적도의 상승 등을 효과적으로 만족할 수 있는 방안을 제시하는 데에 목적을 두었다.

결과적으로 고정식 건물일체형 태양광 발전과 투과형 창호 BIPV 설치를 위한 면적이 확보된 것을 가정할 때 가장 효과적인 설치계획을 세우는 데에 기여할만한 결과를 도출하였다.

연구결과를 미루어 볼 때 WWR이 클수록 건축물의 냉난방에너지 요구량 증가를 야기하며 투과형 창호 BIPV 설치 시 난방에너지 요구량의 절감효과를 보였다. 다만, 냉방에너지 요구량의 증가폭이 커 연간 전체 냉난방에너지 요구량은 증가하였다. 쾌적도의 측면에서도 WWR이 클수록 만족률이 떨어졌으며 투과형 창호 BIPV 설치는 쾌적도를 만족하는데 불리한 것으로 나타났다.

다만, BIPV의 보급은 건축물의 에너지 절감에 효과적인 액티브 기법으로 작용하여 향후 추가적인 연구에서 본 연구의 결과를 활용한 경제성 분석을 통해 보완한다면 제로에너지건축물의 인증과 플러스 에너지 건축물화에 기여할 수 있는 것으로 사료된다.

## 후기

본 연구는 2019년도 한국연구재단 한중협력연구사업의 지원을 받아 수행하였습니다 (2018K2A9A2A06022645).



## References

1. Ghita, S., Catalina, T. (2014). Analysis of Thermal Comfort for a Romania Rural School Using Experimental Measurements and Dynamic Simulations. *57(2)*, 105-115.
2. Jung, W.S. (2020). Revitalization of the Small-scale Solar Industry and Development Plan for the Solar Industry. *Electric Journal*, 21-23.
3. Kim, J.C., Kim, K.N. (2018). Study on the Regional Differences of Optimal Orientation and Tilt Angle for Photovoltaic Systems: Simulations by a System Advisor Model. *New & Renewable Energy*, 14(2), 9-20.
4. Shukla, A.K., Sudhakar, K., Baredar, P. (2017). Recent Advancement in BIPV Product Technologies: A review. *Energy and Buildings*, 140, 88-195.
5. Yeom, S.K., Kim, H.P., Hong, T.H., Lee, M.H. (2020). Determining the Optimal Window Size of Office Buildings considering the Worker's Task Performance and the Building's Energy Consumption. *Building and Environment*, 177, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106872>.
6. Yoon, J.H. (2018). A Review of the Current State of the Domestic Building-integrated Photovoltaic (BIPV) Technology and Proposals for Activation by Sector Solar Energy. *16(2)*, 21-30.
7. Yoon, Y.S., Choi, W.K., Sim, M.H. (2013). A Study on the Characteristics of the Energy Performance in Curtain Wall Building. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 29(7), 255-263.
8. Christiana, H., Stuart, B. (2012). "PV CDROM," Solar Power Labs. Arizona State University, 58-68.
9. Environmental Policy Division of Seoul. (2022). 2022 City of the Sun, Seoul. <https://energy.seoul.go.kr/energy.html>.
10. Kim, H.S. et al. (2013). A Study of Design Guideline for Office Space Standards for Person. Korea Institute of Construction Technology Business Report, 1-6.
11. Korea Energy Agency. (2020). Energy/Climate Change/New and Renewable Energy Policy Trends. KEA Energy Handbook, 3-39.
12. Korea Environmental Industry & Technology Institute. (2019). Solar Power Market Outlook Scenario and Technology Trend. Overseas Report Summary.
13. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems. (2013). Building Airtightness Criteria. *Journal of KIAEBS*, 1st Ed, 1-8.
14. Long-term Power Planning Office. (2020). Power Generation Facility Status in 2019. KPX Report.
15. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018a). Building Energy Saving Design Criteria. Korea Energy Agency Building Energy Office Green Building Center, 881th Ed., 7-20.
16. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018b). Building Energy Saving Design Criteria. Korea Energy Agency Building Energy Office Green Building Center, 881th Ed., 78.

17. Kim, S. M. (2017). The Country Is Narrow for Solar Power Generation and The Wind is Weak for Wind Power Generation. Chosun Ilbo, Press Released, [https://www.chosun.com/site/data/html\\_dir/2017/06/29/2017062900277.html](https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2017/06/29/2017062900277.html).
18. Korea Electronic Technologies Institute. (2020). KETI Develops World-class Window-type High-efficiency Transparent Solar Cell. Daily economy, Press Released, <https://www.mk.co.kr/news/it/view/2020/08/882505/>.
19. Yeo, I.K. (2020). Seoul City supports up to 80% of BIPV Installation Costs. Kharn, Press Released, <http://www.kharn.kr/news/article.html?no=13593>.
20. ASHRAE. (2010). Energy Standard for Buildings except Low-rise Residential Buildings. ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE Standard 90.1.