

수평형 태양전지 일체형 창호를 적용한 사무소 건물의 에너지 성능 분석

Analysis on Energy Performance of Office Building with Horizontal Solar Cell integrated Windows

○ 서민채* 박보량** 김아영* 윤지영* 문진우***
 Seo, Min-Chae* Park, Bo-Rang** Kim, A-Young* Yun, Ji-Young* Moon, Jin-Woo***

Abstract

The purpose of this study is to analyze the feasibility of applying Horizontal Solar Cell integrated Windows (HSC-W) to buildings. The heating, cooling, lighting energy consumption and generated electricity of buildings with Low-E windows and HSC-W were compared using computer simulation. As a result, the building with HSC-W consumed 6.24% more energy than the building with Low-E windows, but the amount of generated electricity was higher than that of energy consumption. Therefore, a positive energy building with +19.76% of surplus energy was realized, proving energy-saving benefits and applicability of HSC-W as a building envelope. In future studies, Mock-up experiments will be conducted for verification of the simulation.

키워드 : 수평형 태양전지 일체형 창호, 건물 일체형 태양광 시스템, 건물 에너지, 신재생에너지

Keywords : Horizontal Solar Cell integrated Windows, Building Integrated Photovoltaic System, Building Energy, Renewable Energy

1. 서론

1.1 연구의 목적

전 세계적으로 건물 에너지소비량 절감을 위해 제로에너지건축물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 제로에너지건축물을 구현하기 위해서는 건물의 에너지 효율 개선과 에너지자립률 향상을 위한 신재생에너지 기술 적용이 중요하다. 이에 따라 건물 일체형 태양광 시스템(Building integrated Photovoltaic System, BIPV) 관련 기술을 적용한 건물이 늘어나고 있다.

건물의 BIPV의 설치 비율을 높이기 위해서는 지붕뿐 아니라 입면에도 적극적으로 이용되어야 한다. 특히, 커튼월 구조와 같이 창 면적비(Window-to-Wall Ratio, WWR)가 큰 건물이 증가함에 따라 창호형 BIPV 기술이 관심을 받고 있다. 그러나 기존의 창호형 태양광 패널은 창호의 투명성을 만족하지 못하며, 낮은 가시광선 투과율로 인해 조명 에너지가 증가하는 단점이 있다. 또한, 투명도가 높아질수록 발전 효율이 낮아진다는 한계점이 있다.

최근, 이에 대한 다양한 대안 중 스마트 창호 유형인 수평형 태양전지 일체형 창호(Horizontal Solar Cell integrated Window, HSC-W)가 개발되었다. HSC-W는 창호 내에 수평으로 고효율의 실리콘 태양전지를 배치하여 높은 발전 효율과 창호의 투명도를 모두 만족시킬 수 있는 신개념 창호형 BIPV다. HSC-W의 소재 및 제작 관련 연구는 활발한 편이나, 건물 적용 시 에너지 성능 평가 및 검증에 관한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 현재 개발된 수준에서 HSC-W의 건축 자재로서 적용 가능성을 평가하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션으로 HSC-W를 적용한 사무소 건물의 에너지 성능과 HSC-W의 발전 성능 평가를 실시하였다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 DesignBuilder(Ver. 7.0.2.003)와 Energy


Plus(Ver. 9.4.0)을 이용하여 Low-E 창호와 HSC-W를 각각 건물에 적용해 건물 에너지 성능 평가를 수행하였다. Low-E 창호 적용 건물을 기준 모델로 설정하여 각 건물의 냉방, 난방, 조명 에너지 및 전력 발전량을 산출해 최종 에너지소비량을 비교분석 하였다. 이를 통해 최신 스마트창호인 HSC-W의 건물 적용 가능성을 파악하였다.

2. 입력모델 설정

2.1 대상 건물 모델링

대상 건물은 일반적으로 창 면적비가 큰 사무소로 선정하였다. 대상지는 서울이며, 단일 성능은 2018년 건축물에너지절약설계기준에 따라 설정하였다. (표 1)

표 1. 시뮬레이션 모델 설정

Model Image		
Building Information	Total Floor Area	1,485m ²
	Number of Floors	3F
	Floor Heights	4m
Construction (U-Value)	Ground Floor	0.29W/m ² K
	External Wall	0.24W/m ² K
	Roof	0.15W/m ² K
Exterior Window	WWR	53%
	Window Area	581.1m ²
	PV Area	588.7m ²
System	Heating/Cooling System	Fan Coil Unit
	Heating/Cooling Setpoint Temperature	20°C/26°C
	Heating/Cooling CoP	4.0/4.2
System Schedule	Heating	Jan. - April. Oct. - Dec.
	Cooling	May. - Sep.

* 중앙대 대학원 석사과정

** 중앙대 대학원 전임연구원, 공학박사

*** 중앙대 건축학부 교수, 공학박사

(교신저자 : gilerbert73@cau.ac.kr)

본 연구는 산업통장자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20213091010020)

Lighting	10W/m ²
Dimming Control	Office: 400 lux, Core: 200 lux
Occupant	0.111people/m ²
Office Equipment	11.77W/m ²

2.2 창호 설정

본 연구에서는 기존에 많이 사용되는 Low-E 창호를 기준 모델로 설정하여, HSC-W의 성능 평가를 실시하였다. 각각의 창호의 구성 및 물성치는 (표 2)와 같으며, HSC-W의 발전 효율은 'K' 대학교에서 측정한 피크 발전 효율을 사용하였다. HSC-W에 삽입된 태양전지 시편의 열 및 과학적 특성은 한국건설생활환경시험연구원 (KCL)에서 평가한 시험 성적서 값을 활용하였다.(표 3)

표 2. 창호 유형별 구성 및 물성치, 발전 효율

Type	Glazing Layer	U-Value [W/m ² K]	SHGC	VLT [%]	Peak Generating Efficiency [%]
Low-E	Low-E Clr 6mm + Arg 13mm + Clr 6mm	1.5	0.568	74.5	-
HSC-W	HSC 24mm + Arg 13mm + Clr 3mm	1.5	0.732	81.4	20.52

표 3. HSC-W 시편의 물성치

Type	Value
Thickness[mm]	24
U-Value[W/m ² K]	3.83
VLT[%]	90
Inside/Outside Visible Reflectance[%]	8/7.9
Solar Transmittance[%]	73.3
Inside/Outside Solar Transmittance[%]	7.1/7
Infrared Transmittance[%]	56.9
Inside/Outside Infrared Transmittance[%]	6.2/6.1
SHGC[%]	0.8
SC[%]	0.91
Emissivity[%]	0.84

3. 시뮬레이션 결과 분석

3.1 난방, 냉방, 조명 에너지소비량

창호 유형별 난방, 냉방, 조명 에너지소비량은 (표 4)와 같다. 연간 전체 에너지소비량은 HSC-W 적용 모델이 기준 모델보다 2,460.1kWh(6.24%) 더 높게 나타났다. 난방 에너지소비량은 기준 모델 대비 1,286.7kWh(24.97%) 감소하였고, 냉방 에너지소비량은 3,835.1kWh(20.35%) 증가하였다. 조명 에너지소비량은 기준 모델 대비 88.3kWh(0.57%) 감소하여 미미한 변화를 보였다. 이는 Low-E 창호보다 높은 HSC-W의 SHGC와 VLT로 인해 일사 부하가 늘어난 것이 원인으로 파악된다.

표 4. 창호 유형별 건물의 난방, 냉방, 조명 에너지소비량

Type	Amount of Energy [kWh/yr]			
	Heating	Cooling	Lighting	Total
Low-E	5,190.7	18,845.3	15,406.5	39,442.6
HSC-W	3,904.0	22,680.4	15,318.3	41,902.7

3.2 HSC-W의 발전량

HSC-W의 발전량과 전체 에너지소비량은 (표 5)와 같다. HSC-W의 연간 발전량은 연간 50,181.2kWh로 냉난방 및 조명 에너지를 모두 상쇄하고도 연간 8,278.5kWh의 잉여 에너지가 생산된다. 즉, HSC-W 창 적용 시 플러스에너지 건물이 가능함을 확인하였다.

표 5. HSC-W의 연간 발전량 및 에너지소비량

Type	Amount of Energy [kWh/yr]		
	Power Consumption(A)	Power Generation(B)	Net Energy(A-B)
Low-E	39,442.6	-	39,442.6
HSC-W	41,902.7	50,181.2	-8,278.5

4. 결 론

본 연구는 HSC-W가 건물 외장재로서 적용 가능성을 확인하기 위해 사무소 건물에 HSC-W를 적용하여 건물 에너지소비량을 분석하였다. 그 결과, HSC-W는 Low-E보다 높은 SHGC와 VLT로 인해 난방 및 조명 에너지는 감소하는 효과가 있으나 냉방 에너지가 더 큰 폭으로 증가하여 전체 에너지소비량이 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 HSC-W에서 생산된 연간 전력 발전량이 냉난방 및 조명 에너지소비량보다 높아, 최종 에너지소비량은 기준 모델 대비 현저히 낮은 것으로 산출되었다. 더불어 HSC-W 적용 시 +19.76%의 플러스에너지 건물 구현이 가능함을 확인하였다. 하지만 본 연구에서 HSC-W의 피크 발전효율로 발전량을 산출하였기에, 실제 환경에서의 발전량과는 차이가 있을 수 있는 한계가 있다. 따라서 HSC-W의 실제 건축외장재로써 활용성 판단을 위해 Mock-up 실험을 수행하여 시뮬레이션 결과 검증 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 박보량, 최영재, 김아영, 문진우, 기후대별 솔라사이니지 반투명 태양전지 창호 적용 사무용 건물의 에너지 성능분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 2022.05
- 김남현, 현지연, 최은지, 조혜운, 문진우, DSSC BIPV 창호 적용 업무시설 에너지 성능 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 2021. 05
- 김지혜, 성제은, 김혜기, 박덕준, 김선숙, 건축물의 에너지절약설계기준 강화에 따른 업무용 건물의 에너지성능 개선 효과, 한국건축환경설비학회 논문집, 2020. 02