

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 장기 실증 운전

김영섭, 안교상, 임희천, 오제명
한국전력공사 전력연구원

An analysis on the operating characteristics of 50kW Photovoltaic Power System

Y. S. Kim, K. S. Ahn, H. C. Lim, J. M. Oh
KEPRI-KEPCO.

Abstract - In this paper, an operating characteristics of a 50 kW grid-connected photovoltaic(PV) power system was analysed from 2000 to 2004. The construction of the PV system includes a 3-phase inverter for grid connection, PV module, distribution box, and data monitoring system. The major results of the demonstration test of the 50 kW class grid-connected PV system showed that efficiency of PV system was 11.13%, and the conversion efficiency of the inverter was 92% at a 50% load.

1. 서 론

다양한 분산전원 도입은 에너지자원의 다원화와 대기 환경 문제 해결에 부합하므로, 꾸준히 성장을 할 것으로 예상된다. 특히, 태양광 발전은 최근 5년간 꾸준한 성장을 하였다. 에너지 변환 효율은 10-15% 정도지만, 연료를 따로 구매 할 필요가 없고, 유지보수의 비용이 거의 들지 않으며, 움직이는 부분이 적어 수명이 길기 때문에 장기적으로 운영하면 경제성을 가진다. 최근 세계적인 추세는 계통연계형 집중형 방식을 채택하여 단일 태양광 발전을 구성해 수 MW급 발전을 하는 형태가 늘고 있다. 국내 역시 MW급 태양광 발전 시설의 도입을 앞당기고자 노력중이다.

한전 전력연구원에서는 태양광 발전시스템의 3상 계통연계형 인버터의 전력변환 특성, 연계운전특성, 그리고 발전시스템의 설계와 운용능력의 향상, 발전시스템 제어와 보호기법 등을 검토하여 계통연계에 다른 문제점을 분석 보완함으로써 계통연계형 태양광 발전시스템의 실용화를 위한 기반기술을 확립하고자, 중규모 50 kW급 계통 연계형 태양광 발전시스템을 설계용량 53 Wp 태양전지판 960매를 직·병렬 구성하여 설계 최대 출력 50 kW와 50 kVA급 직·교류 변환장치(변환효율 94% 이상) 등으로 구성하여 전력연구원 내의 계통에 연결하여 운전 특성 실험중이다.

본 논문에서는 1999년 4월 8일 설치하여 실험운전을 시작한 50 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성 및 시스템 특성과 장기운전특성에 관하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 50 kW 계통연계형 태양광발전시스템 구성

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 태양광을 받아 직류전원을 발생시키는 53Wp 용량의 태양전지 모듈 960매가 20매씩 3병렬을 1군으로 모두 16 개군의 각각의 출력단에 Blocking diode, 차단스위치, 전류 측정용 CT를 부착하였고, 고장에 대한 보수와 부분별 특성실험이 용이하도록 구성된 분전함과 50 kW급 3상 전압형 인버터로 구성되어 있다. 인버터를 통해 교류로 변환된

태양광 발전 시스템의 발전 전력은 전력연구원 내에 있는 수변전설비의 분전반에 연결되어 원내의 부하 설비에 공급되도록 되어 있다. 표 1 은 50 kW급 태양광 발전 시스템의 규격을 보여주고 있으며, 그림 1 은 본 시스템 구성도 이다.

표 1. 50 kW급 태양광 발전시스템 개요

항 목	규 격	
PV Module	종 류	단결정 실리콘 태양전지
	용 량	53 Wp
	효 율	14%
PV Array	결선방법	20직렬×3병렬×16개 어레이
	경 사 각	30°(정격전압 : 348 V)
	용 량	약 50 kVAp
PCS	연계운전방식	전압형 전류제어방식
	정격출력	50 kWp
	직류입력전압	DC 220-430 V
	전력제어방식	MPPT 제어
	정격출력	AC 3상 220/380V, 60 Hz
	전력변환효율	94% 이상(정격 출력시)
보호기능	과전압, 단락, 정전, 결상, 주파수	

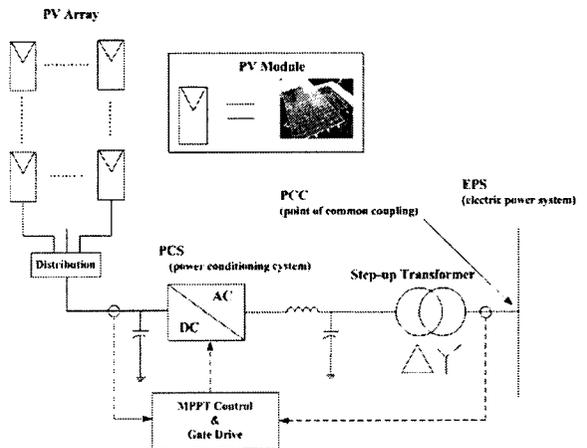


그림 1. 50 kW급 태양광 발전시스템 구성도

2.2 50 kW급 계통연계형 전력 변환장치

계통연계형 태양광 발전시스템에서 전력변환장치는 태

양광발전의 고효율화, 발전전력의 고품질화 및 배전계통과 연계시 안정성확보 등의 기능을 필요로 한다. PCS의 경우 전압형 인버터(Voltage Source Inverter)의 전류제어 방식을 채용하였고, 태양전지의 특성상 기인하여 최대 출력을 위하여 최대 출력점 추종 제어(Maximum Power Point Tracking Control : MPPT Control)를 포함하고 있다. 출력단에 저역필터와 승압변압기를 두어 380 V 3상 계통에 연계 된다. 보호기능으로 직류 과전압, 직류 저전압, 계통연계 측에서 계통 과전압, 계통 저전압 과부하, 과열, 정전, 결상, 주파수 이상 등의 상황에 대한 보호회로와 릴레이를 통한 차단 기능을 갖추고 있다.

2.3 PCS의 입·출력 특성

표 2는 전력변환장치인 인버터의 입·출력 특성을 보여 주고 있으며, 교류전류 파형 왜형의 왜율은 50 % 부하 이상에서 2.5 % 이하로 대단히 양호한 상태를 보여 주고 있으며, 인버터의 전력변환 효율도 1/2 부하 이상에서 92 % 이상의 높은 변환 효율을 나타내고 있다. 측정 결과에서 보듯이 분산형 전원으로서 계통연계형 태양광 발전시스템의 전류파형 왜율은 정상 출력에서는 배전계통으로 영향을 거의 없는 양질의 전력을 공급 할 수 있음을 확인하였다. 그러나, 기동·정지 및 일사량 변화에 따른 저출력 운전시는 고조파 제한치 5 %에 근접하므로 대책을 강구하여야 할 것이다.

표 2. 인버터 입·출력 특성

출력 (%)	태양전지출력 kW	인버터출력 kW	효율 (%)	역률	THD (%)
20	11	10	90.9	0.999	4.65
40	22	20	90.9	0.999	2.50
60	32	30	93.7	0.999	2.15
80	39	37	94.8	0.999	1.52

2.4 태양광 발전시스템의 발전현황

그림 2는 2000년 1월부터 2004년 12월까지의 매일 발전 전력량과 일사량 현황이다. 그림 2에서 대략의 추세를 보아 일사량 변화와 유사한 패턴을 보였다. 이는 50 kW 태양광 발전시스템이 장기 운전에서도 일정한 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 온도와 발전전력량을 비교 하였을 때, 온도 상승시 발전전력량이 감소하는 추세였으나, 일사량에 의한 패턴 변화에 비해 종속성이 떨어졌다. 또한, 태양광 발전 시스템의 전분칠과 가을철의 발전량이 높고, 여름철과 겨울철의 발전량이 감소하고 있음을 보여 주고 있다. 여름의 낮은 발전량은 장마철의 영향과 대기 온도 상승에 기인하며, 겨울철의 낮은 발전량은 상대적으로 짧아진 낮 시간과 겨울철 눈의 영향에 기인하는 것으로 분석되어 진다.

2.5 50 kW 계통연계형 태양광 발전 시스템 운전분석

태양광 발전시스템 실증운전 분석을 위하여 발전시스템 이용률, 발전시스템 발전효율은 식(1), 식(2)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{발전시스템 이용률} = \frac{\text{시스템 총발전량(kWh)}}{\text{시스템발전용량} \times 24(\text{h}) \times \text{일수}} \times 100\% \quad (\text{식}1)$$

$$\text{발전시스템 발전효율} = \frac{\text{시스템 총발전량(kWh)}}{\text{경사면일사량} \times \text{어레이 면적}(\text{m}^2)} \times 100\% \quad (\text{식}2)$$

- 발전시스템 이용률

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 2000년 1월 2004년 12월까지 48개월 1,461일 동안 총 243,743 kWh를 발전하여 월 평균 약 4,062 kWh/monthly, 일평균 약 127 kWh/day를 발전하였다. 이는 운전 초기의 데이터와 크게 다르지 않은 결과를 나타내었다. 부록의 표 3과 그림 3은 식 1을 이용하여 48개월 동안의 발전시스템 이용률을 나타낸 것으로 그 결과는 월 평균 11.13 %의 우수한 수치를 나타내고 있다.

- 발전시스템 발전효율

발전효율은 식 2에서 보듯이 일사량과 발전전력량의 상관식에 의해 계산되어진다. 본 50 kW급 태양광발전시스템은 월 평균 6.48 %의 효율로 계산되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 운전결과를 분석하였다. 50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 2000년 1월 2004년 12월까지 48개월 1,461일 동안 총 243,743 kWh의 전력을 생산 하였으며, 월 평균 4,062 kWh/monthly, 일평균 127 kWh/day의 발전전력량을 기록하였다. 50 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 운전결과에 대한 분석은 다음과 같다.

1. 전력의 품질을 나타내는 전류파형 왜율은 50 % 부하 이상에서 2.5 % 이하로 대단히 양호하였으며, 전력변환장치인 인버터의 변환효율은 1/2 부하 이상에서의 92 % 이상의 좋은 변환 효율을 보여 주었다.

2. 발전시스템의 이용률은 봄철과 가을철에 높은 경향을 보여 주고 있으며, 여름철과 겨울철은 상대적으로 낮은 수치를 보여주는데, 이는 기온의 영향 및 태양의 일사 시간에 의한 영향으로 분석되고 있으며, 평균 이용률은 11.13 %로 양호한 기상조건임을 보여 주고 있다.

3. 발전시스템의 발전효율은 월 평균 6.48 %인 것으로 분석되고 있으며, 여름철의 일사량에 비해 다소 낮은 변환 효율은 대기 온도의 상승으로 태양전지 표면 온도 상승에 의한 출력 저하 현상을 뚜렷하게 보여 주고 있다.

본 시스템의 5년간 실증운전을 통하여 분산형 전원으로서 계통연계형 태양광 발전시스템의 안정성과 신뢰성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안교상, 임희천, "50 kW급 계통연계 태양광 발전시스템 개발 최종보고서", 전력연구원, 1999.10.
- [2] 안교상, 임희천, 황인호, "50 kW급 계통연계 태양광 발전시스템 운전특성분석" 태양에너지학회 추계 학술대회, pp. 116~120, 1999.

[50kW급 태양광 발전 시스템 발전현황 통계]

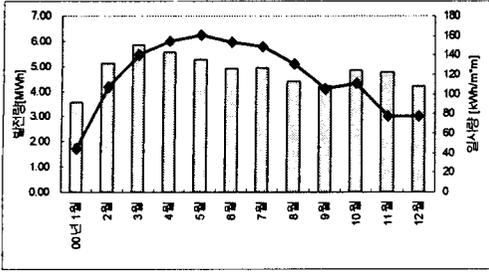


그림 2(a). 2000년 월간누적발전량·월평균일사량

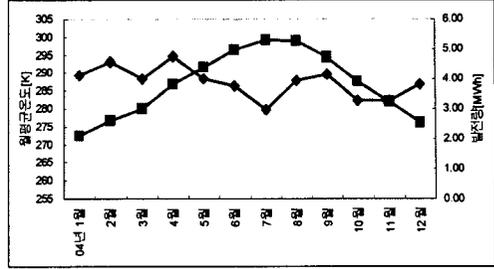


그림 3. 2004년 월평균온도·월간누적발전량

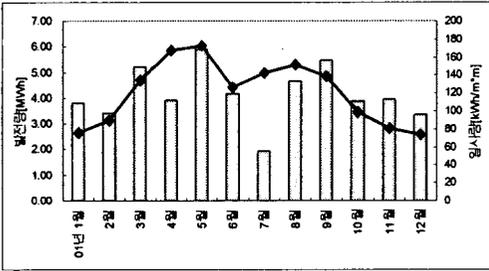


그림 2(b). 2001년 월간누적발전량·월평균일사량

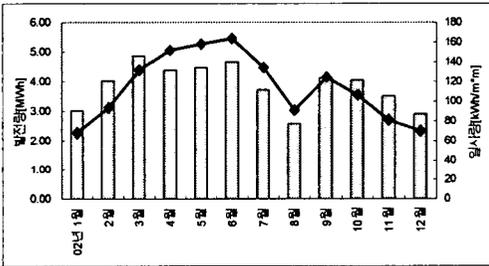


그림 2(c). 2002년 월간누적발전량·월평균일사량

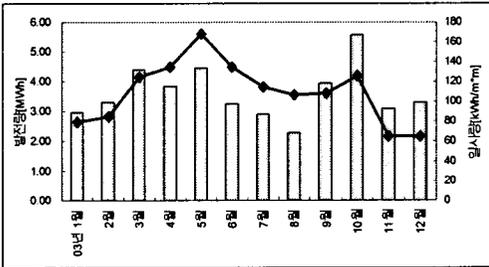


그림 2(d). 2003년 월간누적발전량·월평균일사량

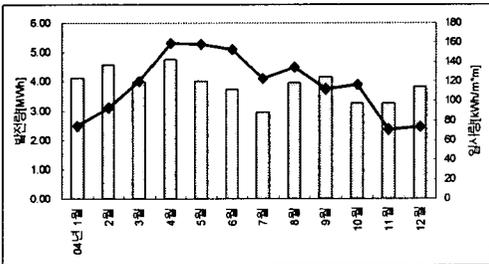


그림 2(e). 2004년 월간누적발전량·월평균일사량

표 3). 5년간 월간평균 태양광 발전 시스템 이용률

월 별	발전 전력량 (kWh)	시스템 이용률 (%)	계측일수
1	3,497.98	9.40	31.0
2	4,096.84	11.99	28.4
3	4,865.90	13.08	31.0
4	4,495.40	12.49	30.0
5	4,820.32	12.96	31.0
6	4,155.34	11.54	30.0
7	3,301.46	8.87	31.0
8	3,562.70	9.58	31.0
9	4,382.90	12.17	30.0
10	4,323.78	11.62	31.0
11	3,719.74	10.33	30.0
12	3,526.24	9.48	31.0
평균 (합계)	4,062.38 (48,748)	11.13 (-)	(윤달포함)