

태양광 발전시스템의 계통연계 운전평가

안교상, 황정희, 임희천
한전 전력연구원

The operating evaluation of the Grid connected PV power system

K. S. Ahn, J. H. Hwang, H. C. Lim
KEPRI/KEPCO

Abstract - 본 고에서는 태양광 발전용 전력변환장치의 국산화 개발에 성공하여 적용한 120kW급 특고압 연계형 태양광 발전시스템의 구성 및 발전특성에 대하여 기술하고자 한다.

본 설비는 2005년 8월 25일부터 한국서부발전(주) 태양발전본부에서 운전 중이며 현재까지 특별한 문제점 없이 정상적으로 운전되고 있다.

1. 서 론

태양광발전은 무한의 청정 자연에너지원으로 기계적인 가동부분이 없기 때문에 특별한 보수를 필요로 하지 않으므로 장수명을 기대할 수 있다. 이러한 특성에 따라 발전전원으로서 단점이 존재함에도 불구하고 설비의 안정적인 운영 도모를 위한 분산전원으로서 태양광 발전시스템의 개발 및 보급이 증대되고 있다.

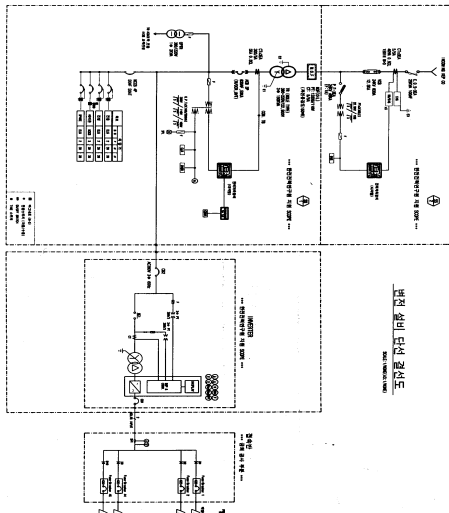
또한, 정부의 정책적 지원에 힘입어 태양광발전은 급속하게 도입 보급되고 있다. 자연에너지를 이용하는 분산전원으로서 태양광발전의 확대보급은 설비의 안정성, 안전성 확보와 계통과의 보호협조 측면에서 신뢰성을 확보하여야 한다.

본 고에서는 태양발전본부에서 운영되고 있는 120kW급 특 고압 연계형 태양광시스템의 발전특성에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 발전시스템 구성 및 규격

120kW급 태양광 발전시스템은 태양전지 모듈, 120kVA PCS(Power Conditioning System), 특고압 연계를 위한 송수전 변전설비로 구성되어 있으며, 기본 구성도는 그림 1과 같다.



<그림 1> 태양광발전설비 계통도

2.1.1 모듈 규격

태양전지 Array는 80Wp 단결정 실리콘 태양전지 모듈 1,530매이며, 태양전지 모듈 34매를 직렬로 연결하여 45 병렬 시스템으로 설계 구축하였다. 이때의 태양광발전의 개방전압 731 Vdc, 동작전압 578 Vdc이며, 총 설비 용량은 122.4 kVA급이 된다.

<표 1> 태양전지 모듈 규격

구 분		규 격
모듈 총 용량 (kWp)		122.4 kWp
제작 규격	태양전지	단결정 실리콘 태양전지
	전면유리	저 철분 강화유리
	프레임	알루미늄 프레임
	단자함	By-Pass Diode 부착
전기 적 규격	최대 출력	80 Wp 이상
	개방전압	21.8 V ± 5%
	단락전류	4.85 A ± 5%
	정격 최대전압	17.5 V ± 5%
	정격 최대전류	4.58 A ± 5%
	태양전지 모듈 변환효율	15% 이상
	태양전지 Cell 크기	127mm × 127mm 정도(5인치)
성능측정 표준조건	cell 온도 25℃, 일사량 1kW/m ² , AM1.5	
총 수량		80 Wp 태양전지 모듈 1,530매
외 형	모듈 외형 크기(L×W×D)	1,200mm × 530mm × 50mm[이하]
	태양전지 모듈 중량	8.0 kg 이하

2.1.2 PCS 규격

120kW 태양광 발전설비를 구성하고 있는 계통연계형 PCS는 자여식 전류제어방식으로 기동시에 돌입전류를 억제하기 위해 soft start 기능을 갖추고 있다. 전력사업용 태양광발전을 위하여 순수한 국내기술에 의하여 설계/제작된 120 kVA급 PCS의 규격은 표 2와 같다.

<표 2> PCS 규격

구분	항 목	내 용	비 고
구 성	출력 상수	삼상 4전식	
	인버터 제어방식	전압형 전류제어 PWM	
	스위칭 소자	IGBT	300 A 1,200V 2적렬
입 력	정격전압	595 Vdc	
	전압변동범위	476~741 Vdc	
출 력	정격 출력용량	120 kVA	
	정격 출력전압	계통선 전압 (380 Vac)	
	계통 전압변동율	±10 % 이내	
	정격출력 주파수	계통선 주파수(60 Hz)	±2 Hz
	정격출력 주파수 변동	계통선 주파수와 동기	
시 스 템	출력전류 총왜율 (THD)	총합 왜율 5 % 이하 각차 왜율 3 % 이하	정격부하시
	효율	90 % 이상	정격부하시
	역률	98.8 % 이상	
보 호 기 능	과부하량	110 % / 10분	
	냉각방식	강제 공냉식	
	소음	60 dB 이하	전방 1 m
	입력 저전압	460 V	
	입력 과전압	765 V	
보 호 기 능	계통전압 저전압	342 V	정격 10 % 이하
	계통전압 과전압	418 V	정격 10 % 이상
	계통주파수 이상	동작 정지	3Hz 이상/이하
	주파수 동기 이상	동작 정지	2.86도 이하
	Islanding현상 보호	380 ms	500 ms 이내

2.1.3 송수전 변전설비 규격

특 고압 연계를 위한 송수전 변전설비는 수전설비에 송전개념을 도입하여 설계 하였다. 적용한 설비는 기존의 수전 설비에 IT 기술이 접목

된 최신의 기술로서 이를 송전설비로 전환한 것으로 태양광 발전시스템의 도입 및 적용에 유용할 것으로 사료 되고 있다. 태양광발전은 유지관리 및 운영의 편의성을 위하여 무인운전이 가능하여야 하며, 이러한 조건은 급변에 적용한 송수전 변전설비는 충분히 그 역할을 수행하고 있다. 본 변전설비는 120kW급 태양광 발전시스템에 적용하는 것으로서 전력설비의 안전율을 고려하여 150kVA급을 선정하였다.

2.2 발전시스템 계통연계 운전특성

태양발전본부의 120kW급 특고압 연계형 태양광발전은 전력산업기반기금과 한국서부발전(주)의 지원으로 수행한 연구개발사업의 성과물로서 전력시장에 진입한 발전설비이며, 계통연계 가격을 적용받고 있다.

2005년 8월 25일 준공하여 현재까지 문제점 없이 안정적으로 운용되고 있는 태양광 발전시스템으로 2006년 4월부터 2007년3월까지 1년 동안의 자료를 분석 하였다.

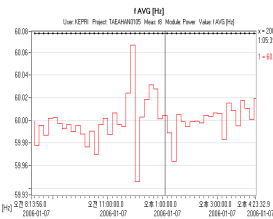
2.2.1 전력품질 분석

태양광발전 출력 변화에 따른 실 계통 연계 운전시의 고조파 발생량을 PZ 4000 Power Analyzer 로 측정하였다. 표 3은 태양광발전 출력별 측정 결과를 요약 정리한 것이다. 기준에 제시되는 THD 5%는 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통 연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는)발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율을 의미하므로 측정결과가 기준을 만족함을 알 수 있다.

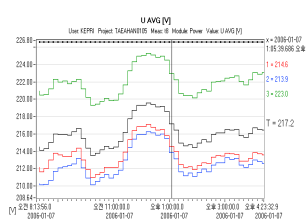
<표 3> PCS THD 측정 결과

태양광 출력	17kW	42kW	75kW	92kW
전류 THD(%)	5.42	2.67	1.48	1.3

발전 출력의 주파수와 전압을 측정 분석한 결과를 그림 2와 그림 3에 보여 주고 있다. 태양광발전이 계통과 연계하여 안정적으로 운전되고 있으며, 전압 및 주파수의 변동 또한 전력품질 유지를 위한 규정 범위 내에서 연속운전 함을 볼 수 있다.



<그림 2> 출력 주파수 특성



<그림 3> 출력 전압 특성

2.2.2 발전특성 분석

120 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템을 시스템 운전 에 따른 운전특성의 데이터를 수집하여 태양광의 수평면과 경사면 일사량, 그리고 모듈 표면온도 등이 함께 측정되어 태양광 발전특성을 분석하였다.

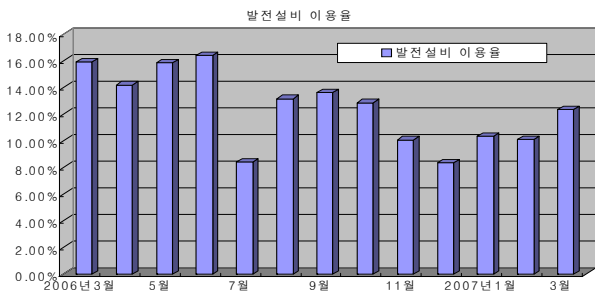
120 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 특성을 파악하기 위하여 발전시스템의 이용율, 시스템 발전효율, Array 효율 및 송수전 변전설비 전력량을 분석하였으며, 발전하여 송전하는 동안의 소내 소비 전력량을 계속하였다. 분석에 사용된 식은 식(1) ~ 식(3)과 같다.

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

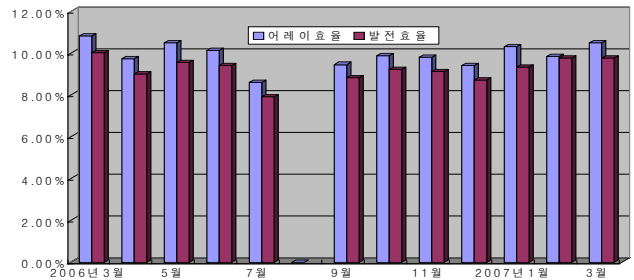
$$\text{시스템 발전효율} = \frac{\text{시스템 총발전전력량}(kWh)}{\text{경사면일사량} \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%) \quad (\text{식 } 2)$$

$$\text{어레이효율} = \frac{\text{태양발전 어레이 발전전력량}(kWh)}{\text{경사면일사량}(kWh/m^2) \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%) \quad (\text{식 } 3)$$

2.2.3 발전설비 이용률 분석

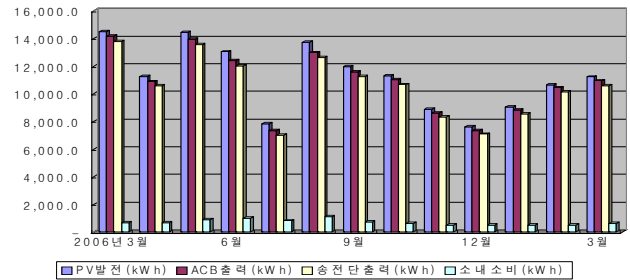


<그림 4> 발전설비 이용율

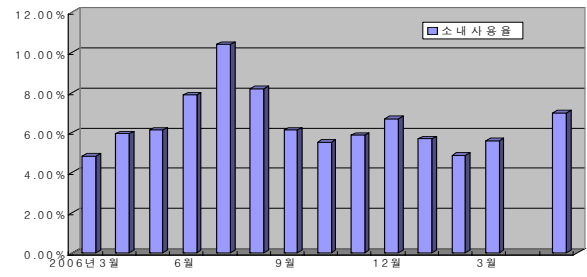


<그림 5> Array 및 발전 효율

2.2.4 송수전 변전설비 전력량 분석



<그림 6> 송수전 변전설비 전력량



<그림 7> 태양광발전설비 소내소비율

3. 결 론

120kW급 태양광발전의 운전 현황을 분석한 결과 안정된 전압 및 주파수 특성으로 연속운전으로 신뢰성을 확인 할 수 있었으며, 연 평균 발전시스템 이용율은 13.45%, Array 효율은 10.81% 및 시스템 발전효율은 10.05%로 분석 평가 되었다.

전력거래를 위한 특고압 송전을 위하여 소비되는 소내 소비전력은 월 평균 770kWh를 소비하였으며 평균 6.98%의 소내 소비율로 분석 되었다. 하절기의 소내 소비전력이 높게 나타났으며 이는 냉방부하 소비로 인한 것이며, 7월은 발전량이 적은 상태에서 소내 소비 전력량이 높아 소비율 10.41%로 기록되었다. 자연 통풍을 통한 소내 소비 전력을 낮추는 방안도 강구하여 전력 판매량을 증가할 필요가 있다.

또한, 한전의 상황에 감지되지 않는 저전압 계전기 동작에 의한 정지가 몇 차례 발생하였는데 이는 배전전로의 말단부에서 큰 동력부하의 기동과 정지로 인한 것으로 분석되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행된 "120 kW급 태양광 발전시스템의 실 계통 연계운전 적용 및 평가"의 실증운전 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, "120 kW급 태양광 발전시스템의 실 계통 연계운전 적용 및 평가" 최종보고서, 2006.
- [2] 안교상, 김수창, 김신섭, 황인호, 박성연, 김영섭, 임희천, 오제명, "120 kW 태양광 발전시스템의 설계/제작", 대한전기학회 하계학술대회 2005.7