

## 사무소건물 층수 증가에 따른 BIPV 발전량과 건물에너지소비량 저감에 관한 연구

오명환\*, 윤종호\*\*, 신우철\*\*\*

\*한밭대학교 대학원 건축공학과(bigomh@nate.com), \*\*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),  
\*\*\*대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.kr)

### A Study on the Reduction of Building Energy Consumption and Generation of BIPV System According to the Increase of the Number of Floors in Office Building

Oh, Myung-Hwan\*, Yoon, Jong-Ho\*\*, Shin, Woo-Cheol\*\*\*

\*Dept. of Architecture Engineering, Graduate School, Hanbat National University(bigomh@hanbat.ac.kr),  
\*\*Dept. of Architecture Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),  
\*\*\*Dept. of Architecture Engineering., Daejeon University(shinuc@dju.kr)

#### Abstract

---

BIPV system that can alternate building envelope by making materials of PV module should be considered in initial design step for applying PV system efficiently in office building.

Meanwhile, area of the building skin also increases as the number of floors increases, but the valid area that can apply BIPV system in effect decreases relatively. Despite of this weak point, installing BIPV system is still being evaluated as the only measure left that can reduce electronic energy consumption in the building.

Therefore, the impact on building energy consumption according to the increase of the number of floors when BIPV system is applied in the building was analyzed. And it will be used as basic information for application of BIPV in office building.

conomic about application of BIPV is interpreted to be secured within the 10 story high. For over the 11 floors, the methods of increasing the contribution ratio produced by BIPV system through the optimization of install angle and increase in install area of south, high efficiency should be considered. The ways to reduce basic load by integrated design with another renewable energy besides BIPV should be found. Later,

the study on the total building energy consumption with PV generation according to the various type of the basic load and ratio of the width and depth will be performed based on this study.

Keywords : 건물일체형 태양광 시스템(BIPV), 건물에너지(Building Energy), 아몰포스 박막PV(a-si thin film PV)

---

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적 및 배경

전 세계적으로 화석연료의 고갈과 기상이변에 대한 대책으로 각 분야별 에너지 소비량을 저감시키고, 신재생에너지 대체사용을 권고하고 있다. 이러한 추세에 따라 건축분야에서도 탄소제로 및 제로에너지건축에 대한 관심이 집중되고 있다. 정부에서는 건물에너지절약설계기준, 건축물에너지효율등급인증제도 등 의무 및 인증에 대한 규제를 강화시키고 있으며, 사무소건물의 경우 2025년까지 제로에너지건축을 목표로 로드맵을 제시하고 정책을 추진하고 있다.

이러한 흐름에 발맞춰 현재 국내에서도 최근 제로에너지빌딩의 구현을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 사무소건물의 에너지사용량을 감소시키기 위해 고효율 신재생에너지를 건축에 통합화하여 잔여부하를 제거하는 기술이 핵심으로 대두되고 있다.

한편, 건물에 적용될 수 있는 신재생에너지 가운데 열에너지를 대응할 수 있는 기술로는 태양광 및 태양열시스템, 바이오에너지, 지열시스템 등이 있지만, 전기에너지의 경우 풍력, 태양광 이외에는 대응에 어려움이 많을 뿐만 아니라, 그 중 풍력은 건물에 통합이 까다롭기 때문에 태양광시스템이 현재까지는 유일한 대책이라고 볼 수 있다. 특히 전기에너지 사용량이 대부분을 차지하고 있는 사무소 건물의 경우, 이러한 태양광시스템을 건물에 적용한다면 제로에너지빌딩 구현에 보다 유리할 것이다.

사무소건물에서 태양광시스템을 효과적으로 적용하기 위해서는 궁극적으로 초기설계단계에서 PV모듈을 전자재화하여 건물외피를 대체할 수 있는 건물일체형 태양광발전시스템(BIPV ; Building Inegrated Photo -voltaic)이 고려되어야 한다.

하지만 사무소건물에 BIPV를 통합적용하는데 있어서 저층규모의 경우에 비해 층수가

증가함에 따라 외피면적도 함께 증가하지만 실제 BIPV를 적용 할 수 있는 유효외피면적이 상대적으로 감소되는 취약점을 가지고 있다. 하지만 이러한 취약점이 있음에도 불구하고, BIPV의 설치는 건물의 전기에너지소비량을 감소시킬 수 있는 유일한 방안으로 평가되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 사무소의 층수증가에 따라 BIPV 적용 시 에너지소비량에 미치는 영향을 분석하고, 이를 사무소건물의 효과적인 BIPV 적용을 위한 기초자료로서 활용하고자 한다.

### 1.1 연구의 방법

본 연구에서는 투광형 아몰포스 박막PV와 결정질 실리콘 PV를 사무소건물의 전기에너지 저감을 위한 대안으로 선정하였으며, 각 대안별 층수 증가에 따른 발전량과 건물에너지소비량과의 관계를 평가하였다.

평가도구로는 건물 에너지해석 프로그램인 DOE 2.1을 사용하였으며, 적용된 태양광시스템의 발전량 예측에는 TRNSYS 알고리즘의 PV Pro<sup>1)</sup>를 활용하였다.

## 2. BIPV 사무소 건물에너지성능평가 개요

### 2.1 사무소건물 해석모델 개요

해석에는 태양에너지학회의 대전지역 표준기상데이터<sup>2)</sup>를 활용하였으며, 해석모델은 사무소건물의 중간층으로 가정하여 층간바닥 경계조건을 단열경계조건으로 설정하여 분석을 수행하였다.

사무소 해석모델의 바닥면적은 총 400m<sup>2</sup>으로, 층고 3.6m, 벽면적 대비 창면적비가 80%인 커튼월이 남측, 동측, 서측에 적용된 구조이다. 열적거동이 상이한 외주부와 내주부를 구분하여, 내주부의 공조는 VAV System, 외주부는 Fancoil Unit이 담당하도록 가정하였

1) 윤중호, 신우철, 박재완, 건물용 태양광발전 시스템 성능 및 경제성 평가 프로그램 개발 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2008

2) 대한민국 표준 기상데이터는 태양에너지학회와 한국건축친환경설비 학회가 공동으로 작성, 대전기상데이터 활용, 2010

다. 건물의 주요 구조체인 외벽 및 내벽의 재료의 물성은 에너지절약설계기준<sup>3)</sup>을 바탕으로 구성하였다. 해석모델의 창호의 물성은 일 사획득 계수(SHGC) 0.732, 가시광선투과율 0.801, 열관류율 2.690W/m<sup>2</sup>K의 복층유리로 가정하였다.

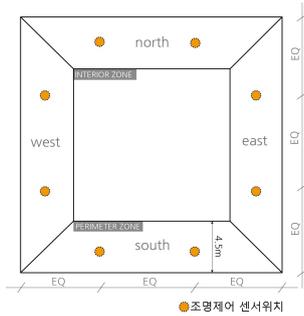


그림 1. 사무소건물 해석모델

시뮬레이션 주요설정조건<sup>4)</sup>은 재실밀도 0.2인/m<sup>2</sup>, 현열 65W/인, 잠열 54W/인으로 가정하였으며, 기기밀도 22W/m<sup>2</sup>, 조명밀도 20W/m<sup>2</sup>, 공조기를 통한 환기요소로 1인당 외기도입량을 35m<sup>3</sup>/인으로 가정하였다. 실내 설정온도는 난방 22℃, 냉방 24℃이며, 주말을 제외한 주중 오전 8시부터 오후 6시까지 사용하는 것으로 가정하였다.

플랜트의 효율 및 성능계수는 건물의 에너지소비량에 민감하게 반응함을 고려하여 선행보고서를 기준으로 산정하였다. 보일러의 효율은 80%, 냉동기의 성적계수(COP)는 2.5를 적용하였다<sup>5)</sup>.

표 1. 통합해석모델 창호적용 재료물성

구분	구성	SHGC	Tvis	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
복층유리	6-12-6	0.732	0.801	2.690

표 2. 통합해석모델 내부발열요소 점유밀도

재실밀도	기기밀도	조명밀도
5m <sup>2</sup> /person	22W/m <sup>2</sup>	20W/m <sup>2</sup>

표 3. 통합해석모델 보일러 효율 및 냉동기 성능계수

Plant	보일러(%)	냉동기(COP)
Efficiency	80%	2.5

표 4. 사무소 해석모델 구조체적용 재료물성

구분	재료종류	두께	열전도율	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		m	W/mK	
외벽	모르타르	0.018	1.4	0.3043
	단열재	0.085	0.028	
	콘크리트	0.2	2.8	
	모르타르	0.018	1.4	
내벽	모르타르	0.018	1.4	0.4065
	단열재	0.06	0.028	
	콘크리트	0.2	2.8	
	모르타르	0.018	1.4	

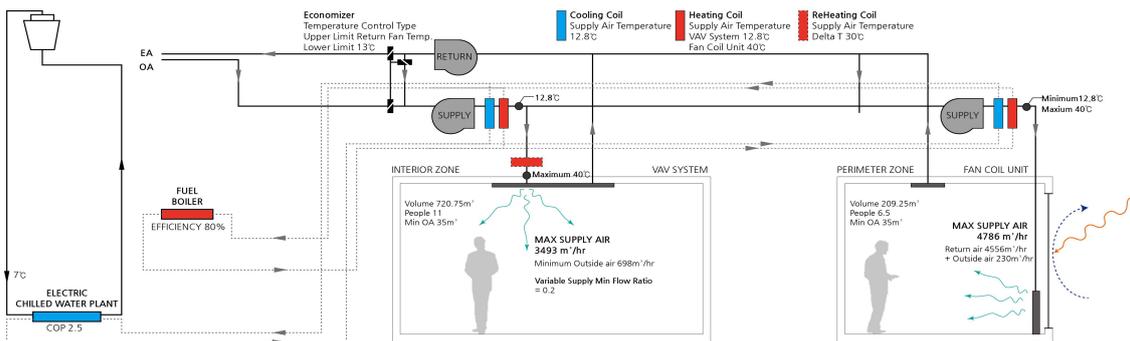


그림 5 해석모델의 VAV 시스템 설계도

3) 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부고시2010-1031호, 별표1의 가 등급 단열재 및 남부지역 단열재허용두께 사용  
4) SI 단위, 공기조화설비 신치용 저 참고

5) 건물에너지원단위 기준안에 관한 최종보고서(1999.10 산업자원부)

내주부의 체적은 864.9m<sup>3</sup>이며, 해석대상 건물의 부하에 맞추어 VAV 시스템의 최대 송풍량을 3,493m<sup>3</sup>/hr, 최대 송풍량 대비 최소 공급 풍량의 비율을 0.2로 설계하였다. 냉각 코일 및 가열코일에서의 공급온도는 12.8℃로 설정하였으며, 재가열 코일은 12.8℃를 기준으로 30℃의 온도차까지 공급할 수 있도록 설계하였다.

이코노마이저는 최소 13℃, 최대는 Return Fan의 공급온도 범위에서 외부공기를 공급하도록 가정하였으며, 나머지 범위에서는 최소외기도입량과 실내에서 재공급되는 공기를 혼합 사용하도록 설계하였다.

외주부의 경우 그 체적이 69.75m<sup>3</sup>로, 내주부에 비해 창을 통한 열의 획득 및 손실의 영향이 크기 때문에 Fan Coil Unit의 최대 송풍량을 4,786m<sup>3</sup>/hr으로 설계하여 건물부하에 효과적으로 대응할 수 있도록 하였다. 또한 냉각코일에서의 공급온도는 12.8℃, 가열코일은 40℃로 가정하였다.

그림 4는 앞서 기술한 해석모델에 적용된 HVAC 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

## 2.2 BIPV 대안의 선정

BIPV적용에 따른 해석모델의 에너지성능 평가를 위해 BIPV적용 대안을 다음 그림 5, 6과 같이 제안하였다.

각 대안별 PV설치 위치는 남측, 동측, 서측, 옥상면이며, 1개 층에 방위별로 32m<sup>2</sup>씩 총 96m<sup>2</sup>을 설치하였다. 또한 모든 대안에 대하여 옥상면에 400m<sup>2</sup>의 결정질 si PV를 수평으로 동일하게 설치하였다.

기준 모델 및 대안 1의 창면적비는 80%이며, 대안1은 투광형 a-si 박막PV를 복층창호화하여 상단 및 하단에 16m<sup>2</sup>(높이 1m, 너비 16m)로 적용하였다. 대안 2는 상단과 하단에 결정질 si PV를 적용한 것으로 일사가 투과되지 않도록 외벽화하여 창면적비가 44%로 감소되었다.

표 5. a-si 박막 PV 복층창 재료물성

구분	구성	SHGC	T <sub>vis</sub>	열관류율
				W/m <sup>2</sup> K
PV 복층창호	6-12-6	0.172	0.074	2.708

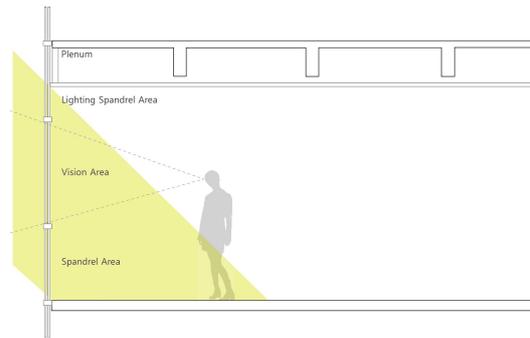


그림 6 기준모델, 해석모델과 동일 (창면적비 80%)

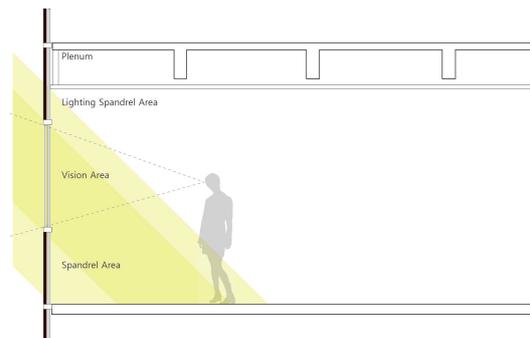


그림 7 대안1. a-si 박막PV창호 적용 (창면적비 80%)

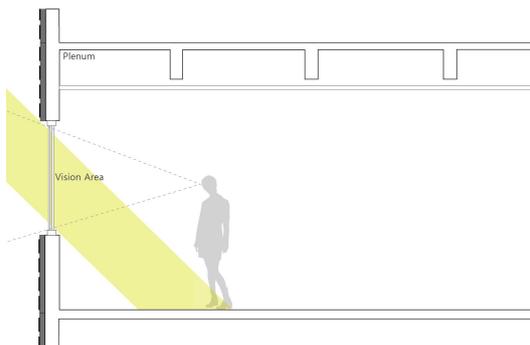


그림 8 대안2, 결정질 si PV 적용 (창면적비 44%)

(1) 대안별 정량적 평가를 위한 조명제어 기준모델과 BIPV 대안별 해석모델은 상호 간 창면적비 변화에 의해 채광성능과 열성능

에 차이가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 일정한 채광조건 열환경이 적용될 수 있도록 조명제어를 도입하여 평가를 수행하였다.

조명제어는 채광이 가능한 외주부를 대상으로 하였으며, 각각의 조도센서를 실별로 2개씩 설치하여 실내의 조명밀도를 1/2씩 담당하도록 가정하였다. 제어방식은 실의 조도가 500Lux 이상이 되면 각 존 별로 50%의 조명밀도를 감소시키도록 설정하였다.

### (2) BIPV 대안별 발전성능 분석

각 대안별 적용된 PV의 효율은 a-si 박막 PV 7%, 결정질 si PV 15.2%로 약 2배 정도의 효율 차이가 있다. 각 대안별 PV의 발전성능 분석결과는 표 6과 같다.

표 6 대안별 PV의 발전성능

측정항목	a-si박막PV 측정결과	결정질siPV 측정결과
Pmax [Wp]	44.00	240.00
Voc[V]	91.00	37.60
Isc[A]	0.97	8.73
Vmp[V]	59.00	29.80
Imp[A]	0.70	8.060
Efficiency[%]	7.00	15.20

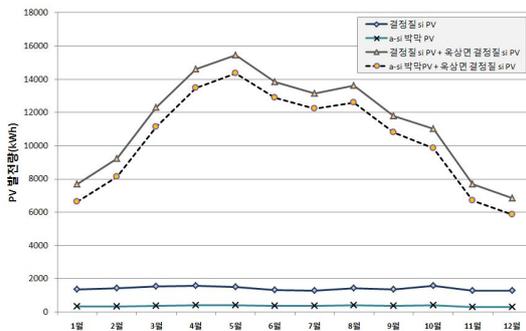


그림 9 그림 9 각 대안별 PV발전량 분석결과

그림 7은 기준층의 각 대안별 PV발전량을 나타낸 것이며, 대안 1의 경우 124613.3kWh, 대안 2의 경우 137254.2kWh의 전기에너지를 생산하는 것으로 분석되었다. 이 데이터는 기준층을 기준으로 옥상면 si PV와 각 대안별 적용된 입면의 PV발전량을 더한 것이다.

### 3. BIPV 사무소 층고증가에 따른 에너지소비량

#### 3.1 대안별 기준층 에너지소비량 분석

기준층의 각 에너지소비량분석결과, a-si 박막PV의 낮은 일사획득계수와 대안2의 적은창면적비가 냉방부하저감에 영향을 미쳐 에너지소비량이 감소되는 것으로 나타났다. 기준모델의 원단위 에너지소비량은 347.8 kWh/m<sup>2</sup>yr으로, 대안1은 기준안 대비 1.8% 저감된 341.7kWh/m<sup>2</sup>yr, 대안2는 6.1% 저감된 327.7kWh/m<sup>2</sup>yr로 분석되었다.

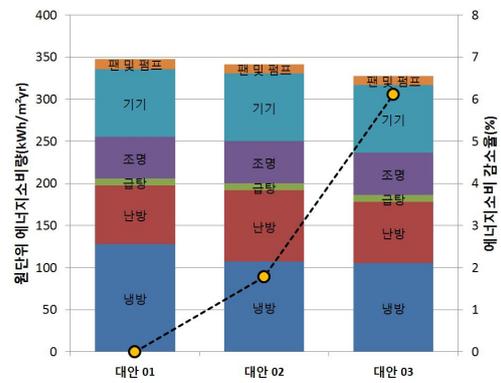


그림 10 대안별 에너지소비량 분석

#### 3.2 층수증가에 따른 대안별 에너지소비량

##### (1) 누적 에너지소비량 및 발전량 분석

누적 에너지소비량은 기준층의 층수증가에 따라 기준모델과 대안별로 일정하게 증가된다. 그림 9에서 알 수 있듯이, 3층 이하의 저

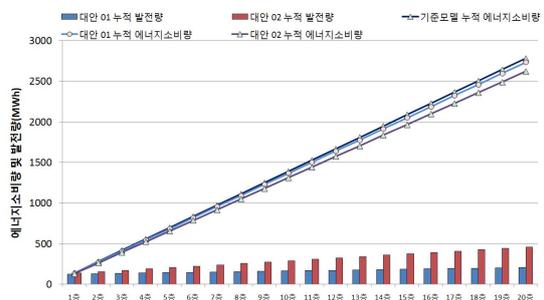


그림 11 층고증가에 따른 누적 전기에너지소비량 및 발전량

층형 사무소에 BIPV를 적용할 경우 효과적인 에너지저감이 가능할 것으로 예상되나, 사무소의 층수가 증가됨에 따라 건물의 전체 에너지소비량에 미치는 영향은 적은 것으로 분석된다.

(2) 대안별 에너지 원단위 소비량 비교

에너지소비량 및 발전량에 대한 통합 비교 및 경향과약을 위해 원단위를 기준으로 각 대안별 성능을 분석하였다.

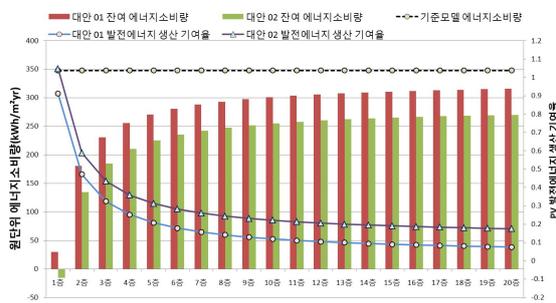


그림 12 층고증가에 따른 잔여에너지소비량 및 PV 발전에너지 생산 기여율

기준모델의 경우 층수가 증가함에도 에너지 원단위 소비량이 347.8kWh /m²yr로 일정하게 나타남을 알 수 있다. 하지만 BIPV가 적용된 각 대안의 경우 10층까지 에너지 원단위 소비량이 급격히 증가되지만, 11층 이상부터는 비교적 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

a-si 박막PV가 적용된 대안 1의 경우 잔여 에너지소비 원단위가 1층부터 10층까지 30.1kWh/m²yr에서 300.7kWh/m²yr범위로 가파르게 증가하고, 11층 이상에서는 303.5 kWh/m²yr에서 345.8kWh/m²yr 범위로 나타난다. 결정질 si PV가 적용된 대안 2의 경우 1층부터 10층까지 -15kWh/m²yr에서 255.2kWh/m²yr로 증가하며 11층이상에서는 257.9 kWh/m²yr에서 270.3kWh/ m²yr의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다.

각 대안별 PV 발전으로 에너지소비를 충당할 수 있는 생산 기여율을 분석해보면, 1층

부터 10층 규모에서 a-si 박막PV는 91%에서 11%까지, 결정질 si PV는 104%에서 22%까지 급격히 감소되고, 11층 규모부터 a-si 박막PV는 11%, 결정질 si PV는 21%를 나타낸다. 11층 규모 이상에서는 약 1%내의 범위로 각 대안별 기여율의 감소율이 저감되는 것으로 나타났다.

따라서 BIPV의 사무소 적용에 있어 10층 규모까지 설치에는 경제성을 확보할 수 있을 것으로 사료되며, 11층 규모이상에서는 PV에 의해 생산되는 에너지의 기여율을 증가시키기 위한 방안이 모색되어야 할 것이다.

4. 결 론

사무소건물에서의 BIPV적용은 10층 규모 내에서 경제성을 확보할 것으로 판단되고, 11층 규모 이상에서는 BIPV에 의해 생산되는 에너지의 기여율을 증대시키는 PV설치방법에 대한 고려가 필요할 것이다. 또한 BIPV 이외의 신재생에너지시스템의 통합 계획 및 건물 부하저감기술을 통해 기준부하를 감소시키는 방안도 함께 모색되어야 할 것으로 판단된다.

추후, 본 연구를 바탕으로 사무소건물의 기준부하변화에 따른 PV 발전을 통한 총 에너지소비량 및 장단변비에 따른 BIPV 적용 시 에너지소비량에 대해 분석할 예정이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2009-0089930)

참 고 문 헌

1. 산업자원부, 건물 에너지원단위 기준(안)연구에 관한 최종보고서, 1999
2. 산업자원부, 열원 및 공조 진단 시스템 개발, 2002
3. 윤종호 외, 투명 박막 태양광창호의 경사각에 따른 발전량 실측연구, 2008
4. ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals