

## 50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발(1)

안교상, 임희천, 황인호\*  
한전 전력연구원, 옥천전문대학교\*

### Development of a 50 kW Photovoltaic Power Generation System for Grid Connection(1)

K. S. Ahn, H. C. Lim, I. H. Hwang\*  
KEPRI-KEPCO, Okcheon College\*

**Abstract** - In this paper, a operating characteristics of the 50 kW grid-connected photovoltaic(PV) power system which is by means of initial PV datum analyzing is reported. The development of a 50 kW class photovoltaic power generation system including a DC/AC inverter is suggested to investigate the system performance for grid connection. The results of the demonstration test of a 50 kW class grid-connected PV system show that the system utilization rate is 15.6% and the inverter efficiency is 94% at 80% load.

#### 1. 서 론

깨끗한 에너지원으로 주목받고 있는 태양광 발전은 대체에너지 발전방식 중에서 가장 실용화에 가깝고 운전 및 유지보수가 용이하며, 발전규모 선택이 자유롭다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 화석연료 고갈에 대처할 수 있는 유력한 대체에너지원으로 각광을 받고 있으며, 최근 문제되고 있는 지구환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특징을 갖고 있다. 특히 계통연계형 태양광 발전시스템은 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기 peak 전력 소비 시간대와 비슷하여 대규모 집중형 뿐만 아니라 주택과 건물의 지붕이나 옥상 혹은 벽면 등에 설치함으로써 전력수급 불균형 해소에 기여 할 수 있고 국토의 효율적 사용이 가능한 전력공급원으로 그 활용이 가능하다.

한전 전력연구원에서는 이러한 장점에 착안 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 계통선 연계형 태양광 발전시스템 개발에 착수하여, 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 동력실 계통 선에 연결하여 운전특성 실험중이다.

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

#### 2. 본 론

##### 2.1 계통연계형 태양광 발전시스템 특성

계통연계형 태양광 발전시스템은 반도체 소자 특성을 지닌 태양전지에 의해 발전된 전력을 교류전력으로 바꾸

고 교류의 전력계통과 연계가 가능하도록 하는 전력변환장치를 사용하여 태양전지의 발전전력을 직접 부하 측에 전력을 공급하는 방식이다. 이때 태양전지 전력이 부하 측에서 필요한 전력보다 많을 때는 잉여전력을 계통에 공급하도록 하고, 발전전력이 부하 측에서 요구하는 전력보다 적을 때는 계통과 연계하여 부하 측에 필요한 전력을 공급하도록 한다.

이와 같은 계통연계형 태양광 발전시스템은 크게 태양광발전에 필요한 태양전지 어레이와 계통연계운전에 있어서 핵심인 전력변환장치 및 교류계통과의 연계시 발생할 수 있는 사고로부터 시스템을 보호하기 위한 연계 보호장치 및 검출장치로 구성되어 있다. 그림 1은 계통연계형 태양광 발전시스템의 기본 구성을 나타낸다.

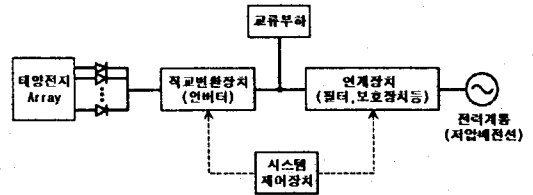


그림 1. 계통연계형 태양광시스템

##### 2.2 50 kW 계통연계형 태양광 발전시스템 구성

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 태양광을 받아 직류전원을 발생시키는 태양전지 모듈 960 매가 20 매씩 3병렬로 1군으로 하여 총 16군으로 이루어져 있다. 또한, 독립된 16 개군의 각각의 출력단에 Blocking diode, 차단 스위치, 전류 측정용 shunt를 부착하여 고장에 대한 보수가 용이하도록 구성되어 있다. 여기서 발생된 직류전원을 교류전원으로 변환시키기 위한 IGBT를 사용한 50 kVA급 PWM 방식의 인버터와 이를 배전 계통에 연계시키는 계통연계·보호설비 및 운전자료의 계측분석을 위한 MMI(Man Machine Interface), 감시 및 제어시스템 등으로 구성되어 있다.

표 1은 50 kW급 태양광 발전시스템의 설계개요를 보여주고 있다. 이는 주택, 빌딩 등에 설치할 분산형 발전시스템을 모델로 하고 있으며, 장차 대규모 발전시스템에 이용될 수 있는 집중형 발전시스템 개발을 고려하여 설계하였다. 태양전지 모듈은 단결정 실리콘 태양전지 36 cell을 직렬로 구성하였으며, 전력변환장치는 전압형 전류제어 방식으로 정현파 PWM 제어방식을 채택하였다. 본 발전시스템은 발전효율을 높이고 분산형 전원 형태의 역할 수행을 위하여 양방향 조류 방식을 채택하였다. 보호기능으로는 인버터 과전압/저전압, 출력 단락시 시스템 보호, 교류 출력단 지락보호, 과주파수, 저주파수 보호 등의 보호기능을 갖추고 있다. 또한, 태양광 발전시스템의 원격 alarm 점접 검출, 원격 비상정지 등의 원격 감시 및 제어를 위한 시스템이 원내의 LAN 망을 이용하여 설치하였다.

표 1. 50 kWp 태양광 발전시스템 설계 개요

항목	규격	
태양전지 모듈	종류	단결정 실리콘 태양전지
	용량	53 Wp
태양전지 어레이	효율	14%
	결선방법	20직렬×3병렬×16개 어레이
인버터	경사각	30° (정격전압 : 848 V)
	용량	약 50 kVAp
인버터	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	

2.3 50 kW급 계통연계형 전력 변환장치

계통연계형 태양광 발전시스템에서 전력변환장치는 태양광발전의 고효율화, 발전전력의 고품질화 및 배전계통과의 연계시 안정성 확보 등의 기능을 필요로 한다.

본 장치는 반도체 소자, 휴즈, 방열판, 필터용 리액터 그리고 캐패시터 등으로 구성되어 있으며, 태양전지로부터 직류전원을 공급받아 교류 전원으로 변환시켜 계통에 안정된 양질의 전원을 공급하며 태양광발전의 고효율화를 위한 최대출력점 추적제어를 통해 고효율화를 도모하였다. 또한, 전류제어형 인버터를 사용하여 출력 정현파 전류를 제어하였고, 직류 과전압, 직류 저전압, 계통 과전압, 계통 저전압, 과부하, 과열, 정전, 결상 등의 고장에 대한 경보 및 차단기능이 있다. 다수의 시스템이 계통과 연계할 경우, 태양광 발전시스템은 일기변화에 따라 계통에 공급되는 전압 변동성분의 증대와 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력의 품질 열화문제가 발생할 수 있으며 또한 배전선 보호 시스템의 교란에 따른 신뢰도 저하뿐 아니라 계통과의 연계가 단절되어 배전계통으로 역충전이, 생겨 선로작업시 안정성이 문제가 될 수도 있다. 따라서 전력변환장치는 전압조정기능, 전력조정기능, 주파수조정기능, 무효전력조정기능 그리고 역충전 운전방지 기능 등을 가지며 연계된 전력계통에 대한 제어기능을 수행한다.

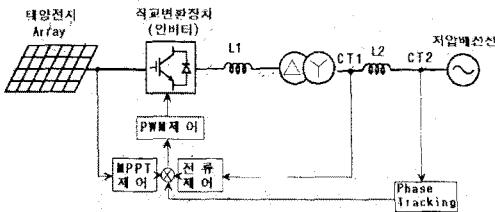


그림 2. 태양광 계통연계형 인버터 구성도

2.4 50 kW급 태양광 발전시스템 운전특성 분석

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 1999년 4월 8일 기기의 점검 및 교정을 마친 후 시운전을 시작하여 6월 현재까지 시스템의 출력특성이 분석되고 있다. 태양광 발전시스템의 운전자료 수집은 산업자동화 소프트웨어인 FA50을 사용하였으며, 전류, 전압, 태양광 일사량, 온도 등을 자료화하여 태양광 발전특성에 미치는 영향 등을 분석하고 있다.

표 2는 전력변환장치인 인버터의 입·출력특성을 보여 주고 있으며, 교류전류 파형 왜율은 power scope를

사용하여 출력별로 측정하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 전류 파형의 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.

표 2. 인버터 입·출력 특성

출력 (%)	인버터 입력 출력 (kW)	인버터 출력 (kW)	효율 (%)	역율	교류 전류 총합 (%)
0	-	-	-	-	-
20	11	10	90.9	0.999	4.8
40	22	20	90.9	0.999	3.1
50	25	23	92.0	0.999	2.5
60	32	30	93.7	0.999	2.1
80	39	37	94.8	0.999	-

그림 3, 4, 5는, 1999년 4월 8일 이후 발전전력량을 나타내며, 기상조건의 영향으로 일일 발전량의 변화를 볼 수 있다.

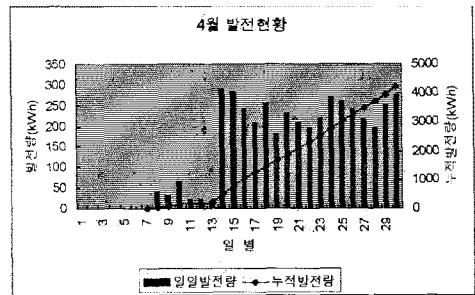


그림 3. 4월 50 kW급 태양광발전 시스템 발전현황

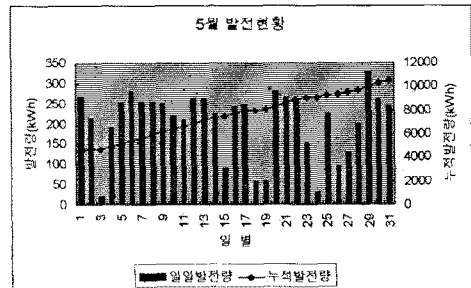


그림 4. 5월 50 kW급 태양광 발전시스템 발전현황

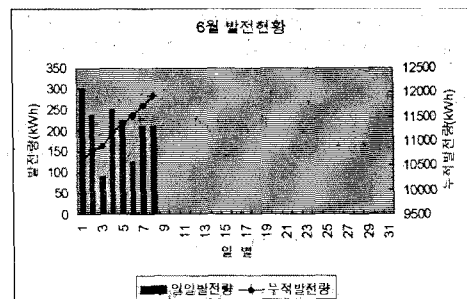


그림 6. 5월 50 kW급 태양광 발전시스템 발전현황

## 2.5 50 kW 계통연계형 태양광 시스템 발전특성

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 지난 6월 8일 이후 62일 동안 총 11,925 kWh를 발전하여 일 평균 약 192.3 kWh/day를 발전하였다. 태양광 발전시스템 운전특성 분석을 위한 시스템 이용률 및 시스템 발전효율은 식 1과 2에 의하여 계산되어 진다.

$$\text{시스템 이용률} = \frac{\text{시스템 발전전력량}(kWh)}{\text{시스템 정격출력} \times 24(h) \times \text{일수}} \times 100(\%)$$

(식 1)

$$\text{시스템발전효율} = \frac{\text{시스템총발전량}(kWh)}{\text{경사면일사량} \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%)$$

(식 2)

표 3은 시험 운전기간 동안의 발전특성을 분석한 것으로 시스템 이용률은 평균 15.6%, 시스템 발전효율은 12.3%로 중규모급 태양광 발전시스템에서 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 효율이 높은 단결정 실리콘 태양전지를 사용하였고, 태양의 경사면 일사량의 크기가 가장 크도록 태양전지 어레이가 적절한 위치와 각도로 설치되었기 때문으로 판단된다. 또한 현재의 분석치는 태양광 발전시스템의 일사량 조건이 계절중 가장 양호한 봄철의 조건으로 장기운전으로 계절별 연간 분석치는 다소 차이를 보일 것으로 생각된다.

표 3. 태양광 시스템 발전특성

월 별	발전 전력량 (kWh)	시스템 이용률 (%)	계측일수
4	4,220	15.28	23
5	6,306	16.95	31
6	1,399	14.57	8
평균 (합계)	11,925 (3,975)	15.6 ( - )	62 ( - )

## 3. 결 론

본고에서는 50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성 및 시스템특성과 초기 운전특성에 관하여 고찰하였다.

50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 4월 8일부터 6월 8일까지 62일 동안의 운전특성을 분석하였으며, 주요 결과로는 50% 부하 이상에서 인버터 전류 파형 왜율은 2.5% 이하로 대단히 양호하였으며, 전력변환장치인 인버터의 변환효율은 1/2 부하 이상에서의 92% 이상의 좋은 변환 효율을 보여 주었다.

발전특성 분석으로 운전기간 동안에 11,925 kWh로 일 평균 192.3 kWh/day, 시스템 이용률 15.6%, 시스템 발전효율 12.3%인 것으로 분석되었다. 이는 태양광 발전시스템의 일사량 조건이 계절 중 가장 양호한 봄철의 조건으로 장기운전으로 계절별 연간 분석치는 다소 차이를 보일 것으로 생각된다.

향후 계통연계형 태양광 발전시스템의 연속운전을 통한 계절별 발전특성을 분석하고, 시스템의 평가기법과 시스템 효율 개선, 3상 계통연계형 인버터의 고조파 영향 등을 심도 있게 분석 검토할 예정이다.

### (참 고 문 헌)

[1] U.S. Department of Energy, *National Photovoltaic Program : Five Year Research Plan*,

1987-1991, U.S. DOE, Washington DC, 1987, p. 26.  
 [2] France Lasnier and Tony Gan Ang, "Photovoltaic Engineering Handbook", Adam Hilger, 1990.  
 [3] 안교상, 임희천, 황인호, "50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발 중간보고서", 전력연구원, 1998.8.  
 [4] 안교상, 임희천, 황인호, 정승주, "계통연계형 태양광 발전시스템의 운전특성에 관한 연구", 대한전기학회, pp. 2436 - 2438, 1998.