

### 설치방식에 따른 PV시스템 성능특성 비교분석

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

### The Performance Analysis of PV System by installation method

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

**Abstract** - This paper evaluates and analyzes the performance of residential PV (Photovoltaic) system by field test. On the basis of these monitoring results, the performance of each PV system by installation method was simulated and compared. These results will indicate that it is highly imperative to develop an optimum design and installation technology of PV system.

#### 1. 서론

최근 기후변화협약에 따른 온실가스 배출저감과 환경 문제의 해결방안으로 신재생에너지 기술개발에 대한 연구개발과 관심이 증가되고 있고 세계 각국에서 신재생에너지의 보급확대를 위한 정부의 적극적인 지원정책에 힘입어 태양광발전시스템을 포함한 분산전원의 보급이 급격히 증가되고 있다.<sup>1),2)</sup> 국내에서도 신재생에너지 보급사업이 진행되면서 이에 대한 기술개발의 지원이 확대될 것이다. PV시스템은 설치환경 및 구성요소기기의 성능에 따라서 발전성능이 결정되므로 PV시스템에서 발생하는 손실요인을 최소화할 수 있도록 PV시스템 설계 및 설치기술의 최적화가 향후 보급확대에 중요한 문제로 대두될 것이다.<sup>3)</sup> 따라서 본 논문에서는 3kW급 PV시스템을 설치하여 장시간 운전에서 수집된 실측결과를 토대로 종합적인 성능특성을 비교 분석하여 성능저하 및 손실요인 등의 문제점들을 검토하였다. 이러한 결과를 토대로 PV시스템의 설계기술의 최적화, 성능개선을 통한 신뢰성 및 안정성 기술들을 확립하기 위해서 설치방식에 따른 PV시스템별 시뮬레이션에 의한 발전성능을 비교 검토하였다.

#### 2. PV시스템 및 성능결과

지붕일체형 PV모듈을 설계 구성하여 3kW급 PV시스템의 종합적인 성능특성을 조사분석하기 위해서 경도 126.92°, 위도 35.1°이고 방위각이 0°(남쪽)인 시험주막에 3kW급 용량의 PV어레이를 경사각이 18°인 고정방식으로 설계하여 설치하였다. PV어레이는 75W급 다결정 실리콘 PV모듈 40매를 10직렬, 4병렬로 구성되었다. PCS (Power Conditioning System)는 정격출력이 최대 4kW, 정격입력전압은 173V, 정격에서 변환효율은 93.5%이상이다. 장시간 운전에 따른 PV시스템의 종합적인 성능특성을 조사 분석하기 기상관측센서와 전기적 측정센서를 사용한 운전감시 계속시스템을 설치하여 운영하고 있다. 그림 1은 지붕일체형 3kW급 PV시스템을 포함한 전체 시스템구성의 개요를 보여준다.

그림 2는 분석기간인 2004년 1월~2004년 12월까지의 PV시스템의 성능특성결과를 보여주고 있다. 분석기간 동안 PV시스템의 PV어레이와 PCS에서 발전된 총 출력전력량은 각각 3.90MWh, 3.5MWh이다. PV어레이의 평균변환효율은 9.1%, PCS의 평균변환효율은

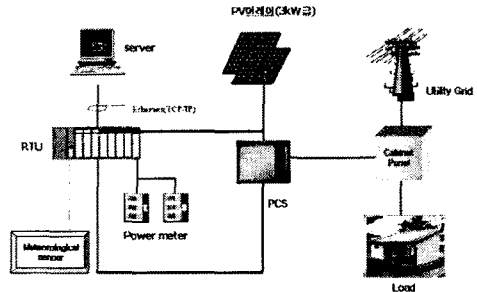


그림 1 전체 시스템 구성

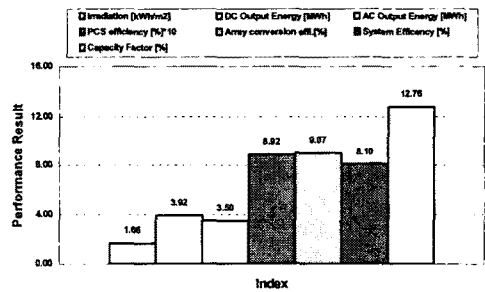


그림 2 PV시스템 성능결과

89.2%이다. PV시스템의 발전효율 및 이용률은 각각 8.1%, 12.8%이다.

PV시스템은 구성요소기기의 성능 뿐만 아니라 환경조건 즉, 일사강도와 모듈표면온도 등의 변화특성에 따라서 발전성능이 결정된다. 따라서, 환경조건변화에 따른 PV시스템의 성능저하 및 손실요인 등의 문제점들을 조사 분석하기 위해서는 PV어레이의 표면온도 및 일사강도의 변화에 따른 성능특성, 그림자영향, PCS손실, 직병렬불균형 PV어레이의 미스매칭, 온도상승에 의한 변환효율 등의 PV어레이와 PCS의 손실요인들을 분석할 필요가 있다. 따라서 PV시스템의 손실요인 및 문제점을 조사분석하기 위해서 PR(Performance Ratio)를 사용하여 PV시스템의 성능특성을 분석평가하였다. PR은 표준상태에서(STC, Standard Test Conditions) 손실요인을 고려하지 않은 PV시스템의 이상적인 발전성능과 실제 발전성능의 비로 PV시스템의 손실요인 뿐만 아니라 PV시스템의 구성요소기기와 전체 시스템의 성능을 분석평가하는데 있어 중요한 분석항목이다.<sup>4),5)</sup>

그림 3은 분석기간 동안 PV시스템 PR, Lc(Capture Losses), Ls(System Losses)을 분석한 결과를 보여준다. PV시스템의 PR은 67.5%, PV어레이 손실인 Lc는

24.6%, PCS 손실인 Ls는 7.9%이다. 일반적으로 PR < 70% 경우 환경조건의 변화 혹은 PV시스템의 설계제어에 문제점들을 가진다는 것을 의미한다. 따라서 그림에서 알 수 있듯이 PV시스템의 설계파라미터를 이용하여 시뮬레이션한 PR과 비교해서 실측결과에서 분석한 PR이 9%정도 떨어진다는 것을 알 수 있다. 이것은 설치환경에 의한 손실도 고려해야겠지만, 환경조건의 변화에 따른 PV어레이의 온도상승에 따른 변환효율 감소와 직병렬불균형에 따른 미스매칭 등의 PV어레이의 손실증가로 인해서 PV시스템의 발전성능이 떨어진다는 것을 분석결과에서 알 수 있다.

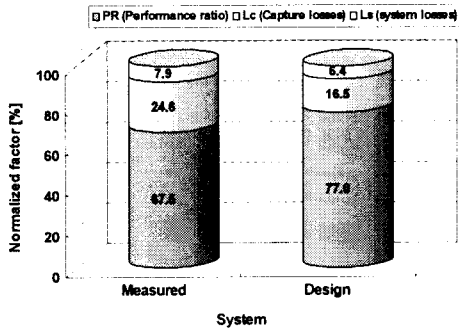


그림 3 PV시스템 성능 분석결과

그림 4는 PV시스템의 손실요인을 조사하기 위해서 PV시스템의 설계파라미터에 의한 시뮬레이션 성능과 실측결과로부터 결정된 시스템 파라미터에 의한 시뮬레이션 성능을 비교 분석하였다. 그림에서 보면 PV시스템의 설계치와 실측치 성능에서의 손실요인별 차이가 PV어레이 온도상승에 따른 효율감소로 인한 손실 2.7%, 미스매칭 손실 7%, 기타손실 2.2%, 그리고 PCS 손실이 0.4%이다. PV어레이 온도상승으로 인한 효율감소 및 Mismatch 손실이 다른 손실과 비교해서 차이가 상대적으로 크다. 이것은 PV모듈의 성능저하 혹은 설치환경에 대해서 전압, 전류 출력특성이 일정하지 않고 변동범위가 크다는 것을 의미한다. 이것은 PV어레이의 직병렬 불균형에 따른 PV어레이의 전압, 전류 특성곡선의 변화로 인해서 PCS가 MPPT제어를 정확하게 수행되지라도 출력특성이 크게 저하되기 때문이다

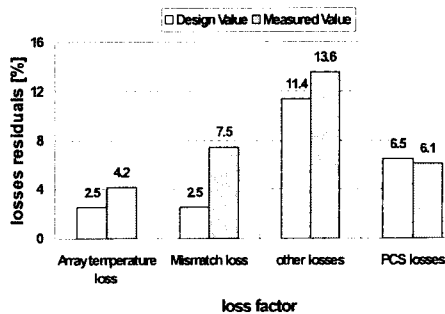


그림 4 PV시스템 손실요인 분석

### 3. 설치방식에 따른 PV시스템 성능비교분석

#### 3.1 시뮬레이션 방법

3kW급 PV시스템의 실증운전에서 수집된 결과들을 분석하여 시뮬레이션을 수행하여 설치방식에 따른 PV시스템의 성능특성을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 필요한 일사강도, 풍속, 외기 및 표면온도, 효율 및 온도계수 등의 기상조건 및 시스템 파라미터들은 감시계측시스템에서 수집하여 분석한 결과를 적용하였다. 시뮬레이션 결과에 대한 정확성 및 신뢰성을 가지기 위해서 PV시스템에서 발생하는 손실 즉, 그림자영향, PV어레이, PCS 및 기타손실 등에 대해서 3kW급 PV시스템의 성능특성 분석결과를 토대로 손실계수를 결정하여 시뮬레이션하였다. 그림 5는 PV시스템의 성능특성을 해석하기 위한 시뮬레이션 흐름도를 보여준다.

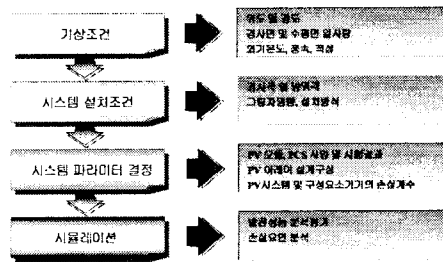


그림 5 시뮬레이션 흐름도

#### 3.1 시뮬레이션 결과

그림 6은 실측결과에서 수집된 결과들을 이용하여 고정방식, 계절별 조정방식(경사각), 추적식(경사각) 추적식(방위각) 및 추적식(경사 및 방위각) 등의 설치방식에 따른 PV시스템의 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. 고정방식인 경우 PV어레이 및 PCS의 총 발전전력량은 3.83MWh, 3.53MWh으로 실측결과와 비교하였을 경우, 오차가 2%미만으로 시뮬레이션 결과가 비교적 정확하다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과를 토대로 설치방식에 따른 성능특성을 보면 계절별 조정방식(경사각)인 경우, 동절기 11월~2월, 하절기 3월~10월 경사각을 조절하였을 경우 20±5°, 50±5°로 조절하였을 경우의 발전성능을 보여주고 있다. 추적식(경사각)의 경우, 방위각을 0°, 경사각을 0~90°로 제어했을 경우 발전성능을 보여주고 있다. 추적식(방위각)의 경우 경사각을 35°, 방위각을 -90°~90°로 제어했을 경우 발전성능을 보여주고 있다. 추적식(경사 및 방위각)은 경사각을 10°~90°, 방위각을 -90°~90°로 제어했을 경우 발전성능을 보여주고 있다. 계절별 조정방식의 경우 PV시스템의 출력전력량은 3.72MWh, 추적식(경사각)의 경우 PV시스템의 출력전력량은 3.81MWh, 추적식(방위각)의 경우, PV시스템의 출력전력량은 4.3MWh, 추적식(경사 및 방위각)의 경우 PV시스템의 출력전력량은 4.45MWh이다.

그림 7은 고정방식으로 설치된 PV시스템에 대한 설치방식에 따른 PV시스템의 발전성능의 개선율을 보여주고 있다. 고정방식의 PV시스템과 비교해서 계절별 조절방식(경사각), 추적식(경사각) 추적식(방위각) 및 추적식(경사 및 방위각)은 일사량은 4.7~27.8%, PV어레이의 출력전력량은 5.1%~25.1%, PCS의 출력전력량은 5.3~26.1% 정도 발전성능이 개선된다.

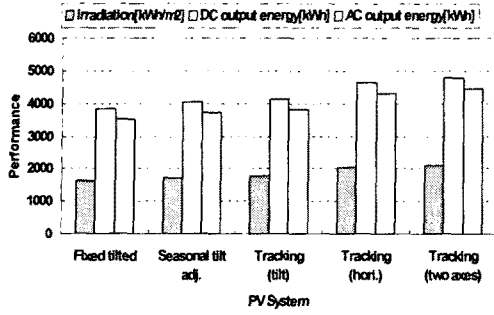


그림 6 설치방식에 따른 PV시스템 성능결과

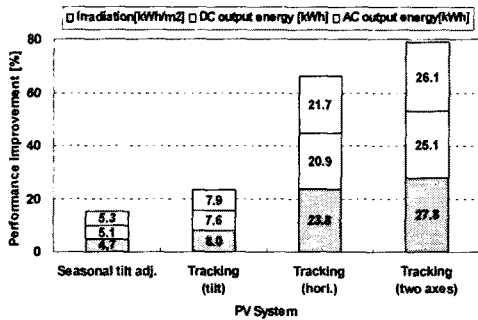


그림 7 설치방식에 따른 PV시스템 성능특성

따라서, 실측결과를 기반으로 시스템 파라미터와 손실 계수의 결정하여 설치방식에 따른 PV시스템의 발전성을 시뮬레이션하여 비교 분석한 결과를 데이터베이스화 함으로서 PV시스템의 초기 설계단계에서 발전성을 예측하여 PV시스템의 적용타당성에 대해서 미리 검토할 수 있으므로 PV시스템의 최적 설계 및 설치에 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 실증운전에서 수집된 PV시스템의 실측 결과로부터 손실저하 및 문제점 등에 대해서 종합적인 분석평가를 수행하였다. 분석결과를 토대로 시스템 파라미터 및 손실계수를 결정하여 설치방식에 따른 PV시스템의 성능특성을 시뮬레이션하여 비교 분석하였다.

향후에는 국내에 설치보급된 PV시스템별의 운전결과를 수집하여 데이터베이스를 구축할 예정이고, 시뮬레이션을 수행하여 PV시스템의 최적설계 및 설치를 위해서 발전성 및 타당성을 검토할 수 있는 분석평가방법에 대해서 연구를 수행할 계획이다.

본 논문은 산업자원부 전력산업기술개발사업 (R-2004-1-143-03)의 지원으로 수행된 결과임.

- [1] 소정훈, 정영석, 유권중, 최주엽, 최익, "3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석", 대한전기학회 논문지, 53B, pp.509-516, 2004
- [2] J.H. So, Y.S. Jung, G.J. Yu, J.Y. Choi, and J.H. Choi, "Monitoring and analysis of 3kW grid-connected PV system for performance evaluation," KIEE International Transaction on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, Vol. 5B, No. 1, pp 57-62, 2005.
- [3] G.J. Yu, J.H. So, Y.S. Jung, and J.Y. Choi, "Monitoring and performance results of 3kW grid-connected PV system in Korea", Proceedings 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Vol. III, pp.2923-2926, 2004
- [4] T. Erge, V. U. Hoffmann, and K. Kiefer, "The German experience with grid-connected PV systems", Solar Energy, Vol. 70, No. 6, 2001, pp. 479-487.
- [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, Issues 3-4, Feb. pp. 767-779, 2003.