RESEARCH ARTICLE

3차원 동적 열전달해석 방법론을 이용한 BIPV 시스템의 열전달특성 및 발전성능 분석

정수빈[1] · 김진희[2] · 김준태[3†]

[1]삼우씨엠건축사사무소, 사원
[2]공주대학교 그린에너지기술연구소, 연구교수
[3]공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학대학원, 교수

Analysis of Heat Transfer Characteristics and Electrical Performance of BIPV Systems Using a 3D Thermal Analysis

Jeong Subin[1] · Kim Jinhee[2] · Kim Juntae[3†]

[1]Assistant, SamooCM Architects & Engineers
[2]Research Professor, Green Energy Technology Research Center, Kongju National University
[3]Professor, Dept. of Green Smart Architectural Engineering/Graduate School of Energy Systems Engineering, Kongju National University

[†]Corresponding author: jtkim@kongju.ac.kr

Abstract

A building-integrated photovoltaic (BIPV) system integrates solar modules into the exterior structure of buildings. Particularly, in countries with limited land area and many high-rise buildings, such as Korea, BIPV is a favorable technology for securing building energy production capacity. Herein, a three-dimensional dynamic thermal analysis was conducted on the most widely applied curtain wall-integrated and spandrel-integrated BIPV systems in Korea. The analysis involved deriving the rear temperature of the module to examine the power-generation efficiency and output under actual operating conditions. The power generation efficiency of the curtain wall-integrated BIPV system decreased by a maximum of 4.35% compared with that of the individual modules, whereas it decreased by a maximum of 5.10% for the spandrel-integrated system.

Keywords: 건물일체형태양광(Building integrated photovoltaic), 열전달(Heat transfer), 운용조건(Operating condition), 발전효율(Electrical efficiency), 온도특성(Temperature characteristic)

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.44, No.1, pp.77-88, February 2024
https://doi.org/10.7836/kses.2024.44.1.077

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 29 November 2023

Revised: 27 December 2023

Accepted: 27 December 2023

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.

기호 및 약어 설명

$BIPV$: 건물일체형태양광

η : 발전효율(%)

P : 발전량(Wh)

A : 시험편 면적(m^2)

$\eta_{T,coef}$: 온도-효율 수정계수

$\eta_{T,coef}$: 일사-효율 수정계수

I_T : 모듈 표면 입사 일사량(W/m^2)

$I_{T,ref}$: 표준시험조건 일사량(W/m^2)

T_{PV} : PV 모듈 온도(℃)

T_{ref} : 표준시험조건 모듈 온도(℃)

1. 서론

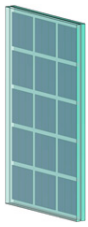
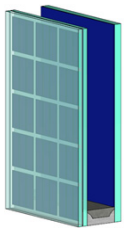
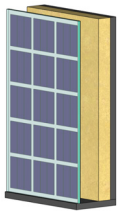
건물일체형태양광발전(Building Integrated Photovoltaic, BIPV) 시스템은 건물 외피에 태양광 모듈을 일체화하는 기술을 말하며[1], 태양광 모듈이 건물 외장재로서 적용되므로 건물 입면에 신재생에너지설비 설치면적을 확보할 수 있어 신재생에너지설비 설치를 위한 추가적인 공간확보가 불필요하다는 강점이 있다[2]. 특히, 국토면적이 좁아 신·재생에너지 설비를 설치할 면적이 적고, 고층건물이 많은 국내 특성상 BIPV는 건물 에너지 생산량 확보 측면에서 유리한 기술이다. BIPV 시스템의 경제적인 설계를 위해서는 BIPV 시스템의 발전량 예측이 필수적이며, 태양광 시스템은 PV 모듈의 온도가 높아짐에 따라 발전효율이 저하되므로, 일사량, 외기온도 등 실제 작동조건에서 PV모듈의 온도를 산출하는 것이 중요하다[3]. 특히 BIPV 시스템은 단위 PV 모듈과 달리 모듈 후면 단열 구성을 포함하며 이에 따른 인한 모듈 온도 상승 및 발전효율 저하의 우려가 있다. 또한, BIPV 시스템은 벽체, 창호 등 특정 건물 구성요소를 대체하므로, 각 구성요소로서 요구되는 열관류율 기준에 따라 단열 구성 및 열전달 특성이 달라진다. 따라서, BIPV 시스템의 발전량을 정확하게 예측하기 위해서는 BIPV 시스템이 대체하는 건물 구성요소의 열관류율 기준을 파악하고 이를 만족하는 단열 구성을 모두 반영하여 열전달 해석을 진행하고 이를 통해 BIPV 모듈 후면 온도를 산출하는 것이 필요하다. 그러나 기존 BIPV 시스템의 단열 구성에 따른 열전달 및 발전성능 분석은 환경조건(일사량, 외기온도, 단열 등)에 따라 1차원적인 열해석을 기반으로 하며, BIPV 시스템 전면적인 온도분포를 고려한 3차원 열전달 해석에 관한 연구는 미비한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 적용되는 커튼월 비전부 및 스팬드럴부 BIPV를 대상으로 3차원 동적 열전달 해석을 진행하였으며, BIPV모듈 후면온도를 산출하여 실제 작동 조건에서의 발전효율 및 발전량을 분석하였다. 또한, 이를 단위모듈과 비교·분석하여 BIPV 시스템의 열전달 특성 및 발전특성을 규명하는 것을 목표로 하였다. 특히, 신뢰성 있는 PV 및 BIPV 모듈 온도 산출을 위해 실제 PV 모듈 샘플의 열전도율을 측정하여 열전달 해석 모델의 Input 데이터로 활용하였으며, 실제 건물 환경을 모사하고, 커튼월 프레임 구조를 포함하여 열전달 시뮬레이션을 수행하였다.

2. BIPV 시스템 구성 및 열전달 특성

BIPV 시스템은 단위모듈과 달리 건물 외장재로서 열관류율 기준을 만족하기 위해 단열을 포함하며, 단열구성은 Table 1과 같이 주로 단열재, 공기층 등으로 구성된다[4]. 또한, 모듈 후면 환기조건이 다르게 적용될 수 있으나, 복층유리 형태로 구성 되어 갇힌 공기가 적용되는 경우 모듈 후면 환기가 불가능하다.

Table 1 Examples of PV and BIPV system configurations

General PV module	Glazing type BIPV system	Insulation type BIPV system
		
G/G(G/B) PV module	BIPV module + Argon gas + Low-e film + Clear glass	BIPV module + Air gap (or ventilated air) + Insulation + Back panel

3. 단위모듈 및 BIPV 시스템 해석모델 설계

3.1 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서는 BIPV 시스템의 열전달 해석을 위해 벨기에 Physibel사의 Voltra 8.1를 사용하였다. 해당 프로그램은 EN ISO 6946[5] 및 EN ISO 10211[6]에 의거한 3차원 동적 열전달 해석 프로그램으로, 시간변화에 따른 기상데이터를 함수로 입력할 수 있고 이에 따른 열전달 해석이 가능하다. 또한, 분석대상의 광학적 특성을 반영하며, 일사 데이터 입력 시 재료의 반사율 및 투과율, 흡수율을 반영한 태양복사 전송 및 이에 따른 열획득을 계산할 수 있다.

3.2 분석 범위 및 해석모델 설계

최근 건물의 에너지 자립률 충족을 위해 BIPV 시스템 도입이 증가하고 있으며, 특히 커튼월 건물 스팬드럴부에 설치되는 사례가 증가하고 있다. 커튼월 시스템은 구조 측면에서 비전부와 스팬드럴부로 분류되며 BIPV 시스템은 비전부와 스팬드럴부에 모두 적용될 수 있으나, 비전부는 창호의 단열 성능 기준을, 스팬드럴부는 벽체 단열 성능을 만족해야하므로 적용 부위에 따라 모듈 후면 단열구성이 달라진다. 따라서, 본 연구에서는 커튼월 비전부 및 스팬드럴부에 적용된 BIPV 시스템을 각각 모델링하여 분석하였으며 세부 구성은 Fig. 1과 같다. 각 해석모델은 일반적인 비전부와 스팬드럴부 적용 형태를 반영하여 남향, 수직설치를 기준으로 모델링 하였다. 이때, 국내 창호 및 커튼월에 적용되는 BIPV 시스템의 80% 이상 G/G (Glass to Glass) PV 모듈이 적용되어 있는 점[7]을 반영하여 모델링 시 G/G PV 모듈을 모사하였으며, 모듈 크기 및 전기적 사양은 Table 2와 같이 설계

하였다. 또한 G/G PV 모듈의 반사율, 흡수율, 투과율, 방사율은 모듈 구성재 각각의 사양을 기준으로 산출하였다. 특히 모듈의 열전도율은 모듈 샘플의 열전도율을 측정하여 입력값에 활용하였으며, 열전도율 측정은 ISO 8301 표준을 기반으로 하는 열류계 HFM 436 Lambda NETZSCH를 사용하였다. 측정된 PV 모듈의 열전도율 및 BIPV시스템 구성재의 사양은 Table 3에 나타내었으며, PV 모듈 이외 구성재의 사양은 프로그램에서 기본적으로 제공하는 데이터(EN ISO 10077-2:2017, EN ISO 10456)를 기준으로 하였다.

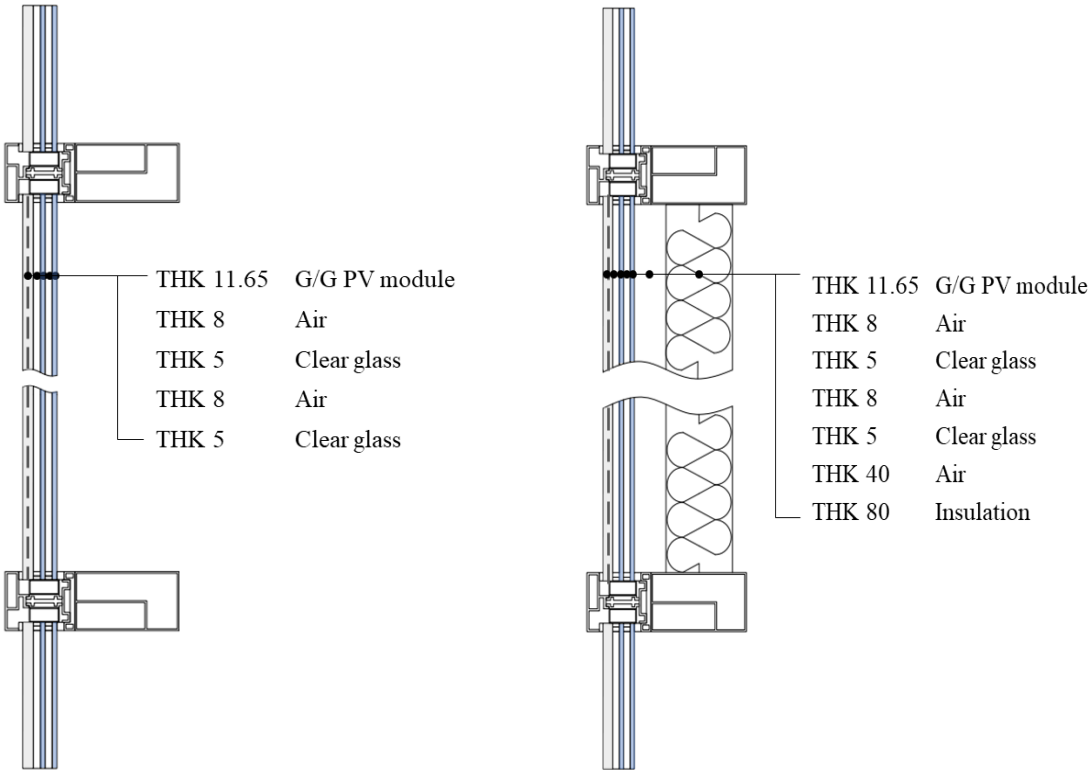


Fig. 1 Sectional view of the vision (left) and spandrel (right) parts of the BIPV system for simulation modeling

Table 2 Specification of the PV and BIPV modules for simulation analysis

Parameter	PV / BIPV module
Cell type (-)	c-Si
Size (m^2)	0.98
Electrical efficiency (%)	19.6
P_{max} (W)	192
V_{mp} (V)	40.4
I_{mp} (A)	9.78
V_{oc} (V)	48.9
I_{sc} (A)	10.27

Table 3 Properties of the BIPV system for simulation analysis

Part of system	Material	Thermal conductivity [W/m · K]	Emissivity [-]	Density [kg/m^2]	Specific heat [J/kg · K]	Reflection [-]	Transparent [-]
Triple glazing window	G/G PV module	0.250	0.84	2277.0	750.0	0.05	0.09
	Low-e glass	1.000	0.06	2500.0	750.0	0.10	0.85
	Clear glass	1.000	0.90	2500.0	750.0	0.08	0.84
	Cavity air (non-vent)	0.024	-	1.3	1006.0	-	-
Frame	Aluminum	160.000	0.90	2800.0	880.0	0.20	-
	Stainless steel	17.000	0.90	7900.0	460.0	0.10	-
	Polyamid nylon	0.250	0.90	1150.0	1600.0	0.10	-
	PVC rigid	0.170	0.90	1390.0	900.0	0.10	-
	Silicon pure	0.350	0.90	1200.0	1000.0	0.10	-
	Natural rubber	0.130	0.90	910.0	1100.0	-	-
Insulation	Insulation	0.032	0.90	1200.0	1000.0	0.10	-

3.3 경계조건

단위 PV 모듈과 BIPV 시스템의 열전달 분석을 위해 각 분석대상의 실내 및 실외의 열전달 저항, 온도, 일사량 유무를 각각 설정하였으며 이를 Table 4에 나타내었다. 여기서, 열전달 저항값과 계절별 실내 냉난방 온도는 건축물 에너지 절약 설계 기준[8]을 반영하였으며 외기온도 및 일사량은 2010 ~ 2017년 대전 TMY데이터를 활용하였다. 또한, PV 모듈이 발전하여 태양광이 전기로 변환되는 점을 고려하여 일사량 데이터에서 PV 모듈의 정격효율을 감한 수정 일사량을 사용하였다.

Table 4 Boundary condition for heat transfer simulation for the PV and the BIPV system

Boundary condition parameter	Simulaition model	Front side of PV/BIPV	Back Side of PV/BIPV	
Convective heat transfer coefficients [m^{2}K/W]	PV module	0.043	0.043	
	BIPV system	0.043	0.11	
Radiation [W]	PV module	Weather data (considered electrical efficiency of PV)	-	
	BIPV system	Weather data (considered electrical efficiency of PV)	-	
Temperature [C]	PV module	Weather data	Weather data	
	BIPV system	Weather data	Heating season (spring, winter)	Cooling season (summer, autumn)
			20	26

4. 분석결과

4.1 열전달 시뮬레이션 결과 분석

열전달 시뮬레이션을 통해 BIPV 시스템의 계절별 PV후면 온도를 도출하였으며, 이때 외기온도가 계절의 평균치에 가깝게 연속되며, 우천 등이 없이 일사량이 일정하게 연속되는 3일을 선정하였다. 선정된 날짜는 봄 3/27 ~ 29, 여름 7/ 4 ~ 6, 가을 9/7 ~ 9, 겨울 2/24 ~ 26이며, 분석대상 날짜 중 수직면 입사 일사량 최대값은 겨울에 약 524 W/m^{2}로 사계절 중 가장 크게 나타났고, 봄에 464 W/m^2, 가을에 422 W/m^2, 여름에 276 W/m^{2}로 나타났다. 이는 BIPV 시스템이 수직으로 설치됨에 따라, 겨울철에 태양고도가 낮아, 모듈로 입사되는 일사량이 가장 크게 나타난 것으로 판단된다.

해당 날짜의 단위 PV모듈, 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템의 PV 모듈 후면 온도를 분석하였으며, 이는 Figs. 2 ~ 9과 같다. 이 중 Figs. 3, 5, 7, 9는 0℃ ~ 55℃ 범위를 기준으로 계절별 BIPV 시스템의 온도분포를 나타낸 것이다. 분석결과, 모든 계절에서 비전부와 스팬드럴부 BIPV 시스템의 모듈 후면 온도는 모두 단위 PV 모듈 후면 온도보다 높게 나타났으며, 단위 PV 모듈과 BIPV 시스템 모두 13시에 온도가 가장 높게 상승하는 것으로 분석되었다. 단위 PV모듈의 후면 최고 온도는 봄에 약 26.9℃, 여름 36.1℃, 가을 35.0℃, 겨울 15.9℃로 확인되었으며, 사계절 중 여름에 온도가 가장 높게 나타났다. 비전부 BIPV 모듈 후면 최고 온도는 봄에 약 44.7℃, 여름 46.0℃, 가을 50.8℃, 겨울 37.6℃로 확인되었으며, 스팬드럴부 BIPV 모듈 후면 최고 온도는 봄에 약 47.0℃, 여름 47.7℃, 가을 53.2℃, 겨울 39.5℃로 나타나 스팬드럴부와 비전부 BIPV 시스템 모두 가을에 후면온도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 이를 통해 단위 PV 모듈과 BIPV 시스템의 열전달 특성이 다름을 알 수 있으며, 각 분석 대상의 모듈 후면온도가 가장 높게 나타나는 13시의 외기온도와 각 모듈 후면온도의 편차를 분석한 결과(Table 5), 세 분석 대상 모두 외기온도와 모듈 후면온도의 편차가 겨울에 가장 크고, 여름에 가장 작은 것으로 분석되었다. 겨울에 외기온도와 PV 모듈 후면온도의 편차가 가장 크게 나타난 것은 일사흡수로 인한 모듈 온도 상승 때문으로 분석된다. 겨울 외기온도와 PV 모듈의 온도차는 단위모듈보다 BIPV 시스템에서 크게 나타났으며, 이는 후면 단열로 인해 일사흡수로 인한 모듈 온도 상승이 단위 PV 모듈보다 크게 나타난 것으로 분석된다. 이와 같이 일사에 의한 모듈 온도 상승폭이 단위 PV모듈보다 BIPV 시스템에서 크기 때문에, 단위 PV모듈은 외기온도가 높은 여름에 모듈 온도가 가장 높은 반면 BIPV 시스템은 태양고도가 낮아 수직면 입사 일사량이 큰 가을에 모듈 온도가 가장 높게 나타나는 것으로 분석된다. 겨울의 경우 수직면 입사 일사량은 사계절 중 가장 높으나, 낮은 외기온도의 영향으로 인해 모듈 후면 온도가 비교적 낮게 나타나는 것으로 분석된다.

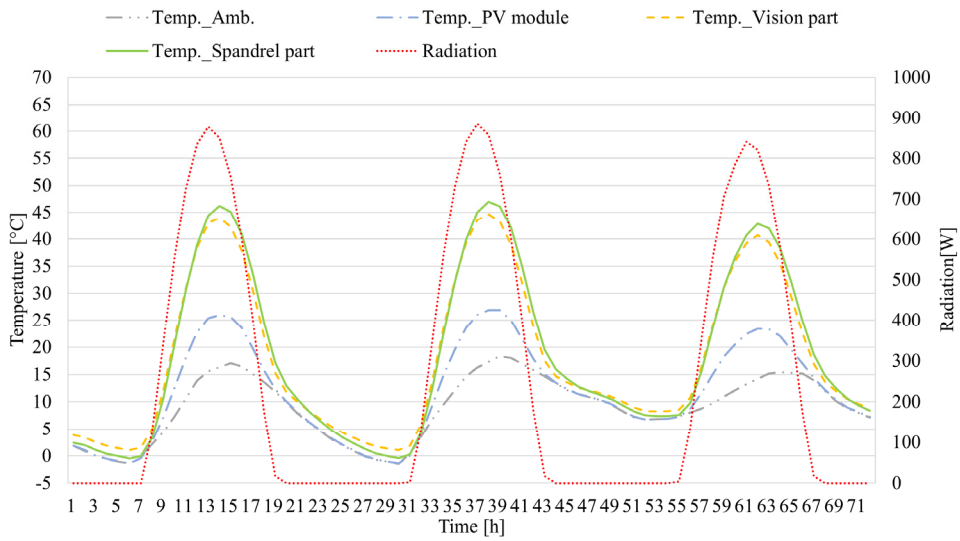


Fig. 2 Temperature variation of the PV and BIPV systems during the spring season

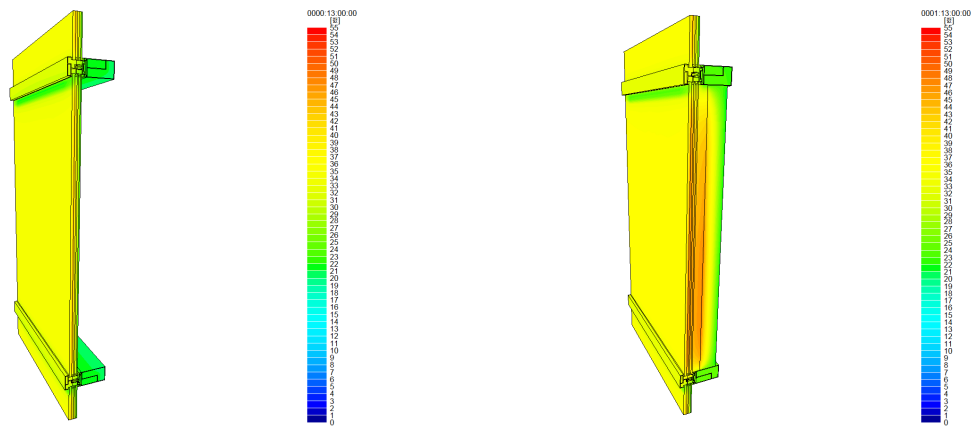


Fig. 3 Temperature distribution of vision and spandrel parts of BIPV system at 13:00 in spring

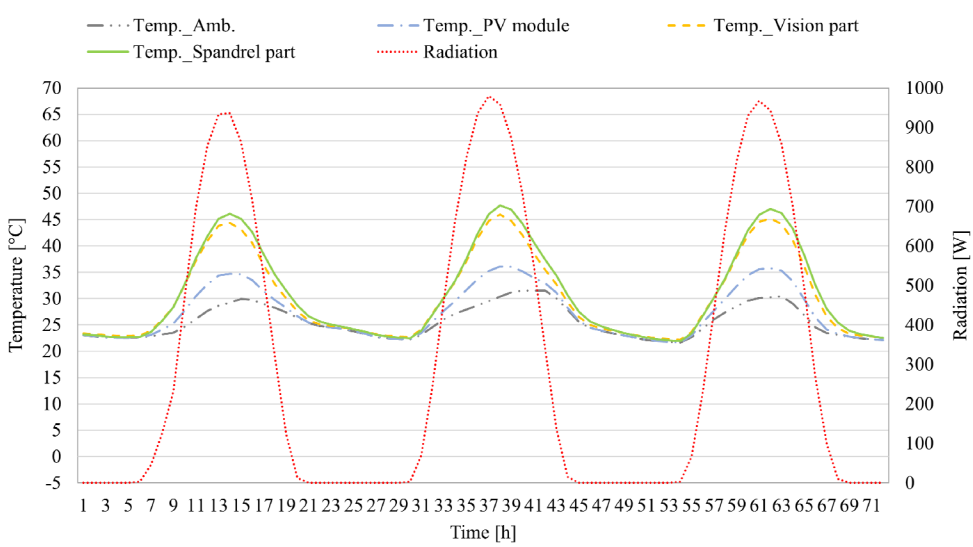


Fig. 4 Temperature variation of the PV and BIPV systems during the summer season

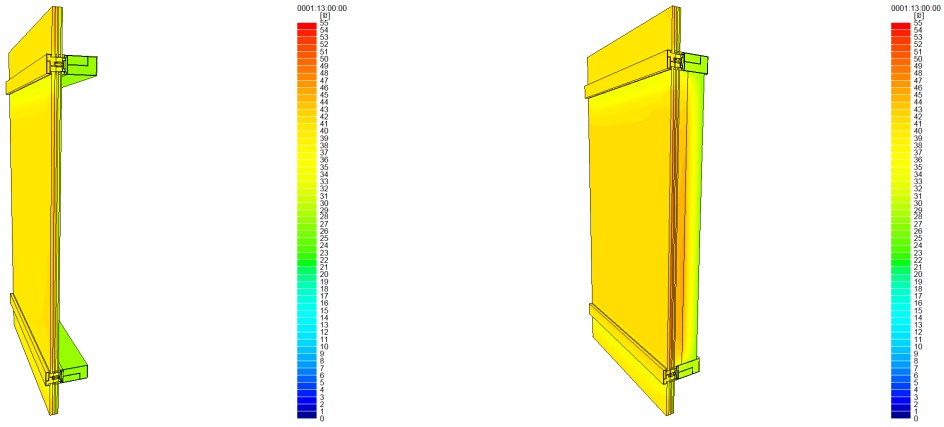


Fig. 5 Temperature distribution of vision and spandrel parts of BIPV system at 13:00 in summer

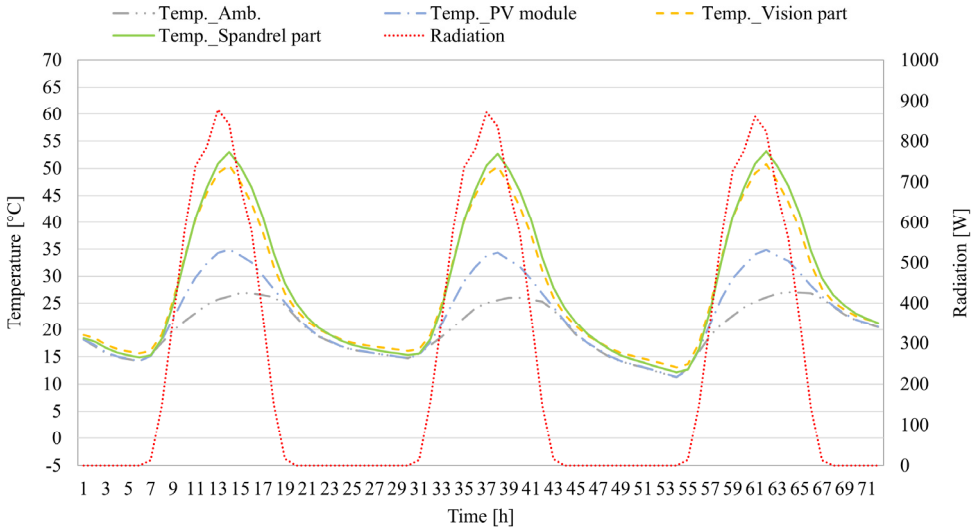


Fig. 6 Temperature variation of the PV and BIPV systems during the autumn season

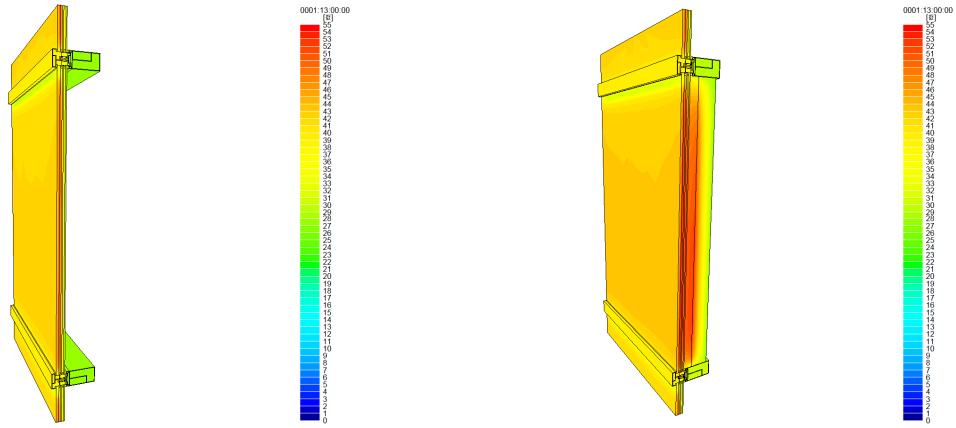


Fig. 7 Temperature distribution of vision and spandrel parts of BIPV system at 13:00 in autumn

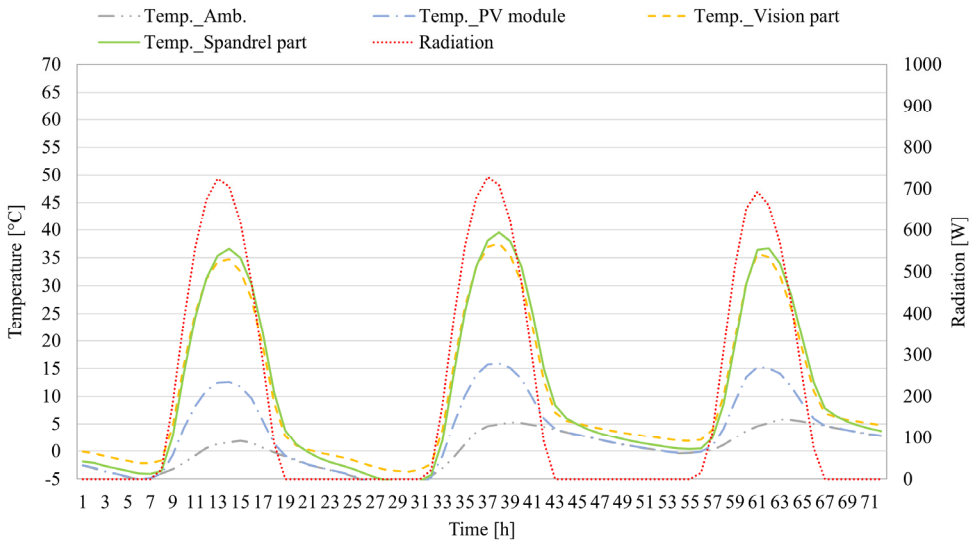


Fig. 8 Temperature variation of the PV and BIPV systems during the winter season

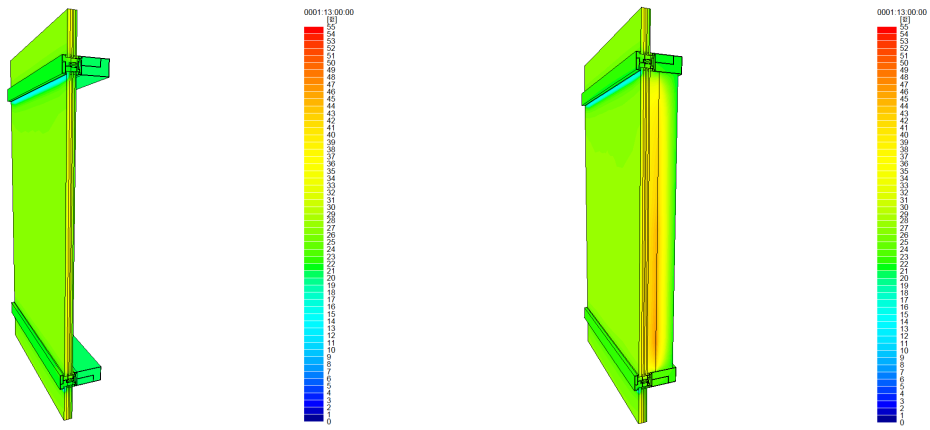


Fig. 9 Temperature distribution of vision and spandrel parts of BIPV system at 13:00 in winter

Table 5 Maximum temperature distance between ambient temperature and each simulation model (ΔT)

Simulaition model	Spring	Summer	Autumn	Winter
PV module	9.63°C	5.75°C	8.81°C	11.01°C
BIPV system Vision part	27.66°C	15.63°C	24.81°C	33.13°C
BIPV system Spandrel part	29.89°C	17.36°C	27.16°C	35.03°C

4.2 발전특성 분석

위와 같이 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템은 단위 PV 모듈에 비해 모든 계절에서 모듈 후면온도가 높게 나타나며 이로 인한 발전효율 및 발전량 저하가 예상된다. 이에 따라 본 연구에서는 열전달 시뮬레이션을 통해 도출한 모듈 후면 온도를 통해 실제 작동조건에서 단위 PV 모듈 및 BIPV 시스템의 계절별 발전효율(η)과 발전

량(P)을 산출하였으며 이때 모듈 후면 온도와 일사량의 영향을 반영하기 위해 온도 및 일사량 보정계수를 사용하였다(식(1), 식(2))[9].

$$\eta = (1+\eta_{T,coef}(T_{PV}-T_{ref}))(1+\eta_{I,coef}(I_T-I_{T,ref}))\eta_{ref} \tag{1}$$

$$P = \eta \times A \times I_T \tag{2}$$

여기서, η은 STC 조건에서 PV 모듈의 발전효율을 의미한다. 또한, $\eta_{T,coef}$는 온도-효율수정계수(Efficiency modifier - Temperature)로서 모듈 온도가 표준시험조건인 25℃보다 높은 경우에 발전효율이 저하되는 특성을 반영하는 계수이며, $\eta_{T,coef}$는 일사-효율 수정계수(Efficiency modifier-Radiaition)로서 표준시험조건인 1,000 W/m^{2}보다 낮은 일사에서 발전효율이 저하되는 특성을 반영하는 계수이다. I_T는 모듈 표면에 입사되는 일사량, $I_{T,ref}$는 표준일사량(1,000 W/m^2)이며, T_{pv}는 PV 모듈 온도, T_{ref}는 표준시험조건 모듈 온도(25℃)이다. 위 수식을 통해 단위 PV 모듈, 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템의 발전효율 및 발전량을 비교·분석하기 위해 발전효율은 3일간의 평균값으로 나타내었으며, 발전량은 3일간의 누적값으로 나타내었다(Fig. 10).

분석결과, BIPV 시스템의 발전효율 및 발전량은 단위 PV 모듈보다 낮은 것으로 나타났으며 특히 스팬드럴부 BIPV 시스템이 비전부 BIPV 시스템보다 모든 계절에서 발전효율 및 발전량이 더 낮은 것으로 분석되었다. 단위 PV 모듈의 발전효율은 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 나타났으며, 겨울에 가장 높고 여름에 가장 낮게 나타났다. BIPV 시스템의 발전효율은 비전부와 스팬드럴부 모두 겨울 > 봄 > 여름 > 가을 순으로 나타났으며, 겨울에 가장 높고 가을에 가장 낮게 나타났다. 겨울은 사계절 중 입사 일사량이 가장 크고 모듈 후면 온도가 가장 낮아 발전효율이 가장 높게 나타난 것으로 분석된다. 가을의 경우 입사 일사량은 여름보다 크지만 모듈 후면 온도가 사계절 중 가장 높아 발전효율이 낮게 나타난 것으로 분석된다. 단위 PV 모듈의 3일 평균 발전효율은 계절에 따라 최저 18.96%, 최고 19.60%로 확인되었으며, 비전부 BIPV 시스템의 발전효율은 계절에 따라 최저 약 18.24%, 최고 19.19%로 나타났다. 또한, 스팬드럴부 BIPV 시스템은 발전효율은 최저 약 18.10%, 최고 19.13%로 나타났다. 단위 PV 모듈과 BIPV 시스템의 발전효율 차이는 가을에 가장 크게 나타났다. 이때 단위 PV 모듈의 발전효율은 19.07%, 비전부 BIPV 시스템의 발전효율은 18.24%로 단위 PV 모듈 대비 4.35% 감소했으며, 스팬드럴부 BIPV 시스템의 발전효율은 18.10%로 단위PV 모듈 대비 5.10% 감소하는 것으로 분석되었다.

단위 PV 모듈과 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템의 누적발전량은 모두 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 나타났으며, 겨울에 가장 크고 여름에 가장 작게 나타났다. 이는 겨울에 입사 일사량이 가장 크고, 여름에 가장 작기 때문으로 분석되며, 봄과 가을 중에서는 비교적 발전효율이 높은 봄에 발전량 또한 높게 나타난 것으로 분석된다. 이때, 각 해석모델의 3일 누적 발전량은, 단위 PV 모듈의 경우 최저 1.03 kWh, 최고 1.87 kWh로 확인되었으며, 비전부 BIPV 시스템의 발전량은 최저 1.00 kWh, 1.81 kWh로 분석되었다. 또한, 스팬드럴부 BIPV 시

스템의 발전량은 최저 0.99 kWh, 최고 1.81 kWh로 나타났다. 단위 PV 모듈과 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템의 발전량 차이는 봄에 가장 크게 나타났으며, 이때 단위 PV 모듈의 발전량은 약 1.79 kWh, 비전부 BIPV 시스템의 발전량은 약 1.69 kWh로 단위 PV 모듈보다 약 5.7% 감소하였다. 또한, 스팬드럴부 BIPV 시스템의 발전량은 약 1.68 kWh로 단위 PV 모듈보다 약 6.4% 감소하는 것으로 분석되었다.

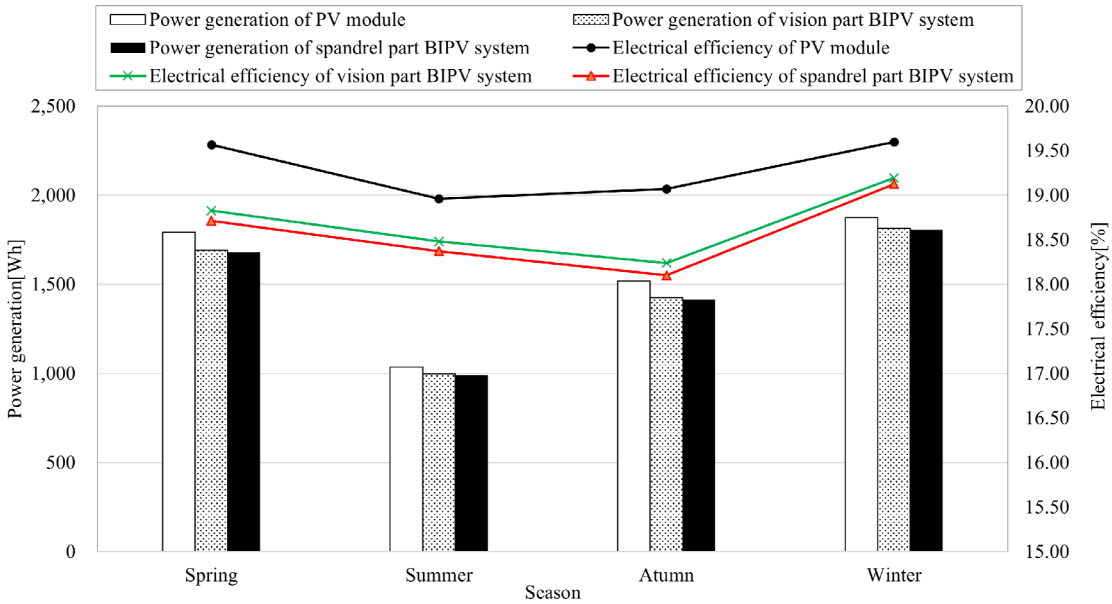


Fig. 10 Average electrical efficiency and accumulated power generation of the PV and BIPV systems over a period of 3 days for each season

5. 결 론

본 연구에서는 커튼월 건물에 적용되는 BIPV 시스템을 대상으로 계절에 따른 3차원 동적 열전달해석을 진행하여 실제 작동조건에서의 모듈 후면온도와 이에 따른 발전효율 및 발전량 저하를 분석하였다. 또한, 이를 단위 PV 모듈과 비교·분석하여 BIPV 시스템의 발전특성을 규명하였으며, 분석결과는 다음과 같다.

- 열전달해석 결과 모든 계절에서 비전부 및 스팬드럴부 BIPV 시스템 모두 단위 PV 모듈보다 후면온도가 높은 것으로 분석되었으며, 이는 BIPV 시스템의 단열 구성으로 인해 단위 PV모듈보다 일사로 인한 모듈 온도 상승이 크게 나타났기 때문인 것으로 분석된다.
- 발전효율 분석결과 모든 계절에서 BIPV 시스템이 단위 PV 모듈보다 낮은 것으로 분석되었으며, BIPV 시스템으로서 적용될 때 단위 PV 모듈 대비 발전효율 측면에서 가장 불리한 계절은 가을인 것으로 분석되었다. 비전부 BIPV 시스템의 발전효율은 단위 PV 모듈 대비 최대 4.35% 감소하였으며, 스팬드럴부의 경우 최대 5.10% 감소하였다.
- 발전량 분석결과 단위PV 모듈과 BIPV 시스템의 발전량 차이는 봄에 가장 크게 나타났다. 이때, 단위 PV모

듈 대비 비전부 BIPV 시스템의 발전량은 약 101.85 Wh 작게 나타났으며, 스팬드럴부는 114.65 Wh 작은 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 G/G BIPV 시스템만을 대상으로 분석을 진행하였다. 또한, 풍향 및 풍속 등 외부 환기 조건에 대한 영향을 고려하지 않았고, 수치해석만으로 발전특성을 도출했다는 한계가 있다. 그러나 BIPV 시스템을 대상으로 3차원 동적 열전달 해석을 진행하였으며 이를 통해 계절별 외부 환경 조건 및 후면 단열 구성에 따른 모듈 후면 온도와 발전성능저하를 도출하였다. 이는 건물 계획 및 설계 단계에서 신재생에너지 설치를 통한 에너지생산량을 예측하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원과, 교육부(MOE)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다(No. 20223B10100020), (NRF-2021R1A2C2092760).

REFERENCES

1. Jhumka, H., Yang, S., Gorse, C., Wilkinson, S., Yang, R., He, B., Prasad, D., and Fiorito, F., Assessing Heat Transfer Characteristics of Building Envelope Deployed BIPV and Resultant Building Energy Consumption in a Tropical Climate, Energy and Buildings, Vol. 298, 113540, 2023.
2. Boafo, F. E., Kim, J. H., Ahn, J. G., Kim, S. M., Kim, J. T., and Zhang, L., Study on Thermal Characteristics and Electrical Performance of a Hybrid Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System Combined with Vacuum Insulation Panel (VIP), Energy and Buildings, Vol. 277, No. 23, 112574, 2022.
3. Kaplanis, S., Kaplani, E., and Kaldellis, J. K., PV Temperature and Performance Prediction in Free-Standing, BIPV and BAPV Incorporating the Effect of Temperature and Inclination on the Heat Transfer Coefficients and the Impact of Wind, Efficiency and Ageing, Renewable Energy, Vol. 181, pp. 235-249, 2022.
4. Yu, G., Yang, H., Luo, D., Cheng, X., and Ansah, M. K., A Review on Developments and Researches of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Windows and Shading Blinds, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 149, 111355, 2021.
5. EN ISO 6946:2017, Building Components and Building Elements-Thermal Resistance and Thermal Transmittance-Calculation Methods, International Organization for Standardization, 2022.
6. EN ISO 10211:2017, Thermal Bridges in Building Construction-Heat Flows and Surface Temperatures-Detailed Calculations, International Organization for Standardization, 2022.
7. Kim, G. J., Lee, S. J., Gang, H. B., and Song, J. H., BIPV System Performance Test Evaluation Technology, The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No. 3, pp. 37-42, 2014.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standard for Energy Conservation in Building, 2023.
9. Stropnik, R. and Stritih, U., Increasing the Efficiency of PV Panel with the Use of PCM, Renewable Energy, Vol. 97, pp. 671-679, 2016, https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.011.