

## 건물일체형 태양광발전 시스템의 발전성능 분석

### A Study on generation characteristics of building integrated Photovoltaic system

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

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

(Submit date: 2013. 4. 10. Judgment date: 2013. 4. 15. Publication decide date: 2013. 6. 24.)

**Abstract :** In this study, we analyze the performance characteristics of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) system of K Research Building which was designed with the aim of zero carbon building. In addition, BIPV system, which is consist of three modules: G to G(Glass to Glass), G to T(Glass to Tedlar/Crystal) and Amorphous, has 116.2kWp of total capacity, and is applied to wall, window, atrium and pagora on roof.

Therefore, in this paper, our research team analyzed BIPV yield and generation characteristic. BIPV yield was 112,589kWh a year from January 2012 to December 2012. And after applying PV panels on the building, the power from the best setting angle, 30°, of panel was compared. In addition, when the PV was attached practically on the building, the generation power was analyzed. BIPV modules in this study the relationship between module setting angle, type of modules ect. and power characteristics plans to identify.

**Key Words :** 건물일체형태양광발전(Building Integrated Photovoltaic System), 모니터링시스템(Monitoring System), 에너지절약(Energy conservation), 에너지생산(Energy Production)

#### 기 호 설 명

	$Y_R$	: Reference yield [h/d]	
	$P_o$	: Installed capacity [kWp]	
$Y_A$	: Arrayyield [h/d]	$E_{DC}$	: Array DC energy output per year [kWh/year]
$Y_F$	: Final yield [h/d]		

\*\*† 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, Daejoen 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.

- $E_{AC}$  : AC energy output to the grid per year [kWh/year]
- $G_T$  : Reference irradiation(1000W/m<sup>2</sup>)
- $H_{Id}$  : Total in-plane irradiation per year [kWh/m<sup>2</sup>/year]
- $L_c$  : Capture loss [h/d]
- $L_s$  : System loss [h/d]
- RR : Performance ratio [%]

### 1. 서 론

자원고갈과 환경오염 등이 사회문제로 대두되면서 건축분야에서 에너지를 절감하기 위한 노력은 활발하게 이루어지고 있다. 특히 전기는 건물에너지 절약을 위해 중요한 에너지원으로 부상함<sup>1)</sup>에 따라 태양광, 풍력, 연료전지 등 건물 자체에서 전기를 생산·공급할 수 있는 신재생에너지 기술은 지속적으로 발전하고 있다. 하지만 현재 기술수준에서 중·소규모 건물에 안정적으로 전기를 생산하는 신재생에너지 시스템은 태양광 발전시스템으로 한정되어 있으며, 이에 따라 태양광발전시스템과 건물을 일체화 시키는 건물일체형 태양광발전시스템 (BIPV: Building Integrated Photovoltaic)의 연구개발과 보급이 지속적으로 확대되고 있다.

BIPV 시스템에 대한 국내 연구동향을 살펴보면 이 등<sup>2)</sup>은 수직면 외벽면 적용에 대한 BIPV 시스템 Mock-up 실험을 통해 시간별 발전량 및 수직면의 태양광 발전 시스템의 발전특성에 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. 송 등<sup>4)</sup>은 대전지방에 대한 설치각도와 방위별 발전량에 대한 시뮬레이션 분석을 실시하였

다. 이와 같이 국내의 BIPV 연구는 시뮬레이션을 이용한 모듈의 특성 및 설치 환경에 대한 발전량 분석연구와 Mock-up 실험을 통하여 특정 적용기술도입, 수직·수평 설치 등 모듈의 설치각도에 따른 연구결과가 주를 이루고 있다. 특히 한 건물에서 다양한 형태의 BIPV 시스템이 적용된 사례연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서 BIPV 시스템이 대규모로 설치되어 있는 K연구동에 대한 실험적 연구를 통해 건물일체형 태양광 발전 시스템의 모듈별, 경사각별 발전성능을 비교분석하고 적용 부위별 특성에 대한 상세분석을 실시하고자 한다. 이를 통해 향후 사무소 빌딩이나 업무용 시설 등 다양한 방식으로 적용되는 BIPV 시스템의 설치를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

### 2. 실측대상 건물의 건축현황

K 연구동은 지하 1층 지상 2층으로 인천광역시 서구에 위치하고 있으며 연면적은 2,449m<sup>2</sup>으로 건축면적은 1,140.5m<sup>2</sup>이다. 동남측과 남측에 인접건물들이 위치하고 있으나 설치된 BIPV 시스템 발전에 영향을 미치는 음영에 대한 영향은 없는 것으로 조사되었다. Table 1은 K 연구동의 건축현황을 나타낸 것이다.

Table 1. Architectural overview of K Research Center

구분	개요	비고
대지면적	3,075	m <sup>2</sup>
건축면적	1,140	m <sup>2</sup>
연면적	2,449	m <sup>2</sup>
규모	지하1층, 지상2층	
최고높이	15.7	m
층고	지하 : 4.5m, 1층 : 5.7m, 2층 : 5.1m, 옥상층: 4.8m	

### 3. BIPV 시스템의 설치개요

Table 2는 모듈의 사양을 나타낸 것으로 Polycrystalline Modules 4종류와 Amorphous Modules 1종류로 GtoG(Grass To Grass), GtoT(Glass to Tedlar/Crystal), 투과형 형태로 구성되어 있다. 설치모듈의 최고용량은 213Wp로 효율이 가장 높은 11.65%를 나타내고 있으며, 그 외의 Polycrystalline Modules 은 8 ~ 10%의 효율을 나타내고 있다. 또한 건물의 채광을 위해 효율이 낮은 투과형 박막 모듈을 일부 적용하였다.

Table 2. Specifications of installed module

Type	Polycrystal				Amorphous
Voc	7.6	25.5	30.6	34.5	91.8
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

Fig 1과 Fig 2는 K연구동에 적용된 모듈 위치를 나타낸 것으로 K연구동에는 5종류의 모듈이 총 871개가 설치되어 있으며, 설치면적은 1,177.9m<sup>2</sup>으로 모듈종류, 설치위치, 용량 등에 따라 15개의 Array로 나누어 각각의 용량에 맞는 인버터에 연결되어 있다.

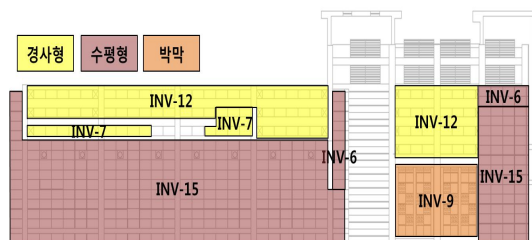


Fig 1. 모듈 설치위치(평면)

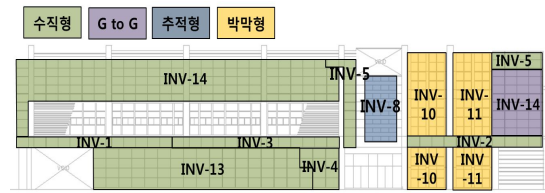


Fig 2. 모듈 설치위치(입면)

설치된 모듈은 수평면을 제외한 모든 태양광 Array는 정남향으로 설치되어 있으며 설치된 태양광 Array의 자세한 사양은 Table 3과 같다. 8번 Array에 나타나는 TR은 남향에 수직으로 설치된 수직방향으로 움직이는 1축 트래킹 어레이이다. BIPV 시스템의 총 설치 용량은 116.2kWp이다.

Table 3. Detailed specifications of installed solar cell array

No	Tilt	Module Capacity (Wp)	Module Quantity	Total Capacity (kWp)	Inverter Capacity (kWp)
1	90	171	12	2.0	3.0
2	90	171	12	2.0	3.0
3	90	171	13	2.2	3.0
4	90	213	10	2.1	3.0
5	0	145	18	2.6	3.0
6	0	145	18	2.6	3.0
7	30	145	16	2.3	3.0
8	TR	43	32	1.3	3.0
9	0	50	32	1.6	3.0
10	90	50	52	2.6	3.0
11	90	50	52	2.6	3.0
12	30	145	70	10.1	11
13	90	213	66	14.0	15
14	90	145	160	23.2	25
15	0	145	308	44.6	45
Total			871	116.2	129

### 4. K 연구동의 모니터링 시스템

Fig 4는 K 연구동에 전력계통과 모니터링 시스템에 대한 계통을 나타낸 것으로 개별 Array의 발전 특성을 알아보기 위해 15개의

태양광 인버터에 전력감시 모듈버스를 연결하여 개별적인 데이터를 수집하였고, 발전된 총 전력량을 측정하기 위해 인버터에서 발전된 전력이 모이는 변압기 앞단에 전력량계를 추가적으로 설치하였다.

Table 4. instrument specification

Type	Maker	Model	Error rate
PV inverter	Willings	UA-Series, T1-Series	1급
Wattmeter	LS	LD -Series	1급
Solarimeter	AVANTES	RS 20	<1.2%
Thermometer	MiSUMI	4Wire RTD	<1%

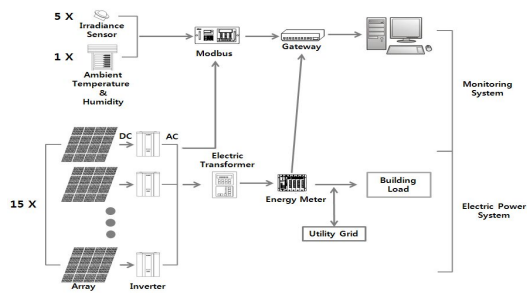


Fig 4. Monitoring System Diagram

또한 일사계, 온도계, 습도계 등을 설치하여 BIPV 시스템의 상세 분석을 위해 필요한 데이터를 확보하였으며, 건물 사용량과 전력계통으로 송·수전되는 전력량 수집을 위해 필요한 전력량계를 설치하였다. 이와 같은 센서들은 통합관리시스템에 연결하여 분단위 측정을 통해 데이터를 수집 관리하고 있다.

## 5. BIPV 시스템 성능 분석

### 5.1 데이터 분석기간

K 연구동의 데이터 분석은 건물이 준공된

2012년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지 1년으로 설정하였으며, 이 기간 동안 전력 자체 점검을 위해 전력을 차단시킨 2일과 모니터링 시스템이 다운된 12일간의 데이터는 수집하지 못하였다. 하지만 전력계통의 데이터는 각 인버터와 전력량계에서 자체적으로 적산전력을 데이터를 수집하고 있기 때문에 모니터링 프로그램이 작동하지 않은 기간에도 총 생산전력량은 확보할 수 있다.

### 5.2 데이터 분석방법

BIPV 시스템의 분석을 위한 절차는 IEC standard 61724<sup>5)</sup>에서 제시하는 계산방식을 통하여 분석을 진행하였으며 BIPV 시스템의 발전특성에 따른 건물 부하에 대한 비교 평가는 NREL/TP-550-38603 October 2005<sup>6)</sup>의 계산식을 이용하였다. 성능분석에 필요한 식을 정리하면 다음과 같다.

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_O} \quad (1)$$

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_O} \quad (2)$$

$$Y_R = \frac{H_{ld}}{G_I} \quad (3)$$

성능평가 지수로 활용되는 어레이 손실 ( $L_C$ )은 표준실험조건(STC)에서의 발전량과 실제발전량차이를 분석하여 Maximum Power Point Tracking (MTTP)제어의 미스매칭, 부분 음영, 모듈온도, 케이블 손실, 설치각도 등에 대한 손실량을 나타낼 때 사용하는 것이다.

$$L_C = Y_R - Y_A \quad (1)$$

또한 시스템 손실( $L_S$ )은 설치된 인버터가 모듈에서 생산된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 과정에서 발생하는 효율저하를 분석할 때 사용되는 중요한 평가요소이다.[5]

$$L_S = Y_A - Y_F \quad (2)$$

PR(Performance Ratio)은 표준시험조건에서 손실을 고려하지 않은 이상 발전성능에 대한 실제 발전성능 비를 나타낸 것으로 실제 운영되는 PV 시스템의 PCS손실, 부분 음영에 대한 영향, 미스매칭 등 여러 요인에 대한 발전 성능 저하가 이루어지는데 이러한 PV 시스템의 발전성능 저하와 문제발생에 대해 비교적 간단하면서 정확하게 평가할 수 분석함목으로 사용된다.[7-9]

$$P_R = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3)$$

일반적으로 PR의 성능이 80%이상이면 양호한 발전성능을 가지는 것으로 판단할 수 있으며, PR이 70%이하이면 PV시스템에 관련된 구성요소의 고장이나 결함 및 설치조건이나 시공에 문제점이 있는 것으로 판단할 수 있다.<sup>5)</sup>

### 5.3 PV 발전성능 분석

Fig 5는 K연구동에서 2012년 1월부터 2012년 12월까지의 월별 발전량과 단위면적당 수평면 일사수열량을 분석한 것으로 월별 평균 발전량은 9,382kWh로 나타났으며, 12개월 동안 112,589kWh가 누적되었다. 발전량이 가장 적은 달은 12월로 6,190kWh가 생산되었으며, 이는 국내 기후특정상 일조시간과 일사량이 적은 동절기에 발전량이 떨어지는 것으로 나

타났다. 이에 비해 발전량이 가장 많은 달은 5월로 총 11,602kWh가 생산되었으며, 이는 12월에 비해 1.76배에 달하는 것으로 분석되었다.

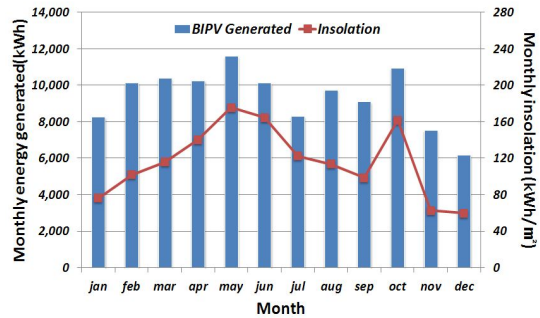


Fig 5. Amount of monthly power generation

특히, 3월과 7월 비교하면 3월의 총일사량은 115.5kWh/m²인 반면 7월의 일사량은 이보다 높은 122.3kWh/m²인 것으로 나타났다. 하지만 태양광 발전량은 3월이 10,394kWh, 7월이 8,298kWh로 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이를 일사량 1kWh/m²당 발전량으로 비교하면 3월은 89.9kWh, 7월이 67.8kWh로 약 24.6%의 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 설치각도에 따른 결정계 모듈의 kWp당 발전량을 나타낸 Fig 6에서 보는 바와 같이 설치수직면에 설치된 태양광 모듈의 발전량이 동절기에 수평면에 설치된 태양광 모듈에 비해 발전량이 큰 반면 하절기에는 발전량이 현저히 떨어지는 것에 기인하는 것으로 분석되었다. 설치각도별 kWp당 연간 발전량을 살펴보면 경사각 30도에 설치된 태양광 모듈의 발전량이 가장 많은 1296.7kWh/kWp로 나타났으며, 수평면이 1,106.8kWh/kWp, 90도가 725.5kWh/kWp로 30도 발전량을 기준에서 수평면은 14.7%, 90도는 44%가 적게 발전되는 것을 알 수 있다.

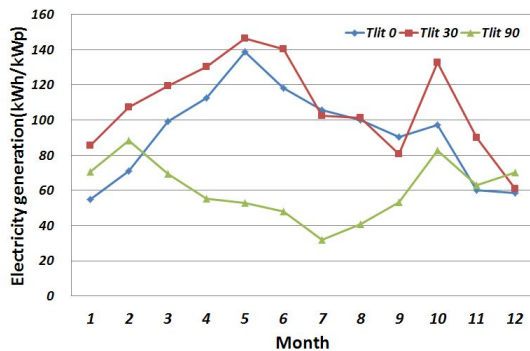


Fig 6. Amount of monthly power generation for kWp

K연구동의 설치위치에 따른 태양광 설치 용량은 수직면 설치가 50.7kWp, 수평면 설치가 51.4kWp, 경사각 30도와 트래킹 모드가 13.7kWp로 43.8%가 수직면에 설치되어 있다.

Fig 7.은 인버터별로 분류된 PV시스템의 연간 어레이 손실, 시스템 손실, 등가 1일 시스템 가동시간을 나타낸 것으로 시스템 손실 분석결과 발전된 전력을 DC에서 AC변환하는 변압 성능에는 각각 인버터들이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 어레이 손실의 경우 최소 0.20h/d ~ 최대 2.41h/d로 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다.

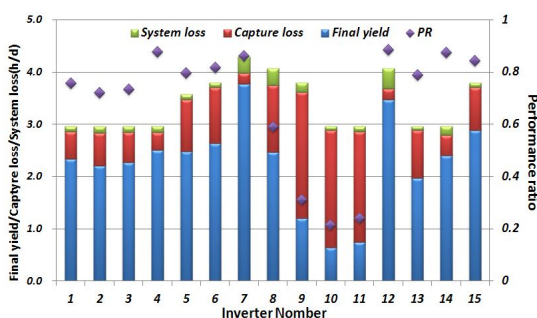


Fig 7. Average monthly Final yield, capture losses, system Losses and PR averaged over all array

일반적인 어레이 손실의 증가 원인으로서는 주변 차폐물에 따른 음영, 일사에 따른 모듈의

온도상승, 전선손실, 배전상태, 모듈에 투영되는 입사면의 오염 등 태양광발전 시스템에서 모듈 부분에서 나타나는 효율저하 원인으로 K연구동에서 나타나는 어레이 손실 증가 원인은 크게 박막태양광 모듈의 열파, 수평형 모듈의 오염, 추적형 어레이의 제어문제 등이 나타나고 있다. 이에 대해서는 추후 연구를 통해 상세한 분석 실시할 계획이다.

## 6. 결 론

본 연구는 K 연구동의 1년간의 모니터링 데이터를 기반으로 BIPV 시스템의 발전성능에 대한 분석을 실시하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다

- (1) K 연구동에 설치된 BIPV시스템의 총 발전량은 112,589kWh으로 월 평균 발전량은 9,382kWh로 나타났으며, 월 발전량이 최소인 12월과 최대인 5월의 발전량차이는 1.76배 달하는 것으로 분석되었다.
- (2) 설치각도에 따른 발전 특성을 살펴보면 kWp 당 연간 발전량은 경사각 30도에 설치된 태양광 모듈의 발전량이 가장 많은 1296.7kWh/kWp로 나타났으며, 0도가 1,106.8kWh/kWp, 90도가 725.5kWh/kWp로 30도 발전량을 기준에서 0도는 14.7%, 90도는 44%가 적게 발전되는 것을 알 수 있다.
- (3) 시스템 손실 분석결과 각 모듈에 설치된 인버터의 DC와 AC 변환 성능에는 큰 차이가 없는 것으로 분석된 반면 어레이 손실 분석결과 모듈의 설치위치, 종류 등 모듈의 설치요건 및 특성에 따라 많은 차이가 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 BIPV시스템의 경우 PV 시스템과는 다르게 설치요건에 따른 주변 환

경적 요인이 발전효율에 지대한 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 특히 일반적인 PV 시스템에서 활용되는 수평면일사량으로는 BIPV 시스템에 대한 상세한 분석을 할 수 없으며 BIPV 시스템에 대한 분석을 위해서는 입사각에 따른 일사량과 주변 환경에 대한 상세한 분석이 이루어져야 할 것이다. 이러한 결과를 통해 향후 BIPV 시스템의 설치 및 효율 향상을 위한 기초자료 및 분석방법 등에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

### 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.23-31, 2013
2. Hab-Myoung ,Lee, et al, A Study on the Mock-up test for applying BIPV in theexternal curtain Wall, Journal of the Korea Solar Energy, Vol, 29, No. 6 pp. 110-118, 2009
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. Jong-Hwa, Song, et al., Power Performance Characteristics of Transparent Thin-film BIPV Moule depending on an installation angle, Journal of the Korea Solar Energy, Vol, 28, No. 2, 2008
5. International Electrotechnical Commission. IEC 61724, Photovoltaic system performance monitoring e guidelines for measurement, data exchange and analysis. 1sted.Geneva, IEC:InternationalElectrotechnicalCommissio n:1998.
6. Pless, S., Deru, M., Torcellini, P., Hayter, S., Procedure for Measuring and Reporting the Performance of Photovoltaic Systems in Buildings: NREL/TP-550-38603 October 2005.