

## 건물의 전기부하특성에 따른 BIPV시스템의 부하매칭에 관한 연구

### A Study on BIPV system generation matching by electricity load characteristic of Building

박재완\* · 신우철\*\*† · 김대곤\*\*\* · 윤종호\*\*\*\*

Park, Jae-wan\*, Shin, U-Cheul\*\*† and Kim, Dae-gon\*\*\* Yoon, Jong-Ho\*\*\*\*

(Submit date: 2013. 3. 28. Judgment date: 2013. 4. 7. Publication decide date: 2013. 6. 18.)

**Abstract :** These days, although thermal energy is decreasing, electric energy is increasing in building. Also, it is very important to research and distribute BIPV(Building Integrated photovoltaic) because our society consider electricity more significant than other energy in building. Therefore, in this paper, our research team analyzed difference between BIPV yield and building energy consumption through experimental research. As a result, yearly building energy consumption was 104,602.4kWh and BIPV yield was 105,267kWh. And then, totally counterbalanced time took up 26%, reduced electric load time took up 16%. In other words, peak load could be reduced up to 42% by BIPV. As a result, yearly building energy consumption was 104,602.4kWh and BIPV yield was 105,267kWh. And then, totally counterbalanced time took up 26%, reduced electric load time took up 16%. In other words, peak load could be reduced up to 42% by BIPV.

**Key Words :** 건물생체기후도(Building bioclimatic chart), 기후설계(Climatic design), 컴퓨터 프로그램(Computer program), 에너지절약(Energy conservation)

\*\*† 신우철(교신저자) : 대전대학교 건축공학과  
E-mail : shinuc@dju.ac.kr, Tel : 042-8755-2205

\*박재완 : T.E.S Eng

\*\*\*김대곤 : 국립환경과학원 기후변화연구과

\*\*\*\*윤종호 : 한밭대학교 건축공학과

\*\*† Shin U-Cheul(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Daejeon University.

E-mail : Shinuc@dju.ac.kr, Tel : 042-8755-2205

\*Park Jae-Wan : T.E.S Eng

\*\*\*Kim Dae-Gon : Climate Change Research Division, National Institute of Environmental Research

\*\*\*\*Yoon Jong-Ho : Department of Architecture Engineering, Haeundae University.

## 1. 서 론

에너지절약을 위해 건물에는 단열강화, 고성능 창호, 고효율 열원기기 사용 등 냉·난방 절감을 위한 요소기술을 우선적으로 적용함에 따라 건물에서의 열에너지 소비량은 점점 감소하고 있으며, 상대적으로 전기에너지의 사용 비중은 점점 높아지고 있다.<sup>1)</sup> 이와 같이 전기의 중요성이 높아짐에 따라 최근 건물에서 안정적으로 전기를 발전할 수 있는 건물일체형 태양광발전시스템 (BIPV: Building Integrated Photovoltaic)의 보급과 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

BIPV 시스템에 대한 국내연구동향을 살펴보면, 안 등<sup>2)</sup>은 5kWp 규모의 막박 PV를 실제 건물에 적용시켜 막박 PV의 설치방법과 발전 특성에 대해 기술하였고, 박 등<sup>3)</sup>은 그린플러스 건물에 적용된 BIPV시스템의 적용방식과 설치위치 등에 따른 발전특성과 모듈의 온도 상승에 대한 효율 저하 등을 고찰하였다. 또한 김 등<sup>4)</sup>은 파사드형 BIPV 사례를 통해 태양광 시스템에 대한 다각적인 분석방법 등을 제안하고 있으며, 그 밖에도 BIPV시스템의 인버터 연결, 작동 상태, 주변 환경요인에 따른 발전특성 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 하지만 국내의 BIPV시스템 연구는 태양광 모듈 발전량과 효율 저하원인 분석 등 그 범위가 BIPV 시스템 자체에만 국한되어 있어, BIPV시스템 설치 시 건물의 전기부하 절감과 이에 따른 부하의 특성변화 등에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 BIPV시스템이 설치된 건물에 대한 실험적 연구를 통해 건물일체형 태양광 발전 시스템의 생산과 건물 소비량에 대한 비교분석을 실시하고, 그 결과를 바탕으로 BIPV시스템의 발전에 따른 부하의 특성 변화에 대해 상세히

고찰하고자 한다. 이를 통해 향후 건물에너지 절약 목적으로 적용되는 BIPV시스템의 적용과 분석을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 분석대상건물의 현황

기후설계 도구 개발을 위해 표준 기후데이터와 건물생체기후도에 관해 고찰하였으며, 각 내용은 다음과 같다.

### 2.1 건축일반현황

Table 1과 Fig 1은 본 연구의 실험 대상이 되는 기후변화연구동 전경과 건축개요를 나타낸 것이다. 기후변화연구동은 인천 경서동에 위치하고 있으며 지하 1층, 지상 2층으로 계획되어 있다. 건물의 연면적은 2,449m<sup>2</sup>으로 건물 거주자들이 사용하는 연구실, 대회의실, 소회의실, 자료실, 남녀 휴게실과 외부 행사 및 탄소제로 건물의 홍보를 위한 전시실, 국제회의실 그리고 로비 등으로 구분되어 있다.



Fig 1. Panoramic view of Climate Change Research Center

각 실을 냉난방 시스템의 유형별로 나누면 냉난방 면적은 1677.9m<sup>2</sup>, 난방전용면적은 45.2m<sup>2</sup>, 비냉난방 면적은 726.1m<sup>2</sup>으로 구성되어 있다. 건물의 형태는 건물의 에너지 열손실을 최소화 하고 태양에너지를 이용한 신재생에너지

설치를 최대한 확보할 수 있는 남향장방형으로 옥상에는 파고라 형태로 수평형과 경사형 BIPV시스템을 설치할 수 있도록 계획되었다.

Table 1. Architectural overview of Climate Change Research Center

층	시설구분	용도	면적(m <sup>2</sup> )
지하층	공동시설	기계실, 전기실, 발전기실, 통제실	521.6
1층	홍보시설	전시실	280.7
		국제회의실	431.4
		안내실, 상황실	18.0
		창고	11.3
	공동시설	화장실	22.6
		홀	138.3
		EV 방풍실	28.3
2층	연구시설	연구실	412.1
		자료센터	42.7
		대회의실	92.0
		소회의실	22.8
		자료보관실	56.1
	공동시설	휴게실(남,여)	30.4
		화장실	22.6
		홀	153.6
		EV 복도 계단실	164.9
		연면적	2,449.2

## 2.2 기후변화연구동의 전력구성

기후변화연구동의 전력구성은 태양광발전 시스템과 전력부하로 구분되어 있다. 개별 태양광 어레이에서 생산된 전력은 통합전력량계를 통해 건물부하 혹은 한전전력계통으로 연결되는 변압기에 공급하게 된다. 건물에서 소비되는 전력은 태양광발전에서 생산된 전력을 우선적으로 소비하며, 전력이 부족한 경우 한전전력계통에서 이를 공급하는 시스템으로 구성되어 있다.

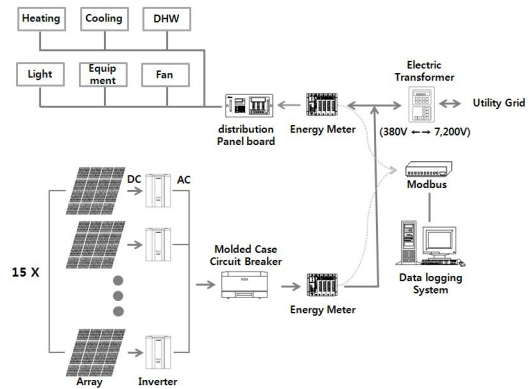


Fig 2. Panoramic view of Climate Change Research Center

## 2.3 BIPV 시스템 개요

Table 2는 기후변화연구동에 설치된 모듈의 사양을 나타낸 것이다.

Table 2. Specifications of installed module

종류	Polycrystal				Amorphous
	Voc	7.6	25.5	30.6	34.5
Vmp	5.3	17.8	21	26.1	66
Isc	8.92	8.92	8.92	8.92	1.09
Imo	8.17	8.17	8.17	8.17	0.75
효율 (%)	8.32	8.14	9.77	11.65	5.3
용량 (W)	43	145	171	213	50

건물에는 Polycrystalline Modules 4종류와 Amorphous Modules 1종류로 GtoG(Grass To Grass), GtoT(Glass to Tedlar/Crystal), 투과형 형태로 구성되어 있다. 설치모듈의 최고용량은 213Wp로 효율은 11.65%로 가장 높다.

그 외의 Polycrystalline Modules은 8 ~ 10%의 효율을 나타내고 있다. 또한 건물의 채광을 위해 투과형 박막 모듈을 일부 적용하였다. 이와 같이 기후변화연구동에는 5종류의 모듈이 총 871개가 설치되어 있으며, 설치면

적은 1,177.9m<sup>2</sup>으로 모듈종류, 설치위치, 용량 등에 따라 15개의 Array로 나누어 연결되어 있다. 설치된 모듈의 자세한 사양은 Table 3과 같으며, 표시된 내용의 TR과 AP는 트래킹이 되는 Array와 박막모듈을 나타낸 것이다.

Table 3. specifications of installed solar cell array

Array	Tilt	Module Capacity (Wp)	Module Quantity	Total Capacity (kWp)
1	90	171	12	2.0
2	90	171	12	2.0
3	90	171	13	2.2
4	90	213	10	2.1
5	0	145	18	2.6
6	0	145	18	2.6
7	30	145	16	2.3
8	TR	43	32	1.3
9	0	50(AP)	32	1.6
10	90	50(AP)	52	2.6
11	90	50(AP)	52	2.6
12	30	145	70	10.1
13	90	213	66	14.0
14	90	145	160	23.2
15	0	145	308	44.6
Total	-	-	871	116.2

## 2.4 기후변화연구동 사용기기 현황

기후변화연구동에는 총 35명이 상주하고 있으며, 정규 근무시간은 오전 8시 30분부터 오후 8시까지이다. 업무가 많을 때에는 22:30분 이내에서 야근을 허용하고 있으며, 토요일과 일요일 그리고 법적 공휴일에는 근무를 하지 않는 것으로 조사되었다. Table 4는 상주인원이 사용하는 사무용 기기와 열원기기를 나타낸 것으로 기후변화연구동에서 사용하는 기기의 총 전력은 74.7kW인 것으로 나타났다.

이밖에도 24시간 사용되는 핸드폰 중계기, 인터넷 공유기, 보안시스템 및 화재감시 시스템 등이 설치되어 있으며, 기후변화연구동의

모든 에너지 소비는 전기로 이루어지고 있다.

$$Temp = Temp + Tabs \times (-0.048640239 + Tabs \times (0.000041764768 \times Tabs)) \quad (1)$$

Table 4. specifications of electric power equipment

구분	대수	전력 (W)	총전력 (kW)
개별조명 (LED)	24	36	0.86
컴퓨터	38	130	4.94
모니터	54	45	2.43
프린터	8	350	2.8
냉장고	3	100	0.3
팩스	1	110	0.11
가습기	3	24	0.07
전자레인지	1	1,000	1
전기포트	4	1,500	6
지열히트 펌프	3	14900	44.7
지열순환 펌프	3	7.5	22.5
태양열순환 펌프	1	200	2
냉난방 순환펌프	1	5500	5.5
총 전력			74.7

## 3. BIPV 시스템 생산량 분석

Fig 2는 기후변화연구동에서 2012년 1월부터 2012년 12월까지의 월별 발전량을 분석한 것으로 월별 평균 발전량은 9,382.5kWh로 나타났다. 12개월 동안 112,590kWh가 누적되었다. 발전량이 가장 적을 때는 12월로 6,190kWh가 생산되었으며, 이는 12월이 한국의 기후특성상 동절기 일사량이 적은 것에 기인하는 것으로, 특히 2012년에는 강설량 많아 지붕에 설치된 태양광 모듈에 일사수열량이 감소했기 때문으로 나타났다.

이에 비해 발전량이 가장 많은 때는 5월로 총 11,602kWh가 생산되었으며, 이는 12월에

비해 1.87배에 달하는 것이다.

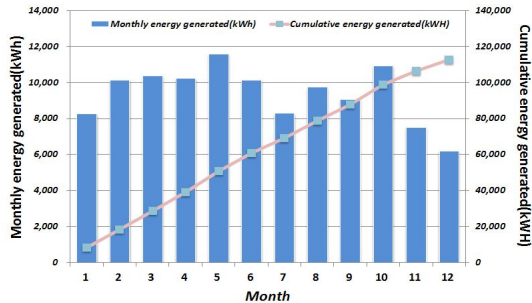


Fig 3. Amount of monthly power generation

#### 4. 건물소비량 분석

Fig 4는 분석기간인 2012년 1월부터 2012년 12월까지 1년 동안 기후변화연구동의 모니터링시스템에서 측정된 소비전력을 분단위로 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 전력 사용량 패턴은 동절기(11월 ~ 3월)와 하절기(6월 ~ 9월)의 에너지 사용량이 비·냉난방기와 뚜렷이 구분되는 것을 알 수 있으며, 건물 거주자가 사용하지 않는 야간 시간대에도 기저전력이 발생하는 것을 알 수 있다.

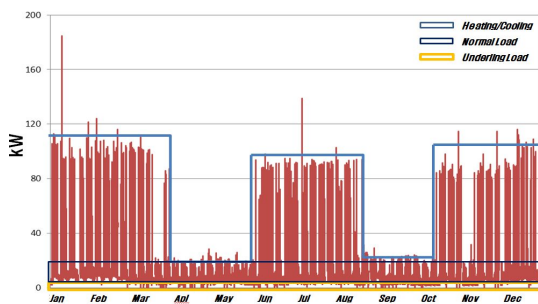


Fig 4. Amount of hourly energy usage

이는 건물사용자가 사용하지 않는 시간대에도 건물의 보안 및 안전설비, 소방 설비 등에서 전력을 소비하는 것으로 파악되었고 특히

동절기의 기저전력이 하절기의 기저전력보다 크게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 화장실의 동파방지를 위해 전기식 히터를 사용하기 때문인 것으로 조사되었다.

Fig 5는 기후변화연구동에서 소비되는 전력량을 월별로 나타낸 것으로 연간 총 소비량은 106,312kWh로 나타났으며, 냉난방을 하지 않는 10월이 5,980kWh로 에너지 소비량이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 또한 12월은 12,716kWh를 소비하여 분석기간 중 에너지 사용량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 2월의 사용량이 1월의 사용량에 비해 높게 나타나는 것은 기후변화 연구동이 업무용 시설로 사용되고 있고, 2012년 1월의 휴무가 많기 때문에 실제 거주자가 사용한 날이 1월에 비해 2월이 많기 때문인 것으로 분석되었다.

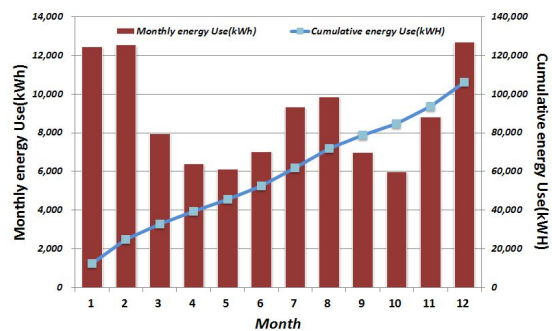


Fig 5. Total energy usage in the test building

기후변화 연구동의 연간 단위면적당 소비량은 137.5kWh/m<sup>2</sup>·yr (1차에너지 기준)로 에너지관리공단에서 제시하는 에너지효율등급<sup>5)</sup> 1등급에 해당하는 것으로 나타났다.

#### 5. BIPV 발전에 따른 전기부하 특성 분석

BIPV 시스템 발전에 따른 전력부하패턴은 크게 3가지 형태로 나타나고 있는데, 태양

광 발전 없이 (1)건물의 소비전력을 전력계통선에 모두 의지하는 구간과 (2)태양광에서 발전되는 전력은 있으나 전력소비가 발전량에 비해 많아 전력을 감쇄시키는 구간 그리고 (3)태양광 발전을 통해 건물 소비를 모두 감당하는 구간으로 나눌 수 있다.

Fig 6과 Fig 7은 분석기간 중 동절기와 하절기의 피크부하 절감량이 가장 많은 날을 선정하여 분석하였다.

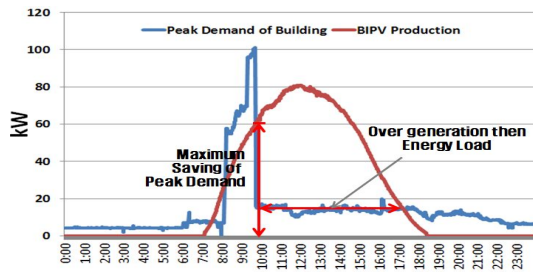


Fig 6. energy usage and power generation in peak day (winter season)

기후변화연구동의 피크부하는 동절기와 하절기 모두 건물을 사용하기 시작하는 아침시간대에 나타나고 있다. 특히 하절기 피크부하가 오전에 나타나는 것은 기후변화연구동에 설치된 버퍼탱크로 인해 나타나는 현상으로, 전력계통의 피크 시간을 건물의 냉난방 시스템 구성에 따라 조절할 수 있는 것을 의미한다.

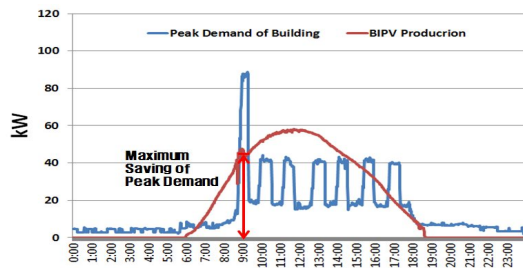


Fig 7. energy usage and power generation in peak day (summer season)

Fig 8은 BIPV 시스템이 일일 피크부하에 미치는 영향을 살펴보기 위해 건물에 소비되는 일일 피크부하와 태양광 발전으로 인해 줄어든 전력 계통 피크부하를 나타낸 것이다. 연중 건물의 최대피크부하는 2월 07일 15시 25분으로 피크부하는 124.1kW이다. 또한 동일 시간대 태양광 시스템을 통해 발전된 전력은 73.6kW로 계통선의 피크부하는 59.3% 줄어든 50.3kW로 나타났다. 이와 같이 전력부하가 큰 낮 시간대의 전력 분석기간 366일 중 모니터링 중 77.1%에 해당하는 282일이 태양광 발전에 의해 건물의 일일 최대 피크부하가 감소하는 것으로 분석되었다.

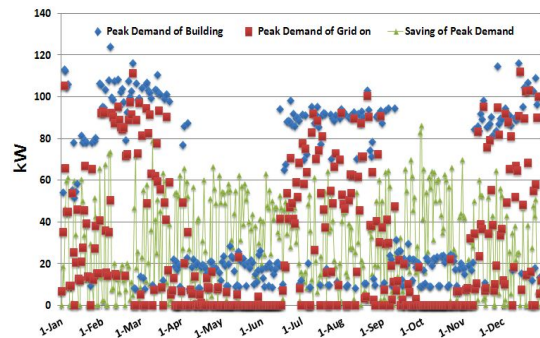


Fig 8. BIPV system generation by electricity load characteristic

이는 BIPV시스템이 전력계통의 피크부하 감소에 많은 영향을 줄 수 있을 것 보여주는 것이다.

Fig 9는 위에서 언급한 BIPV 시스템 발전에 따른 전력부하패턴 3가지 구간을 시간별로 나누어 분석한 것이다. 총 분석시간은 8,784시간으로 이 중 태양광발전에 의해 부하를 모두 감당하는 시간은 2,371시간, 태양광 발전에 의해 계통 전력부하가 감소하는 시간은 1,581시간으로 나타났으며, 나머지 4,832시간은 모두 전력 계통에 의지하는 것으로 분석되었다.

이와 같이 모든 전력부하가 전력계통에 의존하는 시간이 총 건물사용기간 중 가장 많은 것으로 나타났지만, 대부분의 피크부하가 낮 시간대 발생하는 것을 감안한다면 BIPV시스템 발전이 건물 부하에 미치는 영향은 상대적으로 더 크다고 할 수 있다.

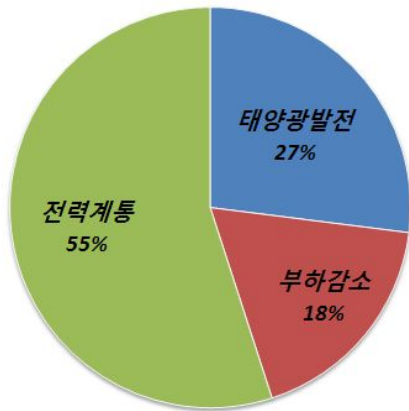


Fig 9. A study on Load time distribution

## 6. 결 론

본 연구는 업무용 탄소제로 건물로 지어진 기후변화연구동의 1년간의 모니터링 데이터를 기반으로 기후변화연구동의 에너지 소비특성과 BIPV 시스템의 발전에 따른 건물의 피크로드 변화 특성에 대한 분석을 실시하였다. 이에 대한 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기후변화연구동의 연간 총 에너지 소비량은 106,312kWh로 나타났으며, 소비량이 가장 낮은 때는 10월로 5,980kWh가 소비되었고, 소비량이 가장 많은 때는 12월로 12,716kWh의 에너지를 소비한 것으로 나타났다.

둘째, 연간 총 에너지 생산량은 112,590kWh로 소비량 106,312kWh보다 6,278kWh를 더 생산하여, 100%자립건물을 달성한 것으로 분

석되었다.

셋째, 총 분석시간은 8,784시간으로 태양광 발전에 의해 부하를 모두 감당하는 시간은 27%, 태양광 발전에 의해 계통 전력부하가 감소하는 시간은 18%으로 총 시간 중 45%가 태양광 발전에 의해 피크부하가 감소하는 것으로 나타났다.

넷째, 모니터링 분석기간인 366일 중 77.1%에 해당하는 282일이 태양광 발전에 의해 건물의 일일 최대 피크부하가 감소하는 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 건물의 BIPV시스템 적용이 단순히 건물의 에너지 사용량을 줄여주는 효과뿐만 아니라 겨울철과 여름철의 에너지피크부하 감소를 통해 국가 차원의 전력공급을 위한 발전시설의 증설계획과 운영에도 긍정적인 영향을 줄 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : No. 2012T100100065)

## 참 고 문 헌

1. Jae-Wan Park, et al., A Study on Building Energy Demand for Design of Energy System on Green Home Apartment, Journal of the Korea Solar Energy, Vol, 33, No. 1 pp.00-00, 2013
2. Young-Sub, An, et al, Case Study on 5kWp Transparent Thin-Film BIPV System, Journal of the Korea Solar Energy, Vol, 30, No. 4 pp. 29-35, 2010

3. Jung-Woo Park, et al., Alalysis of Generation Performance of BIPV System according to Application Methods, Juranal of Korean Institute Architectural Sustainable Environment and Building Systems Vol, 4, No. 2 pp. 273-276, 2011
4. Hyun-il ,Kim, et al, Analysis of Performance of Building Integrated PV System of Cold Faxade Type, Journal of the Korea Solar Energy, Vol, 28, No. 2 pp. 275-280, 2008
5. <http://www.kemco.or.kr/building/v2>, KEMCO, KOREA