

중소형 건물용 지능형 태양광 인버터 성능시험에 관한 연구

김응상*, 김솔기*, 안종보*
한국전기연구원

Performance Test of an Integrated Electronic Protection Device Based Photovoltaic Inverter for Medium and Small-Sized Buildings

Eung-Sang Kim*Seul-Ki Kim*Jong-Bo Ahn*
Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract - 본 논문에서는 전압 및 전류보호, 주파수보호, 순간정전, 순간전압 저하보호 및 단독운전 기능 등 보호기능을 통합한 지능형 보호 및 제어기를 내장한 30kW급 태양광 인버터의 실 계통 연계시험을 통해서 지능형 보호기기의 성능 및 효율성을 입증하고 보급 확대를 도모하고자 지능형 보호 및 제어 기능을 내장한 30kW급 태양광 인버터를 제작하고, 그 보호성능 시험을 위한 성능 시스템을 구성하여 실계통 연계 보호성능 시험을 수행하여 그 결과를 토대로 중소형 건물용 지능형 태양광 인버터 계통연계 보호기능에 대한 효율성의 입증을 통해 현장 적용 가능성을 입증하였다.

강화시켰다.

<표 1> 30kW 태양광 인버터 규격

구분	항 목	내 용
입력	인버터 입력 전압	DC 220V ~ 500V
	상수	삼상
	정격 출력 용량	30kVA
	정격 출력 전압	계통선 전압(220/380V)
	정격 출력 주파수	계통선 주파수(50/60Hz)
	출력 주파수 변동률	계통선과 동기운전
	출력단 전류 파형 왜율	5% 이내(정격 부하시)
	정전시 인버터 정지	500ms이내
	계통전압 전압 변동률	+ 10%, -12% 이내
	효율	90% 이상(100% 부하시)
기구	냉각방식	강제 공냉식
	크기 및 무게	650 × 700 × 1354mm 390 kg
기타	조작 및 상태 표시	HMI
	보호 기능	인버터 과전압/과전류 출력 단락시 시스템 보호 시스템 과열 보호

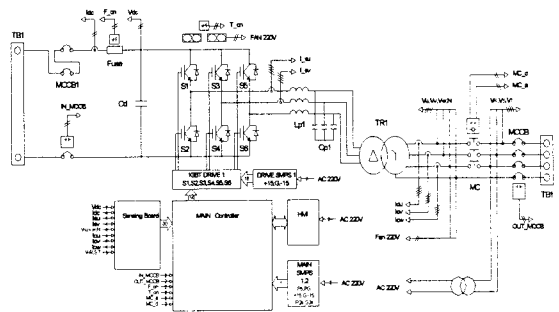
1. 서 론

태양광발전시스템은 계통연계형과 독립형으로 구분하여 적용되고 있으며, 계통연계형의 경우 수용가 내부에 사용을 목적으로 하는 경우와 발전사업자용으로 구분 할 수 있다. 본 논문에서는 수용가 내부 특히 사무용 빌딩 등 중소형 건물 사용에 적합한 30kW급 중소형 건물용 태양광 인버터에 대해서 전압 및 전류보호, 주파수보호, 순간정전, 순간전압 저하보호 및 단독운전 기능 등 보호기능을 통합한 지능형 보호 및 제어기를 내장한 상태에서 시스템을 제작하여 계통연계 성능 시험을 통해서 그 성능을 확인하여 보급 확대에 기여하고자 한다.

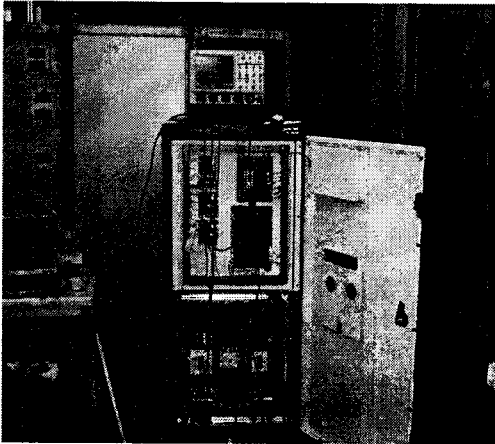
2. 30kW 태양광인버터의 설계 및 제작

지능형 보호제어기를 내장한 30kW 태양광 인버터의 계통연계 성능 시험을 위해서 우선 표1에서와 같은 규격으로 시험용 시스템을 설계하였다. 설계된 시스템은 출력전류의 경우 총 고조파 왜율(THD)이 총합 5[%]이내, 각차 3[%] 이내에서 제어되며, 정격 출력 시 효율 90[%] 이상, 역률이 98.8[%] 이상이 되도록 제어 한다. 그리고 보호기능에 있어 입력과 출력에 대하여 과전압(OV), 저전압(UV), 계통 주파수와 동기 이상에 있어 규격내의 보호기능을 갖추도록 하였으며, 그림 1에 회로도도를 제시하였고 그림 2에 실제 제작된 시스템의 사진을 제시하였다. 여기서 단독운전 기능은 과거에는 주로 전압, 주파수, 위상 및 고조파 제어에 의한 수동적인 보호제어 방법을 적용하였으나 본 논문에서는 수동적인 보호제어 방법은 물론이거니와 계통연계점에서 주파수 변화에 따른 출력변화를 데드타임에 적용시켜 이 데드타임을 변동시켜 줌으로써 인버터 출력지령 전류에 의해 주파수를 발산시켜 단독운전을 검출하는 샌디아 주파수 검출 능동적인 단독운전 검출방법을 동시에 내장하여 인버터에 대한 보호기능을 더욱

제어부의 각 회로부와 인버터의 회로부는 그림 1에서와 같이 기존의 설계 개념을 최대한 활용하고 필요한 지능형 제어기 부분을 추가하여 설계, 제작하였다.



<그림 1> 30kW급 태양광 인버터 회로도

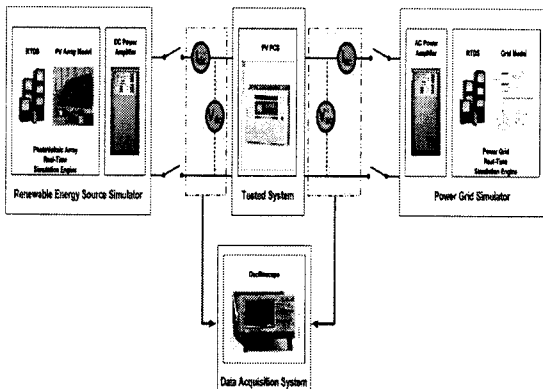


〈그림 2〉 30kW 중형 태양광인버터 사진

3. 계통연계 성능시험

태양광 인버터 계통연계 성능시험 시스템을 이용하여 30kW 지능형 인버터의 연계 보호 성능시험을 수행하였다. 성능시험 항목은 신재생에너지 설비검사 세부기준에 준하여 선정하였다. 신재생에너지 설비검사 세부기준은 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙 제 7조 1항의 설비인 중심사 기준 제 2항의 설비검사기준으로 KS C 8540 "소출력 태양광 발전용 파워조절기의 시험방법" 등을 기반으로 작성된 것으로서, 정격출력 10kW 이하의 태양광발전용 인버터의 시험방법 및 평가기준에 대하여 규정한다. 현재 우리나라는 10kW이상의 인버터에 대한 시험방법 및 평가기준이 규정되어 있지 않으므로, 본 논문에서는 위의 기준을 준용하여 적용하였다. 그림 3은 성능시험 시스템의 구성도이며, 시스템 구성은 다음과 같다.

- PV 어레이 시뮬레이터 : RTDS, DC Power Amplifier System
- Grid 시뮬레이터 : AC Power Amplifier Module
- 대상시스템 : 본 과제에서 개발 중인 30kW 지능형 PCS
- 시험항목 : 신재생에너지 설비검사 세부기준의 계통연계 시험항목 중 일부 항목

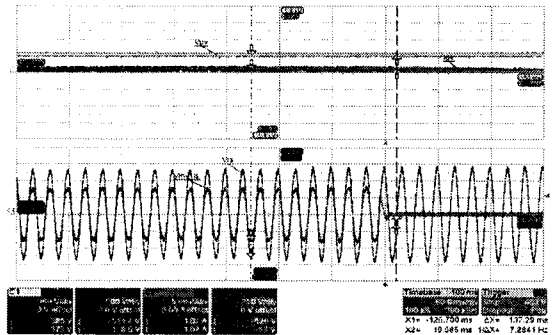


〈그림 3〉 태양광 인버터 성능 시험시스템 구성

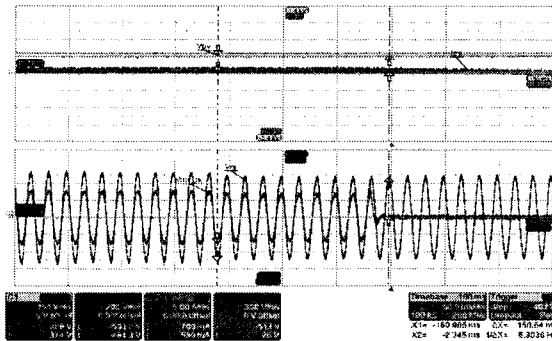
계통연계 보호성능 시험은 출력 과전압 및 저전압 시험, 과주파수 및 저주파수 성능 시험, 순간정전 및 순간전압저하 시험, 소프트스타트 시험 그리고 단독운전 성능 시험을 수행하였다.

3.1 출력 전압 보호기능 시험

그림 3에서와 같이 시스템이 연계되어 운전되고 있는 상태에서 계통의 전압을 380V에서 420V로 갑자기 상승시킨 후 인버터의 출력 특성을 측정하였다. 그림 4에서와 같이 인가 후 165ms 후 인버터가 차단되었다. 전압보호기능이 정확하게 동작하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 출력 부족전압 보호기능 시험으로 계통의 전압을 380V에서 340V로 떨어뜨린 후 인버터의 출력 특성을 측정하였다. 그림 5에서와 같이 인가 후 216ms 후에 인버터가 차단되었다. 그림에서 윗부분은 태양전지의 전압 및 전류를 표시하며, 아랫부분은 계통의 전압 및 전류를 나타낸다.



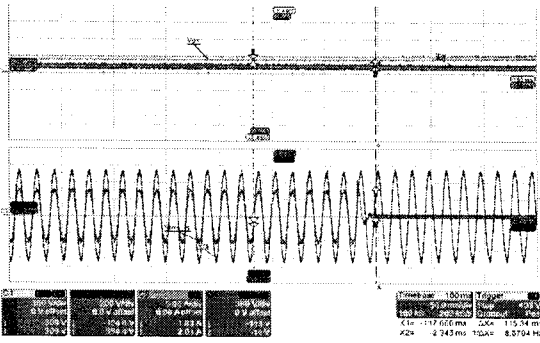
〈그림 4〉 출력 과전압 보호성능 시험



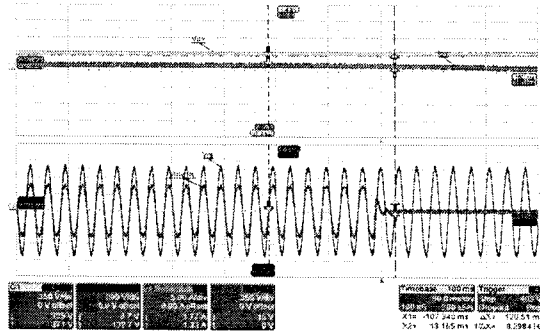
〈그림 5〉 출력 부족전압 보호기능 시험

3.2 주파수 보호기능 시험

주파수에 대한 출력 특성을 시험하고자 계통의 주파수를 60Hz에서 61Hz로 115ms에서 변동 공급하고서 인버터의 출력특성을 체크하였다. 그림 6에서와 같이 인가 후 약 7사이클 후에 인버터가 차단되었다. 반대로 주파수 저하 보호기능 시험을 체크 하고자 주파수를 60Hz에서 59Hz로 120ms 저하시킨 후 인버터의 출력특성을 체크 한 결과 그림 7에서와 같이 인가 후 약 7사이클 후에 인버터가 차단되었다. 주파수 상승 및 저하 보호회로가 정상적으로 작동함을 알 수 있었다.



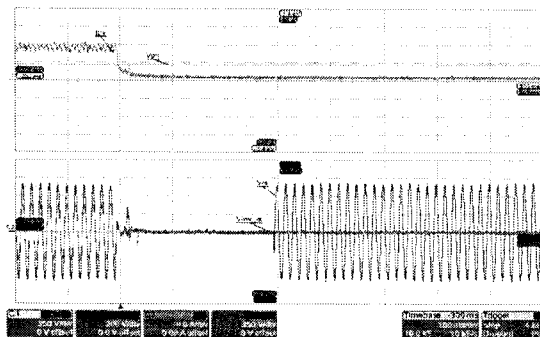
〈그림 6〉 주파수 상승 보호기능 시험



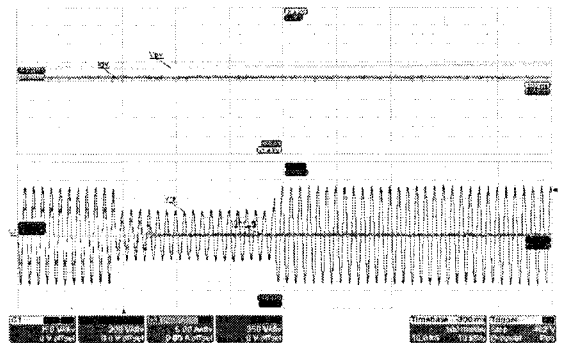
〈그림 7〉 주파수 저하 보호기능 시험

3.3 계통전압 순간정전, 저하시험

계통의 순간정전이나 저하 경우에 인버터의 출력특성을 시험하고자 계통을 0.3초간 정격전압의 0% 크기로 순간정전을 시킨 후 인버터의 출력특성을 체크 한 결과 그림 8에서와 같이 인가 후 약 7 cycle 후에 인버터가 차단되며 계통이 복구 되더라도 자동재개 안됨을 알 수 있었다. 연계규정에는 정상 조건이 되더라도 5분 후에 재 기동되도록 규정하고 있다.



〈그림 8〉 계통전압 순간정전 보호 시험

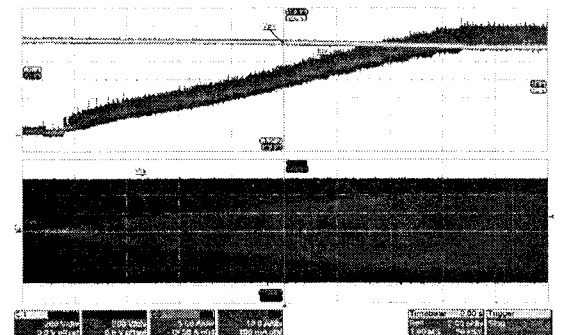


〈그림 9〉 순간전압 저하(정격의 50%) 보호시험

또한 순간 전압 저하시험을 수행하고자 정격전압의 50%로 0.3초간 순간 전압저하를 공급한 경우에 인버터의 출력특성을 체크 한 결과 그림 9에서와 같이 인가 후 약 16 cycle 후에 인버터가 차단되었으며, 계통이 복구된 후에도 자동재개는 되지 않음을 알 수 있다.

3.4 소프트 스타트 시험

인버터가 태양전지에서 나오는 직류전압 및 전류를 체크 한 후 일정 직류전압이 되면 인버터가 소프트 기동되어 운전되는 상태를 체크하였다. 그림 10에서와 같이 직류전압이 일정 레벨이 되면 자동으로 기동하는 것을 확인 하였다.



〈그림 10〉 소프트 스타트 시험

3.5 단독운전 성능시험

기 구축된 단독운전 방지 성능시험 시스템을 이용하여 개발된 능동형 단독운전 방지 알고리즘의 단독운전 방지 성능을 시험하였다. 그림 11과 같이 저압배전계통, RLC 수동부하, 30kVA 분산전원 인버터 및 직류전원으로 구성하였다. 단독운전 검출을 위한 전압과 주파수의 검출한계 조건은 IEEE 929-2000 및 UL 1741 기준을 따랐다. S1은 인버터 측 차단 스위치, S2는 계통 측 차단 스위치로서, 인버터출력과 부하장치의 부하량의 평형을 맞춘 후 S2를 개방하여 단독운전 조건을 구현하였다.

단독운전 방지 성능시험을 하기 위해서는 단독운전 상태를 구현할 수 있어야 하므로, 이를 시험하기 위하여 다음의 세 가지 조건에서 단독운전을 구현하였다. 인버터는 과/저전압 및 과/저주파수 보호 기능에 의한 수동적 단독운전 검출방식이 적용되었다. 인버터 유효전력 출력 P_{inv} 는 4.6 kW, 무

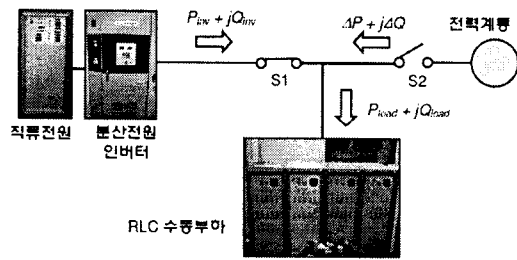
효전력 출력 Q_{inv} 는 0kVar로 설정하였다. P_{load} 및 Q_L , Q_C 및 Q_f 는 유효전력 부하 및 인덕터 부하, 커패시터 부하, 윌리티 팩터(Quality Factor)를 나타낸다.

조건 1> $P_{load} = 4.6kW$, $Q_L = 11.55 \text{ kVar}$, $Q_C = -11.55kVar$, $Q_f = 2.5$

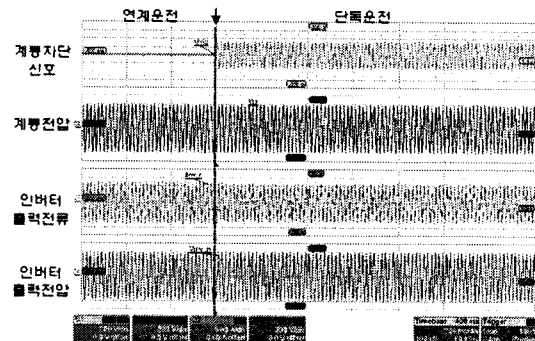
조건 2> $P_{load} = 4.6kW$, $Q_L = 7.42 \text{ kVar}$, $Q_C = -7.42kVar$, $Q_f = 1.6$

조건 3> $P_{load} = 4.6kW$, $Q_L = 4.6 \text{ kVar}$, $Q_C = -4.6kVar$, $Q_f = 1$

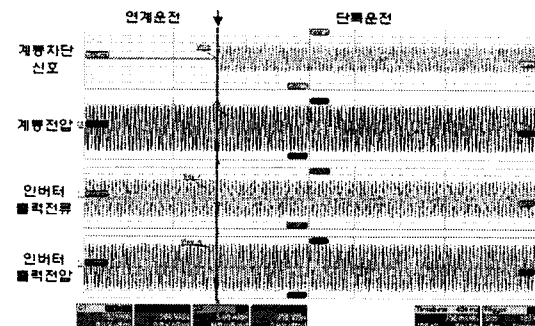
그림 12 및 13은 각각 조건 1, 2에 대한 시험 결과 파형을 나타낸다. 두 경우 모두 인버터의 유효 및 무효전력 출력 및 부하가 평형을 이루는 조건에서는 단독운전을 검출하지 못하고 따라서 인버터는 차단되지 않고 단독운전을 계속함을 알 수 있다. 이와 같은 완전 평형조건에서는 기본적인 수동적 보호방식으로는 단독운전 검출이 불가능 하였다.



<그림 11> 능동형 단독운전 방지 성능시험 시스템 구성

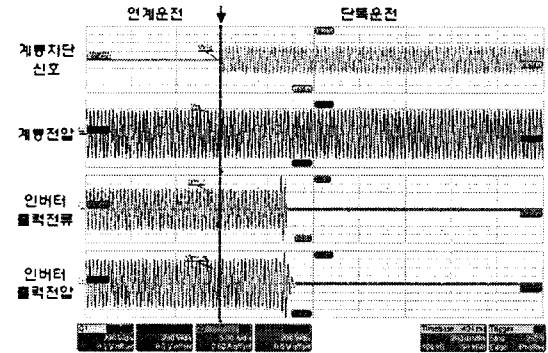


<그림 12> 조건 1에 대한 단독운전 성능 시험 파형



<그림 13> 조건 2에 대한 단독운전 성능시험 파형

본 논문에서 개발한 주파수 Positive Feedback 방식을 적용한 후에 단독운전 방지 시험을 수행하였다. 인버터의 유효전력 및 무효전력 출력은 능동형 알고리즘 적용 전과 동일하게 설정하였다. 또한 부하조건 또한 조건 1로 설정하였다. 그림 14는 주파수 Positive Feedback 방식을 적용한 후의 단독운전 방지성능시험 결과 파형을 나타낸다. 계통차단에 따른 단독운전 후 약 0.3초(17사이클) 후에 인버터는 단독운전을 검출하고 운전을 정지한다.



<그림 14> 주파수 Positive Feedback 방식을 적용한 후의 단독운전 성능시험

4. 결 론

본 논문에서는 업무용 빌딩 등 중소형 건물 내부에 사용을 목적으로 하는 태양광 인버터에 과전압, 부족전압, 과주파수, 부족주파수, 순간정전 및 전압강하, 소프트 스타트 기능을 갖는 제어기를 내장한 30kW 태양광인버터를 설계/제작하여 계통연계 성능 시험을 수행하였다. 또한 단독운전 검출을 위하여 수동적인 보호제어 방법은 물론이거니와 능동적인 검출방법인 계통연계점에서 주파수 변화에 따른 출력변화를 데드타임에 적용시켜 이 데드타임을 변동시켜 줌으로써 인버터 출력지령 전류에 의해 주파수를 발산시켜 단독운전을 검출하는 샌디아 주파수 방식을 동시에 적용하였다. 이와 같은 지능형 보호 및 제어기를 내장한 30kW급 태양광 인버터를 제작하여 계통 연계 보호성능 시험을 통해서 지능형 보호제어기를 내장한 태양광 인버터의 성능을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] L Zhang, A Al-Amoudi, Yunfei Bai, "Real-time Maximum Power Point Tracking for Grid-Connected Photovoltaic Systems", Power Electronics and Variable Speed Drives, 18-19 September 2000, Conference Publication No. 475.
- [2] Minwon Park and In-Keun Yu, "A Novel Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation Systems Using RTDS", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19, No. 1, March 2004.
- [3] S.K.Kim, E.S.Kim, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의해석", 대한전기학회 논문지 54A권 3호, 2005년 3월, pp. 107-116.