

## 태양광발전용 계통연계형 PCU의 성능특성 분석평가

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

### Analyses and Evaluation of Grid Connected PCU for PV System

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

#### ABSTRACT

3kW grid-connected photovoltaic(PV) systems 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 systems have simulated and evaluated using simulation tool in comparison with actual value of data acquisition system of field demonstration test center. Furthermore, performance of each PV system e.g. electric power and loss factor is reviewed.

#### 1. 서 론

무한정의 신재생에너지를 이용한 분산전원의 이용보급이 전 세계적으로 확대되면서 태양광발전을 포함한 분산전원기술에 대한 연구개발 및 관심이 증가하고 있다. 그러나 분산전원의 장시간 운전시스템의 성능특성 및 발생하는 문제점을 평가분석하여 시스템의 성능개선, 신뢰성 및 안정성 기술확립에 대한 국내 연구는 시작단계라 할 수 있다.<sup>[1] [2]</sup>

따라서 본 연구에서는 태양광발전(PV, Photovoltaic)시스템의 이용보급에 따른 태양광발전용 계통연계형 PCU(Power Conditioning Unit)의 장시간 운전시에 발생하는 여러 문제점들을 조사 분석하여 PV시스템 구성기기의 성능개선, 신뢰성 및 안정성 기술 확립을 위해서 계통연계형 태양광발전시스템(PV, Photovoltaic)들과 On-line 운전감시시스템을 태양에너지 실증연구센터(FDTC, Field Demonstration Test Center)에 설치하였다. 실증시험을 수행하여 PCU의 종합적인 성능특성을 분석 평가하여 장시간 운전시에 일어나는 손실요인, 고장유무 등의 문제점에 대해서 검토하였다.<sup>[3]-[5]</sup>

#### 2. 시스템 개요

그림 1은 장시간의 실증시험에 의한 시스템의 종합적인 성능특성을 평가분석하기 위해서 FDTC에 설치 운영되고 있는 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템을 보여준다. PV시스템의 태양전지어레이는 경사각 18°, 방위각 0°(정남향)의 고정방식으로 설치되었고, 태양전지어레이와 PCU는 PV시스템별 설계규격에 준하여 설치되었다. 표 1, 2는 실증시험에 적용된 제조회사별 태양전지모듈 및 인버터의 규격을 나타낸다.

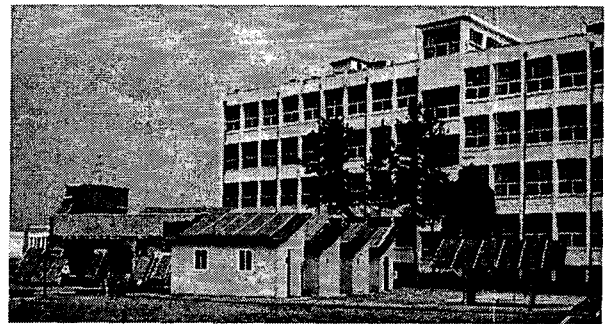


그림 1 3kW급 계통연계형 태양광발전시스템  
 Fig. 1 3kW grid-connected PV system

표 1 태양전지 모듈 규격 (표준조건)  
 Table 1 PV module specification(STC)

태양전지모듈	A	B	C	D
종류	다결정Si	단결정Si	단결정Si	다결정Si
정격출력 [W]	78	53	75	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	17.2	17.3
모듈수량	42매	60매	44매	40매
어레이면적 [m <sup>2</sup> ]	27.2	25.41	27.83	25.91

표 2 PCU 규격(정격시)

Table 2 PCU specifications(under rated condition)

PCU		A	B
주회로방식	PCU방식	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	정격출력	3 kW	4 kW
	변환효율	91%이상	93.5% 이상
	출력역률	0.98 이상	0.95 이상
	총합전류왜율	3% 이하	5% 이하
	각차전류왜율	2% 이하	3% 이하
보호기능	계통보호	OV,UV,OF,UF	OV,UV,OF,UF

### 3. 시스템 성능

실증시험에 설치 운전중인 PCU는 모두 MPP 추종제어와 자동기동/정지기능이 있어 일사강도가 80W/m<sup>2</sup>일 경우 운전을 시작하여 계통으로 전력을 공급하기 시작하고 일사강도가 약 60W/m<sup>2</sup>이하로 떨어질 경우, PCU가 운전을 정지하고, 일사강도가 200W/m<sup>2</sup>이상일 경우 PCU의 변환효율은 일정한 특성을 유지하지만 저일사강도에서는 일사량에 따른 효율특성에 변화가 있다는 것을 분석결과에서 알 수 있었다. 저일사강도(200W/m<sup>2</sup> 이하)에서는 태양전지어레이의 출력특성이 비선형성을 가지게 되어 PCU에서 MPP 추종제어를 정확하게 수행하지 못한다면 PCS의 효율특성의 변화범위가 크다는 것을 알 수 있다.

그림 2는 측정기간인 2002년 11월~2003년 10월 까지 FDTC 설치된 PCU별 월별 출력발전전력량을 보여준다. 측정기간동안 PV시스템별 PCU의 총발전 출력전력량은 3.29MWh(system1), 2.69MWh (system2), 2.96MWh (system3), 2.87 MWh (system4)이다. 그림 3, 4는 측정기간 동안 PV시스템별 PCU의 월별 평균변환효율과 가동율 특성을 보여준다. 시스템별 PCU의 변환효율은 각각 88.8% (system1), 85.7%(system2), 83.1%(system3), 86.9% (system4)이고, PCU의 평균가동율은 42.8%(system1), 40.6%(system2), 40.4%(system3), 41.6%(system4)으로 실증시험기간동안 결함 혹은 고장으로 장시간 운전이 정지되는 경우는 없다는 것을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 PCU(system3)의 변환효율이 다른 시스템과 비교해서 떨어지는데, 실증시험을 통해 수집된 운전데이터를 분석한 결과, PCU(system3)의 변환효율이 떨어지는 원인은 실증시험에 의한 실측성능이 표 2에서 제시한 PCU의 성능을 만족하지 못하기 때문이다. 즉 PCU의 구성기기의 선정 및 설계에서 최적화에 문제가

있다는 것을 알 수 있다. MPP 추종제어는 다른 PCU와 같이 비교적 정확히 추적하는 것을 분석결과에서 알 수 있었다.

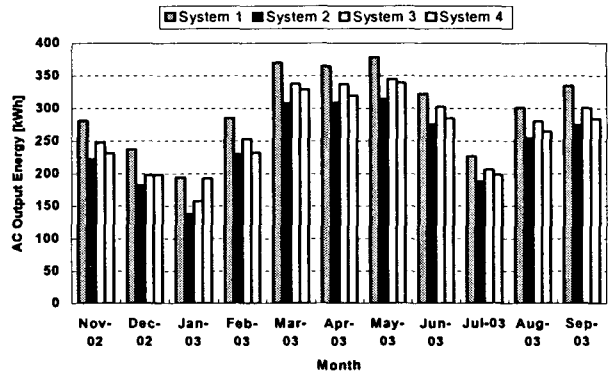


그림 2 월별 PCU 발전출력전력량  
Fig. 2 Monthly output energy

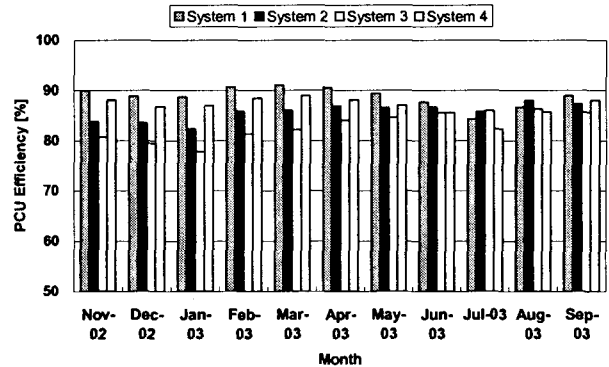


그림 3 월별 PCU 변환효율  
Fig. 3 Monthly PCU efficiency

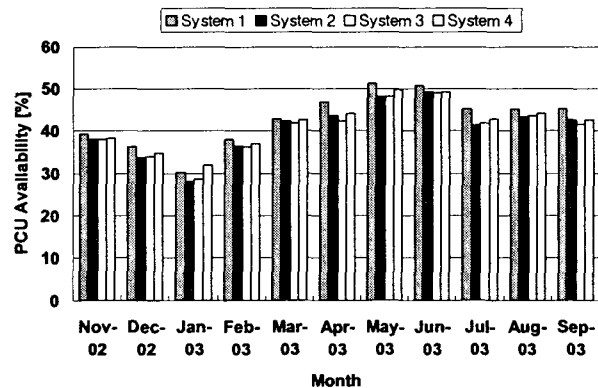


그림 4 월별 PCU 가동율  
Fig. 4 Monthly PCU availability

### 4. 시스템 분석

그림 5, 6은 실증시험에서 수집된 운전데이터와 PCU의 규격을 토대로 회귀방정식을 통해서 PCU

(system3)의 발전성능 즉, PCU의 변환효율 특성을 비교 분석한 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 PCU의 규격에서 제시한 변환효율보다 실증시험에 의한 실제 PCU의 변환효율이 전부하에 대해서 3~9%의 편차가 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서 PV시스템(system3)의 경우 태양전지어레이의 손실보다는 PCU 손실 즉, 구성기기의 선정 및 설계에 있어 최적화가 되지 않아 손실이 증가되는 것을 판단할 수 있다.

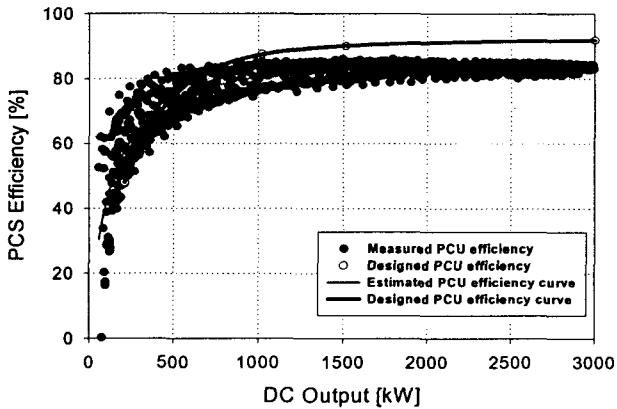


그림 5 PCU 변환효율(system3)  
Fig. 5 PCU efficiency(system3)

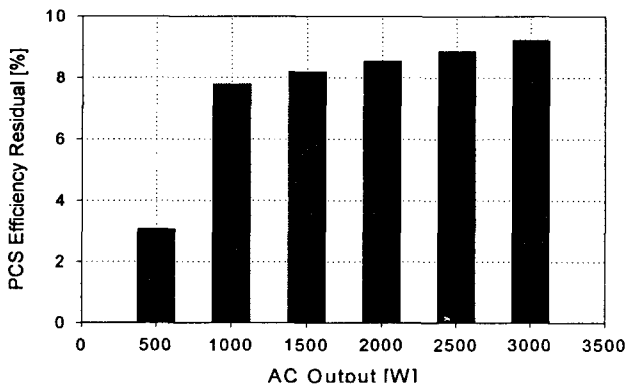


그림 6 PCU 변환효율 잔차(system3)  
Fig. 6 PCU efficiency residual(system3)

실증시험을 통해서 PV시스템별 분석결과를 토대로 시스템의 성능특성을 예측하고 분석하기 위해서 PV시스템에 대한 종합적인 성능분석 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 보다 정확한 성능분석을 위해서 시뮬레이션에 필요한 기상조건 및 시스템 파라미터 즉, 일사강도, 풍속, 외기 및 표면 온도, 경도, 위도, 경사각, 방위각, 시스템 효율 및 온도 계수 등은 FDTC에서 설치 운영되고 있는 운전감시시스템에서 수집된 기상 및 운전데이터를 사용하고, 실증시험 따른 손실(그림자 영향, 경사각에 의한 손실, 온도에 의한 손실, PCU 손실

및 기타 손실 등)을 고려하여 적용하였다.

그림 7, 8은 시뮬레이션에 의한 PV시스템별 발전성능과 실제 발전성능과의 편차특성을 보여준다. 그림에서 보면 PV시스템(system3)의 발전성능 편차가 태양전지어레이의 출력전력량은 8.4%, PCU의 출력발전전력량은 12%정도로 다른 PV시스템의 발전성능에 비해서 편차범위가 크다. 이것은 PV시스템(system3) 성능이 기상조건의 변화시 시스템 파라미터의 변동이 다른 PV시스템에 비해서 크다는 것을 의미한다. 즉 표 1, 2에서 제시한 구성기기의 성능이 장시간 운전에 따른 기상조건의 변화시에 성능특성이 일정하지 않고 변동된다는 것이다. 그림 8의 PV시스템별 월별 발전성능 편차를 보면, 1월에 PV시스템(system4)를 제외하고 30% 이상의 편차를 가지고 있다. 1월에 편차가 크게 발생하는 것은 PV시스템 및 운전감시시스템에 문제가 있는 것이 아니라 적설, 온도급강하 등의 기상조건의 악화로 인하여 양호한 일사강도를 가지고 있으나 PV시스템의 운전이 정지되는 경우가 자주 발생하였기 때문에 1월에 PV시스템들의 발전성능 편차가 급격히 증가하였다.

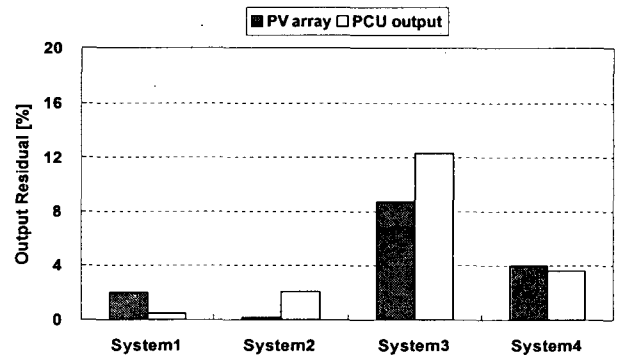


그림 7 PV시스템별 발전출력전력량 편차  
Fig. 7 Total averaged residuals of each PV system output energy

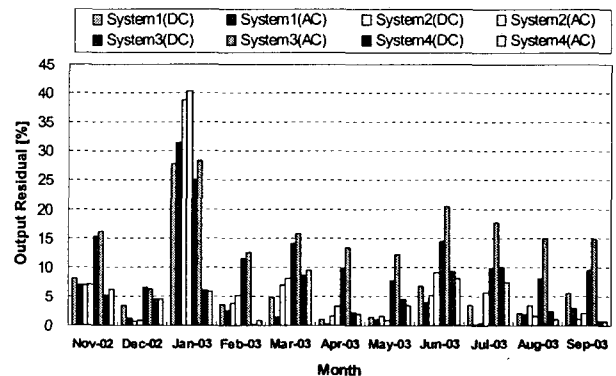


그림 8 PV시스템 월별 출력발전전력량 편차  
Fig. 8 Monthly averaged residuals of each PV system output energy

실시험에서 수집된 기상 및 운전데이터를 이용하여 기상조건, 설치조건 및 시스템 파라미터를 결정하여 시뮬레이션을 수행한 결과 PV시스템의 성능을 비교적 정확히 예측할 수 있었고, 시뮬레이션에 의한 성능해석방법의 타당성 및 유효성을 확인하였다. 따라서, 이들 결과를 토대로 측정기간동안 PV시스템의 실제성능이 표 1, 2의 규격에서 제시된 구성기기의 성능과 같은 경우 PV시스템별의 발전 성능을 시뮬레이션하여 비교 분석하였다. 그림 9는 측정기간동안 PV시스템별 실제성능과 시뮬레이션에 의한 예측성능 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 PV시스템(system2, 3)의 경우 표에서 제시한 규격과 같은 성능을 가진다면 20%정도 발전성능이 개선된다는 것을 알 수 있다.

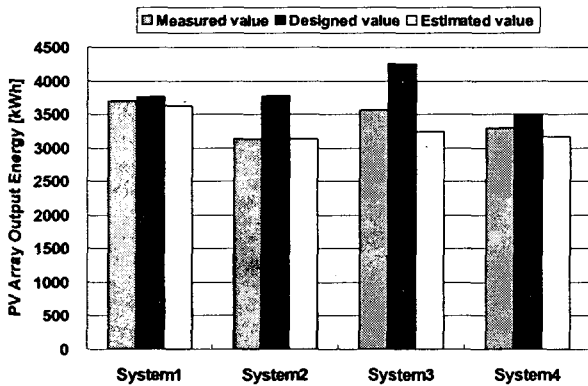


그림 9 PCU 실제성능과 예측성능 비교

Fig. 9 Comparison of actual versus estimated PCU

실증시험을 수행하여 분석한 결과 PV시스템(system2)의 손실요인은 PCU 손실보다는 태양전지어레이 손실로 인해서 편차가 크게 발생하였으며, PV시스템(system3)은 태양전지어레이 손실보다는 PCU 손실로 인해서 편차가 크게 발생하였다. 또한 태양전지어레이의 성능도 기상조건의 변화에 따른 변환효율특성이 PV시스템(system2)의 태양전지어레이 성능에 비해서는 양호하지만, 균일하지 않고 변동이 심하다는 것을 알 수 있다. PV시스템(system4) 경우는 규격과 거의 같은 성능특성을 가지고 있으나, PV시스템(system1)과 비교할 경우, 편차가 다소 크다. 이는 PV시스템(system4)는 태양전지어레이의 설치가 경사지붕방식으로 설치되어 온도상승에 따른 태양전지어레이 손실이 증가되었기 때문이다. PV시스템(system1) 경우는 기상조건, 측정에 따른 편차 등의 영향을 고려한다면, 규격에서 제시된 성능과 같은 성능특성을 가지는 것을 알 수 있다.

PV시스템별 성능특성을 분석 평가한 결과를 토

대로 손실요인 및 운전시의 문제점 등에 대해 보다 정확한 성능특성을 분석 평가할 수 있는 응용기술 개발이 필요하다.

## 5. 결 론

분산전원의 국내 이용보급이 확대되면서 태양광 발전을 포함한 분산형 전원기술에 대한 관심이 증가됨에 따라 시스템의 신뢰성 및 안정성기술 확립의 필요성이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 태양에너지 실증연구센터(FDTC)에 계통연계형 PV시스템과 운전감시시스템을 설치 운영하여 장시간의 실증시험을 수행하여 PV시스템별 성능특성을 분석 평가하여 손실요인 및 운전시의 문제점을 비교 분석하였다.

향후에는 PV시스템의 손실요인 및 장시간 운전시에 발생하는 문제점 등에 대해서 보다 정확한 성능특성을 조사하여 PV시스템의 성능개선, 신뢰성 및 안정성 등의 실용화 기술들을 확립할 수 있는 최적설계기술을 개발하기 위해서 지속적인 실증시험을 통해 수집된 운전데이터를 이용한 분석평가 및 응용기술에 대한 연구를 수행할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [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.