

## 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능 비교분석

소정훈, 정영석, 유권중, 이기옥\*, 최주엽\*, 안현식\*\*  
 한국에너지기술연구원, 광운대학교\*, 국민대학교\*\*

### Performance Analysis of 3kW Grid-Connected PV System

J.H. So, Y.S. Jung, G.J. Yu, K.O. Lee\*, J.Y. Choi\*, and H.S. Ahn\*\*  
 Korea Institute of Energy Research, Kwangwoon University\*, Kookmin University\*\*

#### ABSTRACT

3kW grid-connected photovoltaic (PV) system and data acquisition system are constructed for performance analysis of PV system at field demonstration test center of Gwang-Ju in Korea. As climatic and irradiation conditions are varied, operation characteristics of the PV system are collected and analyzed in data acquisition system. From these results, the performances of PV system have simulated and evaluated using simulation tool in comparison with actual value of data acquisition system of field demonstration test center. Furthermore, performance of total PV system e.g. electric power and loss factor at the site are reviewed.

#### 1. 서 론

미래에너지원의 안정적 공급과 지구환경에 대한 대응 방안으로 태양광발전, 연료전지 및 풍력발전 등의 분산형 전원에 대한 국내 연구개발 및 관심이 증가되고 있지만, 분산형 전원의 실증운전에 따른 손실요인, 운전시 발생하는 여러 문제점 등에 대한 평가분석기술 그리고, 시스템의 성능개선, 신뢰성 및 안정성 확보를 통한 최적화 기술 개발에 대한 연구는 시작단계라 할 수 있다.<sup>[1][2]</sup>

따라서 본 논문에서는 향후 국내 이용보급의 확대가 예상되는 태양광발전시스템의 손실저감을 통한 성능개선, 신뢰성 및 안정성 기술 확립을 위해서 장기간의 실증운전시험을 수행하였다. 실증운전을 통해서 시스템의 실측 성능과 감시계측시스템에서 수집된 운전데이터를 이용한 시뮬레이션 성능을 비교 분석하였고, 시스템별 손실발생요인과 실증운전시에 발생하는 문제점 등에 대해서 검토하였다.<sup>[3]-[6]</sup> 또한 태양광발전시스템의 최적화를 위한 평가분석기술을 개발하기 위해서 장기간의 실증운전을 통해 수집된 성능특성 분석결과에 대해서 데이터 베이스를 구축하고 있다.

#### 2. 시스템 개요

그림 1은 장기간의 실증운전에 의한 성능특성을 평가 및 분석하기 위해서 태양에너지실증연구센터에 설치 운영되고 있는 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 보여준다. 태양광발전시스템의 태양전지어레이는 경사각 18°, 방위각 0°(정남향)의 고정방식으로 설치되었고, 태양전지어레이와 PCS는 각 설치위치별 태양광발전시스템의 설계규격에 준하여 제작 설치되었다. 표 1, 2는 실증운전에 적용된 각 제조회사별 태양전지모듈 및 인버터의 규격을 나타낸다.

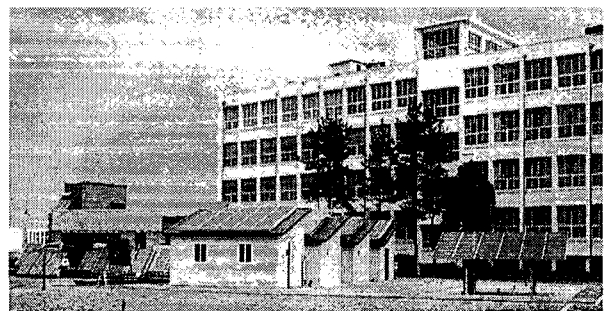


그림 1 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템  
 Fig. 1 3kW grid-connected PV system

표 1 태양전지 모듈 규격 (표준조건)  
 Table 1 PV module specification  
 (standard testing conditions)

태양전지모듈	A	B	C	D
종류	다결정Si	단결정Si	단결정Si	다결정Si
정격출력 [W]	77	50	68	75
단락전류 [A]	4.88	3.35	4.7	4.75
개방전압 [V]	21.54	21.7	21.2	21.8
최대출력전류 [A]	4.46	3.05	4.2	4.35
최대출력전압 [V]	17.21	17.4	16.2	17.3
모듈수량	42매	60매	44매	40매
어레이면적 [m <sup>2</sup> ]	27.2	25.41	27.83	25.91

표 2 PCS 규격  
Table 2 PCS specification

PCS		A	B
주회로방식	PCS방식	전압형전류제어	전압형전류제어
제어방식	전력제어	MPPT	MPPT
	운전제어	자동기동/정지	자동기동/정지
정격	정격입력전압	340 V <sub>DC</sub>	200 V <sub>DC</sub>
	운전가능전압	280~430 V <sub>DC</sub>	200~300 V <sub>DC</sub>
성능 (정격시)	정격출력	3 kW	4 kW
	변환효율	91%이상	93.5% 이상
	출력역률	0.98 이상	0.95 이상
	총합전류왜율	3% 이하	5% 이하
보호기능	각차전류왜율	2% 이하	3% 이하
	계통보호	OV,UV,OF,UF	OV,UV,OF,UF

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 방법

3W급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성을 시뮬레이션하기 위해서 필요한 기상조건 및 시스템 파라미터 즉, 일사강도, 풍속, 외기 및 표면 온도, 경도, 위도, 경사각, 방위각, 시스템 효율 및 온도 계수 등은 실증연구센터에 설치 운영되고 있는 감시계측시스템에서 수집된 기상 및 운전데이터를 사용하여 결정하였다. 또한 각 시스템별 성능특성을 분석 평가하여, 실증운전에 따른 손실(그림자 영향, 경사각에 의한 손실, 온도에 의한 손실, 인버터 손실 및 기타 손실 등)을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 태양광발전시스템의 성능특성을 해석하기 위한 시뮬레이션 흐름도를 보여준다.

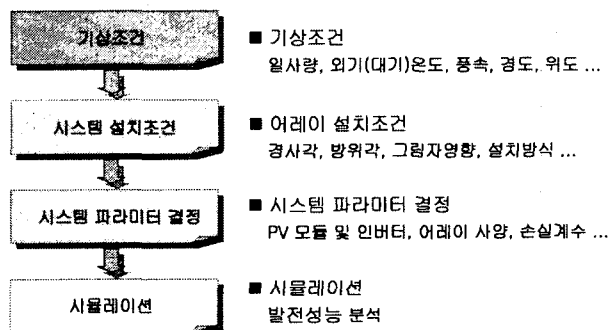


그림 2 시뮬레이션 흐름도  
Fig. 2 Simulation flow chart

#### 3.2 시뮬레이션 결과

실증운전에 의한 각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능특성을 분석 평가하여 시스템 파라미터를 결정하였고, 일사량, 온도 등의 기상조건에 대해서는 실측값을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3은 각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능특성과 PCS의 변환효율특

성을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 설치위치 2, 3의 태양광발전시스템의 성능과 변환효율특성이 표 1, 2에서 제시된 시스템 구성요소기기의 성능과 비교해서 성능이 저하되는 것을 실증운전결과에서 알 수 있다. 그림 4, 5는 계측기간동안 실증운전에 의한 시스템의 실제 성능과 시뮬레이션 성능에 대한 총 발전성능 및 월별발전성능의 오차특성을 보여주고 있다. 그림 4를 보면 설치위치 3의 오차가 8.4%로 다른 설치위치에 비해서 다소 크지만, 전체적으로 10%이하의 오차범위를 가지고 있다. 환경조건, 시스템 손실, 계측 손실 등의 영향을 고려하면 시뮬레이션에 사용된 각 설치위치별 시스템 파라미터의 결정이 비교적 정확하다고 판단할 수 있다.

그림 5의 각 설치위치별 시스템의 월별발전성능 오차특성을 보면, 1월에 설치위치 4를 제외하고 30%이상의 오차를 가지고 있다. 1월에 오차가 큰 것은 태양광발전시스템 및 감시계측시스템에 문제가 있는 것이 아니라 기상조건의 영향에 의한 것이다. 다시 말해서 태양광발전시스템이 설치된 장소의 기상조건을 실측데이터로 분석한 결과 양호한 일사분포를 가지고 있었으나, 적설과 외기온도 영향 등의 기상조건의 악화로 태양광발전시스템의 운전이 장시간 정지되는 시간이 자주 발생되어 1월의 태양광발전시스템 성능오차가 크게 되었다.

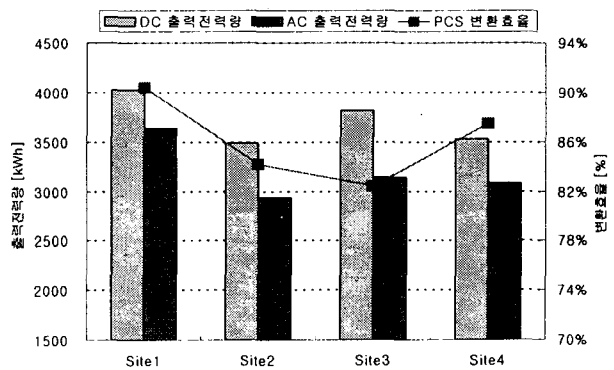


그림 3 시뮬레이션에 의한 PV시스템 성능  
Fig. 3 PV system performance by simulation

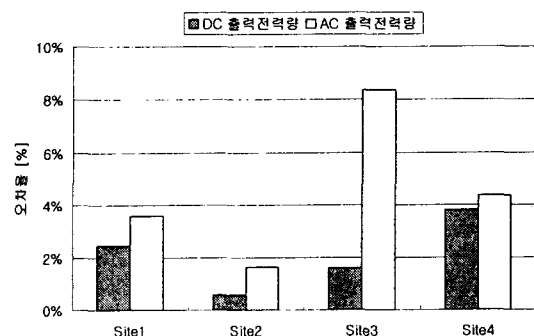


그림 4 계측기간동안 PV시스템 총 발전성능 오차  
Fig. 4 Total averaged error of PV system performance during measurement period

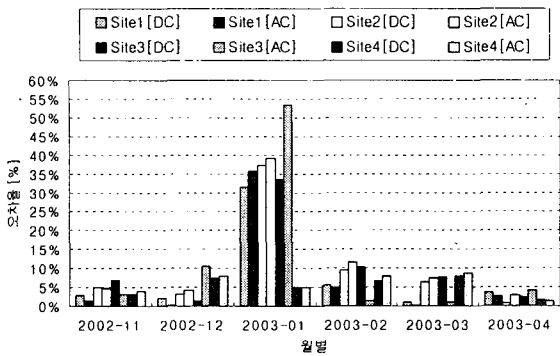


그림 5 계측기간동안 PV 시스템 월별 발전성능 오차  
 Fig. 5 Monthly error of PV system performance during measurement period

#### 4. 시스템 성능비교

실증운전에 의한 감시계측시스템에서 수집된 기상 및 계측데이터를 이용하여 기상조건, 설치조건 및 시스템 파라미터를 결정하여 시뮬레이션을 수행한 결과 태양광발전시스템의 성능을 비교적 정확히 예측할 수 있었고, 시뮬레이션에 의한 성능해석방법의 타당성 및 유효성을 확인하였다. 따라서, 이를 토대로 계측기간동안 태양광발전시스템의 실측 성과와 표 1, 2에서 제시된 구성요소기기의 시스템 파라미터를 사용하였을 경우, 그리고 실증운전을 통해 수집된 실측데이터를 분석하여 결정된 시스템 파라미터를 사용하였을 경우, 각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능특성을 시뮬레이션하여 비교 분석하였다.

그림 6, 7은 계측기간동안 각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능특성을 보여준다. 그림에서 보듯이 설치위치 1, 4은 제시된 태양광발전시스템의 설계치 성과와 거의 같은 성능특성을 보여주고 있으나, 설치위치 2, 3에 설치된 시스템은 설계치 성과와 비교하였을 경우, 설치위치 1, 4에 설치된 시스템에 비해서 손실이 증가되어 성능특성이 떨어진다. 즉, 시스템에 문제점이 있다는 것을 판단할 수 있다.

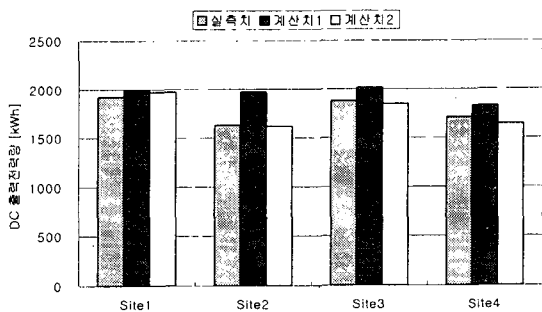


그림 6 계측기간동안 PV 어레이 성능비교  
 Fig. 6 Performance of PV array during measurement period

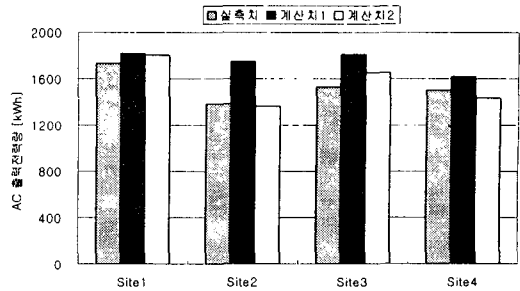


그림 7 계측기간동안 PV PCS 성능비교  
 Fig. 7 Performance of PV PCS during measurement period

그림 8, 9는 계측기간동안 각 설치위치별 태양광발전시스템의 발전성능 오차특성을 보여주고 있다. 그림에서 보면 설치위치 2, 3의 태양광발전시스템은 설계치와 비교하였을 경우, 오차가 크다. 즉, 시스템의 실증운전시 다른 설치위치보다 손실이 크다는 것을 알 수 있다. 설치위치 2의 태양전지어레이의 발전성능은 기상조건 뿐만 아니라 PCS의 성능에 따라서 결정된다. 설치위치 2의 손실요인에 대해서 실증운전결과를 분석할 결과, PCS 손실보다는 태양전지어레이 손실로 인해서 오차가 크다는 것을 분석결과에서 알 수 있다. 설치위치 3의 경우는 태양전지어레이 손실보다는 PCS 손실로 인해서 오차가 크다는 것을 분석결과에서 알 수 있다. 설치위치 4의 경우는 설계치와 거의 같은 성능특성을 가지고 있으나, 설치위치 1과 비교할 경우, 오차가 다소 크다. 이는 설치위치 4의 태양전지 어레이의 설치조건이 경사지붕방식으로 설치되어 다른 설치위치에 비해서 온도상승에 따른 태양전지어레이 손실이 증가되었기 때문이다. 설치위치 1의 경우는 환경조건, 계측에 따른 손실 등의 영향을 고려한다면, 설계치에서 제시된 성과와 거의 같은 성능특성을 가지는 것을 알 수 있다.

각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능을 비교 분석한 결과, 설치위치 2, 3에 설치된 시스템은 설계치와 비교해서 손실계수가 크므로 전체 시스템의 성능을 저하시킨다. 따라서 이러한 시스템의 손실요인 및 운전시의 문제점 등에 대해 보다 정확한 성능특성을 분석하기 위해서는 계측방법의 신뢰성, 정확성 그리고 평가분석기술이 필요하다

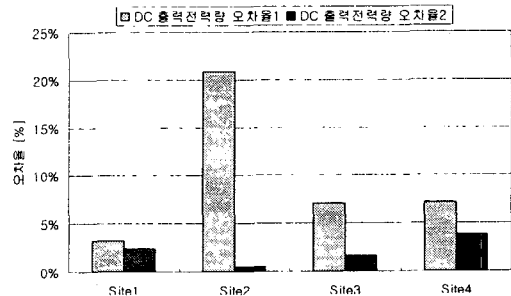


그림 8 계측기간동안 PV 어레이 발전성능 오차  
 Fig. 8 Performance error of PV array during measurement period

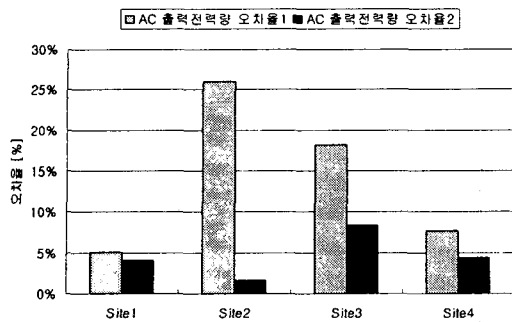


그림 9 계측기간동안 PV PCS 발전성능 오차  
Fig. 9 Performance error of PV PCS during measurement period

## 5. 결론

분산형 전원의 국내 이용보급이 확대되면서 태양광발전 포함 분산형 전원기술에 대한 관심이 증가됨에 따라 시스템의 신뢰성 및 안정성기술 확립의 필요성이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 분산형 전원중 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능향상, 신뢰성 및 안정성기술을 확립하기 위해서 장기간 실증운전시험을 수행하였다. 실증운전을 통한 태양광발전시스템의 실측 성과수집된 운전데이터를 이용하여 시스템의 성능을 시뮬레이션하여 각 설치위치별 태양광발전시스템 성능특성을 비교 분석하였고, 손실요인과 운전시의 문제점을 검토하였다. 각 설치위치별 태양광발전시스템의 성능특성을 비교 분석한 결과, 설치위치 1, 4의 경우, 시스템 및 계측 손실에 따른 오차를 고려한다면, 설계치에서 제시된 성과와 거의 같은 성과특성을 가진다. 설치위치 2의 경우는 태양전지어레이 손실 증가로 시스템의 성과가 저하되고, 설치위치 3의 경우는 PCS 손실 증가로 성과가 저하되는 것을 분석결과에서 알 수 있었다.

향후에는 시스템 손실요인 및 장시간 운전시에 발생하는 문제점 등에 대해서 보다 정확한 성과특성을 조사하기 위해 지속적인 실증운전을 통해서 수집된 분석결과를 데이터베이스화하여 태양광발전시스템의 최적설계를 위한 평가분석 및 응용기술에 대한 연구를 수행할 계획이다.

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구  
(R01-2001-00313-0-2002)의 연구비 지원에 의하여  
연구되었습

## 참고 문헌

- [1] Imad Abouzahr, and R. Ramakumar, " An approach to assess the performance of utility-interactive

photovoltaic systems", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 8, No. 2, pp. 145-153, 1993, June.

- [2] Fouad Kamel, "Photovoltaic Long-term test", *Renewable Energy*, Vol.6, No. 5-6, pp. 521-525, 1995.  
[3] Alison R. Wilshaw, Nicola M. Pearsall, and Robert Hill, "Installation and operation of the first city centre PV monitoring station in the united kingdom", *Solar Energy*, Vol. 59, No. 1-3, pp 19-26, 1997.  
[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] T. Erge, V. U. Hoffmann, and K. Kiefer, "The german experience with grid-connected PV systems", *Solar Energy*, Vol. 70, No. 6, pp. 479-487, 2001.  
[6] Kosuke Kurokawa, and Osamu Ikki, "The Japanese experience with National PV system programmes", *Solar Energy*, Vol. 70, No. 6, pp. 457-446. 2001.