

변압기 없는 태양광 발전용 인버터의 제작 및 성능 특성

안교상, 임희천, 김신섭\*  
한전전력연구원, 헥스파워시스템(주)\*

The design and performance characteristic of transformerless inverter for the photovoltaic system

Kyo Sang Ahn, Hee Chun Lim, Sin Sup Kim\*  
KEPRI-KEPCO, Hex Power System Ltd.\*

**Abstract** - In this paper, the design and performance characteristics of a 3 kW class transformerless photovoltaic inverter was introduced.

The field test results of the photovoltaic power inverter showed that the excellence of power quality, the characteristic of starting waveform, the stability and reliability of operation.

1. 서 론

청정 에너지원인 태양광 발전방식은 인공위성, 산간벽지, 도서지역, 통신 및 계속전원 등 상용전력계통이 존재하지 않는 소규모 전원 시스템 개발을 위하여 사용되어 왔다. 그러나 최근의 태양전지를 비롯한 시스템의 저가격화 및 변환 효율 개선이 진전됨에 따라 본격적인 전력 시스템으로 실용화 보급이 확대되는 추세에 있다.

계통연계형 태양광 발전시스템은 보급 잠재력은 크지만, 기존 대용량 발전 전원과 경제성에서 뒤떨어지기 때문에 아직은 정부의 시범보급 및 지역에너지사업에 국한되고 있다. 그러나 전반적으로 신 발전 분야에 대한 인식이 새로워짐에 따라서 여름철 peak 시간대의 전력공급을 위한 주택용 계통 연계형 시스템에 관한 실증연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 현재 태양광 보급 활성화를 위한 정부의 계획에 힘입어 계통연계형 태양광 발전시스템의 실용화가 가시화되고 있다.

또한, 2006년까지 3 kW급 주택용 태양광 발전시스템을 일반 가구에 보급 계획을 추진하고 있으며, 2003년 1,000 가구, 2004년에 1,000 가구, 2005년에 3,000 가구, 2006년에 5,000 가구 총 1만호 보급을 예정하고 있으며, 2010년까지 3만호 보급을 계획하고 있다. 그리고, 대체에너지전원에 의해 발전된 전력을 일반 전기사업자가 구매하도록 하여 가까운 장래에 태양광 발전을 비롯한 분산형 전원의 보급이 보다 활발해 질 것으로 예상된다.

이러한 추세에 맞추어 3kW급 단상 계통연계형 인버터의 소형 경량화 및 고효율화를 위하여 변압기가 없는 인버터의 설계 및 제작하여, 원내의 실증시험장에서 운전 시험을 실시하였다.

본 논문에서는 변압기 없는 태양광 발전용 전력변환장치의 설계·제작 및 성능 특성에 관하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

태양광 발전시스템은 자연의 풍부한 태양에너지를 이용하는 청정 발전시스템이며, 연료비 부담이 없는 무한의 에너지원이지만, 현재로서는 발전시스템의 설치비용이 타 발전 전원에 비하여 대단히 높아 많은 제약을 받고 있다. 설치 비용의 대부분은 태양전지 모듈이 차지하며, 전력변환 및 보호 장치는 10%-15% 정도를 차지하고 있다.

따라서, 태양광 발전용 인버터는 소형화, 저가격화,

설치의 간소화, 전력변환의 고효율화 등을 목표로 하고 있으며, 인버터 효율은 IGBT의 최적구동, 필터용 리액터나 절연변압기의 저손실 설계 등에 의해 저출력시의 효율을 높이는 것이 관건이다. 또한 주택 내부에 설치하는 경우 자체 냉각방식을 채용한 저소음 설계방식을 채택하며, 낮은 왜을 달성도 주요 목표로 하고 있다.

2.1.1 인버터의 구성

현재 국내에서 보급되고 있는 상용주파수 변압기를 채용한 인버터는 무게, 크기, 변환효율의 개선을 필요로 하고 있다. 상용주파수 변압기 없는 방식은 고효율, 저가격, 소형 경량화를 목표로 하는 방식으로 기존 인버터에 비하여 장점이 있지만, 고주파 스위칭 승압컨버터를 채용한 비절연 방식으로 계통에 유입되는 직류성분이 커질 우려가 있으므로 직류 성분 계통 유입 억제를 위한 보호회로 및 태양전지 측의 누전검출을 위한 안전 및 보호 측면에서 보다 강화를 요구하게 된다.

그림 1과 그림2는 변압기 없는 인버터의 제어 블록도와 전력 회로도의 구성을 보여 주고 있다.

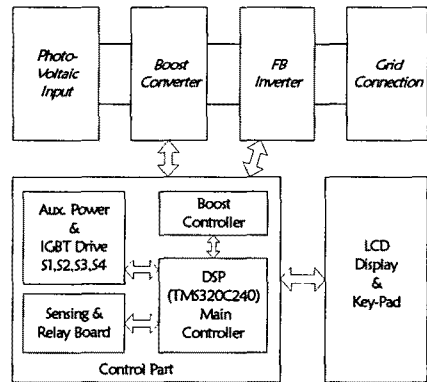


그림 1. 인버터 제어 블록도

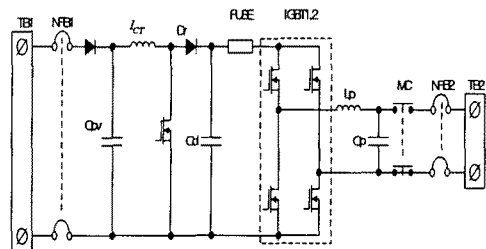


그림 2. 인버터 전력 회로도

그림 1과 그림 2에서 주요 구성을 보인 상용주파수 변

압기 방식을 채용하는 기존의 인버터와 달리 승압을 위한 Boost 컨버터, Full Bridge 방식의 인버터, 제어기, sensing 회로, 보조전원 및 구동회로 부분으로 구성되어 있다.

### 2.1.2 인버터의 규격

표 1은 시제작된 인버터의 제작 규격을 보여 주고 있다. 인버터는 53W 태양전지 모듈 20 배 직렬하여 3병렬로 결선하여 인버터 입력 전원으로 하였다. 정격 운전은 280V-380V의 전압 범위에서 안정 운전을 하며, 역율은 1로 운전이 되도록 하였다. 전류 왜곡율은 각각 3% 이하, 총합 5% 이내가 되도록 설계하였다.

인버터의 스위칭 소자는 IGBT/MOSFET를 사용하였으며 스위칭 주파수를 10kHz로 하였다. 제어방법은 전압제어 방법과 전류제어방법이 있으나, 본 시제작된 계통 연계형 전력제어기의 인버터 부는 전압형 전류제어 방식을 채택하였다.

표 1. 전력변환장치 제작 규격

	규격 및 내용
출력 상수	단 상
입력 제어방식	MPPT
인버터 제어방식	PWM Inverter
스위칭 소자	IGBT/MOSFET
정격 전압	330 V <sub>DC</sub>
전압변동범위	280~380 V <sub>DC</sub>
정격 출력용량	3 kW
정격 출력전압	계통선 전압 (220Vac)
계통 전압변동	±10% 이내
출력 주파수	계통선 주파수(60 Hz)
주파수 변동율	±3 Hz 이내
전류파형 왜율	3 % 이하
효 율	90 % 이상
역 율	98 % 이상
과 부 하 량	110%
보 호 기 능	OVR, UVR, OFR, UFR, OTR
크기 및 무게	260*410*510[mm], 40kg 이하

표 2는 변압기 없는 인버터를 설계·제작하여 보호 동작 측정시험을 실시하고 그 결과를 기록 하였다. 기본적인 보호 특성에 대하여는 양호한 성능을 보여 주고 있으며, 실 계통에 적용과 신뢰성을 위하여 보다 강화된 기준으로 설계를 할 예정이다.

표 2. 변압기 없는 인버터 성능 특성

항 목	판 정 기 준	측정
입력 과전압	445~455V	451V
입력 저전압	245~255V	249V
인버터 전압	정격 10%이상	정상
인버터주파수	2Hz 이상/이하	정상
인버터-계통 동기	2.86도 이하	정상
정 격 전	600ms 이내	380ms
계통 주파수	3Hz 이상/이하	정상
계통 과전압	정격 10%이상	244V
계통 저전압	정격 15%이하	185V

표 3. 변압기 없는 인버터의 기동 정지 특성

항 목	판 정 기 준	측정/판정
연계 → 대기	600ms 이내	380ms
대기 → 연계	10s 이내	5s

그림 3은 시제작 된 3 kW급 상용주파수 변압기 없는 인버터를 실증시험장에 설치하여 운전되고 있는 모습을 보여 주고 있다.

본 변압기 없는 태양광 발전용 단상 인버터는 국내에서 최초로 설계 및 제작 되었으며, 소형 경량화를 위한 시제품으로서는 양호한 성능 특성을 보여 주고 있다. 방열 판을 외부에 배치 한 특성을 갖고 있음을 볼 수 있다.

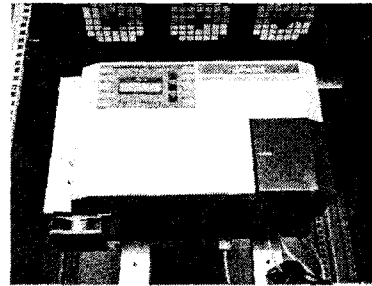


그림 3. 3kW 인버터 제작품 외형

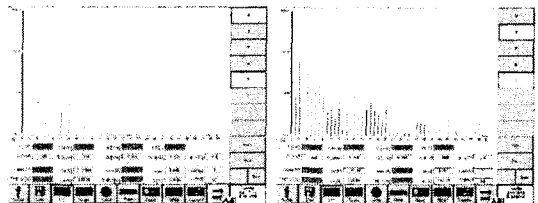
### 2.2 실증 운전 특성

본 시제작 된 인버터는 원내의 실증 시험장에 설치 하여, 운전 특성과 연계 특성 등에 대한 실증 실험을 하였다. 전압-전류 특성과 주파수 특성, 전력품질 측정, 부하 특성, 기동-정지 특성 시험을 위하여 power network quality analyzer 3010을 사용하였다.

#### 2.2.1 전력 품질

태양광 발전시스템의 배전 계통연계시 전력품질 면에서 시스템의 영향을 검토하기 위해 3 kW급 태양광 발전시스템의 출력 전압-전류 왜곡율을 살펴보았다. 그림 4는 40% 부하에서 인버터 출력의 전압-전류 왜곡율을 보여 주고 있다.

역률 역시 1에 가까운 제어가 가능하였으며, 부하의 증가에 따라 역률도 개선되고 있음을 보여 주었다. 본 인버터의 출력 전압파형은 정현파로서 파형은 리플이 거의 없는 깨끗한 정현파를 나타내었으며, 전류파형은 개선의 요소를 갖고 있음을 알았다.



(a) 전압 THD (b) 전류 THD  
그림 4. 인버터 출력 전압-전류 THD

#### 2.2.2 시스템 운전 실험

그림 5 ~ 그림 6은 실증 운전 파형을 보여 주고 있다. 기동은 soft start 방식을 채택하여 기동의 안정성을 보여 주고 있으며, 자연 에너지인 태양광을 이용하는 관계로 출력의 변동이 많은 경우에도 안정적으로 연속 운전을 하고 있음을 보여 주고 있다.

전류-전압 파형에서 보듯이 역율은 1로 운전 되고 있으며, FFT 측정에서는 전압 왜곡율은 1.5% 전후의 양

호한 특성을 보였으나, 전류 파형 왜곡율에서는, 3차, 5차 고조파 성분이 높았으며, 전반적으로 기준치를 상회하고 있어 개선점이 있음을 보여 주었다.

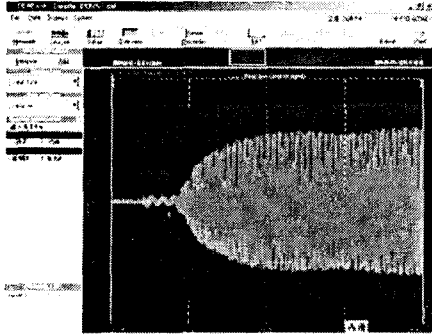


그림 5. 가동 파형 특성

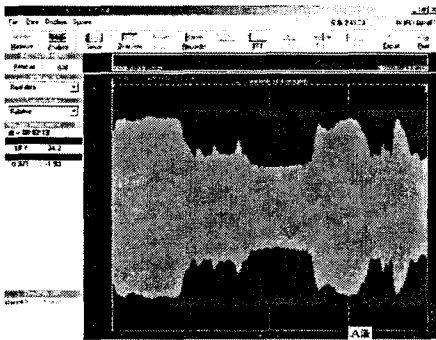


그림 6. 출력변동 운전 특성

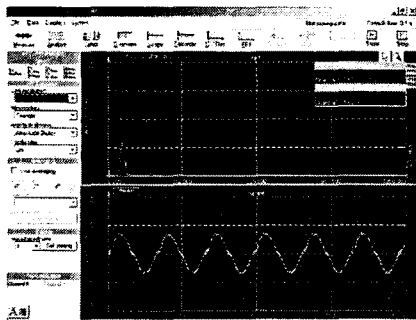


그림 7. 전류-전압 운전 파형특성

### 3. 결 론

자연 에너지를 이용하는 태양광 발전시스템은 청정 발전 전원으로서 각광을 받고 있으나, 발전시스템의 설치 비용이 기존의 대용량 발전 전원에 비하여 다소 높아 보급의 저해 요인으로 작용하고 있다.

이러한 원인으로 인하여 현재 국내 보급 현황은 정부의 시범 및 지역에너지 사업으로 추진되는 적은 용량이 계통에 도입되어 운영되고 있을 뿐이다. 발전시스템의 설치 비용의 60% 정도는 태양전지 모듈가격이 차지하고 있으며, 전력변환 및 보호 장치는 전체의 10%~15% 정도를 차지하고 있다. 그러나, 전력변환 및 보호장치는 계통과 연계 운영되는 관계로 전력품질과 운영의 신뢰성 등에 대하여 밀접한 관계가 있다.

보급의 확대를 위한 시스템의 신뢰성과 안정성, 가격의 저감을 위한 소형 경량화를 위한 변압기 없는 인버터

를 설계·제작하여 실증시험장에서 운전 특성 분석을 하였다. 전력 품질 및 파형 특성, 운전 특성의 결과를 보면 안정성과 신뢰성을 확보 하였으나, 국내에서 최초로 시도 된 본 제품에서 전류 파형 왜곡율이 다소 높게 분석 되어 개선점이 도출 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Martina Calais, Vassilios G. Agelidis, Michael S. Dymond, "A cascaded inverter for transformerless single phase grid-connected photovoltaic system", Elsevier science, renewable energy 22, pp. 255-262, 2001.
- [2] I.H.Hwang, K.S.Ahn, H.C.Lim, S.S.Kim, "Performance of a Small Utility Interactive PV System with Single Phase Inverter", 28th photovoltaic specialists conference, Sept. 2000.
- [3] 한전전력연구원, "50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발", 최종보고서, 1999.