

냉·난방 및 조명에너지를 통합 고려한 DSSC BIPV창호의 사무소건물 적용 효과 연구

심세라*, 윤종호**, 신우철***

*한밭대학교 대학원 건축공학과(simsera1110@naver.com), **한밭대학교 건축학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),
***대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr)

A Study on the Application Effect of DSSC BIPV Window System in Office Building Considering Cooling · Heating · Lighting Energy

*Sim, Se-Ra **Yoon, Jong-Ho ***Shin, U-Cheul

*Dept. of Architecture Eng, Graduate School, Hanbat National University(simsera1110@naver.com),
**Dept. of Architecture Eng, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),
***ept. of Architecture, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr)

Abstract

The aim of this study is to evaluate how much would the building energy consumption be saved by applying DSSC BIPV window which is possible to control the transmittance and express the color in the office building. For this, physical characteristics such as transmittance and reflectance, U-factor of DSSC are analyzed and an annual energy consumption that is connected to dimming control is calculated when DSSC BIPV window is applied by alternate clear window system.

As a result, It is possible to reduce the an annual energy consumption as much as 4.1% by just change the clear double window system to DSSC BIPV double window system because the major factor to reduce energy consumption in the office that has much cooling load than other building is SHGC. When the thermal insulation properties of DSSC BIPV window with low-e coating and making triple window are improved, energy saving ratio is about 9%. Plus, energy saving ratio of 25~28% in lighting energy consumption is possible when the dimming control system with DSSC BIPV window is adopt.

Keywords : 염료감응태양전지(DSSC; Dye Sensitized Solar Cell), 건물일체형 태양광발전(BIPV; Building Integrated Photovoltaic), 건물에너지소비량(Building Energy Cosumption), 조명제어(Dimming Control)

투고일자 : 2011년 5월 2일, 심사일자 : 2011년 5월 13일, 게재확정일자 : 2011년 6월 7일
교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

1. 서 론

염료감응형 태양전지(DSSC)는 기존의 태양전지와는 다르게 색상구현 및 투과율 조절이 가능하고 기존의 실리콘계 태양전지보다 제조단가를 줄일 수 있어, 건물의 창호를 대신하는 BIPV시스템으로 활용될 경우 그 경쟁력이 매우 높아진다고 할 수 있다. 현재 공공 및 상업건물에서 외피재료로서 유리소재의 사용이 증가하고 있는 추세를 볼 때 유리자재를 대체할 수 있는 DSSC BIPV모듈은 그 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

창호형 BIPV모듈은 전기에너지 생산이라는 본래의 기능 외에 창호, 차양 등의 건축외장재를 대체함으로써 건축물에서의 에너지 생산과 재실자들의 쾌적환경에 긍정적인 영향을 미치게 된다. 창호를 통해 유입되는 과도한 일사열 획득을 조절하는 수단으로 창호형 BIPV모듈은 활용될 수 있으며, 투과율 조절을 통해 직사일광을 산란화하여 현회를 방지할 수 있다. 또한 일반 창호에 비해 투과율이 낮은 창호형 BIPV모듈은 인공조명을 통해 일정 조도수준을 충족시켜야만 하는데, 이 때 발생하는 조명으로 인한 열획득 및 조명에너지와의 관계가 고려되어야 할 것이다.

기존의 선행논문에서는 염료감응태양전지의 광학특성[1] 및 빛환경에 대한 시뮬레이션 평가[2],[3]와 실증평가[4] 등의 기초적 연구가 주를 이루고 있는 반면, 염료감응태양전지의 건물적용에 따른 에너지소비량에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. DSSC BIPV창호의 빠른 보급과 상용화를 위해서는 실제 건물에 적용되기 앞서 냉방, 난방, 조명에너지소비량에 대한 통합 예측이 반드시 이루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 DSSC BIPV창호의 사무소 건물 적용효과를 고찰하기 위해 DSSC BIPV창호와 일반창호를 대상으로 제명제어 연동에 따른 연간 냉방, 난방, 조명에너지소비량을 통합 해석하는데 본 연구의 목적이 있다.

1.1 연구방법 및 범위

건축창호를 대체하는 DSSC BIPV창호의 건물 에너지소비량 저감 효과 및 차양 대체효과를 확인하기 위해 사무소건물 기준층에 일반창호와 DSSC BIPV창호를 적용하여 연간 건물에너지소비량을 비교, 평가하였다. 또한 조명제어시스템을 통해 조명에너지저감 및 냉방, 난방에너지소비량에 미치는 영향을 분석하였으며, 해석에는 발전량에 따른 상쇄되는 에너지를 고려하지 않았다. 그림 1은 전체 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.



그림 1. 연구의 흐름도

2. DSSC BIPV창호의 특성

2.1 해석 대상 DSSC BIPV창호의 특성

염료감응태양전지를 창호로써 건물에 적용하기 위해 가장 먼저 선행해야 할 단계는 스펙트럼 영역대별 분광 분석을 통해 창호로써의 기능을 만족하기 위한 광학특성데이터를 도출하는 것이다. 본 연구에서는 녹색계열 DSSC 시편을 대표적으로 파장대 2~2400nm범위에서 분광분석을 실시하였으며, 표 1은 분석결과를 나타낸 것이다. 또한 그림 2는 DSSC 시편을 통해 외부를 바라본 모습이다.



그림 2. DSSC 시편을 통해 외부를 바라본 모습

표 1. DSSC 시편의 광학특성 데이터 결과

태양투과율	가시광선투과율	일사획득계수
0.342	0.288	0.514

분석 결과, DSSC 시편의 스펙트럼영역 전체의 투과율인 태양투과율은 34.2%, 가시광선 영역에서의 투과율은 28.8%로 나타났다. 또한 태양투과율과 투과과정에서 유리에 흡수된 일사에너지가 실내측으로 전도, 복사되는 성분의 영향을 포함하는 개념인 일사획득계수의 경우 0.514로 투과율에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이 결과는 선행연구[5]에서 도출된 값으로, 선행연구에서의 입사각별 입력자료를 본 연구의 시간별 에너지 해석에 적용하였다.

3. DSSC BIPV창호의 건물에너지 소비량 특성

3.1 해석모델 및 시뮬레이션의 개요

해석에는 대전지역 기상데이터를 적용하였으며, 해석도구는 동적에너지해석 프로그램인 Visual DOE-4.0을 사용하였다[6]. 해석모델은 그림 3과 같은 정방형의 사무소건물 기준층으로 가정하였으며, 바닥면적 900㎡, 층고 3.6m, 벽면적 대비 창면적비가 80%인 커튼월 구조이다. 또한 DSSC BIPV창호는 북측을 제외한 동, 서, 남측 전면에 설치하는 것으로 하였다.

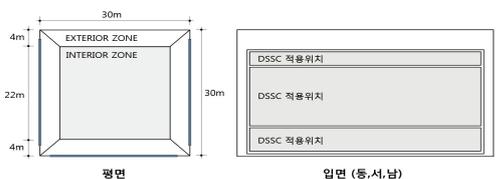


그림 3. 해석모델의 평면 및 입면

외주부와 내주부는 열적 거동이 상이하기 때문에 표 2와 같이 외주부의 공조는 팬코일 유닛(FCU), 내주부는 변풍량시스템(VAV system)이 담당하도록 가정하였다. 실내 설

정온도는 난방 22℃, 냉방 24℃이며, 건물 재실시간은 주중(주말 제외) 오전 8시부터 오후 6시까지로 재실시간동안 제어 시스템이 운영 되도록 가정하였다. 표 3은 해석모델의 내부 발열요소를 나타낸 것이며, 적용된 벽체 및 창호의 개요는 각각 표 4, 5와 같다.

표 2. 시스템 개요

	외주부	내주부	
시스템	FCU	VAV	
체적(㎡)	1,248	1,452	
냉각코일 공급온도(℃)	12.8	12.8	
가열코일 공급온도(℃)	40	12.8	
제열코일(ΔT℃)	-	30	
이코노마이저(℃)	-	최소	12.8
		최대	RA온도

표 3. 내부발열요소

인체	조명 ¹⁾	기기
10㎡/person (현열65W/인, 잠열54W/인)	20W/㎡	22W/㎡

표 4. 해석모델의 외벽 물성

구성	재료	두께(mm)	열전도율(W/m·K)	밀도(kg/㎡)	비열(J/kg·K)	열관류율(W/㎡·K)
1	화강석	30	2.9	2,650	900	0.504
2	단열재	60	0.03	25	1,000	
3	중량콘크리트	50	1.4	2,100	653	
4	시멘트모르타	10	0.88	1,200	1,000	

표 5. 적용된 창호의 광학 및 열 특성

		Tsol	Tvis	SHGC	U-Factor(W/㎡·K)	출처
일반 Glazing	복층	0.657	0.808	0.736	2.722	window 6 Library
	삼중	0.560	0.739	0.665	1.723	
	로이복층(emis.2.7%)	0.329	0.697	0.454	1.649	
	로이삼중(emis.2.7%)	0.279	0.635	0.375	1.165	
DSSC BIPV Glazing	복층	0.277	0.260	0.394	2.725	측정 및 window 6 Library
	삼중	0.237	0.237	0.336	1.724	
	로이복층(emis.2.7%)	0.140	0.224	0.243	1.649	
	로이삼중(emis.2.7%)	0.119	0.204	0.195	1.166	
Frame	Aluminum Thermal Break	-	-	-	1.245	DOE-4.1 library

1) 미국 ASHRAE 90.1의 기준인 18.5W/㎡ 및 오염환 외, 사무소건물 층수 증가에 따른 BIPV 발전량과 건물에너지소비량 저감에 관한 연구, 한국태양에너지학회 2011.04

3.2 DSSC BIPV창호의 냉방/난방 및 조명에너지 소비량 절감 효과 분석

일반창호를 대체하여 DSSC BIPV창호를 적용할 경우 냉방/난방/조명에너지 소비절감량을 평가하기 위해 일반창호 4가지 종류와 DSSC BIPV창호 4가지 종류에 대하여 연간 에너지소비량을 평가하였다.

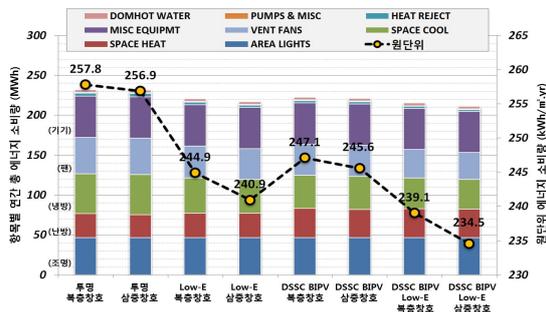


그림 4. 창호종류별 연간 에너지소비량 및 원단위에너지소비량 (조명제어 전)

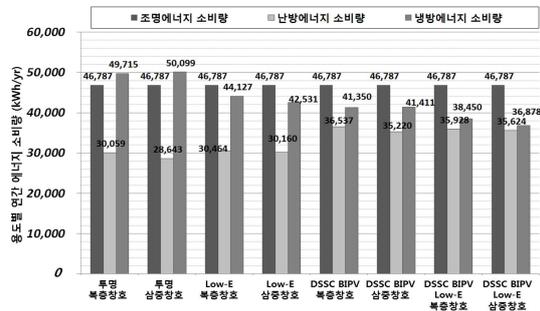


그림 5. 창호종류별 연간 조명/난방/냉방에너지 소비량 (조명 제어 전)

그림 4에 나타난 바와 같이 기준 모델의 연간 총 에너지소비량을 분석한 결과, 일반 복층창호를 삼중창호로 대체할 경우 연간 총 에너지소비량에는 큰 차이를 나타내지 않지만, 복층 및 삼중창호에 로이코팅을 적용한 경우에는 각각 약 5.0%, 6.5%의 에너지 절감율을 보이는 것으로 나타났다. 이 중 일반 삼중창호와 로이 복층창호의 경우 단열성능에는 큰 차이가 없지만 원단위에너지소비량에서 차이

가 나는 것은 열관류율보다 일사획득계수의 영향이 더 크기 때문으로 판단된다.

일반복층창호를 DSSC BIPV복층창호로 대체할 경우 원단위에너지소비량이 10.7kWh/m²·yr가 저감되어 설치만으로도 약 4.1% 에너지저감효과가 있으며, 특히 DSSC BIPV삼중창호의 경우 로이 복층창호를 적용한 경우의 효과와 상응하는 수준인 것으로 나타났다. 또한 일반복층창호를 DSSC BIPV 삼중 로이창호로 대체할 경우 원단위에너지소비량이 23.3kWh/m²·yr가 저감되어 약 9%의 에너지절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

그림 5에서 알 수 있듯이, DSSC BIPV창호도 일반창호와 같이 단열성능보다는 일사획득계수가 연간 에너지소비량에 지배적인 영향 요소로 작용하였으며, 특히 DSSC BIPV창호의 일사획득계수가 일반창호보다 낮기 때문에 난방에너지소비량은 증가한 반면 냉방은 크게 감소되어 냉방부하가 큰 사무소건물 적용에 더 유리한 것으로 나타났다.

3.3 조명제어를 통한 냉방/난방/조명에너지 절감효과 분석

DSSC BIPV창호는 일반투명창호보다 가시광선투과율이 작기 때문에 조명장치의 사용패턴이 일반창호와와는 달라지게 된다. 따라서 조명제어(Dimming Control)를 통해 실내조도 수준이 500lux²⁾이상(작업면 기준)이 되면조명밀도를 감소시키도록 설정하였다. 또한 표 6과 같이 DSSC BIPV창호에 조명제어방식을 달리하고, 제어 전과 후의 조명에너지사용량을 비교하여 최적의 조명제어방식을 선정하였으며, 이를 바탕으로 창호 종류별 냉방/난방/조명에너지소비량을 평가하였다.

표 7은 조명제어 센서의 설치위치 및 각 센서의 제어 비율을 나타낸 것이며, 조명제어는 동측 및 서측, 남측의 외부존에 대하여 각각 2개(총 6개)의 센서에 의해 조절되도록 설정하였다.

2) 한국산업규격 조도기준 (KS A3011), G분류

표 6. 단계별 조명제어방식

조명제어 방식	
1	Dimming 항상 설정조도 유지
2	On/off 설정 조도 이하일 경우 On
3	Off/50%/On 조도수준에 따라 3단계 조절
4	Off/33%/67%/On 조도수준에 따라 4단계 조절

표 7. 조명제어(Dimming Control) 센서의 개요

센서	창으로부터의 거리	제어 담당 비율
Sensor 1	2m	0.5
Sensor 2	4m	0.5

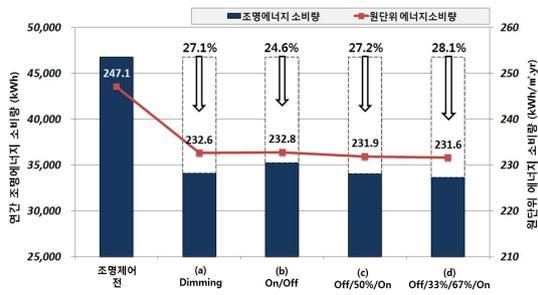


그림 6. 제어방식에 따른 조명에너지소비량 및 원단위 에너지소비량

분석결과, 제어방식별 원단위에너지소비량의 차이는 크지 않지만, 조명에너지소비량의 경우 off/33%/67%/on의 4단계 제어방식이 28.1%를 저감시켜 가장 효과적인 것으로 분석되었다. On/Off 방식의 경우 가장 조명에너지소비량이 큰 것으로 분석되었는데, 이는 단계적 조절이 아니라 설정조도 이하일 경우 자동 작동되는 방식이기 때문에 상대적으로 조명에너지사용량이 큰 것으로 판단된다.

상기 결과를 바탕으로 일반 창호 및 DSSC BIPV창호에 조명제어(off/33%/67%/on)시스템을 적용하고, 그림 7과 같이 조명제어적용 전/후의 원단위에너지소비량을 비교하였다.

분석 결과, 해석모델에 적용된 각 대안 창호별로 모두 조명제어를 통해 원단위에너지 소비량을 14.2kWh/m²·yr~18.4kWh/m²·yr까지 저감 가능한 것으로 나타났다. 특히 기준안인 조명제어 전의 투명복층창호와 비교하여, 조

명제어가 연계된 DSSC BIPV 로이삼중창호를 적용하였을 경우에는 원단위 에너지소비량이 257.8kWh/m²·yr에서 220.4kWh/m²·yr로 저감되면서 약 14.5%의 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

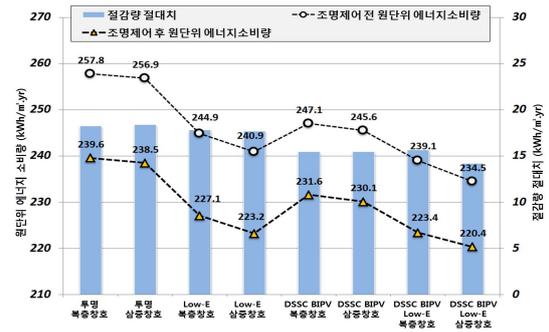


그림 7. 조명제어 전/후 원단위 에너지 소비량 비교

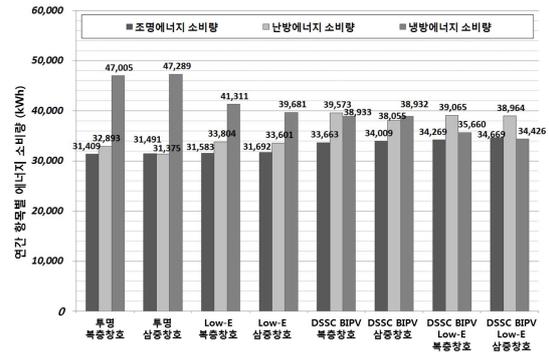


그림 8. 조명제어 후 연간 조명/난방/냉방 에너지소비량

한편, 조명제어시스템을 통해 조명에너지 소비량을 절감시키더라도 조명으로 발생하는 열이 난방 및 냉방에너지소비량에 영향을 미치게 된다. 다음 그림 8은 조명제어 시스템을 도입한 후의 조명 및 난방, 냉방에너지소비량을 비교한 그래프이다.

분석 결과, 일반창호의 경우 조명제어 전과 비교하여 조명에너지소비량이 연간 32~33% 절감되는 것을 확인할 수 있으며, DSSC BIPV 창호의 경우 낮은 투과율 때문에 일반창호보다는 증가하지만, 전체 조명에너지소비가 25~

28% 절감되는 것으로 나타났다. 또한 조명 제어 도입으로 조명발생열이 줄어들어 전체적으로 난방에너지소비량이 7~9% 증가하였으며, 냉방에너지소비량은 6~8% 감소한 것으로 나타났다.

결과적으로 사무소건물에서 투명복층창호를 DSSC BIPV창호로 대체하는 것만으로도 에너지소비량 절감효과가 있으며, 또한 조명 제어를 통해 추가적으로 절감이 가능한 것으로 나타나, 추후 발전량을 통해 상쇄되는 양을 통합할 경우 그 효과는 극대화될 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 DSSC BIPV창호와 일반창호를 대상으로 제명제어 연동에 따른 연간 냉방, 난방, 조명에너지소비량을 비교분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째, DSSC BIPV창호의 성능 중 에너지소비량에 영향을 미치는 지배적 변수는 일사 획득계수인 것으로 나타났다.

둘째, 일반 복층창호를 DSSC BIPV복층창호로 대체할 경우 원단위 에너지소비량이 10.7kWh/m²·yr가 저감되어 설치만으로도 약 4.1%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 단열성능을 강화시켜 DSSC BIPV로이삼중창호를 적용할 경우 연간 약 9%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

셋째, DSSC BIPV창호에 가장 효과적인 조명제어방식은 Off/33%/67%/On의 4단계 조절 방식으로 나타났으며, 이를 통해 연간 약 25~28%의 조명에너지소비량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

추후 본 연구를 통해 도출된 결과를 바탕으로 DSSC BIPV창호의 발전량과 연계하여 다양한 운영조건하의 가동형 블라인드와 DSSC BIPV창호의 에너지소비량에 대한 비교평가 연구를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 2010 신재생에너지기술개발 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2010-P100100654)

참 고 문 헌

1. 강준구, 김진희, 김준태, 창호적용을 위한 DSC모듈의 광학적 특성분석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회논문집, 2010.11.
2. 오명환, 윤중호, 이지원, 이종기, 빛환경을 고려한 염료감응태양전지(DSSC)의 사무소건물 최적 적용방안에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2010.11.
3. 오명환, 심세라, 이철성, 진경일, 윤중호, 염료감응태양전지의 투과율에 따른 채광성능 및 현황지수 분석을 통한 적정 창면적비에 대한 연구, 한국태양에너지학회, 추계학술발표대회 논문집, 2009.11.
4. 강준구, 김진희, 김용재, 천진아, 김준태, DSC 창호의 자연채광성능에 관한 축소모형 실험, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2010.06.
5. 심세라, 윤중호, 정선영, 백남춘, 염료감응태양전지의 광학특성분석을 통한 건축창호 적용가능성 평가연구, 2010 한국태양에너지학회 논문집
6. The Visual DOE 4.0 User Manual, 2004.08
7. 윤중호, 김효중, 이철성, 심세라, 투명 박막태양전지를 이용한 BIPV창호의 열 및 광학 특성분석연구, 대한건축학회논문집 2010.11
8. T.Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows, Renewable Energy 30(2005) p.281~304
9. LBNL, Therm5, WINDOW5 NFRC Manual