

발코니 일체형 태양광발전시스템의 발전성능 분석

김현일*¹⁾, 강기환**, 박경은***, 소정훈****, 유권종*****, 서승직²⁾

*한국에너지기술연구원(hikim@kier.re.kr)
**한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr)
***한국에너지기술연구원(kepark@kier.re.kr)
****한국에너지기술연구원(jhso@kier.re.kr)
*****한국에너지기술연구원(y-gj@kier.re.kr)

¹⁾인하대학교 대학원 건축공학과(triumph070@inhaian.net)
²⁾인하대학교 건축공학과(energeti@inha.ac.kr)

Analysis of Performance of Balcony Integrated PV System

Kim, Hyun-Il*¹⁾, Kang, Gi-Hwan**, Park, Kyung-Eun***, So, Jung-Hun****,
Yu, Gwon-Jong*****, Suh, Seung-Jik²⁾

*Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(hikim@kier.re.kr),
¹⁾Dept. of Architectural engineering, Graduate School, Inha University(triumph070@inhaian.net),
**Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),
***Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(kepark@kier.re.kr),
****Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(jhso@kier.re.kr),
*****Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(y-gj@kier.re.kr),
²⁾Dept. of Architectural Engineering, Inha University(energeti@inha.ac.kr)

Abstract

Photovoltaic(PV) permits the on-site production of electricity without concern for fuel supply or environmental adverse effects. The electrical power is produced without noise and little depletion of resources. So BIPV(Building-Integrated Photovoltaic) system have been increased around the world. Hereby the relative installation costs of the system will be relatively low compared to traditional installations of PV in high-rise buildings. This paper examined possibility of building integrated balcony PV system and analyzed both performance and problems of this system. The system is influenced by conditions such as irradiation, module temperature, shade and architectural component etc. If this BIPV system of 1.1kW is possible the natural ventilation in the summer case, the temperature of PV module decrease and then the efficiency of PV system increase generally. By the results, the annual averaged PR of BIPV system of cold facade type is about 74.7%.

Keywords : 건물일체형 태양광발전시스템(Building Integrated Photovoltaic, BIPV), 성능계수(Performance Ratio, PR), 태양광발전 어레이 손실(Capture losses, Lc), 시스템 손실(System losses, Ls)

투고일자 : 2008년 12월 09일, 심사일자 : 2008년 12월 15일, 게재확정일자 : 2009년 02월 03일
교신저자 : 김현일(triumph070@inhaian.net)

기 호 설 명

- PR : 성능계수[%]
 L_C : PV어레이 손실[%]
 L_S : 시스템 손실[%]
 Y_r : 등가 태양 일조시간 (h/d)
 Y_A : 등가 PV어레이 가동시간 (h/d)
 Y_P : 등가 시스템가동시간 (h/d)

1. 서 론

국내 건물에너지 사용실태를 보면 소비되는 총 에너지의 30%가 건물에서 사용되고 있다. 이 에너지의 약 20~30%가 단열성능이 취약한 창호와 같은 외부마감재를 통해 손실된다. 이에 2020년 예상 건축물부문 에너지소비량의 15% 절감을 목표로 설계에서 유지관리에 이르기까지 생애주기 전반에 걸친 에너지효율화를 도모하는 혁신방안의 일환으로 신재생에너지의 보급이 확대될 예정이다. 그중 태양광분야는 보급을 촉진시키기 위해서 지식경제부 산하 에너지관리공단 주도 하에 태양광주택 10만호 보급사업을 비롯하여 공공기관 의무화 사업, 시범보급사업 및 지역에너지 사업 등이 이루어지고 있어, 이를 통한 PV 보급 확산이 이루어지고 있다. 실제로 2007년 대비 2008년도 9월 현재 발전 차액을 지원 받는 태양광시스템의 총 설치량이 877.4% 대폭 증가하였으며, 국내 총 태양광발전 누적설치량은 약 377MW이다. 또한 건물일체형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic: BIPV) 시스템은 건물외부마감재와 PV 발전시스템 시장을 결합한 건물외장재형태로 건물에너지 절약과 신재생에너지원인 태양광발전 보급이란 전략적 사업으로의 시너지효과가 기대된다.

BIPV시장은 국내 공공기관의 신재생에너지 설비 의무화와 정부의 신재생에너지 보급

정책에 따른 태양광 주택 10만호 보급사업 등이 맞물려 지속적으로 확대될 것으로 전망되며, 더욱이 신재생에너지 개발 및 이용·보급 촉진법을 근거로 하는 신재생에너지 공공의무화 사업은 기존에는 공공기관이 발주하는 건축연면적 3,000m² 이상의 신축 건축물에 대해서 총 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지 설비 설치에 투자하도록 의무화하고 있었으나, 2009년부터는 현행 신축건물에 제한을 두었던 것을 “신축·중축 또는 개축” 건축물로 확대 시행된다.¹⁾ 또한 공공기관의 지방이전과 맞물린 혁신도시, 기업도시, 행정중심복합도시 건설과 관련, 도시 미관 차원에서 건물일체형 태양광시스템 보급이 급속히 확대될 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 선행 연구에 이어 전력소비량이 건물전체에너지소비의 약 65%를 차지하는 공공건물과 산업용 건물의 facade 또는 비상계단 난간 그리고 주택부문에 건설실적이 지속적으로 증가하고 있는 공동주택 발코니부분과 같이 발전시 상승되는 PV 모듈의 온도를 자연통풍으로 냉각시킬 수 있는 부분에 적용할 수 있는 BIPV시스템에 대해서 실증시험을 통해 수집된 결과를 토대로 PV시스템의 성능특성을 평가 분석하였으며 궁극적으로는 BIPV시스템의 발전성능 개선을 위한 기초자료로 이용하고자 한다.

2. 건물일체형 태양광발전 시스템 개요

BIPV 시스템은 별도의 설치부지가 필요 없어 실제 거주면적이 협소한 지형조건에 적합하고, 생산지와 소비지가 동일하여 송전 등으로 인한 전력손실을 최소화하며, PV를 건물외장재로 사용함으로써 건설시 재료비용을 절약할 수 있으며, 환경 친화적인 건물의 장요소로서 건물의 가치 향상에 기여하고,

1) 설치의무화제도가 시행된 2007년 말까지 17,075tce의 유틸리티 및 50,950tce의 온실가스 저감효과를 거둔 것으로 분석.

신축 또는 기존 건물의 개보수 경우 적용 가능하다고, 하절기 냉방부하 등으로 인한 전력 피크 완화가 가능하다. 하지만 BIPV시스템이 온도, 음영, 미관 등의 건축적 요소 등 지상용에 비해 고려해야 할 사항이 많고 시공 시 방위각과 설치경사각도 등 제약이 따른다는 이유로 건축가와 건물주는 부정적인 시각이다. 즉, 일반 지상용 PV모듈의 경우 설치 시 일사량, 설치경사각, 어레이간의 간격 등을 고려하는 반면, BIPV모듈의 경우 재실자의 쾌적한 환경을 보장이라는 중요한 요소가 추가된다. 특히 PV모듈 후면에서 발생하는 열을 처리하기 위한 적절한 설계 및 설치 공법이 요구된다. 이에 PV/T시스템과 같은 태양광과 열을 접목 시킨 연구들이 활발히 진행되고 있다. 일반적인 연구결과에 의하면 PV모듈 후면 개방형보다 폐쇄형은 약 3~7°C 상승하는 것으로 알려져 있고 이로 인한 출력저하는 약 0.6~1%정도로 예측되어 진다.²⁾ 그림 1은 다양한 BIPV시스템 적용 유형의 개념도이다. 건물 Facade부분의 경우 자연통풍이 가능한 형태 즉, cold facade³⁾부분에 PV모듈을 적용시킬 경우 별도의 전력을 이용하는 환기시스템이 필요치 않다고 사료된다⁴⁾.

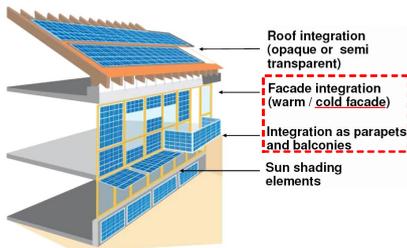


그림 1. 건물일체형 PV시스템 적용 유형

2) Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden p.12.15 1995
 3) 벽면에 내부 공기층이 있는 구조로 동절기에는 단열효과가 있으며, 하절기에는 공기가 흐름으로 방열이 가능함.
 4) German Solar Energy Society, Planning and Installing Photovoltaic Systems, James & James, p. 275, 2005

PV시스템이 최대 효율을 얻기 위해서는 태양전지 셀의 온도상승을 70°C 이하가 되게 하는 것이 가장 이상적이다. 유럽에서 설계 경험치로 도출된 벽면에 부착되는 시스템의 손실율은 아래와 같다.⁵⁾

- No air gap :10% 손실
- 5cm air gap :5% 손실
- 15cm air gap :온도에 의한 최소한의 손실



그림 2. 발코니 BIPV시스템이 설치된 건물 전경(좌), 발코니 BIPV모듈 상세(우)

그림 2는 본 논문에서 성능분석을 수행한 대전지역에 위치한 건물의 전경과 BIPV모듈 상세도를 보여주고 있다. 외부에 노출되어 있어 온도의 의한 시스템 손실율은 최소한이라 사료되며, 선행연구에 의해 주변건물에 의한 음영으로 인한 출력 감소량은 일몰시에 부분적으로 나타나므로 그 손실율은 무시할 수 있다⁶⁾.

3. 발코니 PV시스템 발전량 측정

3.1 실험조건

BIPV시스템은 설치 방위각 15°(남서), 설치 경사각 90°로 설치되었으며, 50Wp급 국산 단결정 실리콘 태양전지모듈로 총 11직렬 2병렬 2군으로 설치되어있는 시스템에서 어레이 1군만 S사의 정격 850W급 계통연계형 PCS(Power Condition System)에 연결하여

5) Deo Prasad & Mark Snow, Designing with Solar Power, Image Publishing, p. 207, 2005
 6) 강기환 외, BIPV시스템에서 건물부분음영이 발전성능에 미치는 영향, 제18회 신재생에너지 워크샵, p131~138, 2006. 9. 27~28

운전 중이다. PV모듈 규격과 PCS의 상세 규격은 표 1, 표 2 그리고 모니터링 데이터 측정 항목은 표 3과 같다.

표 1. 모듈 규격 및 어레이 구성

모듈 규격		어레이 구성	
$P_{max}(W)$	50	Cell type	단결정 Si
$V_{oc}(V)$	21.6	Cell Size(mm)	103×103
$I_{sc}(A)$	3.2	Size(mm)	617×1075×9.5
$V_{mp}(V)$	16.95	모듈수량(매)	22
$I_{mp}(A)$	2.95	어레이 구성	11직렬×2병렬

표 2. PCS 규격

DC	Max operating voltage	300V
	Operating voltage range	150~300V
	Nominal operating voltage	180V
	Max input current	6.7A
	Max temperature range	-25~+60℃
AC	Nominal operating voltage	230V
	Nominal operating frequency	60Hz
	Nominal output power	850W
	Max output power	900W
	Max output current	4.5A RMS

표 3. 모니터링 데이터 측정항목

	측정항목	단위		측정항목	단위
1	수평면일사량	W/m ²	6	PCS출력전압	V
2	경사면일사량	W/m ²	7	PCS출력전류	A
3	어레이출력전압	V	8	PCS출력전력	kW
4	어레이출력전류	A	9	PCS출력주파수	Hz
5	어레이출력전력	kW	10	PCS왜율	

3.2 측정결과

모니터링 시스템을 구축하여 PV시스템의 운전 시 운전데이터를 수집하고, 수집된 결과를 토대로 PV시스템 및 구성요소기기의 종합적인 운전특성을 분석하기 위해서 샘플링 시간을 1분 간격으로 설정하여, 2007년 2월부터 현재까지 PV시스템 및 구성요소기기의 입출력 정보 및 기상조건 데이터를 수집 저장 중이다. 본 논문에서는 2007년 12월부터 2008년 11월까지 수집된 연간 실측데이터로 PV시스템의 성능을 분석하였다.

그림 3과 그림 4는 각각 PV어레이와 PCS의 월별 출력전력량과 변환효율을 보여준다. 분석기간 동안 일사량에 따른 수직면 PV어레이의 총 출력전력량은 765.12kWh, 월평균 PV어레이 변환효율⁷⁾은 6.13%이며, 시스템의 총 출력전력량은 704.72kWh, 월평균 시스템 변환효율⁸⁾은 91.67%이다. 또한 그림 4에서 보여주듯이 하절기(6~7월)에 출력전력량이 급격히 떨어지는 것은 수직(90°)인 PV어레이의 설치경사각도와 기상조건(구름, 강우 등)의 악화 때문이다.

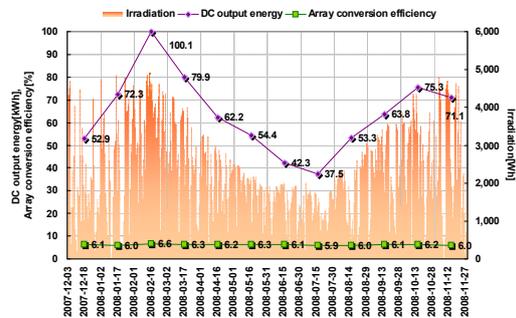


그림 3. PV어레이 월별 출력량 및 변환효율

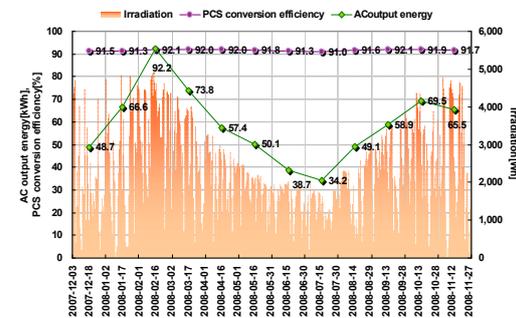


그림 4. PCS 월별 출력량 및 변환효율

4. 시스템 성능 분석

성능계수 PR(Performance Ratio)은 현재 PV시스템의 성능지수로서 모니터링 결과 분

7) (PV어레이출력전력 / 경사면일사량 × PV어레이 면적) × 100

8) (PV어레이출력전력 / PCS출력전력) × 100

석 시 지표가 되는 계수이다. PR은 표준시험조건(Standard Test Condition : STC)에서 손실을 고려하지 않은 PV시스템의 이상 발전성능에 대한 실제 발전성능 비를 나타낸다⁹⁾. 실제 운전되는 PV시스템은 그림자의 영향, PCS손실, 미스매칭, 모듈 온도 상승 등 여러 손실 요인들에 의해 발전성능이 결정되는데, PV시스템의 발전성능 손실이나 문제발생에 대해 비교적 간단하면서 정확하게 평가할 수 있는 분석 항목으로 PR이 많이 사용된다. 일반적으로 PR > 0.8인 경우는 시스템이 매우 양호한 발전성능을 가진다고 평가할 수 있으며, PR < 0.7인 경우는 PV시스템의 발전성능을 저하시키는 손실요인 즉, PV시스템 및 관련 구성요소에 고장 혹은 결함이 발생했거나 설치조건이나 설치 시공에 문제점이 있다고 판단할 수 있다.

$$PR = (E_P \times G_{T,ref}) / (P_{AS} \times H_A) \quad (1)$$

여기서 E_P 는 시스템 출력전력량[kWh], P_{AS} 는 STC에서 PV어레이 정격출력전력[kW], H_A 는 경사면 일사량[kWh/m²] 그리고 $G_{T,ref}$ 는 STC에서 일사강도인 1,000W/m²이다¹⁰⁾. 또 다른 PV시스템 발전성능 평가지수로는 PV어레이 손실 L_C (Capture losses)와 시스템 손실 L_S (System losses)가 있다.

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (2)$$

$$L_S = Y_A - Y_P \quad (3)$$

L_C 는 태양에너지로부터 직류전력으로 변환하는 과정에서 발생하는 손실로 등가 태양 일조 시간 Y_r 과 등가 PV어레이 가동시간 Y_A 의 차이값이며, L_S 는 PV어레이 손실 L_C 과 직류전력

에서 교류전력으로 전력 변환하는 과정에서 발생하는 손실로 등가 PV어레이 가동시간과 등가 시스템가동시간 Y_P 의 차이값을 나타낸다.

$$Y_A = E_{A,d} / P_{AS} \quad (4)$$

$$Y_P = E_{P,d} / P_{AS} \quad (5)$$

$$Y_r = H_{A,d} / G_{T,ref} \quad (6)$$

여기서 $E_{A,d}$ 는 일별평균 PV어레이 출력전력량[kWh], $E_{P,d}$ 는 일별평균 시스템 출력전력량[kWh]이다.

그림 5는 계측데이터로부터 BIPV시스템의 연간특성 분석 결과를 보여주고 있다¹¹⁾. PR은 0.71~0.80, PV어레이 손실 L_C 가 0.27~0.50 그리고 시스템 손실 L_S 는 0.09~0.24이다. 일반적으로 PV시스템의 손실은 L_S 보다 L_C 가 큰 것은 PV어레이는 PV모듈의 성능뿐만 아니라 일사강도 및 PV어레이의 온도 상승에 의한 변환효율 감소 및 미스매치 등으로 PV시스템의 발전성능에 더 큰 영향을 받기 때문이다. L_S 의 증가로 발전성능이 떨어지는 것은 실제 운전시 정격규격의 PCS변환효율보다 작아지면서 PCS의 성능저하에 따른 L_S 가 증가 즉, PCS의 설계제어에 의한 결함보다는 구성품의 선정 및 최적설계의 문제로 발전성능이 떨어진다는 것을 나타낸다.

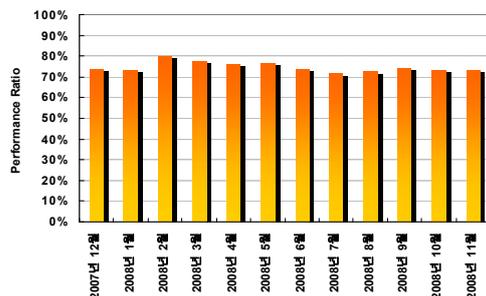


그림 5. 월별 성능계수(PR)

9) The german energy society, Planning and installing photovoltaic systems, Earthscan, 2008, p 178

10) So Jung Hun, A performance evaluation and analysis of photovoltaic systems with monitored data, Dept. of electrical engineering, Kwangwoon University, 2006, p100

11) PR값이 최대인 2008년 2월의 경우, $(E_P \times G_{T,ref}) / (P_{AS} \times H_A) = (3,180Wh \times 1,000W/m^2) / ((50W \times 22매) \times 3,586Wh/m^2) \times 100 = 80\%$

그림 6은 수집된 계측데이터를 이용하여 PV 시스템의 등가태양 일조시간, 등가PV어레이가 동시간, 등가시스템 가동시간 등의 성능특성을 분석하였다. 태양 일조시간은 1.4~3.6[h/d], 등가PV어레이 가동시간은 1.1~3.1[h/d], 등가시스템 가동시간은 1.0~2.9[h/d]이다. 연평균 태양 일조시간, 등가PV어레이 가동시간 그리고 시스템 가동시간은 각각 2.3[h/d], 1.9[h/d] 그리고 1.8[h/d]이다.

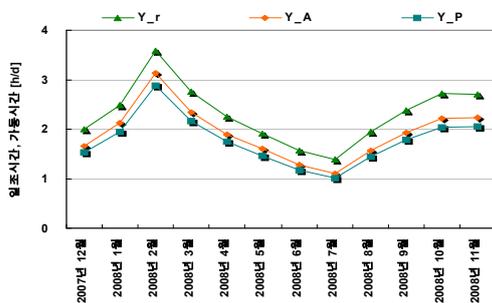


그림 6. 월별 PV시스템 등가 가동시간

5. 결 론

신재생에너지의 이용과 그에 따른 부가가치 창출 그리고 건물 부문 전력피크부하 대응을 위해 계통연계형 BIPV시스템의 적용이 증가하고 있다. 이에 본 논문은 국내 설치되어 운전중인 계통연계형 발코니 PV시스템의 장시간의 실증시험을 통해 수집된 실측결과를 이용하여 BIPV의 발전성능과 문제점 분석을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 분석기간 동안 PV어레이의 총 출력전력량은 765.12kWh, 월평균 PV어레이 변환효율은 6.13%, 시스템의 총 출력전력량은 704.72kWh, 월평균 시스템 변환효율은 91.67%이다.
- (2) 본 시스템의 성능계수 PR은 0.71~0.80, PV어레이 손실 L_c 가 0.27~0.50 그리고 시스템 손실 L_s 는 0.09~0.24이다. 발전성능을 저하시키는 요인 중 PV어레이 손실 L_c 이 큰 이유는 PV모듈의 성능뿐만 아니라 일사강도

및 PV어레이의 온도 상승에 의한 변환효율 감소 및 미스매치 등으로 PV시스템의 발전 성능에 더 큰 영향을 받기 때문이다. 본 시스템의 경우 외부에 노출되어있어 모듈 후면에서 발생하는 열을 인위적으로 방출시키는 다른 BIPV시스템보다 온도에 의한 영향은 다소 적은 것이 특징이지만, 설치경사각이 수직이므로 경사면 대비 일사량이 적고 운량과 같은 기상조건에 민감하여 L_c 값이 크다.

- (3) 저일사량에 의해 PV어레이의 급격한 성능 변화로 PV어레이출력이 PCS의 정격에 30%이하일 경우 MPPT(Maximum Power Point Tracking, 최대출력점 추종)제어 정밀도가 떨어지면서 손실이 증가된다. 본 시스템의 850W급 PCS의 경우 일사강도 400W/m²이상일 경우 PCS효율이 93.2%, 일사강도가 200W/m²이하가 될 경우 PCS효율이 87.7%로 저감된다. 따라서 PV모듈의 성능개선과 PV어레이의 설계구성을 최적화한다면 환경변화에 따른 PCS의 MPPT제어의 정밀도 개선으로 손실을 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

1. Staiss F. Photovoltaic, Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden p.12.15 1995
2. German Solar Energy Society, Planning and Installing Photovoltaic Systems, James & James, p. 275, 2005
3. Deo Prasad & Mark Snow, Designing with Solar Power, Image Publishing, p. 207, 2005
4. The german energy society, Planning and installing photovoltaic systems, Earthscan, 2008. p 178
5. 소정훈, 계측데이터를 이용한 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석, 광운대학교 전기공학과 박사학위논문, 2006