

단일용량 120kW급 계통연계형 태양광 발전용 PCS 개발

신영찬* · 문준선* · 나병훈* · 김영록* · 김신섭* · 안교상** · 임희천**

*헥스파워시스템(주) · **한국전력공사 전력연구원

Development of Unitary 120kW PCS for Grid-Connected Photo-Voltaic Power Generation

Y.C.Shin* · J.S.Moon* · B.H.Ra* · Y.R.Kim* · S.S.Kim* · K.S.Ahn** · H.C.Lim**

*Hex Power System Co., Ltd · **Korea Electric Power Research Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 국내최초로 개발에 성공한 단일용량의120kW 급 계통연계형 태양광발전용 PCS에 관한 내용을 설명하고 있다.

120kW급 계통연계형 태양광발전시스템은 22.9kV의 특고압 계통전원에 연계되도록 설계되었으며, 삼상 380V를 22.9kV로 승압 연계하는 2단 절연방식을 채택하였다. 120kW급 PCS는 상용주파수 변압기 절연방식으로 3상4선식 380V 60Hz 출력을 가지고 있으며, PCS 내부에 120kVA급 변압기와 리액터를 포함하고 있다.

최대출력점추종(MPPT)제어 기법으로 P&O 알고리즘을 적용하였으며, 3상 IGBT 인버터를 DSP로 제어하였다.

본 논문에서는 120kW급 단일용량 PC를 개발함에 있어, 계통연계 시험, 유,무효 전류제어 시험, 단독운전 검출 및 방지 시험, 출력전류의 THD 측정 등의 결과를 보이고 있다.

1. 서론

최근, 정부 주도의 신재생에너지의 보급, 추진이 활발해지고, 전력시장에서의 신재생에너지에 대한 발전차액제도가 도입됨에 따라 신재생에너지원 중 상용화에 가장 많은 성과를 거두고 있는 태양광발전을 이용한 발전사업자 출연이 전력시장의 새로운 이슈가 되고 있다.

이러한 태양광발전을 이용한 발전사업자의 출연으로 태양광 발전용 대용량 단위 PCS의 공급요구가 늘어나고 있으며, 국내 PCS 시장도 점차 확대되는 모습이 가시화 되고 있다. 이에 따라 가정용 단상 제품만을 소량으로 공급해 오던 외국의 PCS 제조사들은 본격적으로 수백kW급의 대용량 제품을 출시하여 영업을 개시하고 있으며, 국내 태양광발전용 PCS 제조업체에서도 이러한 상황에 대응할 수 있는 대용량 단위 PCS의 개발에 박차를 가하고 있다.

본 논문은 국내에서 최초로 개발된 단위 용량 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS에 대하여 설명하고자 한다.

2. 본론

2.1. 120kW급 계통연계형 PCS 설계 및 사양

다음의 그림 1과 표 1에 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS의 회로도 와 설계사양을 각각 나타내었다.

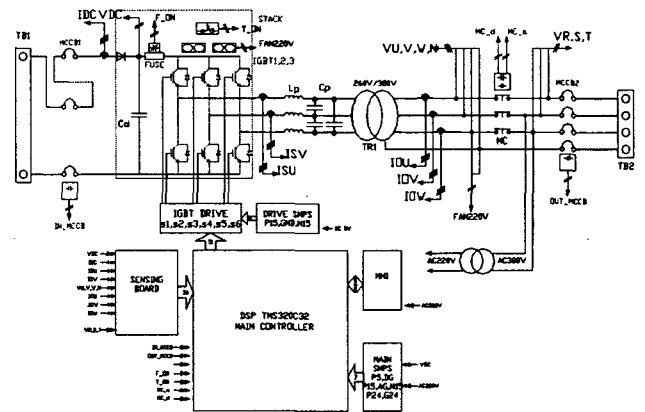


그림 1 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS 회로도
Fig. 1 Schematic of 120kW grid-connected PV PCS

표 1 120kW급 계통연계형 PCS 사양
Table 1 Specifications of 120kW grid-connected PV PCS

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	300[A], 200[V] 2적렬
입력	정격전압	585 [VDC]	
	전압변동범위	476~741 [VDC]	
출력사양	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	
출력전류 총왜율 (THD)	총합 왜율	5[%]이하	정격부하시
	각차 왜율	3[%]이하	
시스템사양	효율	90[%] 이상	정격부하시
	역률	98.8[%]이상	
	과부하량	110[%] /10분	
	냉각방식	강제공냉식	
	소음	60[dB]이하	전방 1[m]
외형	외형	1,100×842×2,027[mm]	W×D×H
	무게	850kg	
보호기능	입력 저전압	460[V]	
	입력 과전압	765[V]	
	계통전압 저전압	342[V]	정격10%이하
	계통전압 과전압	418[V]	정격10%이상
	계통주파수 이상	동작 정지	3Hz 이상/이하
	주파수 동기 이상	동작 정지	2.86도 이하
	Islanding현상 보호	380[ms]	500[ms] 이내

2.2. 120kW급 계통연계형 PCS 시제작

다음의 표 2와 그림 2에 개발한 120kW급 계통연계 태양광발전용 PCS의 제작사양과 시제품 사진을 나타내었다.

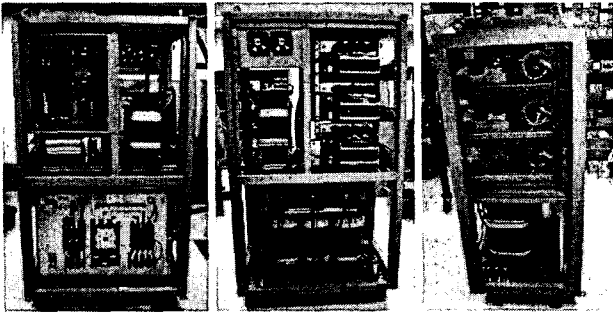


그림 2 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS 시제품
Fig. 2 Manufacture of 120kW grid-connected PV PCS

표 2 120kW급 계통연계형 PCS 제작 사양
Table 2 Manufacture Spec. of 120kW grid-connected PV PCS

부품명	제작 사양
Input MCCBI	3P 225[A]
Diode	1600[V]/160[A] 2P
Capacitor (Cd)	450[V]/2,200[uF] 2S9P
Fuse	660[V]/315[A]
IGBT	1,200[V]/300[A] 2P×3S
Filter Reactor(Lp)	0.52[mH] 267[A] 3P
Filter Capacitor(Cp)	400[V]/100[uF] 3EA
Transformer	3Ø3W260[V]/3Ø4W380[V]
MC	AC200~250[V] C200V
Output MCCB2	225[A]
Switching Frequency	Line-Line 10[kHz]
Cooling Method	Stack Fan & Heat-sink Case Cooling Fan
DSP Board	TMS320C32, FPGA
MMI Board	ATMEGA103 AVR 240×128[dot] Graphic LCD

2.3. 120kW급 계통연계형 PCS의 제어

다음의 그림 3은 개발한 120kW급 계통연계 태양광발전용 PCS의 제어기 구성이며, 그림 4에 개발한 120kW급 계통연계 태양광발전용 PCS의 전력변환장치인 3상 전압형 전류제어 인버터의 PI 제어 블록도를 나타내었다. 그리고, 그림5에 개발한 120kW급 계통연계 태양광발전용 PCS의 최대출력점추종제어(MPPT)에 사용한 P&O(Perturb and Observe) 알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

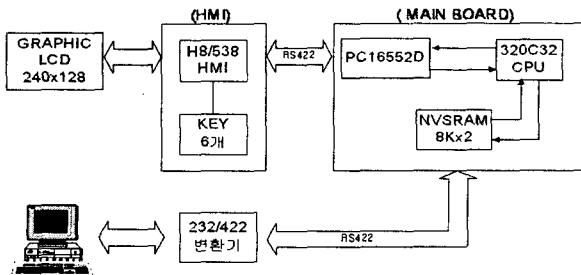


그림 3 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS 제어기 구성
Fig. 3 Configuration of 120kW grid-connected PV PCS controller

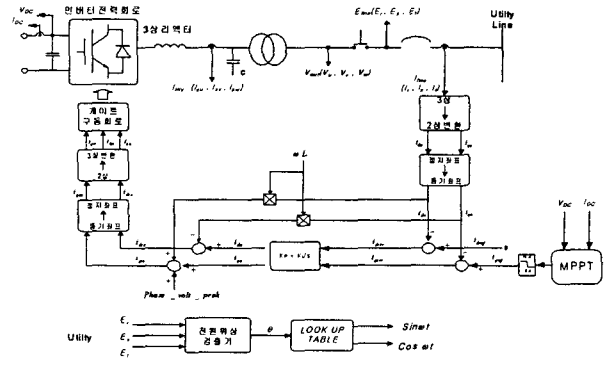


그림 4 3상 전압형 전류제어 인버터의 제어 블록도
Fig. 4 Control block-diagram of 3-phase Voltage-mode current controlled inverter

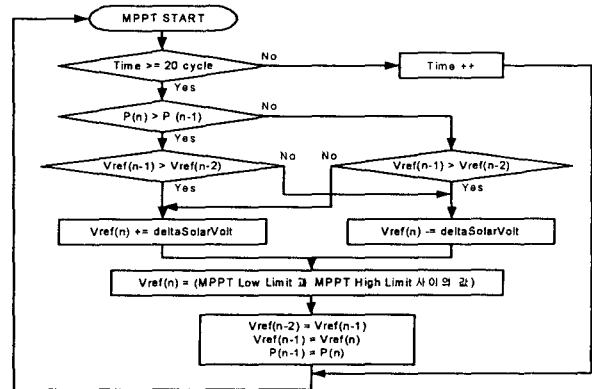


그림 5 최대출력점추종제어 P&O기법 알고리즘
Fig. 5 Algorithm of P&O method for MPPT

2.4. 120kW급 계통연계형 PCS의 실험

다음의 표 3에 개발한 120kW급 계통연계 태양광발전용 PCS 정출력 특성시험 결과를 나타내었다. 50%출력에서도 효율은 93%이상, THD는 2%이하로 우수한 성능을 나타내었으며, 표 4에 단독운전 검출 시험에서 계통전원이 정전이 발생한 경우 이를 검출하고 대기상태까지 걸리는 시간은 약 380msec 정도로 나타났다. 단독운전 검출에 사용된 알고리즘은 수동적인 방법으로 전압·주파수검출법(Voltage and Frequency Detection Method)과 능동적인 방법으로 개선된 샌디아 주파수변동(Sandia Frequency Shift) 기법을 적용하였다.

다음의 그림 6은 120kW급 계통연계형 인버터의 출력전압 전류를 나타내었다. 표 1에 나타난 출력사양에 부합하는 출력파형을 확인할 수 있었다.

표 3 최대전력 특성

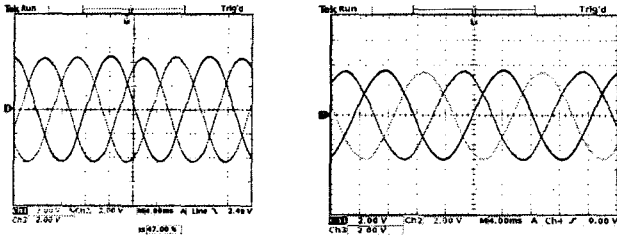
Table 3 Static characteristics of maximum power

출력 (%)	입력		출력		효율 (%)	역률	THD (%)
	전력 (kW)	전압 (V)	전력 (kW)	전압 (V)			
50	64.1	380	59.7	380	93.1	0.99	1.97
100	126.5	380	119.2	380	94.2	0.99	0.87

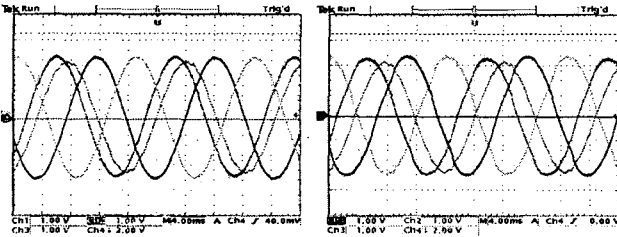
표 4 단독운전 검출 시간

Table 4 Islanding detection time

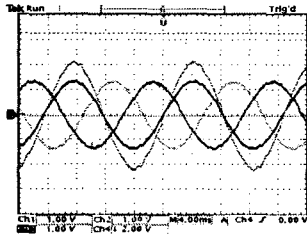
동작 모드	출력조건	동작시간	기준
연계→대기	100%	380ms	500ms이내



(a) 전압(147V/Div) (b) 전류(160A/Div)
 그림 6 인버터 출력 (100% 출력시)
 Fig. 6 Output of Inverter(at 100% output)



(a) 역률 0%, (95kVA) (b) 역률 33% (88kVA)



(c) 역률 100% (50kVA)
 그림 7 유무효 전류 제어
 Fig. 7 Active Reactive current control

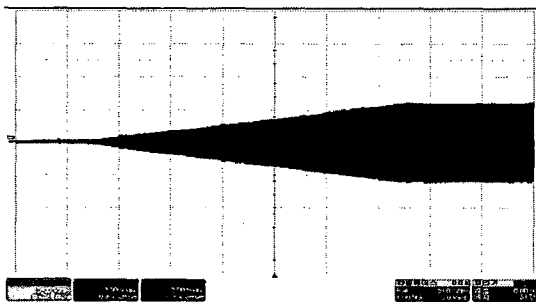
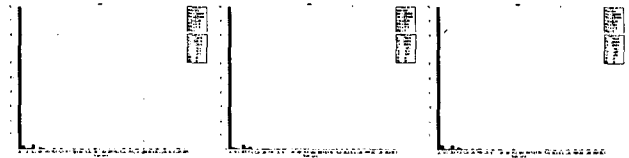


그림 8 PCS의 Soft-Start 특성
 Fig. 8 Soft-Start characteristics of PCS

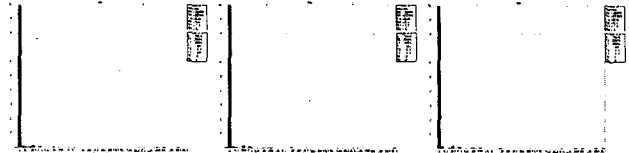
그림 7은 120kW급 계통연계 인버터의 유무효전력제어 파형을 나타내고 있으며, 그림 8은 PCS의 소프트 스타트(soft-start) 특성을 나타내는 파형이다. 그림에서 보이듯이 약 2분에 걸쳐 100% 까지 상승시키고 있다.

그림 9는 50% 출력시 인버터의 각 상 출력전류의 고조파 왜율을 나타낸 것이며, 그림 10은 100% 출력시의 고조파 왜율을 나타낸 것이다. 정격출력시 약 1%이하의 고조파 왜율을 보이고 있다.

그림 11. 인버터 출력에 따른 추력전류 총고조파 왜율(THD)를 나타낸 그래프이다. 출력 20kW 이상에서 THD 5%이하의 출력전류를 흘리고 있음을 알 수 있으며, 110kW 이상에서 1% 이하의 THD를 보이고 있다.



(a) R상 : 2.0% (b) S상 : 1.7% (c) T상 2.3%
 그림 9 인버터 각 상 출력전류 고조파 왜율(50% 출력시)
 Fig. 9 THD of inverter output current(at 50% output)



(a) R상 : 0.98% (b) S상 : 1.0% (c) T상 0.99%
 그림 10 인버터 각 상 출력전류 고조파 왜율(100% 출력시)
 Fig. 10 THD of inverter output current(at 100% output)

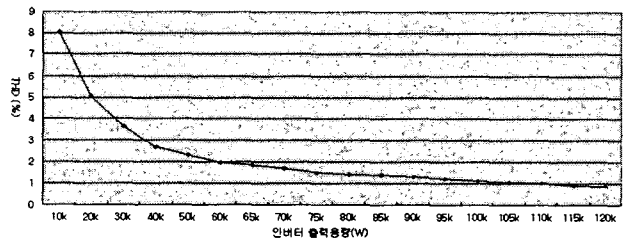


그림 11 인버터 출력용량에 따른 고조파 왜율
 Fig. 11 THD change to inverter output

3. 결론

본 논문에서는 국내 최초로 개발에 성공한 단일 용량 120kW급 태양광발전용 계통연계형 PCS에 대하여 설명하고 있다. 개발한 PCS는 정격출력시 94%이상의 효율을 나타내었으며, 출력전류 총고조파왜율(THD)은 정격출력시 1%이하의 우수한 성능을 발휘하였다.

본 논문에서 설명한 120kW급 계통연계형 태양광발전용 PCS는 현재 서부발전 태안화력본부에서 22.9kV 전력계통에 연계되어 2005년 8월 이후 현재까지 상용발전을 하고 있다.

본 논문은 전력산업연구개발 사업 R-2004-0-104에 대한 연구지원으로 수행된 것입니다.

참고 문헌

- [1] SaKamoto S., Izumi T., Yokoyama T., Haneyoshi T., "A new method for digital PLL control using estimated quadrature two phase frequency detection." in PCC Osaka 2002 proceedings, Volume 2, pp.671-676.
- [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] 김용균, 최중우, 김홍근, "디지털 PLL제어의 특성 분석". 전력전자 하계학술대회 논문집 B권, pp.548-553, 2003.