

투광형 박막 BIPV 창호 적용에 따른 냉난방 및 조명 부하 저감에 관한 연구

A Study on Analysis for Energy Demand of the Heating, Cooling and Lighting in Office Building with Transparent Thin-film a-Si BIPV Window

윤종호* 안영섭** 박장우*** 김빛나****
Yoon, Jong-Ho An, Young-Sub Park, Jang-Woo Kim, Bit-Na

Abstract

The purpose of this study was to analyze the annual energy demand including heating, cooling and lighting according to kind of windows with transparent thin-film a-Si Building Integrated Photovoltaic(a-Si BIPV) for office building. The analysis results of the annual energy demand indicated that the a-si BIPV window was reduced by 8.4% than the clear glazing window. The base model A was combine with a-Si BIPV window area of 67% and clear window area of 33% among the total exterior area. The model B is to be applied with low-e clear glass instead of clear glass of the base model A. The model B was reduced to annual energy demand of 1% more than the model A. Therefore, By using a-si BIPV solar module, the cooling energy demand can be reduced by 53%(3.4MWh) and the heating energy demand can be increase by 58%(2.4MWh) than clear glazing window in office building. Also, Model C applied to the high efficient lighting device to the model B was reduced to annual energy demand of 14.4% more than the Model D applied to the high efficient lighting device to the model A. The Model E applied with daylight dimming control system to the Model C was reduced to annual energy demand of 5.9% more than Model C.

키워드 : 사무소건물, 냉난방, 조명, 투광형 박막 BIPV 창호

Keywords : Office Building, Heating and Cooling, Lighting, Transparent Thin-film a-si Building Integrated Photovoltaic Window

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 정부에서의 신재생에너지 관련 제도 변경(FIT->RPS(2012.12.20.제정)) 및 정부 보조금 축소로 인하여 태양광 시장의 성장이 둔화하고 있다. 또한 태양광 모듈의 생산 단가 하락으로 인한 가격경쟁력 심화로 관련 기업들의 매출이 작아지거나 도산하고 있다. 반면에 건축 시장에서는 사무소 건물의 경우 건물에너지 과소비로 인해서 에너지 저감 및 전력 수급을 위한 방안으로 신재생에너지에 대한 수요가 증가하고 있다. 이에 설계사, 건축주, 기업연구소 등에서는 태양광발전 시스템의 사용 및 연구에 대한 관심이 높아지고 있고, 사무소건물에 적용 가능한 시스템 및 설계

기법 개발을 활발하게 진행하고 있다. 따라서 태양광 시장에서는 건물일체형 태양광발전 시스템이(BIPV, Building Integrated Photovoltaic System) 새로운 틈새시장의 주력으로 예측되고 있다. 하지만 기존의 설계방식을 살펴보면 대부분 건물 옥상에 시스템을 설치해왔는데 옥상의 제한적인 면적으로 인하여 사무소 건물에서 필요로 하는 전력량을 충족할 수가 없다. 특히 국내의 기후에서 사무소 건물은 냉방부하가 많기 때문에 여름철에 시스템의 발전효율이 높아야 한다. 이에 온도특성이 강한 박막 BIPV가 각광을 받고 있다. 박막 BIPV의 온도특성 이외에도 건물에서의 박막 BIPV는 실내로 유입되는 일사를 차단하는 차양의 효과가 있기 때문에 냉방부하를 현저히 줄일 수 있다. 또한 균일한 투광성으로 업무공간에 필요한 조도를 확보할 수 있어서 조명부하를 절감할 수 있다. 하지만 사무소 건물을 대상으로 한 박막 BIPV 적용 조건에 따른 냉난방 및 조명 부하에 대한 연구가 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 실물 크기의 사무소 건물을 대상으로 박막 BIPV 적용 하였으며 이를 바탕으로 평가대상 모델을 수립하여 해석 프로그램을 통해서 일반유리 대비 연간 냉난방 및 조명 부하의 저감량에 대한 데이터를 분석하였고 이를 기초자료로 제공하고자 한다.

* 주저자, 국립한밭대학교 건축공학과 교수, 공학 박사
(jhyoon@hanbat.ac.kr)

** 교신저자, 코오롱글로벌 친환경건축연구소, 전임연구원
(ysan@kolon.com)

*** 국립한밭대학교 대학원 건축공학과, 대학원생
(pjwhole@daum.net)

**** 삼신설계(주) 연구소, 연구원(shinepn@ssei.co.kr)

1.2 연구방법 및 범위

연구의 방법은 실제 박막 BIPV 창호가 적용된 실증건물을 대상으로 동적에너지해석 프로그램인 에너지플러스 (Energy Plus)를 이용하여 건물 부하를 분석하였다. <그림 1>은 본 연구의 흐름을 나타낸 것으로서 실증건물의 조건을 입력 자료로 활용하여 평가모델을 수립하여, 일반 사무소 조건의 기준모델을 기준으로 실제 실증 건물에 적용된 요소 기술에 따른 건물 부하 저감 효과를 분석하였다. 실증 건물에 적용된 요소 기술은 박막 BIPV 창호와 Low-e 창호, 고효율조명이다. 여기에 더해 실제 실증건물에는 적용되지 않았으나 조명제어 시스템 또한 평가 모델에 적용하여 분석을 진행하였다.

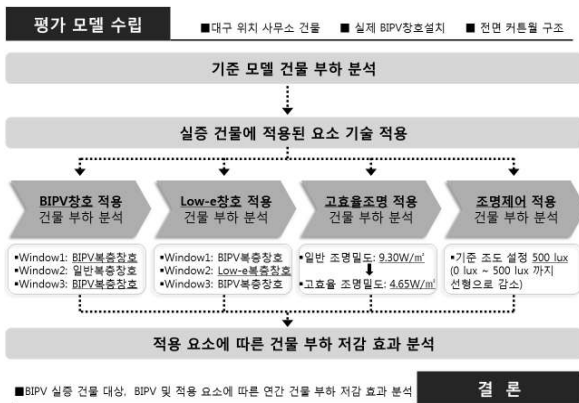


그림 1. 연구의 흐름

2. 평가 모델 수립

본 연구는 가장 먼저 박막 BIPV가 설치될 실증대상 건물을 선정했다. 선정된 건물의 위치는 대구광역시 수성구에 있는 건물이며 1층과 2층은 자동차 전시공간이고 3층부터 5층까지는 업무 공간이다.

표 1. 실증건물 개요

구분	내용	구분	내용
위치	대구시 수성구 황금동	연면적	3,944.23㎡
용도	제 2종 근린생활시설	층수	하1층 지상 5층



그림 2. 실물크기의 평가 대상 모델

실증대상 건물에 적용된 박막 BIPV모듈은 국내 K회사에서 생산한 것으로 정격출력 44W의 성능을 갖는 27mm (Laminated 모듈 10mm + 공기층 12mm + 투명유리 5mm) 복층유리이다. 박막 BIPV는 <그림 2>에서 보는 것과 같이 남쪽과 동쪽 면에 나누어 설계되었다. 남쪽 커튼월 부분에 10.56kW가 설계되었고 동쪽 커튼월 부분에는 4.752kW가 설계되어 총 15.32kW가 설계 되었다. 냉난방 부하와 조명 부하의 운영조건에 따른 소비량을 비교분석하기 위해서 4층의 업무공간을 대상으로 시뮬레이션을 진행하였으며 <그림 3>에 실증 건물의 4층 평면과 시뮬레이션 모델링의 모습을 나타내었다. 실증 건물의 평면을 보면 북측의 North Zone과 서측 외벽과 남측 창면에 면한 West Zone, 남측 창면과 내벽에 둘러싸인 South Zone 그리고 남측 창면과 동측 창면에 면한 East Zone의 4개의 공간으로 나눌 수 있다. 외부에 면한 조건을 최소화하여 박막 BIPV 창호에 의한 에너지 성능 변화를 명확히 분석하기 위해서 분석 대상을 바닥면적 105.47㎡의 South Zone으로 한정했으며, 상부층과 하부 층에 의한 열적 영향을 배제하기 위하여 지붕과 바닥을 단열경계조건으로 지정하였다.

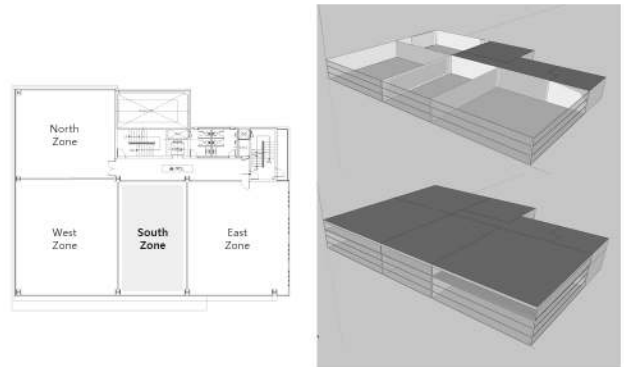


그림 3. 분석 대상 실증건물의 평면도 및 시뮬레이션 모델링

분석모델의 구성은 건물에너지절약설계기준[국토해양부, 2010]에 만족하는 수준 내에서 구성하였으며, 창외의 경우 실제 적용된 일반 투명복층 창호와 박막 BIPV 복층 창호의 물성치를 사용하였다. 내부 발열조건은 <표 2>와 같이 조명은 일반조명과 고효율 조명을 각각 9.30W/㎡ 과 4.65W/㎡, 재실자는 9.3㎡/인, 장비는 7.1W/㎡으로 설정하였다. 난방과 냉방의 설정온도는 난방이 22℃, 냉방이 26℃이며, 주중에는 6시부터 17시까지 토요일과 일요일은 비공조하는 것을 전제로 시뮬레이션을 수행하였다.

표 2. 시뮬레이션 입력 조건

조명 밀도	재실 밀도	장비 밀도	난방설정 온도	냉방설정 온도
일반 9.30W/㎡ 고효율 4.65W/㎡	9.3㎡/인	7.1W/㎡	22℃	26℃

에너지 성능해석을 위한 시뮬레이션 도구인 Energy Plus는 미국 DOE(The U.S Department of Energy)에서 개발된

Energy Plus는 연간 시간별 기상자료를 이용하여 부하계산과 에너지 소비특성을 해석하는 프로그램이다. 건물 및 HVAC 시스템의 통합 시뮬레이션인 Energy Plus는 기존의 시뮬레이션 프로그램인 DOE-2와 BLAST(Building Loads Analysis and System Thermodynamics)의 장점들을 기반으로 하여 여기에 새로운 기능 등을 추가하여 새롭게 만든 프로그램이다. 시뮬레이션 분석은 <표 3>과 같이 4가지 유형으로 나누어 일반투명복층창호와 일반 조명이 적용된 유형을 기준모델로 설정하고 박막 BIPV 창호 적용에 따른 에너지 성능변화, 고효율 조명적용에 따른 에너지 성능변화 그리고 조명제어 적용에 따른 에너지 성능변화와의 비교대상으로 하였다.

표 3. 해석 모델 물성 및 유형

	기준 모델 (A)	BIPV 창호 적용 모델 (B)	Low-e 창호 추가 적용 (C)	고효율 조명 추가 적용 (D)	조명 제어 추가 적용 (E)
U-value	2.707	2.679	1.587	1.587	1.587
SHGC	0.823	0.179	0.325	0.325	0.325
Tvis	0.835	0.057	0.592	0.592	0.592
창	일반 복층	BIPV 복층	BIPV Low-e 복층	BIPV 복층	BIPV 복층
조명	일반 조명	일반 조명	고효율 조명	고효율 조명	고효율 조명
조명제어	X	X	X	X	O

일사획득계수가 낮은 박막 BIPV 창호가 적용된 실제 실증 건물에서의 건물 에너지 성능 변화 분석을 위해 기준모델의 입력조건에서 창 종류를 변경하였다.



그림 5. 일반 복층 창호와 BIPV 복층 창호(좌:남측면, 우:동측면)

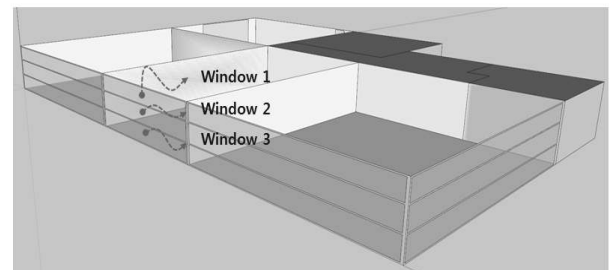


그림 6. 시뮬레이션에서의 창호 구성

3. 에너지성능 분석

3.1 기준모델에 대한 에너지 성능 평가

일반 복층 창호가 적용된 기준모델의 연간 부하를 분석한 결과 <그림 4>와 같이 총 부하는 10,851.4kWh로 나타났으며, 그중 냉방부하가 6,341.8kWh로 전체 부하의 58.4%를 차지하였다. 그 외에 조명부하가 2,781.1kWh로 25.6%, 난방부하가 1,728.4kWh로 15.9%의 비율을 보였다. 기준모델은 4월~11월의 기간 동안 냉방부하가 지배적인 패턴을 갖는 냉방 위주 건물임을 알 수 있다.

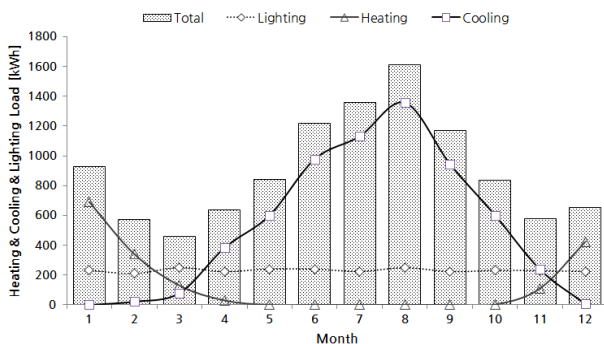


그림 4. 기준모델의 월별 부하

3.2 BIPV창호 적용을 통한 에너지 성능 변화

실제 실증 건물에는 <그림 5>에서 보는 것과 같이 일반 복층창호와 박막 BIPV 창호가 함께 적용되어있다. 따라서

시뮬레이션 모델 상에서의 창은 <그림 6>과 같이 상단부(스펜드럴)의 Window1, 비전 부분의 Window2, 하단부의 Window3로 구성되어 있다. '기준모델'에서는 3개의 창이 모두 일반 복층창호로 구성되었고, 'BIPV 창호 적용모델'에서는 비전 부분인 Window2는 일반 복층 창호, 상·하단 부분인 Window1과 Window3는 BIPV 복층 창호로 구성하였다. 세 번째 'Low-e 창호 추가 모델'은 실제 실증 건물과 같이 Window1과 Window3은 BIPV 복층 창호, Window2는 Low-e 투명 복층 창호로 구성하였다. 3가지 해석 모델을 분석하여 실증 건물의 상·하단 부위의 BIPV 창호와 비전 부분의 Low-e 창호의 두가지 각 요소별 부하저감량을 분석하였다.

표 4. 기준 모델과 BIPV 창호 적용모델의 창호 구성

구분	기준 모델	BIPV 창호 적용모델	Low-e 창호 추가 모델
Window 1	일반 복층	BIPV 복층	BIPV 복층
Window 2	일반 복층	일반 복층	Low-e 투명 복층
Window 3	일반 복층	BIPV 복층	BIPV 복층

박막 BIPV 창호 적용모델의 연간 부하를 분석한 결과 <그림 7>과 같이 전체 부하가 기준모델 대비 8.4% 감소한 것으로 나타났다. 세부 구성 요소별로 비교해 보면 냉방부하는 44.7% 감소한 반면 난방 부하는 52.6% 증가하였다.

하지만 난방 부하의 전체 부하 대비 비율이 냉방부하 대비 크지 않기 때문에 전체 부하는 줄어들었다.

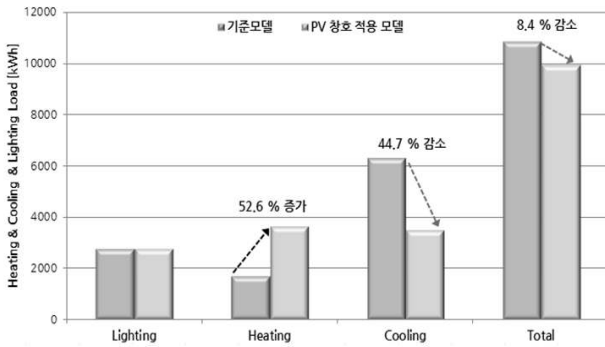


그림 7. 기준모델과 BIPV창호 적용 모델의 냉난방 및 조명 부하 비교

<그림 8>과 <표 5>는 두 모델별 창을 통한 연간 획득 열량을 분석한 것이다. 창을 통한 획득열량은 창을 투과하는 일사 획득열량, 내부 창표면의 대류에 의한 획득열량, 내부 창표면의 장파복사에 의한 획득열량, 창과 프레임의 전도를 통한 획득열량의 합으로 구할 수 있다.

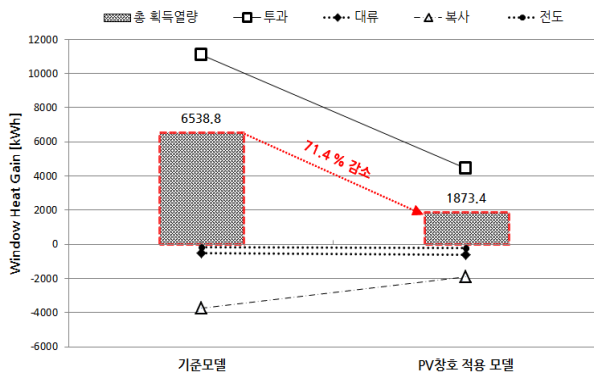


그림 8. 기준모델과 BIPV창호 적용 모델의 창을 통한 연간 획득 열량 비교

표 5. 기준모델과 BIPV창호 적용 모델의 창별 획득열량 상세

구분	투과 [kWh]	대류 [kWh]	복사 [kWh]	전도 [kWh]	합계 [kWh]	
기준 모델	WIN_1	3,413	-197	-1,147	-67	2,000
	WIN_2	3,842	-216	-1,290	-66	2,268
	WIN_3	3,842	-215	-1,290	-66	2,269
합계 [kWh]	11,097	-629	-378	-200	6,538	
BIPV 창호 적용 모델	WIN_1	286	-130	-527	-58	-429
	WIN_2	3,842	-233	-776	-57	2,773
	WIN_3	322	-141	-592	-58	-470
합계 [kWh]	44,51	-505	-1,897	-174	1,873	

분석결과 기준모델 대비 박막 BIPV 창호 적용 모델에서의 획득열량이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 획득열량의 세부 요소를 보게 되면 박막 BIPV 복층 창호 적용으로 투과성분에 의한 획득열량은 급격히 감소한 동시에 복사에

의한 획득열량은 증가하였다. 하지만 총 획득열량은 투과성분의 영향이 지배적이기 때문에 총 71%의 획득 열량 감소를 나타냈다. 기준모델에 박막 BIPV 창호를 적용한 경우 박막 BIPV 창호의 낮은 일사획득계수로 인해 창을 통한 획득열량과 부하의 감소를 분석하였다. <그림 9>는 박막 BIPV 창호 적용에 추가로 비전(vision) 부분인 Window2에 Low-e 창호를 적용하였을 때의 결과 값이다.

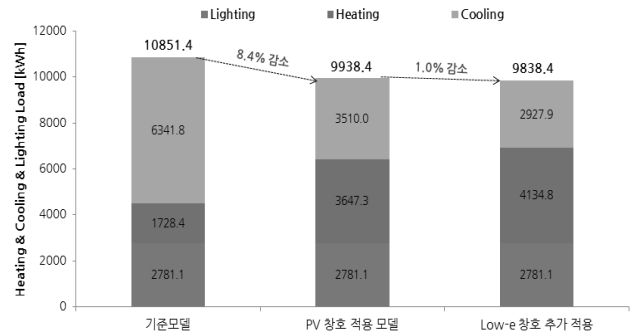


그림 9. BIPV창호 및 Low-e창호 추가 적용에 의한 에너지 성능 분석

Low-e 창호를 추가 적용한 경우 박막 BIPV 창호에 일반 복층창호가 적용된 모델 대비 1.0%의 총부하 저감을 보였다. 세부 부하 종류별 변화량을 보면 냉방 부하는 3,510.0 kWh에서 2,927.9kWh로 16.6% 감소하였으며, 난방부하는 2,781.1kWh에서 4,134.8kWh로 11.8% 증가하였다.

3.3 고효율 조명기기에 따른 에너지 성능 변화

조명밀도 입력값의 계산은 <그림 10>과 같이 진행하였다. 실증건물에 실제 설치되어진 조명기구의 수는 130개로 서, 이를 조명기기 개당 소비 전력과 곱하여 조명의 총 소비전력을 계산한 후 바닥면적으로 나누어서 1㎡ 당 조명밀도를 산출하였다. 실제 건물에 적용된 조명기구는 고효율 조명기구로서 15W/개의 전력을 소비한다. 이때의 조명 밀도는 4.65W/㎡이며, 30W/㎡의 전력을 소비하는 일반 조명기구 설치 시에는 9.30W/㎡의 조명 밀도를 갖는다.

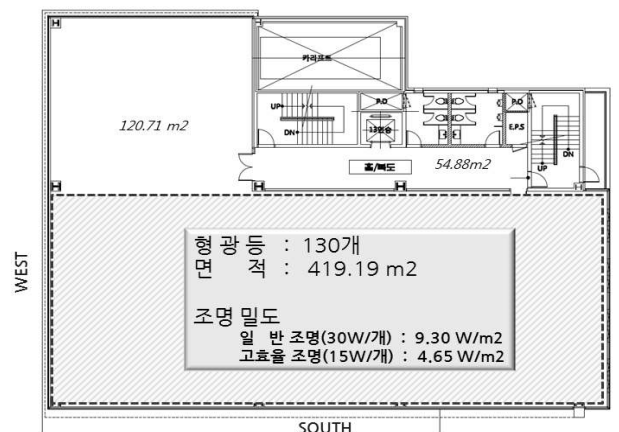


그림 10. 조명밀도 입력값의 계산

실증건물의 조명이 30W/개의 전력을 소비하는 일반조명 기구가 설치되었을 때와 실제 사용된 15W/개의 고효율 조명기구가 설치되었을 때의 에너지 성능을 분석하였고, 전면 커튼월을 통하여 유입되는 자연채광을 활용하여 조명에너지를 저감시킬 수 있는 조명제어 시스템을 적용하여 그에 따른 에너지 성능을 비교해보았다.

조명제어 시스템은 <그림 11>과 같이 창으로부터 3.34m, 10.01m 떨어진 위치에 2개의 감지 센서를 0.85m 높이로 설치하여 조명에너지의 1/2씩 담당하도록 하였다.

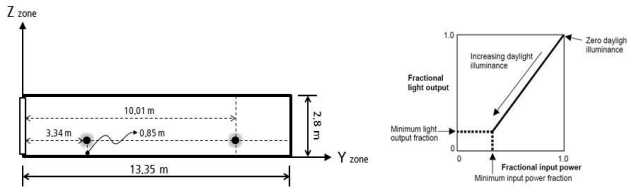


그림 11. 조명제어 감지센서 설치 위치 및 조명제어 방식

조명제어의 방식은 <그림 11>의 우측과 같이 자연채광 증가에 따라 조명에너지가 선형으로 감소하는 Continuous 방식을 적용하였다. 각 센서는 실내조도를 감지하여 0 lux에서 500lux까지 선형으로 감소하며 500 lux 부터는 담당 조명에너지의 20%만 가동하도록 설정하였다. <그림 12>는 고효율 조명의 추가 및 조명제어 시스템의 적용 뿐만 아니라 분석에 적용된 모든 요소에 따른 에너지 성능 변화를 나타낸 그래프이다.

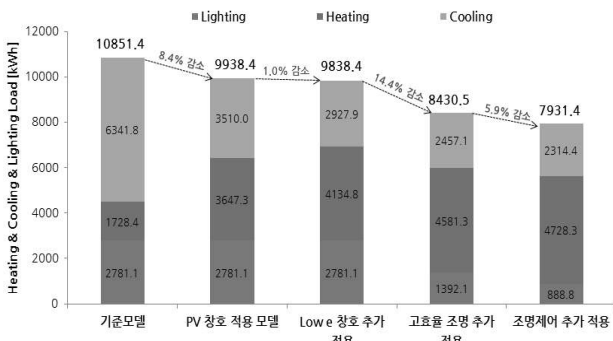


그림 12. 각 요소 적용별 에너지 성능 변화

고효율 조명기구를 추가했을 경우 이전의 Low-e 창호 추가 적용의 경우 대비 14.4%의 총 부하 저감량을 나타냈다. 이때에 세부 부하별 저감량은 조명부하가 2,781.1kWh에서 1,392.1kWh로 49.9% 감소하였고, 냉방부하는 2,927.9kWh에서 2,457.1kWh로 16.1% 감소하였다. 난방부하는 반대로 4,134.8kWh에서 4,581.3kWh로 10.8% 증가하였다. 조명제어 시스템을 적용하였을 경우에는 고효율 조명 추가 적용 대비 총 5.9%의 부하 저감량을 나타냈다. 이 때 조명부하와 냉방부하는 각각 36.2%, 5.8% 감소하였고, 난방부하는 3.2% 증가하였다.

표 6. 각 적용 요소별 기준 모델 대비 조명, 난방, 냉방 및 총 부하 변화 비율

	조명 부하 [kWh]	기준 모델 대비 변화율	난방 부하 [kWh]	기준 모델 대비 변화율	냉방 부하 [kWh]	기준 모델 대비 변화율	총 부하 [kWh]	기준 모델 대비 변화율
기준 모델	2,781	-	1,728	-	6,341	-	10,851	-
BIPV 창호 적용 모델	2,781	-	3,647	111.0%	3,510	-44.7%	9,938	8.4%
Low-e 창호 적용	2,781	-	4,134	28.2%	2,927	-16.6%	9,843	1.0%
고효율 조명 추가 적용	1,392	-48.8%	4,581	25.8%	2,457	-16.1%	8,430	13.0%
조명제어 추가 적용	888	-18.1%	4,728	8.5%	2,314	-5.8%	7,931	4.6%

<표 6>은 각 요소 적용 후 이전 부하와의 변화량을 기준 모델의 조명, 난방, 냉방 및 총 부하에 대한 변화 비율을 나타낸 표이다. 변화 비율의 비교 기준값은 커튼월이 모두 일반 복층창호로 구성되어 있고, 일반 조명이 설치된 기준 모델에서의 부하로 설정하였다. 조명부하의 경우, 고효율 조명을 적용했을 때의 저감량이 기준모델의 조명부하 대비 48.8% 감소하였다. 조명제어 시스템을 적용하였을 때에는 18.1%의 저감 비율을 나타냈다. 난방 부하의 경우, 박막 BIPV창호를 적용했을 때 기준모델에서의 난방부하 대비 111.0% 상승하였고, Low-e 창호를 적용한 경우 28.2%, 고효율 조명을 적용한 경우 25.8%, 그리고 조명제어 시스템을 적용한 경우 8.5%의 부하 증가 비율을 나타냈다. 냉방 부하의 경우에는 박막 BIPV 창호를 적용했을 경우가 44.7% 저감으로 가장 큰 값을 나타냈으며, Low-w 창호 적용 시에는 16.6%, 고효율 조명 적용 시에는 16.1%, 조명제어 시스템 적용 시에는 5.8%의 저감 비율을 나타냈다.

이러한 각 요소 적용별 조명, 난방 및 냉방 부하 변화 비율을 총합하여 총 부하에 대한 변화 비율을 보면, 박막 BIPV 창호 적용 시 8.4%, Low-e창호 적용 시 1.0%, 고효율 조명 적용 시 13.0%, 조명제어 시스템 적용 시 4.6%의 저감 비율을 나타냈다. 이 중 고효율 조명 적용에 의한 저감비율이 13.0%로 가장 크게 나타났다.

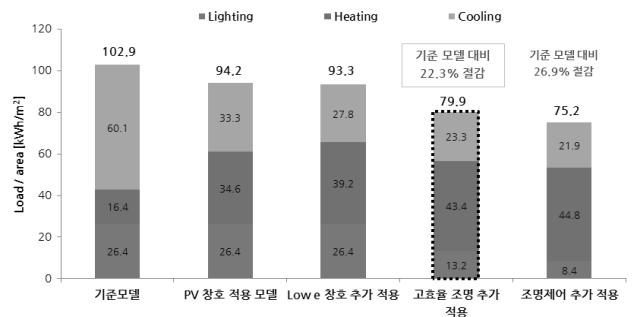


그림 13. 각 요소 적용별 단위면적당 부하

<그림 13>은 순차적인 각 요소 적용에 따른 부하 변화를 해석모델의 바닥면적인 105.47㎡으로 나누어 1㎡ 당 부하로 표시한 것이다. 현재 실제 실증건물에 적용된 BIPV창호, Low-e창호, 고효율조명이 적용된 모델의 경우 일반사무소 조건의 기준모델에서의 부하 대비 22.3%가 저감된 것으로 나타났다. 여기에 조명제어 시스템이 추가될 경우 그 저감 값은 26.9%로 늘어났다.

4. 결론

본 연구에서는 실물크기의 사무소 건물을 대상으로 박막 BIPV 창호의 적용에 따른 연간 냉난방과 조명부하 저감 효과를 정량적으로 분석하였으며 그 분석결과는 다음과 같다.

1) 연간 냉난방 부하를 분석한 결과 박막 BIPV 창호를 적용한 모델이 일반 창호를 적용한 모델 보다 총 8.4%가 감소하였다.

2) 박막 BIPV 창호(67%)과 일반창(33%)이 혼용으로 적용된 창에서 일반창호 대신 Low-e 창호를 적용하였을 때 일반창호를 적용한 모델 보다 Low-e 창호를 적용한 모델이 추가로 총 1.0%의 부하 저감을 보였다.

3) Low-e 유리가 적용된 박막 BIPV 창호에 고효율 조명 기기를 추가한 모델은 Low-e 유리를 적용하지 않은 모델 대비 14.4%의 총 부하 저감량을 나타냈고, 추가적으로 조명 제어시스템을 적용하였을 경우에는 고효율 조명을 추가한 모델 대비 총 5.9%의 부하를 저감하였다.

본 논문은 에너지플러스(EnergyPlus) 프로그램을 이용하여 사무소 건물을 대상으로 박막 BIPV창호의 적용 유무에 따른 냉난방과 조명 부하를 분석한 것이다. 향후 본 연구에서는 실제로 박막 BIPV시스템에서 생산된 전력량과 건물에서 소비하는 전력량의 실측데이터를 바탕으로 통합에너지 성능평가와 경제성 분석을 수행하고자 한다.

사 사

본 연구는 2010년 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2010T100100700)

참고문헌

1. Jong-Ho Yoon, Se-Ra Shim, Young-Sub An, Kwang-Ho Lee, "An Experimental study on the annual surface temperature characteristics of amorphous silicon BIPV window" Energy and Building 62(2013) 166-175
2. Jong-Ho Yoon, Hyo-Jung Kim, Chul-Sung Lee, Se-Ra Sim, "A Study on the Optical and Thermal Performance of a-Si Transparent BIPV Window Depending on the Configuration of Window Components", Journal of the Architectural of Institute of Korea, Oct. 2010, p.345-352
3. Woo-Ram Jeong, Young-Sub An, Jong-Ho Yoon, "The

Empirical Evaluation of Amorphous Silicon BIPV Window adjusted in the Curtain Wall Building at the Visible Environment Aspect", Journal of KIAEBS Autumn Conference, Aug. 2012, p.135-140.

4. Jong-Hwa song, Young-sub An, Soek-Ge Kim, Sung-Jin Lee, Jong-Ho Yoon, Young-Kyoo Choung, "Power Output analysis of Transparent thin-film module in building interated photovoltaic system(BIPV)", Energy and Buildings 40(2008) 2067-2-75
5. Solar&Energy, BIPV Technology and Market outlook(2009 ~ 2015), 2011.03
6. David L. King, William E. Boyson, Jay A. Kratochvil, Photovoltaic Array Performance Model, Photovoltaic System R&D Department Sandia National Laboratories, 2004.08
7. Hangemann, "BIPV in Buildings-The Infulence of BIPV on The Desing and Planning Process of a Building", 1996
8. Thomas Ergel, Lim Chin Haw2., "BIPV IN BUILDINGS FOR MALAYSIA : PROTOTYPE SOLAR HOUSE", 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Convention May 11-18, 2003 Osaka, Japan.

투고(접수)일자: 2012년 6월 5일
 수정일자: (1차) 2013년 6월 24일
 게재확정일자: 2013년 6월 24일