

50kW 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 결과분석

소정훈, 정영석, 유병규, 황혜미, 유권중, 최주엽*
 한국에너지기술연구원, 광운대학교*

Performance Results and Analysis of 50kW Grid-Connected PV System

J. H. So, Y. S. Jung, B. G. Yu, H. M. Hwang, G. J. Yu, J. Y. Choi*
 Korea Institute of Energy Research, Kwangwoon University*

ABSTRACT

This paper presents the performance results of 50kW grid-connected PV (Photovoltaic) system for monitoring periods. Form these performance monitoring results, the PV system performance has been evaluated and analyzed for component perspective (PV array and power conditioning unit) and global perspective (system efficiency, capacity factor, and electrical power energy and power quality etc.).

1000W/m², 모듈온도 25°C 및 AM(Air Mass) 1.5 조건에서의 PV모듈과 정격시의 PCS의 규격을 나타내고 있다.

본 연구에서 설계 구축된 감시계측시스템은 PV시스템의 종합적인 성능특성 즉, 기상 및 전기적 성능뿐만 아니라 계통연계시의 고조파, 역률 등의 전력품질에 대해서도 비교분석할 수 있도록 시스템을 설계 구성하였다.

1. 서론

21세기가 시작되면서 미래에너지원의 안정적 공급과 지구환경에 대한 대응방안으로 태양광발전, 연료전지 및 풍력발전 등의 신재생에너지원에 대한 관심과 보급보조사업 및 지방보급사업 등 정부의 적극적인 지원으로 국내 이용보급이 확대되면서 PV (Photovoltaic) 시스템의 신뢰성 및 안정성 기술, 운전시에 발생하는 문제점에 대한 대책기술 등의 실용화 기술개발의 중요성이 대두되고 있다.^{[1],[2]}

본 논문에서는 50kW 계통연계형 태양광발전시스템에 대한 모니터링 실증연구를 수행하여 환경조건 변화시의 성능특성 및 운전시에 발생하는 시스템 및 구성요소기기의 종합적인 성능특성을 조사 분석하기 위해서 감시계측시스템을 설치 운영하여 실측결과를 수집하여 데이터베이스화를 구축하였다. 수집된 실측결과를 토대로 중대규모 PV시스템 및 구성요소기기의 발전 성능, 전력품질 및 운전시에 발생하는 손실, 성능저하 등의 문제점들을 비교 분석하였다.

2. 시스템 개요

PV시스템의 종합적인 성능특성을 평가 분석하기 위한 적용 대상 시스템으로 계통연계형 50kW급 PV시스템에 대해서 감시계측시스템을 설치 운영하였다. 그림 1은 감시계측시스템을 포함한 전체 시스템의 개요를 보여주고 있다. 설치된 PV시스템의 PV어레이는 굴곡을 가진 평지붕방식으로 설치되었고, 설계 발전용량은 50kW이다. PV어레이의 평균경사각은 18°, 방위각 5°(정남향)의 고정방식으로 설계 구성되었다. PV어레이와 PCS(Power Conditioning Subsystem)는 PV시스템의 설계 시공 기준에 준하여 설치되었다. 표 1, 2는 본 연구에서 사용된 표준조건(STC, Standard Test Conditions) 즉 일조강도

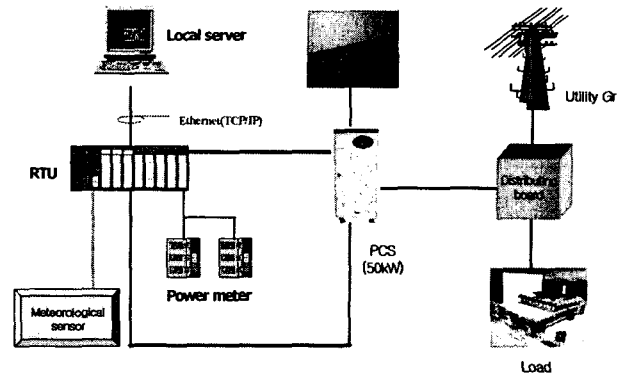


그림 1 전체 시스템 구성 개요
 Fig. 1 The overall system overview

표 1 PV모듈 규격 (표준조건)
 Table 1 PV module sepcifications (STC)

PV module	SMT80
셀 종류	다결정 Si
정격출력 [W]	80
최대출력전압 [V]	17.6
최대출력전류 [A]	4.55
설치 매수	628

표 2 PCS 규격 (정격시)
 Table 2 PCS sepcifications (under rated conditions)

PCS	PVC-350S
주회로 방식	계통연계형 (3상)
정격출력 [W]	50
변환효율 [%]	93% 이상
역률	0.95이상
총합전류왜율	5% 이하
각차전류왜율	3%이하

3. PV시스템 성능결과 분석

3.1 PV 어레이 성능

PV시스템은 PCS손실, 그림자, PV어레이 손실 등에 의해서 발전성능이 결정되므로 PV시스템의 손실저감 및 운전시에 발생하는 문제점에 대해서 정확한 분석평가가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 국내에 설치 보급된 중대규모 PV시스템 성능평가분석을 통하여 PV시스템의 최적화 기술 및 계통연계시의 문제점에 대한 대책기술 개발을 목적으로 분석기간인 동안 2005년 9월 ~ 2006년 3월까지 PV시스템 및 구성요소기기의 종합적인 성능특성을 비교 분석하였다.

그림 2은 분석기간동안 PV어레이의 월별 출력전력량과 변환효율 특성을 보여주고 있다. 분석기간동안 PV어레이에서 발전된 총 출력전력량은 29.1MWh, 평균변환효율은 10.2%이다.

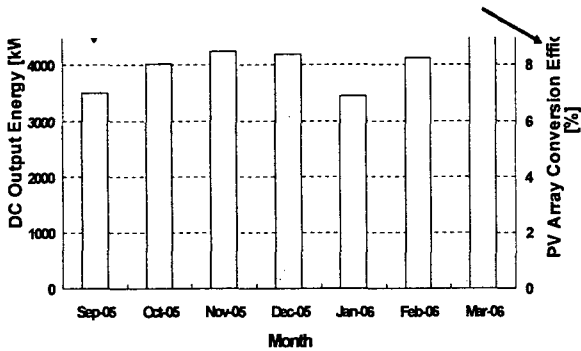


그림 2 월별 PV 어레이 성능결과
Fig. 2 Monthly PV array performance

PV어레이는 경사각에 따른 전일조량과 PV모듈의 온도변화 등의 환경조건의 변화에 따라서 발전성능이 결정된다.^{[3],[4]} 따라서 본 논문에서는 PV시스템의 성능을 평가 분석하여 환경조건변화에 따른 PV어레이의 성능저감 및 손실요인 등의 문제점들을 조사 분석 위해서 분석기간 동안 수집된 실측결과를 이용하여 PV어레이의 성능특성을 비교 분석하였다.

그림 3은 일조강도에 대한 PV어레이의 출력특성을 보여주고 있다. PV어레이의 발전성능은 일조강도에 대해서 선형적인 비례관계를 가지고 있다. 그림에서 보면 PV어레이의 전범위 일조강도에 대해서 PV어레이의 출력이 표 1에서 제시한 규격과 비교하였을 경우 발전성능이 저하되는 것을 알 수 있다. 이것은 PV어레이의 결함 혹은 고장이 발생하였거나 환경조건변화에 따른 PV어레이의 손실 증가로 인해서 발전성능이 떨어진다는 것을 의미한다. 따라서 일조강도, PV모듈 표면온도 등의 환경조건 변화에 대한 PV어레이의 성능저하 및 세부손실요인들을 비교분석하기 위해서는 환경조건 변화에 따른 PV 모듈의 변환효율과 출력특성을 조사할 필요가 있다.

3.2 PCS 성능

그림 4는 분석기간동안 PCS의 월별 출력전력량과 변환효율 특성을 보여주고 있다. PCS에서 발전된 총 출력전력량은 27MWh이고 평균변환효율은 92.8%이다.

그림 5, 6은 계통연계형 50kW급 PCS의 변환효율 및 각상별 총합전류왜율((THD, Total Harmonic Distortion) 특성을 보여

주고 있다. 일조강도가 30W/m²이상일 경우, PCS가 운전을 시작하여 계통으로 전력을 공급하기 시작하고, 일조강도가 25W/m²이하에서 PCS가 자동 정지된다. PCS의 변환효율은 일조강도에 대한 PV어레이 성능에 따라서 결정된다. 일조강도가 200W/m²이하일 경우, PV어레이의 전압-전류 특성의 비선형성으로 PCS의 변환효율의 변동이 다소 있다. 그러나 일조강도 200W/m²이상일 경우, PCS 비교적 일정한 변환효율 특성을 가진다. PCS의 출력전력이 5kW이상일 경우 PCS의 역률은 0.95 이상이고, PCS의 정격출력이 1/4정격일 경우 PCS의 각상별 THD는 5%이하이다. 손실요인 및 측정오차를 고려할 때 PCS는 표 2의 설계규격에서 제시한 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

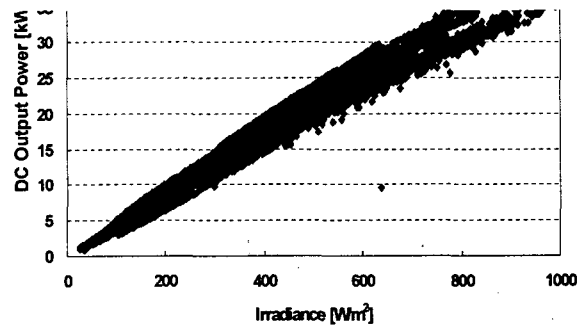


그림 3 PV 어레이 성능특성
Fig. 3 PV array performance

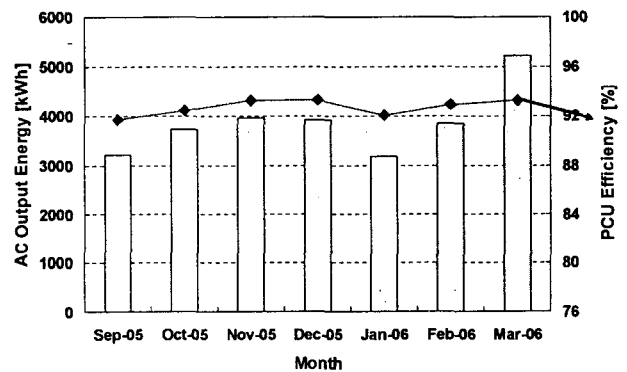


그림 4 월별 PCS 성능특성
Fig. 4 Monthly PCS performance

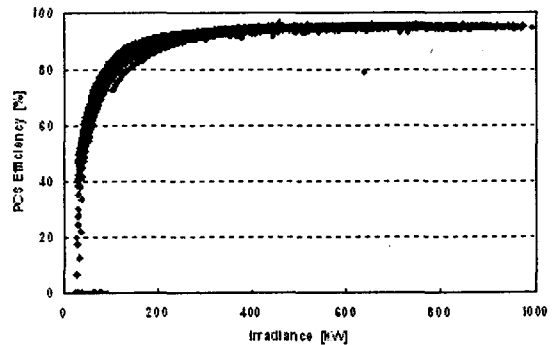


그림 5 PCS 변환효율
Fig. 5 PCS Efficiency

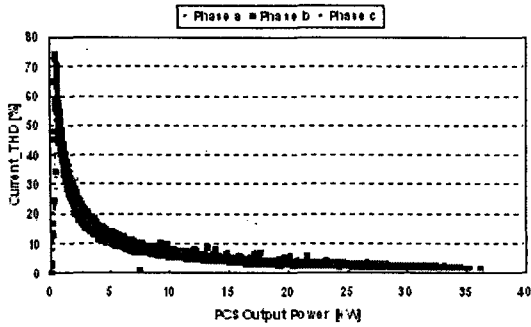


그림 6 PCS 전류 THD
Fig. 6 Current THD of PCS

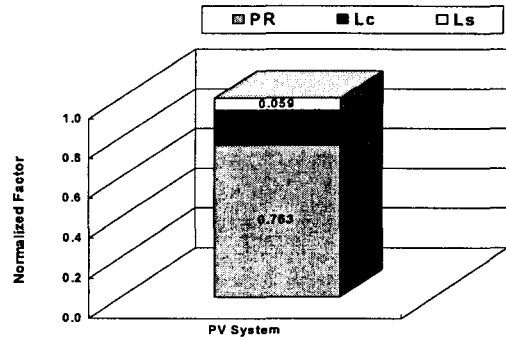


그림 8 PV시스템 성능결과
Fig. 8 Performance results of PV system

3.3 PV시스템 성능

그림 7은 분석기간동안 PV시스템의 월별 발전효율 및 시스템이용률을 보여주고 있다. 분석기간동안 PV시스템의 평균 발전효율은 9.4%이고 시스템이용률은 8.5%이다.

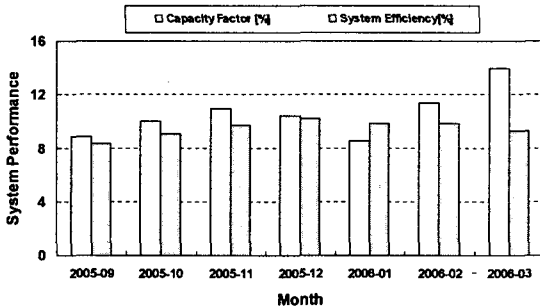


그림 7 월별 PV 시스템 성능
Fig. 7 Monthly PV system performance

PV시스템의 손실요인과 이에 따른 문제점을 분석하기 위해서 성능계수인 PR (Performance ratio)를 사용하여 PV시스템의 성능특성을 분석하였다. PR은 PV시스템이 표준조건에서 손실요인을 고려하지 않은 이상적인 발전성과 실제 발전성에 대한 비로 식 (5)와같이 정의한다.[2-6]

$$PR = (E_{PCS} \times G_{STC}) / (P_{PV, nom} \times G_A) \quad (1)$$

여기서 PR은 성능계수, E_{PCS} 는 PCS 출력전력량, $P_{PV, nom}$ 은 표준조건(STC)에서 공칭출력전력, G_A 는 전일조량 그리고 G_{STC} 는 표준조건(STC)에서 일조강도 $1kW/m^2$ 이다. 그림 8은 분석기간 동안 PV시스템의 PR, Lc (Capture losses) 및 Ls(System losses) 등의 성능결과를 보여준다. 감시계측시스템에서 수집된 실측결과에서 PV시스템의 평균 PR은 76.3%, PV어레이 손실인 Lc는 17.8% 그리고 PCS 손실인 Ls는 5.9%이다. PCS 손실의 경우 다소의 편차가 발생하지만 설계사양에서의 제시한 성능특성과 거의 같은 성능을 가진다. PV어레이의 경우 PV어레이의 회로의 결함 혹은 고장, 설치환경에 의한 손실이 증가되어 PV시스템의 성능특성이 떨어지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

중대규모 계통연계형 PV시스템에 감시계측시스템을 설치 운영하여 환경조건 변화에 따른 PV시스템 및 구성요소기기의 성능을 평가하고 분석하였다. 이러한 성능결과를 이용하여 설치방식 및 규모에 따른 분석결과를 데이터베이스화하여 환경조건 변화시 PV모듈, 어레이 및 PCS의 성능특성을 근사화하여 모델링을 통한 분석평가방법이 적용한다면 설치방식에 따른 PV시스템의 성능특성을 보다 정확하게 예측하여 PV시스템의 세부 손실요인 및 문제점 등을 진단할 수 있으므로 PV시스템의 최적화를 통한 성능개선 및 대책기술을 확립할 수 있을 것이다.

이 논문은 산업자원부 에너지자원·기술개발사업 (2004-N-PV11-P-02-0-000)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 소정훈, 정영석, 유권중, 최주엽, 최익, "3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석", 대한전기학회논문지, 53B, pp.509-516, 2004.
- [2] 소정훈, 정영석, 유병규, 유권중, 최주엽, "PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석", 전력전자학회논문지, Vol. 11, No 1, pp 22-28, 2006, Feb.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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, 2003, Feb..