

12kW급 건물일체형 태양광발전시스템 사례분석

박경은¹⁾, 강기환²⁾, 김현일³⁾, 소정훈⁴⁾, 유권중⁵⁾, 김준태²⁾, 이길송³⁾,

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

¹⁾공주대학교 대학원 건축학과(kepark@kognju.ac.kr)
²⁾공주대학교 건축학과(jtkim@kongju.ac.kr)
³⁾(주)솔라테크
⁴⁾한국에너지기술연구원(gj-y@kier.re.kr)

Case Study on 12kW Building Integrated Photovoltaic System

*¹⁾Park, Kyung-Eun, **Kang, Gi-Hwan, ***Kim, Hyun-Il, ****So, Jung-Hoon,
*****Yu, Gwon-Jong, ²⁾Kim, Jun-Tae, ³⁾Lee, Kil-Song

* Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(kepark@kier.re.kr),
¹⁾ Dept. of Architecture, Graduate School, Kongju National University(kepark@kongju.ac.kr),
** Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),
*** Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(hikim@kier.re.kr),
**** Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(jhso@kier.re.kr)
***** Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(gj-y@kier.re.kr),
²⁾ Dept. of Architecture, Graduate School, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr),
³⁾ Solar Tech Co., Ltd.(isolarksl@teleoffice.co.kr)

Abstract

We intend to describe a 12kW building-integrated photovoltaic system which was applied into the south wall of a new building. This study showed the results that were appeared from describing the PV module manufacture and installation process, and performing generation performance analysis of BIPV system. From the result we confirmed that the generation performance of the BIPV system was changed by season. The performance ratio(PR) was about 83.6% in winter and it means that performance of this BIPV system was so good in that season. On the other hand, the PR in summer was about 75.0% dropped about 8%. It was believed that the change was influenced by the reduction of solar radiation irradiated into the PV modules by installation position and rainy spell in summer. And we also confirmed that low irradiation condition is cause of the additional loss in the total PV system. In this case, the efficiency ratio of PCS drops significantly at low input loads and the average conversion efficiency of PCS in summer was 76.4% decreased about 10% from 86% in winter.

Keywords : 건물일체형 태양광발전(Building-Integrated Photovoltaic(BIPV)) 모니터링시스템(Monitoring system), 성능계수(Performance ratio(PR)), 전력변환장치 효율(Power conditioning system(PCS) efficiency)

접수일자 : 2008년 11월 28일, 심사일자 : 2008년 11월 30일, 게재확정일자 : 2009년 01월 19일
교신저자 : 박경은(kepark@kongju.ac.kr)

1. 서 론

세계 태양광산업이 급속한 증가추세를 나타내고 있고, 그 중 몇몇 나라는 괄목할 만한 성장으로 세계의 주목을 받고 있다. 한국도 그 중의 하나로 매우 급속한 성장세를 나타내고 있다. 2004년 시작된 태양광주택 10만호 보급사업 등을 중심으로 보급이 활성화되기 시작하여, 2003년까지 설치된 태양광발전시스템은 6MW에 불과했던 것에 반해, 2004년 2.5MW(전년대비 310%), 2005년 5MW(전년대비 100%), 2006년 21MW(전년대비 320%), 그리고 2007년에는 약 45MW가 설치되어 2007년까지 한국에는 약 130MW의 태양광발전시스템이 보급되었다.¹⁾ 2008년에는 더욱 큰 폭의 증가가 예상되고 있다. 비록, 현재 가장 빠른 성장으로 가장 큰 비중을 차지하고 있는 적용분야는 태양광발전소이지만, 실제 이용가능 면적이 협소한 한국의 여건 상, 태양광발전시스템의 건물 적용 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 특히, 좁은 지형 및 높은 인구밀도로 집합 주택 형태의 다층 또는 고층 건물 유형이 많아 건물 입면에서의 적용 가능성도 매우 크다.

본 논문은 대전에 소재한 신축 건물의 남쪽 입면에 반투명 태양광발전 모듈을 마감재로 대체하여 설치한 사례를 대상으로 하였다. 건물 설계 초기 단계부터 기존 건축자재와의 조화 및 설치 위치, 공법 등에 관한 고려를 통해 건물일체형 태양광발전시스템을 설치하였다. 본 논문에서는 간략하지만 BIPV 시스템을 구성하는 전 과정을 다루고 있다. 즉, 모듈 제조 및 모듈 설치 공법, 모니터링 설비 구성, 그리고 성능분석까지 다루고 있어, 아직까지는 본격적인 BIPV 보급 시장이 형성되지 않아 참고할만한 사례가 많지 않은 현실에서 BIPV 시스템 보급 확대를 위한 귀중한 참고 자료가 될 것으로 기대된다.

2. BIPV 모듈 및 시스템²⁾

2.1 적용대상 건물 개요

본 논문에서 적용 대상으로 선정된 건물은 실험실 및 사무용으로 5층 높이의 정동향 건물이다. 남북으로 긴 축을 형성하고 있는 이 건물은 2007년 9월에 신축되었는데, 건설 초기 단계부터 태양광발전시스템의 적용에 대한 계획이 포함되었다. 태양광발전시스템의 발전 효율을 고려하여 건물의 정남향 벽면에 적용이 되었으며, 남쪽 벽면 전면에 위치한 낮은 산과 조경으로 인한 음영을 고려하여 1층 높이에 해당되는 부분을 제외한 벽면 전체에 약 12kW급 BIPV 어레이를 설치하였다. 건물 전체는 인조석재와 그린컬러유리로 마감이 되었고, 이들 재료와의 조화를 고려하여 반투명 PV 모듈을 선정하고 제작, 설치하였다. 그림 1은 건물의 조감도 및 평면도를 나타낸 것으로, 건물 남쪽 벽면인 동근 파선부분에 BIPV 모듈이 설치되었다.



(1) 조감도



(2) 평면도

그림 1. 건물 조감도, 평면도 및 BIPV 모듈 설치위치

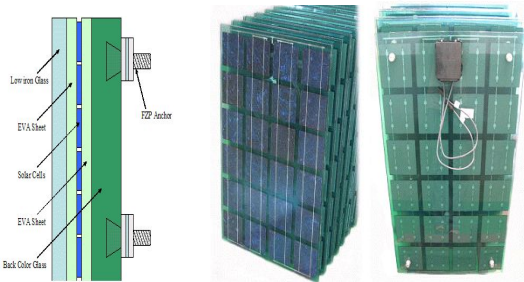
1) 유권중 외, 2007년 세계 태양광발전산업 현황, 대한전기학회 하계학술대회, 2008. 7. pp.1132-1133.

2) 산업자원부, "건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발", 산업자원부, 2007. 10, pp.419-445

2.2 PV 모듈 개요

본 시스템에 사용된 모듈 제조를 위해 모두 5인치 다결정 실리콘 태양전지가 사용되었고, PV 모듈의 용량은 50W급과 35W급의 2가지 사양으로 제작되고 적용되었다. 모듈의 크기는 함께 사용된 다른 건축 마감재의 크기를 고려하여 선정되었는데, 건물의 시공 중 발생한 외벽 사이즈의 오차로 처음 계획보다 다양한 크기의 유리를 사용하여 제작하게 되었다.

본 연구에서 사용된 모듈은 전면에 저철분강화 유리(3.2mm)를 사용하여, Glass / Encapsulation film(EVA Sheet) / Solar cells / Encapsulation film(EVA Sheet) / Glass의 일반적인 Glass to Glass PV 모듈 형태로 제작이 되었는데, 특이한 점은 후면에는 색깔이 있는 12mm의 두꺼운 유리를 사용한 것이다. 이는 건물의 마감재로 사용된 그린 컬러 유리 및 인공석재와의 조화 및 건물에의 설치를 고려한 것으로, 그림 2에서 보이는 바와 같이 후면 유리에 홀을 가공하고 FZP 앵커가 고정되도록 하였다. 이렇게 제작된 50W급 모듈 200매에 대한 발전성능시험을 수행한 결과, 0.5W 범위 이내에서 50W 출력에 못 미친 3매를 제외한 나머지 모듈들은 모두 정격출력 50W이상의 출력을 나타내었으며, 전체 모듈의 평균 출력 51.76 W, 균일도 4%로 우수한 출력 특성을 나타내었다.



(1) 모듈 지지면 개념도 (2) 모듈 전·후면

그림 2. BIPV모듈 개념도 및 제작 완료 후 BIPV모듈

2.3 BIPV 시스템의 설계 및 적용

남쪽 외벽면에 마감재를 대체하여 적용·설치한 BIPV 어레이 용량은 약 12kW로, 3kW 계통연계형 인버터 5대를 사용하여 모듈 사양별로 어레이 군을 구성하였다. 그림 3은 본 BIPV시스템의 간선결선도로, 3kW 2군, 2.4kW 1군, 2kW 2군이 각각의 인버터에 연결되어 운용되고 있다. 그림 4는 BIPV 모듈을 건물에 설치할 때 사용된 고정 방법을 나타낸 것으로, 조인트 부위의 입면과 단면을 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 FZP 앵커에 브라켓을 끼운 후 지지 프레임에 쉽게 고정시킬 수 있는 방법을 사용하였다. 그림 5는 BIPV모듈을 설치하는 공정 및 설치 완료 후의 전경을 보여주고 있다.

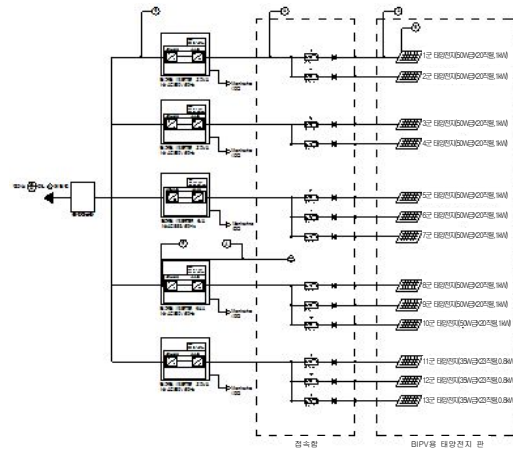


그림 3. BIPV시스템의 간선결선도

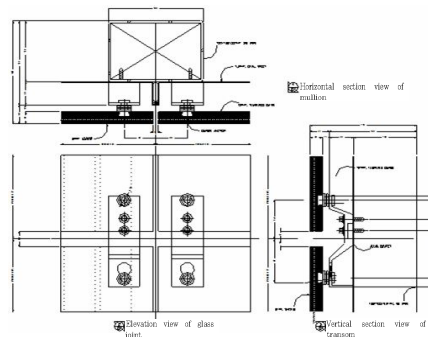


그림 4. BIPV모듈 설치 공법



그림 5. BIPV모듈 설치 공법

3. BIPV 시스템 성능분석

3.1 모니터링 시스템 개요

본 BIPV시스템의 성능을 분석하기 위해서 실시간으로 계측 데이터들을 수집할 수 있는 시스템을 구성하였다. 그림 6은 모니터링 시스템을 포함한 전체 시스템 구성을 보여주고 있다. 본 모니터링 시스템은 PV시스템의 발전성능, 효율 등 전기적 성능과 기상조건에 대한 정보들을 원격으로 모니터링하여 데이터베이스를 생성하도록 구축되었다. 또한, 이를 통해 PV시스템의 운전현황을 실시간으로 점검하여 시스템에 고장 등의 이상이 발생할 경우 운영자가 신속하게 필요한 조치를 할 수 있도록 구성하였다.³⁾

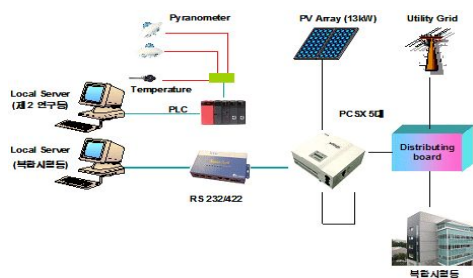


그림 6. 전체 시스템 개요

3.2 모니터링 결과 분석

모니터링은 2007년 11월부터 시작이 되었고, 시간별로 PV시스템의 발전 상태에 대한 결과를 수집하여, 일별로 별도의 데이터베이스 파일이 생성되도록 구성하였다. PV시스템의 발전성능 또는 운전특성을 분석하기 위해서는 신뢰성 있는 기상데이터가 필요한데, 본 실험에서는 적용 대상 건물의 인접 건물 옥상부에 설치·운영 중인 기상측정기기를 이용하여 필요한 기상데이터를 수집하였다.

본 연구에서는 수집한 데이터 중 동절기와 하절기 1달 동안의 일사량, 직류(DC)와 교류(AC)의 발전량과 전력변환장치(PCS)의 변환효율 및 성능계수(PR)에 대한 분석을 수행하였다. PCS변환효율은 PV시스템의 발전성능에 영향을 미치는 요소 중 하나로, 직류전력에서 교류전력으로의 변환효율이 100%가 될 수 없으므로 이 부분에서 손실이 발생하게 된다. PR은 표준시험조건(Standard Test Condition, STC)에서 손실을 고려하지 않은 PV시스템의 이상적인 발전성능에 대한 실제 발전성능의 비로, PV시스템의 성능을 간단하면서도 신속하게 평가할 수 있는 중요한 성능지수이다. PR의 산출식은 다음과 같다.⁴⁾

$$\text{성능계수}(PR) = \frac{\text{시스템출력전력량} \times 1kW/m^2}{\text{정격출력전력} \times \text{경사면일사량}} \quad (1)$$

그림 7은 2007년 11월 7일부터 12월 06일까지 동절기의 어느 한 달 동안 계측된 일사량 및 발전량을 나타낸 그래프이다. 분석 기간 동안의 BIPV시스템의 DC 발전량은 약 1,338kWh, AC 발전량은 약 1,152kWh로 계측되었다. 반면 하절기 1달 동안의 발전량을 분석한 결과, 그림 8에서 보이는 바와 같이 DC발전량 약 612kWh, AC발전량 약 472kWh로, 동절기의 절반에도 못 미치는 발전량을 나타냈다.

3) J.H. So, A Performance Evaluation and Analysis of Photovoltaic Systems with Monitored Data, Doctoral Dissertation, Kwang-Woon University, South Korea, 2006, pp.91-92.

4) J.H. So. Ibid, pp.100-101.

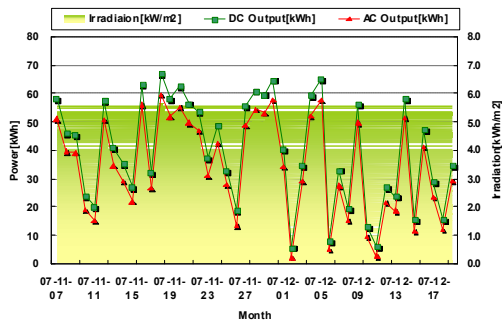


그림 7. 동절기 1달 동안의 일사량 및 발전량

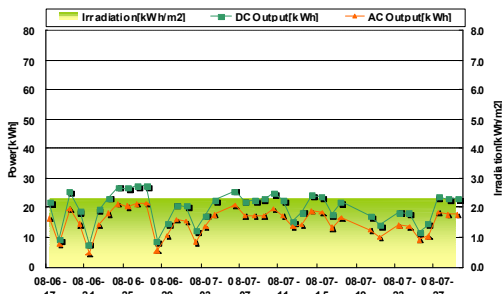


그림 8. 하절기 1달 동안의 일사량 및 발전량

이는 BIPV시스템의 설치 조건에 따른 계절별 일사획득 차이에서 그 원인을 찾을 수 있다. 즉, 본 BIPV시스템은 건물의 수직면에 설치되어 있어, 태양의 고도가 높은 하절기보다 태양의 고도가 낮은 동절기에 더 많은 일사획득이 가능하다. 또한, 한국의 기후 특성상 하절기에는 장마철이 있고 흐린 날이 많아 일사획득량이 적을 수밖에 없다. 실제 일사량 계측 결과를 살펴보면, 하절기 1달 동안 계측된 일사량은 50.06kWh/m²로, 동절기 1달 동안의 일사량 (110.23kWh/m²)의 절반에 못 미치는 수준으로 나타났다.

이와 같이 일사조건이 좋지 않을 경우, 일사량 감소로 인한 발전량 감소 이외에 추가적인 손실이 발생한다. PCS의 변환효율은 정격 상태에서 90% 이상이 되지만 정격 이외의 운전조건에서는 여러 요인에 의해서 그 효율이 감소하게 된다. 일사량도 손실 요인이 될 수 있는데, 일정 수준 이상의 일사량 조건에서는 PCS 본래의 변환효율 성능을 나타내지만, 일사 수준이 정격의 15% 이

하가 될 경우 PCS의 변환효율은 안정적이지 못하다.⁵⁾ 실제로, 그림 9에서 보이는 바와 같이 분석 기간 동안 PCS 변환효율 및 성능계수는 극히 저조한 일사조건을 나타낸 며칠을 제외하고 대체로 안정적인 분포를 나타냈는데, 이 기간 동안의 PCS 변환효율은 평균 약 86.0%, 성능계수는 약 83.6%로 매우 우수한 성능을 나타냈다. 반면, 일사량이 적은 날이 많았던 하절기의 경우, 그림 10에서 보이는 바와 같이 PCS 변환효율은 약 10% 이상 감소하여 평균 76.4%를 나타내었고, 전체 시스템의 PR도 하절기보다 약 8% 감소한 75.0% 수준을 나타냈다. 이는 실제 DC와 AC발전량 분석 결과에서도 확인할 수 있었는데, 하절기 일사량이나 DC발전량이 동절기 대비 약 45% 수준을 나타낸 반면 AC발전량의 경우 약 40% 수준을 나타냈다. 표1은 이상의 계절 간 발전성능을 비교한 결과이다.

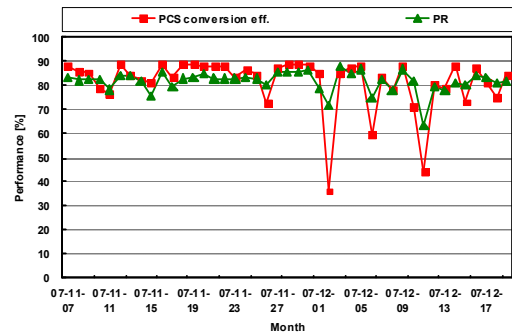


그림 9. 동절기 1달 동안의 PCS변환효율 및 PR

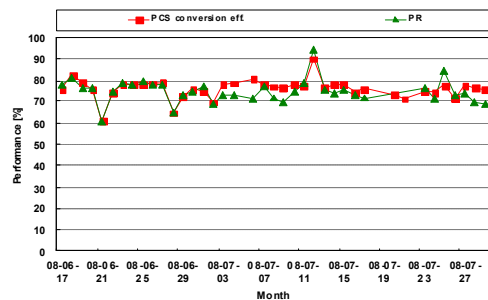


그림 10. 하절기 1달 동안의 PCS변환효율 및 PR

5) DII, Monitoring of Roof Mounted Photovoltaics at the Ecos Millennium Environmental Centre, S/P2/00388/REP, URN04/557, 2004, pp.7-9.

표 1. 계절 간 발전성능 비교

항 목	동절기 (07.11.07 ~07.12.17)	하절기 (08.06.17 ~08.07.27)	하절기 동절기*100
일사량[kWh/m ²]	110.2	50.1	45%
DC Power[kWh]	1,338.0	612.0	45%
AC Power[kWh]	1,152.0	472.0	40%
PCS변환효율[%]	86.0	76.4	-
성능계수(PR)[%]	83.6	75.0	-

4. 결 론

본 논문은 신축건물의 남쪽 벽면에 설치된 12kW급 BIPV시스템에 관한 사례를 소개하고 모니터링된 성능을 분석하였다.

BIPV시스템의 모니터링 수행 결과, 동절기의 경우 시스템의 성능계수(PR)가 약 83.6%로 매우 우수한 성능을 나타냈다. 반면, 하절기의 경우 성능계수는 이보다 8% 정도 감소한 75% 수준으로 나타나 하절기 발전량 손실이 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 BIPV 어레이가 건물의 벽면에 수직으로 설치되어 태양의 고도가 높은 하절기 동안 일사획득량이 감소된 데에 원인이 있다. 또 다른 원인으로서는 한국의 기후 특성 상 하절기에 우기가 있고 담천공 상태인 날이 많아 다른 계절에 비해 일사 획득량이 많지 않다는 데에 있다. 이렇게 좋지 않은 일사 조건은 부가적인 손실을 일으켜, PCS의 변환효율에도 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본 시스템의 경우, 동절기 평균 86% 수준이었던 PCS 변환효율은 하절기에는 그보다 10% 정도 감소한 76% 수준을 나타내었다. 이는 실제 DC와 AC발전량 분석 결과에서도 하절기 일사량이나 DC발전량이 동절기 대비 약 45% 수준을 나타낸 반면 AC발전량의 경우 약 40% 수준을 나타냈다.

본 논문에서는 모듈의 온도 상승에 의한 손실 등 일사량 이외의 다른 손실 요소에 대

한 분석이 수행되지 않았다. 아직까지는 모니터링 기간이 1년 미만으로 충분한 자료 수집이 되어 있지 않은 상태이다. 향후 장기적인 모니터링을 통해 온도 및 기타 손실요인들에 대한 복합적 분석을 수행함으로써, 보다 다양하고 신뢰성 있는 자료를 제시하고자 한다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원으로 수행되었음.

(과제번호 : 2004-N-PV12P-06)

참 고 문 헌

1. 산업자원부, “건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발, 산업자원부, 2007. 10, pp.419-445
2. 유권종 외, 2007년 세계 태양광발전산업 현황, 대한전기학회 하계학술대회, 2008. 7. pp.1132-1133.
3. J.H. So, A Performance Evaluation and Analysis of Photovoltaic Systems with Monitored Data, Doctoral Dissertation, Kwang-Woon University, South Korea, 2006, pp.100-101.
4. DTI, Monitoring of Roof Mounted Photovoltaics at the Ecos Millennium Environmental Centre, S/P2/00388/REP, URN 04/557, 2004, pp.7-9.
5. DTI, Monitoring of Integrated Photovoltaic Facade for Sandwell Metropolitan Borough Council, ETSU S/P2/00326/REP, URN04/557, 2002.