

15kW급 차양식 BIPV시스템의 성능분석

소정훈*, 유권중*, 강기환*, 정영석*, 최주엽**
한국에너지기술연구원, 광운대학교**

Performance Analysis of 15kW Sunshade BIPV System

Jung-Hun So*, Young-Seok Jung*, Gi-Hwan Kang*, Gwon-Jong Yu*, Ju-Yeop Choi**
*Korea Institute of Energy Research, **Kwangwoon University

Abstract - 15kW building integrated photovoltaic (BIPV) system had been installed and monitored at KIER in May 2003. Data acquisition system (DAS) is constructed for measuring and analyzing performance of PV system to observe the overall effect of environmental conditions on their operation characteristics. Performances of BIPV system have been evaluated and analyzed for component perspective (PV module and array, power conditioning system) and global perspective (system efficiency, capacity factor, electrical power energy) by long-term field test.

장기간 운전에 따른 BIPV시스템의 종합적인 성능특성을 비교분석하기 기상관측센서와 전기적 성능측정센서를 사용한 운전감시계측시스템을 2003년 5월부터 설치 운영하여 현재까지 장기간 운전에 따른 실측데이터를 수집하고 있으며, 원격리에서 on-line 감시계측이 가능하다.

1. 서론

화석에너지의 고갈과 국제환경 규제에 따른 미래에너지원의 안정적 공급과 환경개선의 대응방안으로 태양광 발전 및 풍력발전 등의 분산전원에 대한 정부의 적극적인 지원정책으로 국내의 이용보급이 가속화되면서 분산전원기술에 대한 연구개발 및 관심이 증가되고 있다. 이에 따라 미국, 일본 등의 선진국에서는 실증연구를 수행하여 분산전원에서 발생하는 문제점에 대한 대책기술연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 장시간 운전에 따른 분산전원의 문제점 및 성능특성을 분석평가하여 시스템의 성능개선을 위한 설계기술, 신뢰성 및 안정성 확립을 위한 대책기술 등에 대한 연구는 시작단계라 할 수 있다.^{[1]-[4]}

따라서, 본 연구에서는 중대규모 상업용 및 공공건물을 대상으로 기술개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있는 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)시스템에 대해서 기존의 평지붕용 PV모듈을 적용한 15kW급 차양식 BIPV시스템을 설계하여 실제 건물에 설치 적용하였다. 또한 운전감시계측시스템을 설치하여 BIPV시스템의 종합적인 성능특성을 비교 분석하였고, 수집된 실측 결과를 기반으로 BIPV시스템의 장시간 운전시 발생하는 성능특성, 성능저하 및 손실요인 등의 문제점들에 대해서 비교 검토하였다.

2. 시스템 개요

평지붕용 PV모듈을 차양방식으로 적용한 15kW급 차양식 BIPV시스템 및 구성요소기의 종합적인 성능특성을 분석평가하기 위해서 대상건물로 한국에너지기술연구원 제 1연구동에 설계적용하여 BIPV시스템을 설치하였다. BIPV시스템의 설치조건은 경도 127.4°, 위도 36.3°이고 방위각이 -10°(남동쪽)인 대상건물의 외파에 각 층별로 5kW급 PV어레이를 경사각이 60°인 고정방식으로 설계시공되었다. 그림 1은 설치된 BIPV시스템의 전체 시스템 구성을 보여주고, 표 1은 BIPV시스템에 사용된 구성요소기인 표준조건에서의 PV모듈과 정격시의 PCS의 사양을 나타낸다.

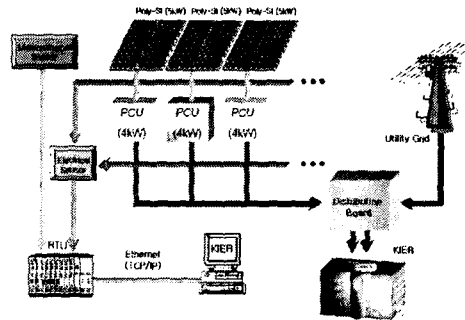


그림 1 전체 시스템 구성

표 1 BIPV시스템 구성요소기의 사양

| | | PV모듈 및 어레이 사양 | |
|-----------|--------------|-----------------------------|--------------|
| Pmax(W) | 50W | Cell Size(mm) | 103×103 |
| Voc(V) | 21.2 | 모듈 무게(kg) | 6.2 |
| Isc(A) | 3.23 | 모듈 Size(mm) | 942×502×50 |
| Vm(V) | 16.8 | 설치모듈수량 | 288 |
| Im(A) | 2.97 | 어레이구성 | 16직렬×6병렬(3군) |
| Cell type | 다결정 Si | 어레이면적(m ²) | 136.2 |
| 구분 | PCS 사양 | | |
| 주회로 방식 | PCS 방식 | 전압형 전류제어방식 | |
| | 스위칭 방식 | 정현파 PWM 방식 | |
| 제어 방식 | 절연방식 | 절연변압기 없음 | |
| | 전력제어 | 최대전력추종제어 | |
| 정격 | 운전제어 | 자동기동/정지 | |
| | 정격입력전압 | 200[V _{DC}] | |
| | 운전가능전압범위 | 145 ~ 350[V _{DC}] | |
| | 정격출력 용량 | 4[kW] | |
| 성능 | 정격출력 전압 | 220[V _{AC}] | |
| | 변환효율 | 93.5[%]이상 | |
| | 출력역률 | 95[%]이상 | |
| | 총합전류 왜율 | 5[%]이하 | |
| 보호기능 | 각차전류 왜율 | 3[%]이하 | |
| | 계통보호, 단독운전방지 | | |

3. 시스템 성능분석

3.1 PV어레이 성능

그림 2는 분석기간인 2003년 5월~2004년 1월까지 차양식 BIPV시스템별 PV어레이의 월별 출력 발전전력량의 특성을 보여준다. 분석기간 동안 BIPV시스템별 PV어레이에서 발전된 총 출력전력량은 각각 3.0MWh (BIPV_1F), 3MWh(BIPV_2F), 3.6MWh(BIPV_3F)이다. 그림에서 보면 BIPV_1F의 PV어레이의 출력전력량이 다른 시스템과 비교해서 차이가 다소 큰 것을 알 수 있다. 수집된 실측결과를 분석한 결과, BIPV_1F에 설치된 PV모듈의 성능이 표 1에서 제시한 설계치의 성능과 비교해서 PV모듈이 약 20%정도 발전성능이 떨어졌기 때문에 전체 시스템의 발전성능이 떨어졌다.

그림 3은 BIPV시스템별 PV어레이의 월별 변환효율 특성을 보여준다. 분석기간동안 PV어레이의 총 평균 변환효율은 각각 7.7%(BIPV_1F), 8.5%(BIPV_2F), 9.3%(BIPV_3F)의 특성을 가진다. PV어레이 변환효율은 설치조건에 따라서 다소 차이가 있지만, PV어레이 (BIPV_1F)의 변환효율특성이 다른 PV어레이 성능과 비교해서는 좋지 않다는 것을 알 수 있다. PV어레이는 환경조건 즉, 일사량과 모듈표면온도 등의 변화특성에 따라서 발전성능이 결정된다.^[4] 따라서, 환경조건변화에 따른 PV어레이의 상능저하 및 손실요인 등의 문제점들을 조사분석하기 위해서는 PV어레이의 표면온도 및 일사강도의 변화에 따른 성능변화특성을 비교분석하여야 한다.

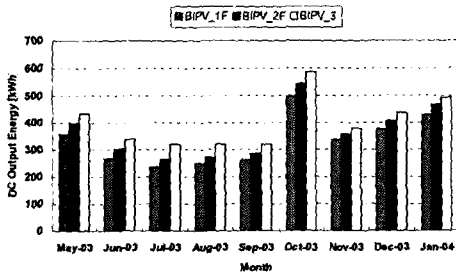


그림 2 월별 PV어레이 출력전력량

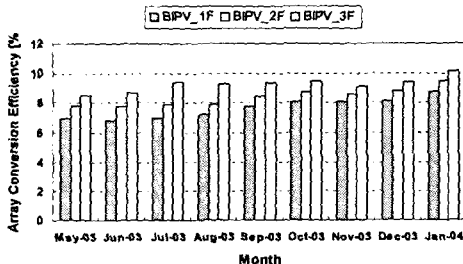


그림 3 월별 PV어레이 변환효율

3.2 PCS 성능

차양식 BIPV시스템에 적용 설치된 PCS에는 MPP 추종제어와 자동기동/정지기능이 있어 일사강도가 80~100W/m²이상일 경우 운전을 시작하여 계통으로 전력을 공급하기 시작하고 일사강도가 약 70W/m²이하로 떨어질 경우, 자동으로 운전을 정지한다. 일사강도가 200W/m²이상일 경우 PCS의 변환효율은 일정한 효율 특성을 가지지만, 일사강도가 200W/m²이하에서는 일

사강도에 따른 효율특성에 변화가 있다는 것을 알 수 있다. 일사강도가 200W/m²이하에서는 PV어레이의 I-V 특성이 비선형성을 가지게 되어 성능특성의 변화가 크게 되어 PCS가 MPP를 정확하게 추적 제어하는데 실패할 가능성이 크고 안정성 및 속응성에 영향을 미치면서 이에 따른 손실이 발생하면서 발전성능이 떨어진다.

그림 4는 PCS 성능평가장비를 사용하여 단기간의 성능시험 및 평가를 통해 PCS의 성능특성을 비교분석하였다. 그림에서 보듯이 PCS가 1/5정격 이상에서 90%이상의 변환효율 가지고 정격시에는 변환효율이 94%이상으로 표 1에서 제시한 PCS의 설계치의 성능과 비교해서 다소의 오차는 있지만 거의 같은 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 분석기간 동안 BIPV시스템별 PCS의 월별 변환효율특성을 보여준다. 분석기간동안 시스템별 PCS의 총 평균 변환효율은 88.6%(BIPV_1F), 87.6% (BIPV_2F), 87.7%(BIPV_3F)으로 설치된 BIPV시스템은 분석기간동안 결함 혹은 고장 등의 문제점들이 발생하지 않았고 장기 간 정지되는 경우는 없었다.

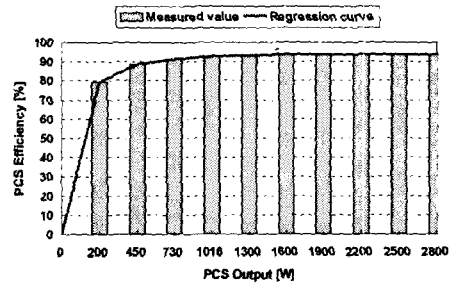


그림 4 PCS 변환효율 특성

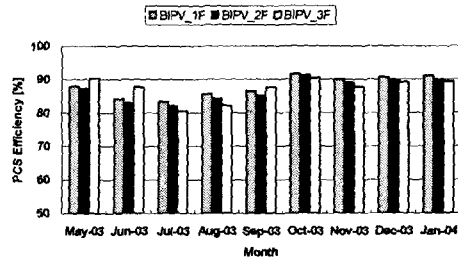


그림 5 월별 PCS 변환효율특성

3.3 BIPV시스템 성능

그림 6,7은 분석기간동안 BIPV시스템별 월별 발전 출력전력량과 발전효율 그리고 시스템이용률의 특성을 보여준다. 분석기간동안 발전된 시스템별 총 출력전력량은 각각 2.66MWh(BIPV_1F), 2.89MWh(BIPV_2F), 3.18MWh(BIPV_3F)이고, 시스템 이용률은 8.4%에서 10%를 시스템 발전효율은 6.8%에서 8.2%의 특성분포를 가진다. 시스템의 발전효율은 PCS의 성능과 직결되지만, 또한 PCS의 입력인 PV어레이의 발전성능에 의해서도 큰 영향을 받는다. 이것은 PV모듈의 성능저하 및 직병렬 불균형에 따른 PV어레이의 손실이 증가되면 발전성능이 떨어지기 때문이다.

PV시스템은 그림2와함, PCS손실, MPPT 미스매칭, PV어레이의 온도상승 등의 손실요인에 따라서 발전성능이 결정이므로 PV시스템의 손실요인에 대한 정확한 평가분석이 필요하지만 분석평가에는 많은 시간과 데이터가 필요하다. 따라서 PV시스템의 손실요인 및 문제

점을 비교적 정확하고 신속하게 평가할 수 있는 PR(Performance Ratio)를 사용하여 분석기간동안 PV시스템의 성능특성을 평가 분석하였다. PR은 PV시스템의 손실요인 뿐만 아니라 PV시스템의 구성요소기와 전체 시스템의 성능을 분석 평가하는데 있어 중요한 분석항목이다. PR은 표준상태(STC)에서 손실요인을 고려하지 않은 PV시스템의 이상적인 성능과 실제 성능에 대한 비로 정의한다.^[5] 분석기간 동안 BIPV시스템별 PR은 65.0%(BIPV_1F), 70.5%(BIPV_2F), 77.7%(BIPV_3F)의 특성을 가진다.

그림 8은 분석기간 동안 BIPV시스템별 성능계수 PR, L_c (Capture Losses), L_s (System Losses)을 분석평가한 결과를 보여준다. 그림에서 보는바와 같이 PR은 65.0%~77.7%, L_c 는 11.4~26.6%, L_s 는 8.4%~10.9%를 가진다. 일반적으로 PR > 80%인 경우 시스템은 양호한 발전성능을 가지고, PR < 70% 경우 고장 혹은 결함 등의 문제점들이 발생하여 시스템의 발전성능이 떨어진다는 것을 나타낸다.

PR(BIPV_1F, BIPV_2F)이 PV시스템(BIPV_3F)과 비교해서 떨어지는 것은 L_s 보다는 L_c 즉 PV모듈의 성능저하, 온도변화 및 직렬 불균형 등의 손실요인이 증가되었기 때문에 발전성능이 떨어졌다.

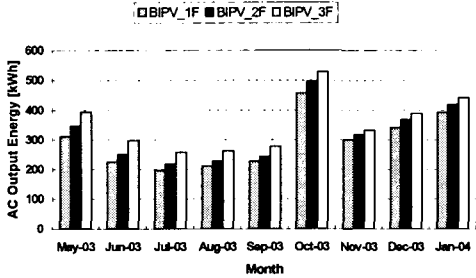


그림 6 월별 시스템 출력전력량

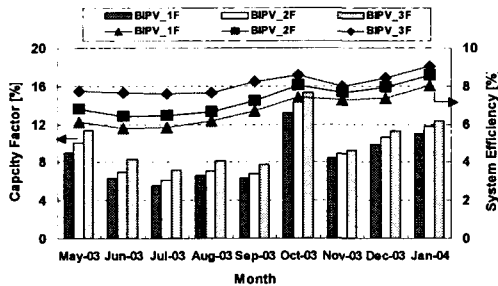


그림 7 월별 시스템이용율 및 발전효율 특성

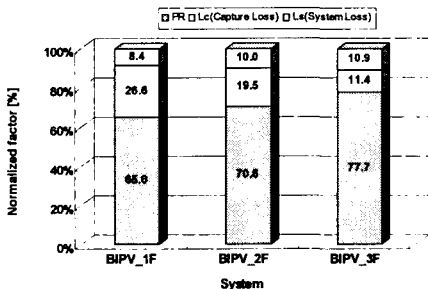


그림 8 시스템별 성능분석결과

4. 결 론

본 연구에서는 중대규모 상업용 및 공공건물을 대상으로 한 15kW급 차양식 BIPV시스템과 운전감시계측시스템을 설치 운영하여 장기간의 운전에 따른 BIPV시스템의 종합적인 성능특성을 분석 평가하여 손실요인 및 운전에 따른 BIPV시스템별 문제점을 비교 분석하였다. 수집된 실측결과 및 비교 분석결과들을 데이터베이스화하여 향후에는 PV시스템 및 구성요소기기의 성능개선, 신뢰성 및 안정성 기술 등의 실용화 기술들을 확립할 수 있는 최적설계기술 개발, 재동연제시의 문제점과 대책기술에 대한 연구를 수행할 계획이다

본 논문은 산업자원부 에너지·자원기술개발사업 (2001 E-NM01 P 01)의 지원으로 수행된 결과임.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Sugiura, T. Yamada, H. Nakamura, M. Umeya, K. Sakutam and K. Kurokawa, "Measurements, analyses and evaluation of residential PV systems by Japanese monitoring program", Solar Energy Materials & Solar Cells, Volume 75, Issues 3 4, 1 pp 767 779, 2003.
- [2] S. M. Pietruszko and M. Gradzki, "Performance of a grid connected small PV system in Poland", Applied Energy, Volume 74, Issues 1-2, Pages 177 184, January February 2003.
- [3] M. Sidrach de Cardona and LI. Mora Lopez, "Performance analysis of a grid connected photovoltaic system", Energy, Vol. 24, Issues 2, pp 93 102, 1999.
- [4] B. Decker and U. Jahn, "Performance of 170 grid connected PV plants in northern germany analysis of yields and optimization potentials", Solar Energy, Vol. 59, No. 4 6, pp. 127 133, 1997.
- [5] Takashi Oozeki, Toshiyasu Izawa, Kenji Otani and Kosuke Kurokawa, "An evaluation method of PV systems", Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 75, Issues 3 4, 1, Pages 687 695, February 2003.