3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 실증시험 분석평가

소 정 훈*, 유 권 종*, 정 명 웅*, 정 영 석*, 최 주 엽**
한국에너지기술연구원, 광운대학교 전기공학과**

Analysis and Evaluation of 3kW Grid-Connected PV System by Field Demonstration Test

Jeong-Hoon So*, Gwon-Jong Yu*, Myung-Woong Jung*, Young-Seok Jung*, Ju-Yeop Choi**
Korea Institute of Energy Research*, Department of Eelctrical Engeering, Kwangwoon University**

Abstract - Total six units of 3kW photovoltaic (PV) system and data acquisition system (DAS) are constructed for analyzing performance 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. Furthermore, not only performance test of each PV system component such as PV module and power conditioning system, but also performance of total PV system e.g. system efficiency, electric power and loss factor at the site are reviewed.

1. 서 론

최근 분산형 전원들의 연구개발 및 국내 이용보급이 확대되면서 태양광발전을 포함한 분산형 전원기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 분산형 전원의 이용보급에 앞서 먼저 분산형 전원의 실증시험에 의한 시스템의 안정성 및 신뢰성을 확립하기 위한 기술개발이 필수적이라 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광발전시스템의 성능향상, 안정성 및 신뢰성을 확립하기 위한 분석평가 및 최적설계기술들을 개발하기 위해서 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 장기간의 실증시험운전을 수행하여 시스템의 운전데이터 및 기상데이터를 수집하여 태양광발전시스템 성능특성을 비교분석하고, 실증운전에서 발생하는 시스템의 손실요인들과 문제점들에 대해서 검토하였다.

2. 시스템 개요

환경조건의 변화에 따른 태양광발전시스템의 성능특성을 비교분석하기 위해서 태양에너지 실증연구단지에 국내에서 제작된 5개의 태양광발전시스템과 외국산 1개의 태양광발전시스템으로 구성된 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 설치하여 실증시험을 수행하였다. 설치된 모든 태양광발전시스템은 태양전지어레이의 설치경사각도가 18°, 방위각은 0°(정남향)인 고정방식이 적용되었다. 그림 1은 태양에너지 실증연구센터에 설치된 전체 시스템의 구성을 보여주고, 실증시험에 사용된 각 제조업체의 태양광발전 시스템 구성요소기기의 사양은 표 1과 같다.

환경조건의 변화에 따른 태양광발전시스템의 장기간 실증시험운전을 통해 각각의 태양광발전시스템에 대해 성능특성을 분석평가하기 위해서 감시계측시스템을 설치하여 태양광발전 시스템의 운전데이터와 기상데이터를 수집하였다. 태양광발전시스템의 구성요소기기의 성능특성과 전체시스템의 성능특성을 비교분석하고 평가하기 위해서 표 2에 나타낸 계측데이터를 수집하였다.

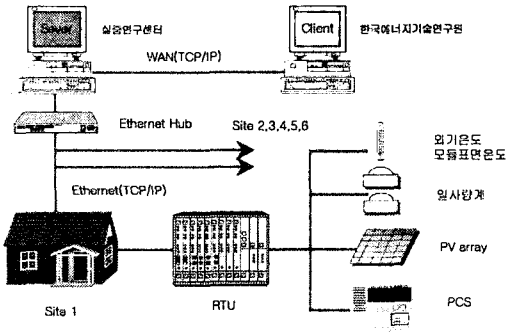

그림 1 시스템 구성

표 1 태양광발전시스템의 사양

태양전지 모듈	A사	B사	C사	D사	E사	F사
P_{MAX}(W)	77	50	53	68	75	73
셀종류(Si)	다결정	단결정	단결정	단결정	다결정	다결정
어레이구성	14×3	15×4	20×3	22×2	20×2	14×3

PCS	A사	B사	C사
정격입력전압[V]	200	244	340
운전동작전압범위[V]	145~345	200~300	280~430
정격출력[kW]	3	3	4
변환효율(정격시)	93.5%이상	90%이상	91%이상
총압전류 왜율	3%이하	5%이하	5%이하
각차전류 왜율	2%이하	3%이하	3%이하

표 2 계측데이터 수집항목

	계측항목	단위		계측항목	단위
1	년	Y	10	어레이 출력전압	V
2	월	M	11	어레이 출력전류	A
3	일	D	12	어레이 출력전력	kW
4	시	H	13	PCS 출력전압	V
5	분	M	14	PCS 출력전류	A
6	수평면 일사강도	kW/m'	15	PCS 출력전력	kW
7	경사면 일사강도	kW/m'	16	수전 전력	kW
8	외기온도	°C	17	부하 전력	kW
9	모듈표면온도	°C			

2. 시스템 성능

2.1 태양전지어레이 성능

그림 2는 계측기간 동안 각 Site에 설치된 태양전지 어레이의 월별 출력전력량을 보여준다. 계측기간 동안 각 Site에 발전된 총 출력전력량은 1.71MWh(Site1), 1.05MWh(Site2), 1.43MWh(Site3), 1.67MWh(Site4), 1.51MWh(Site5), 0.76MWh(Site6) 이다. Site1, 2에 설치된 태양전지어레이 출력전력량이 다른 Site와 큰 차이가 있는 것은 PCS의 점검 혹은 태양전지어레이 설치 지연에 따른 태양광발전시스템의 실제 운전시간이 적게 되어 출력전력량이 감소되었다.

그림 3은 각 태양전지어레이의 월별 변환효율의 특성을 보여준다. Site 1,2의 태양전지어레이를 제외하면, 변환효율이 7.2%에서 10.9%의 비교적 일정한 특성을 가진다. 12월에 태양전지어레이의 변환효율이 전체적으로 떨어지는 것은 환경조건(적설, 외기온도 등)의 영향으로 태양광발전시스템의 운전시간이 줄어들었기 때문이다. 태양전지어레이의 변환효율은 일사량과 모듈표면 온도의 변화특성에 따라서 결정된다. 본 실증시험에서는 태양전지모듈의 표면온도 변화시 태양전지어레이의 성능특성변화에 대한 세부적인 분석평가를 위해서 표면 온도변화에 따른 태양전지어레이의 출력전력과 일사강도와의 변화특성 데이터를 수집하여 조사분석하고 있다.

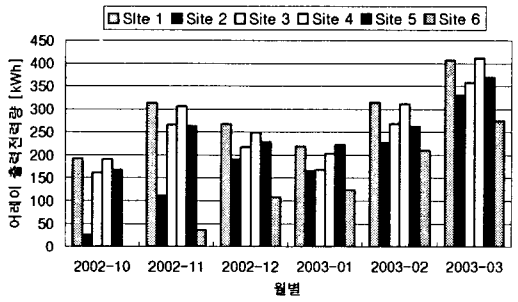

그림 2 월별 태양전지어레이 출력전력량

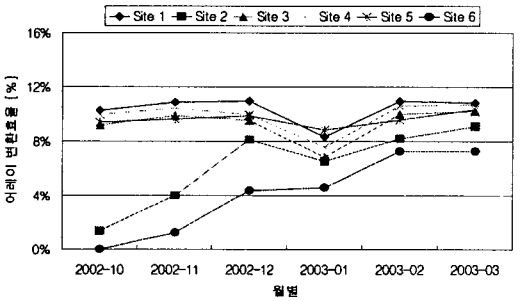

그림 3 월별 태양전지어레이 변환효율

2.2 PCS 성능

실증시험에 사용된 모든 PCS에는 MPP 추적제어와 자동기동/정지기능이 있어 일사강도가 100W/m^{2}일 경우 운전을 시작하여 계통으로 전력을 공급하기 시작하고 일사강도가 약 50W/m^{2}이하로 떨어질 경우, PCS은 운전을 정지한다. 일사강도가 200W/m^{2}이상일 경우 PCS의 변환효율은 일정한 특성을 유지하지만, 저일사강도에서는 일사량에 따른 효율특성에 변화가 있다는 것을 알 수 있다. 저일사강도에서는 태양전지어레이의 출력특성이 비선형성을 가지게 되어 PCS가 MPP의 추적제어를 정확하게 수행하지 못한다면 PCS의 효율특성이 변화되는 것을 알 수 있다.

그림 4,5는 계측기간 동안 각 Site별 PCS의 월별 변환효율과 PCS의 운전율 특성을 보여준다. 각 Site별로 설치된 PCS의 총평균 변환효율은 각각 88.7%(Sit e1), 75.3%(Site2), 82.4%(Site3), 78.5(Site4), 87%(Site5), 86.3%(Site6)의 범위를 가진다. Site 2, 6의 변환효율특성이 적은 것은 PCS의 최적설계 및 응용기술 등에 문제가 있다는 것을 판단할 수 있다.

계측기간 동안 각 Site별 PCS의 총평균 운전율은 38%(Site1), 26%(Site2), 36%(Site3), 36%(Site 4), 37%(Site5), 18%(Site6)이다. Site 2, 6에 설치된 PCS는 환경변화에 의해 일사강도가 갑자기 급격히 감소되었을 경우, PCS의 운전이 정지되는 현상이 실증운전을 통해서 확인하였다. 이러한 실증운전에서 수집된 PCS의 성능특성 분석결과를 통해서 Site2,4,6에 설치된 PCS의 변환효율 및 운전율이 저하되는 것은 MPP 정확한 추적제어의 실패, PCS 구성기기의 최적설계 등의 문제가 있다는 것을 판단할 수 있다.

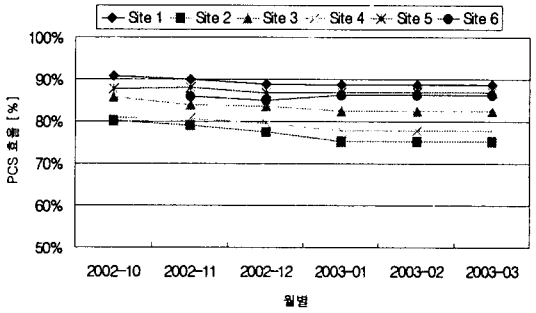

그림 4 PCS 변환효율

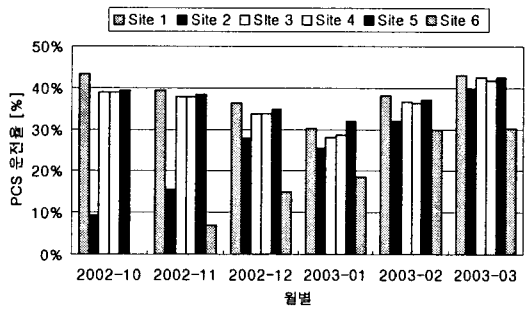

그림 5 PCS 운전율

2.3 시스템 성능

그림 6,7,8은 각 Site에 설치된 태양광발전시스템의 월별 출력전력량과 발전효율 그리고 이용률의 특성을 보여준다. 계측기간동안 각 Site의 시스템의 총 출력전력량은 0.64MWh에서 1.54MWh의 범위를 가지고, 시스템 이용률은 5.2%에서 11.8%, 시스템 발전효율은 3.8%에서 9.4%,의 범위를 가진다.

그림 9는 월별 시스템 성능비(PR)을 보여주고 있다. 각 Site의 총평균 시스템 PR은 35%에서 81%의 범위를 가진다. PR은 표준상태에서 손실요인을 고려하지 않은 태양광발전시스템의 성능과 실제 성능에 대한 비를 의미한다. 따라서, 그림자영향, PCS손실, MPPT 미스매칭, 어레이 온도상승 등의 손실요인에 의해서 시스템의 성능

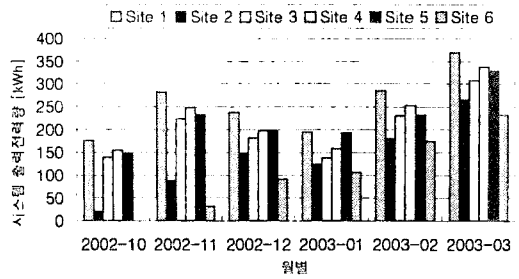

그림 6 월별 시스템 출력전력량

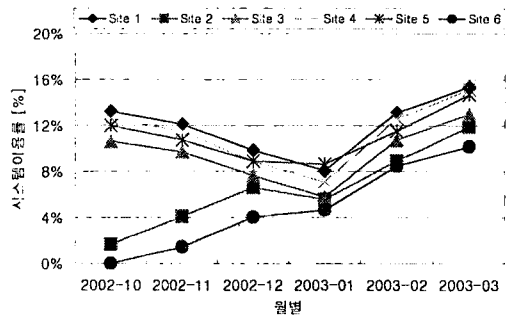

그림 7 월별 시스템 이용률

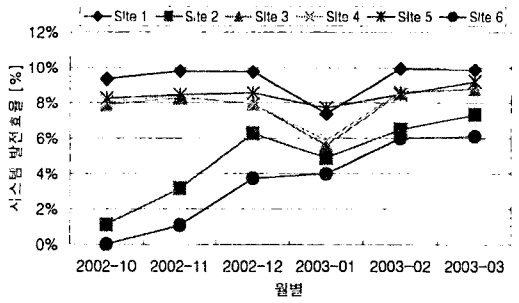

그림 8 월별 시스템 발전효율

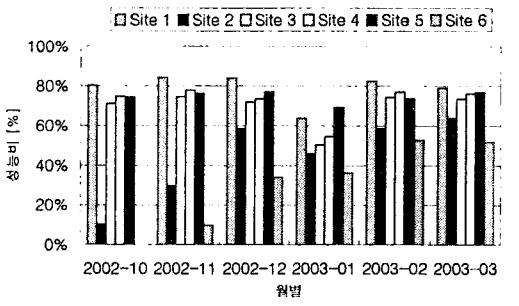

그림 9 월별 시스템 성능비(PR)

이 결정되므로 PR은 태양광발전시스템의 성능을 분석하고 평가하는데 있어 중요한 분석항목 중의 하나이다. 일반적으로 PR이 0.7보다 작을 경우, 이러한 손실요인에 의한 전력손실이 증가되어 시스템의 성능특성이 저하된다는 것을 의미한다. 따라서, Site 2, 6에 설치된 태양광발전시스템은 설계 및 응용기술에 문제가 있다는 것을 실증운전을 통해서 수집된 성능특성 분석결과를 통해서 판단할 수 있다.

3. 결 론

3kW급 계통연계형 태양광발전시스템들의 장기간의 실증시험운전에 통해 시스템의 성능을 분석평가하기 위해서 태양에너지실증연구단지에 국내외에서 제작된 6대의 태양광발전시스템과 감시계측시스템을 설치하였다. 그리고, 계측기간 동안 환경조건의 변화시 각 Site에 설치된 태양광발전시스템의 성능특성들을 비교 분석하였고, 손실요인에 대해서 검토하였다. 이러한 분석결과들을 토대로, 실증연구단지에 설치된 태양광발전시스템에 대해서 장기간의 감시계측을 계속 수행하여 실증시험에서 수집된 성능특성 결과들을 분석평가하고 데이터베이스화하여 향후, 이용보급이 확대될 태양광발전시스템의 최적설계를 통한 성능개선, 안정성 및 신뢰성을 확립할 수 있는 분석평가 및 응용기술들에 대한 연구를 수행하고져 한다.

본 논문은 산업자원부 에너지·자원기술개발사업 (2001-N-PV11-P-01)의 지원으로 수행된 결과임.

[참 고 문 헌]

[1] Didier Thevenard, Performance monitoring of a northern 3.2kWp grid-connected photovoltaic system , IEEE, pp.1711-1715, 2000.

[2] E. E. Van Dyk, E. L. Meyer, F. J. Vorster, and A. W. R. Leitch, Long-term monitoring of photovoltaic devices, Renewable Energy, vol. 25, Issue 2, pp. 183-197, February 2002

[3] T. Sugiura, T. Yamada, H. Nakamura, M. Umeya, K. Sakura, and K. Kurokawa, Measurements, analyses and evaluation of residential PV systems by Japanese monitoring program , Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 75, Issues3-4, pp. 767-779, February 2003.

[4] M. Sidrach-de-Cardona, and LI. Mora Lopez, Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system , Energy, vol. 24, Issue 2, pp. 93-102, February 2003.

[5] B. Decker, and U. Jahn, Performance of 170 gird connected PV plants in northern germany analysis of yields and optimization potentials , Solar Energy, vol. 59, no. 4, pp.127-133, 1997.

[6] 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.