

# 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 개발

김영록, 나병훈, 문준선, 손용훈, 신영찬  
 헥스파워시스템 (주) 연구소

## Development of 200kW Grid-Connected Photovoltaic Inverter

Youngroc Kim, Byunghun Ra, Joonsun Moon, Yonghoon Son, Youngchan Shin  
 Hex Power System Co., Ltd. R&D Center

### ABSTRACT

본 논문에서는 120kW급에 이어 단일용량 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 개발에 관한 내용을 설명하고 있다.

200kW급 계통연계형 태양광발전시스템은 22.9kV의 특고압 계통전원에 연계되도록 설계되었으며, 삼상 380V를 22.9kV로 승압 연계하는 2단 절연방식을 채택하였다. 200kW급 인버터는 상용주파수 변압기 절연방식으로 3상4선식 380V 60Hz 출력을 가지고 있으며, 인버터 내부에 200kVA급 변압기와 리액터를 포함하고 있다.

최대 전력점 추종(Maximum Power Point Tracking, MPPT)제어 기법으로 P&O 알고리즘을 적용하였으며, 3상 IGBT 인버터를 DSP로 제어하였다.

본 논문에서는 200kW급 단일용량 인버터를 개발함에 있어, 계통연계 시험, 단독운전 검출 및 방지 시험, 발전량에 따른 효율과 THD 측정 등의 결과를 보이고 있다.

다음의 그림 1과 표 1에 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 회로와 설계사양을 각각 나타내었다.

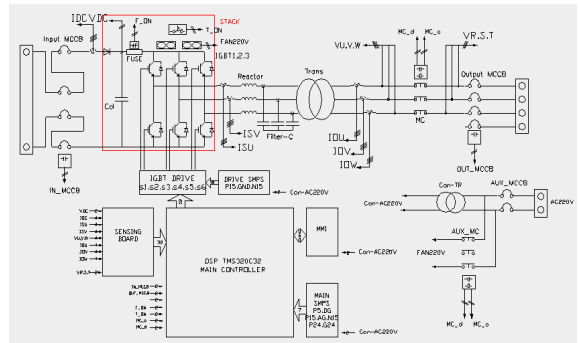


그림 1. 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터 회로  
 Fig 1. Schematic of 200kW Grid-connected PV inverter

### 1. 서론

최근 국내에서는 신재생에너지원 발전차액지원제도의 영향을 받아 태양광발전시스템을 이용한 발전 사업이 시작되었다. 계통연계형 인버터의 구성(concept)은 발전사업자가 최상의 발전을 위한 시스템의 가격대비 효율을 고려함에 있어 중요한 요소이다.

1MW급 이상의 태양광발전소를 건설할 경우, 발전소의 유지 보수 및 운영의 효율성을 위하여 약 200~250kW급 정도의 계통연계형 인버터를 병렬 운전하는 형태를 볼 수 있다.

국내 시장에서는 발전사업자를 위한 200kW급 이상의 대용량 인버터를 제조하는 업체가 없어 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 국내 발전사업자의 수요를 충족하기 위하여 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터를 개발하였다.

본 논문에서 설명하는 인버터는 최고 200kW급 태양전지 어레이의 직류 발전전력을 3상4선식, 380V/60Hz 교류 계통전원에 연계되도록 설계하였다. 회로방식은 상용주파수 변압기를 사용하여 계통전원과 절연되어 있는 형태이며, 정격출력에서 95%이상의 효율을 목표로 한다.<sup>[1]</sup>

### 2. 본론

#### 2.1. 200kW급 계통연계형 인버터 설계 및 사양

표 1. 200kW급 계통연계형 인버터 사양

Table 1. Specifications of 200kW Grid-connected PV inverter

구분	항 목	내 용	비 고
시스템구성	출력 상수	삼상 4선식	
	입력 제어방식	MPPT P&O 기법	
	인버터 제어방식	전압형 전류제어 PWM	
	스위칭 소자	IGBT	450[A] 1200[V] 2병렬
입력	정격전압	580 [VDC]	
	전압변동범위	450~750 [VDC]	
출력사양	정격 출력용량	200[kW]	
	정격 출력전압	계통선 전압 (380[Vac])	
	계통 전압변동율	+10 ~ -12[%] 이내	
	정격출력 주파수	계통선 주파수(60[Hz])	±0.3[Hz]
	정격출력 주파수 변동	계통선 주파수와 동기	
	출력전류 총왜율 (THD)	총합 왜율 5[%]이하 각차 왜율 3[%]이하	정격부하시
시스템사양	효율	95[%] 이상	정격부하시
	역률	95[%]이상	
	과부하량	110[%]	
	냉각방식	강제공냉식	
	소음	70[dB]이하	전방 1[m]
외형	외형	1400×940×2200[mm]	W×D×H
	무게	1750kg	

## 2.2. 200kW급 계통연계형 인버터

다음의 그림2에 개발한 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 제작사양과 제품 사진을 나타내었다.



그림 2. 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터  
Fig 2. 200kW Grid-connected PV inverter

## 2.3. 200kW급 계통연계형 인버터의 제어

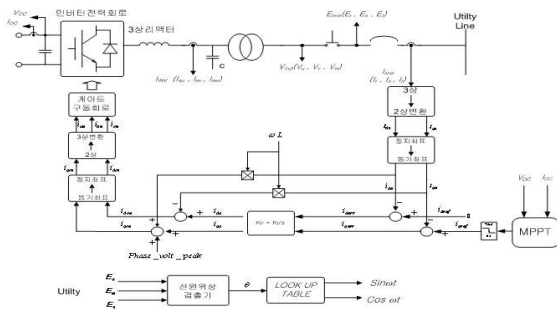


그림 3. 3상 전압형 전류제어 인버터의 제어 블록도  
Fig 3. Control block-diagram of 3-phase Voltage-mode current controlled inverter

위의 그림 3은 개발한 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 전력변환장치인 3상 전압형 전류제어 인버터의 PI 제어 블록도를 나타내었으며, 그림 4는 개발한 200kW급 태양광발전용 계통연계형 인버터의 최대 전력점 추종(MPPT)제어에 사용한 P&O(Perturb and Observe) 알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

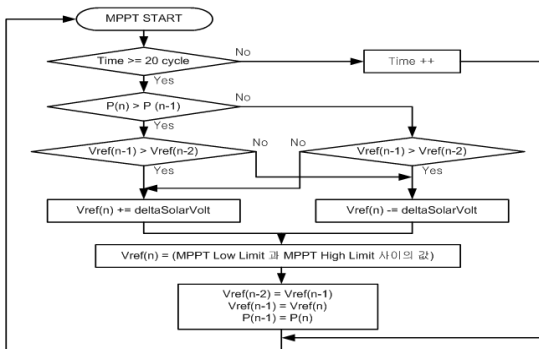


그림 4. 최대 전력점 추정제어 P&O기법 알고리즘  
Fig 4. Algorithm of P&O method for MPPT

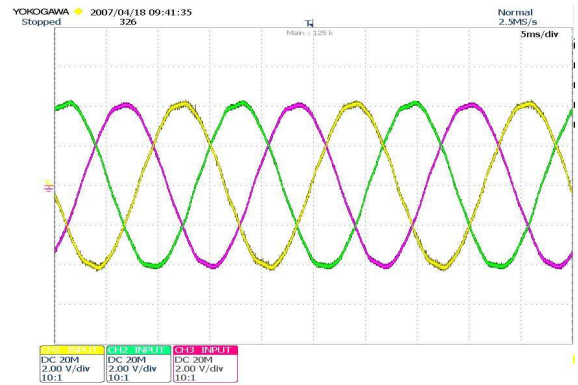
## 2.3. 200kW급 계통연계형 인버터의 실험

다음의 표 2는 단독운전 검출 시험 시 계통전원이 정전됐을 경우 이를 검출하고 대기상태까지 걸리는 시간이 약 280msec 정도로 나타났다. 단독운전 검출은 수동적 방법인 전압주파수 검출법(Voltage and Frequency Detection Method)과 능동적 방법으로 주파수 변동 기법과 무효전력 주입기법을 결합하여 개선한 알고리즘을 적용하였다.

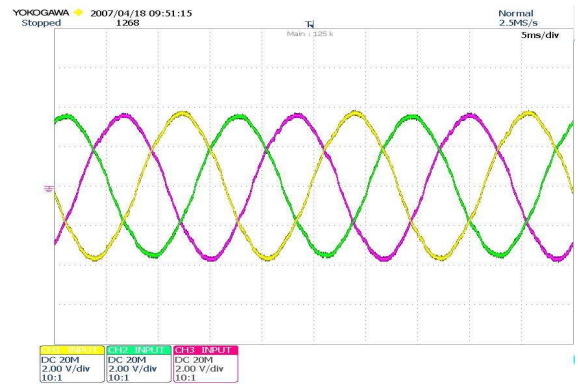
표 2. 단독운전 검출 시간  
Table 2. Islanding detection time

동작 모드	출력조건	동작시간	기준
연계→대기	100%	280ms	500ms이내

다음의 그림 5는 200kW급 계통연계형 인버터의 출력전압과 전류를 나타내었다.



(a) 전압(265V/Div)



(b) 전류(215A/Div)

그림 5. 인버터 출력 (100% 출력시)  
Fig 5. Output of Inverter(at 100%)

그림 6은 계통 선간전압( $V_{rs}$ )과 상전압( $V_{ou}$ )이  $30^\circ$ 의 위상차를 보이고, 상전압과 상전류( $I_{ou}$ )는 동상 즉, 역률 99% 이상으로 제어되고 있음을 알 수 있다

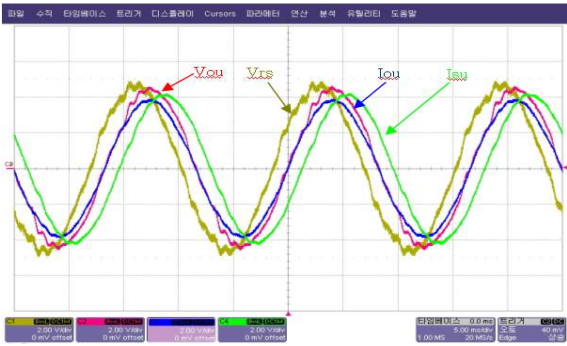


그림 6 인버터 출력 파형 (100%출력시)  
Fig 6. Waveform of inverter output.(at 100%)

그림 7은 인버터의 R상 출력전류 소프트 스타트 특성을 나타내고 있다. 출력전류는 2분간 100% 까지 선형적으로 상승시키고 있다.

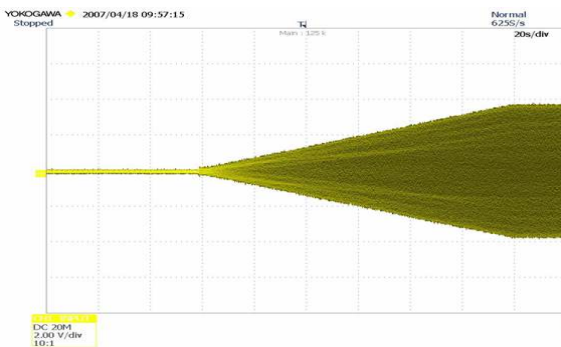


그림 7. 인버터의 소프트 스타트 특성  
Fig 7. Soft-Start characteristics of inverter

그림 8은 100% 출력 시 인버터의 R상 출력전류 고조파 왜율(Harmonic Distortion, HD)을 나타낸 것이다.

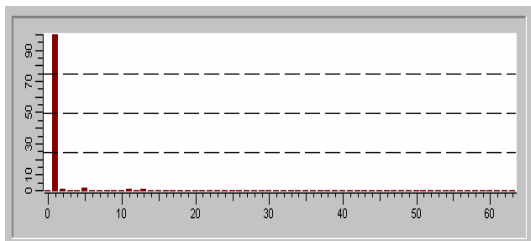


그림 8. 인버터 R상 출력전류 HD(100% 출력시)  
Fig 8. HD of inverter R phase output current(at 100%)

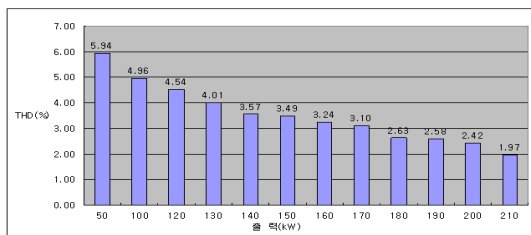


그림 9. 인버터의 출력에 따른 THD  
Fig 9. THD of inverter output

그림 9는 인버터의 발전량에 따른 총고조파 왜율(Total Harmonic Distortion, THD)의 변화를 보여준다. 인버터 출력이 50% 이상에서 5% 이하의 THD를 보이며, 정격출력 시 3% 이하의 THD 특성을 나타내고 있다.

다음의 그림 10은 인버터의 발전량 변화에 따른 효율을 나타내고 있다. 인버터의 출력이 50kW에서 96%이상의 효율을 보이며, 100% 출력에서도 95% 이상의 효율을 보이고 있다.

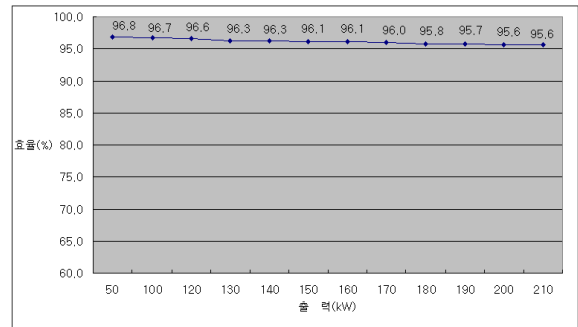


그림 10. 인버터의 출력에 따른 효율  
Fig 10. Efficiency variation of inverter

### 3. 결론

본 논문에서 단일 용량으로 개발된 200kW급 계통 연계형 태양광발전 인버터에 대하여 설명하였다.

1. 개발한 인버터는 정격출력 시 3% 이하의 출력전류 THD를 나타냈다.
2. 인버터의 정격출력 시 효율은 95% 이상으로 우수한 성능을 보였다.

향후 인버터의 스위칭 주파수를 낮추고 PWM 기법을 개선하여 인버터 효율의 향상을 기대할 수 있다

### 참고 문헌

- [1] 신영찬 외 6명. "단일용량 120kW급 계통연계형 태양광 발전용 인버터 개발" 전력전자 하계 학술대회 논문집, pp188~190, 2006.
- [2] K.H. Hussein, I. Muta, T. hoshino and M. Osakada, "Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", proceeding of IEE Generation, Transmission, and Distribution, Vol.142, No.1, pp. 59-46, 1995, January.
- [3] Development and Testing of an Approach to Anti-Islanding in Utility-Interconnected Photovoltaic Systems SAND2000-1939
- [4] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic(PV) Systems, IEEE Std 929-2000