

태양광발전용 3kW급 PCS 개발

민 병권¹⁾, 류 승표²⁾, 전 세봉³⁾, 이 봉우⁴⁾, 김 남해⁵⁾

Development of Power Conditioning System for Photovoltaic Power Generation Systems

Byounggwon Min¹⁾, Seungpyo Ryu²⁾, Sejong Jeon³⁾,
Bongwoo Lee⁴⁾, Namhae Kim⁵⁾

Key words : Fossil fuel(화석연료), New and renewable energy(신재생에너지), PCS(Power Conditioning System : 전력변환장치), PV generation system(태양광발전시스템), PV array(태양전지 판), Environmental pollution(환경오염)

Abstract : Recently, because of the depletion of fossil fuels and the environmental pollution by using fossil fuels and harmfulness of atomic power plants, the interests concerning new and renewable energy resources are rising increasingly.

And of all new and renewable energy sources the PV generation systems are recognized as the most useful and desirable renewable energy source in allowance for installation conditions.

In this development, the 3kWp photovoltaic power generation system is realized to verify the performance of the 3kWp PCS developed by Hyundai Heavy Industries Co.(HHI). The photovoltaic array used in this system is composed of 60 modules of 50Wp capacity.

The developed system is tested as procedures and items of test regulation recognized by government and the experimental results show the excellent electrical characteristics.

Now, the 3kWp PCS developed is installed in the PV model house built in HHI plant and is being tested for practical use commercialization.

subscrip

PCS : Power Conditioning System
MPPT : Maximum Power Point Tracking
MMI : Man Machine Interface
VFD : Vacuum Fluorescent Display
PV : Photovoltaic

1. 서 론

화석연료의 고갈에 대비한 대체에너지원의 확보와 원자력발전의 안전성, 화석연료의 사용에 따른 환경오염 및 지구 온난화 현상, 교토의정서 발효, 개발도상국의 에너지 수요 급증 등 에너지 문제에 대처하기 위하여 고갈이 없고 친환경적인 재생에너지와 신발전에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 여러 신·재생에너지들 중에서 특히 에너지원이 무한정하고 공해가 전혀 없는 태양광발전이 가장 유망한 대체에너지원으로 인정받고 있고 그 적용이 크게 증가하고 있다. 그리고 태양전지 재료 및 공정기술의 발전과 일본, 독일 미국을 중심으로 한 선진국들의 시장 활성화 정책에 힘입어 최근 수년간 태양전지 생

산량은 매년 평균 35% 이상씩 증가하고 있으며 특히 2004년의 경우는 1,236MW를 생산하여 2003년 대비 68.8%라는 경이적인 신장률을 보였다^[1]. 그리고 선진 각국의 기술 로드맵(road map)에 의하면 전 세계의 태양광발전 누적 설치량이 2010년에는 14GW, 2020년에는 70GW, 2030년에는 140GW로 크게 성장할 것으로 예측되어 이러한 시장증가 추세는 장기적으로 계속될 전망이다^[2]. 이러한 태양에너지를 사용하기 위해서는 태양에

-
- 1) 현대중공업(주) 전력전자제어부
E-mail : minbg@hhi.co.kr
Tel : (052)230-8432 Fax : (052)230-8410
 - 2) 현대중공업(주) 기계전기연구소
E-mail : spryu@hhi.co.kr
Tel : (031)89-5122 Fax : (031)289-5150
 - 3) 현대중공업(주) 기계전기연구소
E-mail : sbjeon@hhi.co.kr
Tel : (031)289-5107 Fax : (031)289-5150
 - 4) 현대중공업(주) 전력전자제어부
E-mail : bwlee@chol.com
Tel : (052)230-84262 Fax : (052)230-8410
 - 5) 현대중공업(주) 전력전자제어부
E-mail : nhkim@hhi.co.kr
Tel : (052)230-0058 Fax : (052)230-8410

서 발생된 직류를 교류로 변환 하는 전력변환장치가 필수적이다. 태양광 발전장치에 사용되는 전력변환장치는 시스템을 소형경량화 하고 성능을 개선하며 MMI 기능을 확보하는 것이 필요하다.

본 연구개발에서는 이러한 기능을 구현하기 위해서 고주파 링크 방식을 이용한 계통연계형, 독립형 겸용의 3kW급의 PCS를 개발하였으며, 시스템 제어를 위해서 제어회로에는 DSP를 사용하였다. 그리고 구현한 3kW급 발전시스템에 사용된 태양전지 어레이는 50Wp 모듈 60개가 사용되었다. 개발한 3kW PCS와 태양전지 어레이를 접속하여 시스템 성능시험을 실시한 PCS가 모든 설계사양을 만족하여 우수한 성능을 나타내고 있음을 확인하였다. 또한 MMI에서는 시스템 자체의 VFD(Vacuum Fluorescent Display) 또는 PC에서 RS232 직렬통신이나 인터넷 통신을 통하여 시스템의 전압, 전류 및 시스템의 상태를 감지할 수 있는 감시 체제를 구현하였다.

2. 시스템 구성

본 개발에서는 시스템의 구현을 위하여 고주파 링크 방식을 이용하여 전력회로를 구성하였으며, 구성도는 그림 1과 같다^[3]. DC/DC 컨버터부는 태양전지에서 발생된 저전압의 DC를 40kHz의 고주파 스위칭에 의해서 고주파의 AC로 변환시킨다. 그리고 AC는 고주파 변압기와 다이오드 브릿지 정류기 및 LC 필터를 통하여 인버터를 구동하기 위한 360~370V의 DC전압으로 변환되며 리플이 최소화 된다. 스위칭 전력소자로 FET를 사용하여 고주파 스위칭이 가능하게 함으로써 소음을 최소화하였다. 그리고 1.5kW 용량의 DC/DC 컨버터 2대를 병렬로 구성하여 시스템의 용량 증대를 용이하게 하고 다른 분산전원 시스템에도 적용할 수 있도록 설계하였다. 인버터부는 DC를 AC로 변환하여 정전압, 정주파수를 갖는 양질의 교류출력을 부하측에 공급하는 역변환장치이다. 본 시스템에서는 저주파수의 변압기를 사용하지 않고 인버터 출력측에 LC 저역 필터를 설치하여 고조파를 제거하였다. 계통연계를 위해서 계통전원의 위상을 검출하고 시스템의 유효전력, 무효전력에 따라 전류의 위상이 결정되도록 하였다^{[4][6]}.

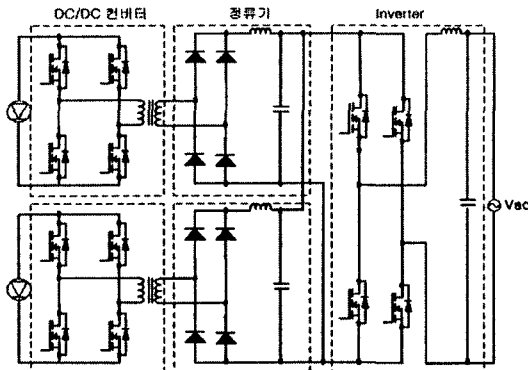


Fig. 1 Configuration of power circuit

3. 시스템 제어

3.1 DC/DC 컨버터

본 개발에서는 DC/DC 컨버터를 병렬운전이 가능하도록 설계하고 제어 방법은 전류제어 방법을 사용하였다.

전류제어 방법은 그림 2와 같이 컨버터의 출력전류를 검출한 다음 전압제어기의 출력과 비교하여 스위칭 소자의 온 시간을 결정하는 방법이다. 이 제어 방법은 컨버터와 연결선간이 동일 특성을 갖지 않아도 정교한 제어가 가능하다. 이를 위해서는 전압제어와 전류제어가 필요하고, 최종 출력단의 전압이 Reference 전압과 비교되어 $Gc1(s)$ 와 $Gc2(s)$ 에서 제어 Reference를 발생한다. 동작제어 전압 $Vcon1$ 과 $Vcon2$ 는 원하는 전류분담 제어를 위해서 여러 신호 $Idc1_ref$ 와 $Idc2_ref$ 에 의해서 보상되어 각 컨버터의 PWM 제어를 수행하게 된다.

이 방법을 사용하여 혼합발전 시스템으로 시스템을 구현하게 될 경우 각 발전 전원에서 발생하는 에너지가 다를 경우에도 제어가 가능하게 된다. 그림 3은 전류제어의 분산 제어를 나타낸다. 컨버터1의 전류와 컨버터2의 전류의 합을 구하여 $C1(s)$ 와 $C2(s)$ 에서 자신의 컨버터에서 분담하게 될 전류량을 결정하게 된다. 컨버터1과 컨버터2가 분담하게 될 전류는 각 컨버터의 입력 용량에 의해서 결정된다. 예를 들어 부하에서 담당하게 될 전체 전류를 1로 볼 경우, 컨버터1과 컨버터2가 분담하게 될 전류를 각각 0.3과 0.7이라 하면 제어기 $C1(s)$ 는 0.3에 대한 $I1_ref$ 를, $C2(s)$ 에서는 0.7에 대한 $I2_ref$ 를 발생하게 된다. 이 값은 각 컨버터에 흐르고 있는 전류와 비교되어 PI 제어기 $P1(s)$ 와 $P2(s)$ 를 통하여 그림2의 $Idc1_ref$ 와 $Idc2_ref$ 를 발생하게 되어 전류분담이 이루어지게 된다.

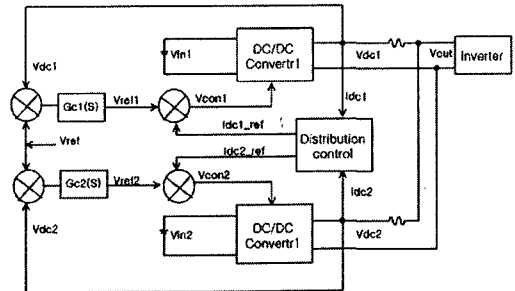


Fig. 2 DC/DC converter parallel controller

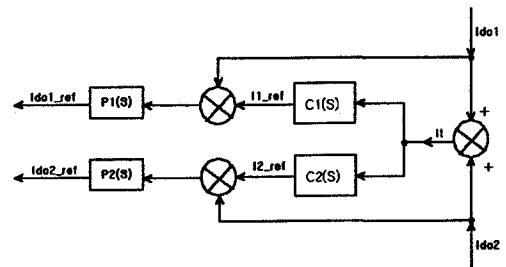


Fig. 3 DC/DC converter distributed controller

3.2 최대출력점 추종제어

태양전지의 출력 전력은 태양전지의 출력전압에 따라 변화한다. 태양전지의 출력 전력을 최대로 이용하기 위해서 가능한 최대출력을 얻기 위한 동작점 추종이 필요하다. 일반적인 방법은 태양전지의 전력을 검출하고 태양전지 증가 방향에 따라 태양전지의 특성점을 이동시킴으로써 최대 출력점을 추종하는 것이다.

본 개발에서는 전류 피드백 제어에서 전류 여러 신호를 모니터링하여 최대출력점을 추종하는 MPPT 제어알고리즘을 사용하였다. 이 방법은 그림 4와 같이 제어기에서 출력전류 신호 I_o 가 원하는 전류 신호 I_c 에 근사화 되도록 한다. I_c 가 반복적으로 증가, 감소함으로써, I_c 의 크기가 최대 출력점과 일치하도록 하는 방법이다^{[4][5]}.

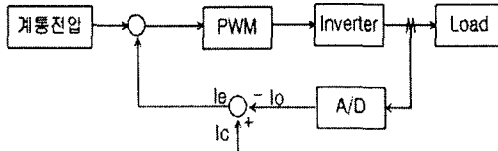


Fig. 4 Block diagram of MPPT

3.3 MMI 구성

태양광 발전 장치의 감시 시스템은 시스템 본체에서 감시할 수 있는 시스템과 원격에서 감시할 수 있는 시스템으로 구성되며, 원격감시 시스템은 인터넷 웹기반의 감시시스템으로 구성되어 있다.

웹기반의 감시 시스템은 태양광 발전장치의 각 부분의 정보수집 및 분석, 모니터링하고, 자기고장진단 기능을 갖추어 시스템의 효율적인 운영을 도모하고 고장시 문제를 시간, 원인별로 기억하고 있을 뿐만 아니라 프린터로 출력하여 고장 원인 파악 및 처리에 신속히 대처할 수 있도록 개발하였다. 그림 5는 감시시스템의 화면이다.

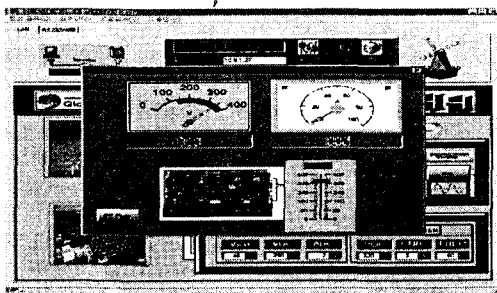


Fig. 5 screen of MMI menu

4. 전력변환장치 제작 및 시험 결과

4.1 전력변환장치 제작

본 연구개발에서 제시한 제어시스템의 타당성을 검토하고 특성을 검증하기 위하여 표 1과 같은 시스템을 제작하였다. 그림 6은 제작된 PCS

의 외관사진이며, 그림 7은 개발한 PCS를 적용하여 실증시험을 위하여 당사에 설치된 3kW급 태양광발전시스템의 모델하우스 사진이다.

Table 1 Specification of the PCS

구분	항 목	내 용
시스템 구성	출력상수	단상
	인버터 제어방식	PWM
	스위칭소자	DC/DC
인버터		IGBT
입력 전압	정격전압	68Vdc
	전압변동 범위	50Vdc ~ 85Vdc
출력 사양	정격출력용량	3kWp
	정격전압 및 변동률	[220Vac]± 10%
	정격주파수 및 변동률	[60Hz]± 3% 이내
시스템 사양	출력 전류파형 왜율	5% 이내
	효율	90% 이상
	역률	0.98 이상
	냉각방식	강제공냉식
외형	소음	59dB 이하
	외형(W×D×H)	530×400×176
보호 기능	입력 저전압/고전압	
	계통 저전압/고전압	
	계통 주파수 이상	
	동기 이상	
	단독운전 방지	
	시스템 과열	

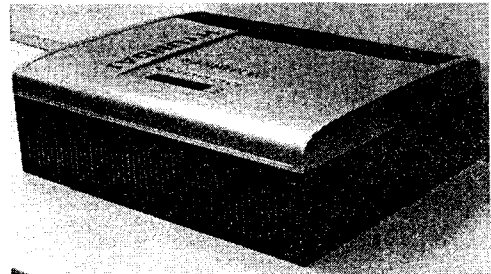


Fig. 6 Photograph of 3kW PCS

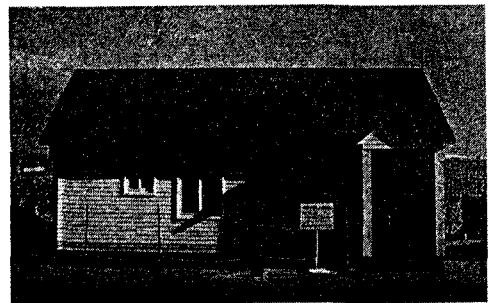


Fig. 7 Photograph of Model House for Test

4.2 시험 결과

그림 8은 DC/DC 전류지령이 같은 경우 컨버터의 병렬운전시 각 컨버터의 전압 및 전류 파형이고, 그림 9는 병렬운전되는 DC/DC 컨버터의 전류 지령이 다른 경우의 전압 및 전류 파형이다. 컨버터의 병렬운전이 잘 이루어짐을 알 수 있다. 그림10은 당사에 설치된 태양전지의 출력 전압 파형 및 인버터의 출력 전압 파형이고 그림 11은 THD가 2.5%일 때의 계통전압과 출력전류의 파형이다. 인버터의 출력전압 파형과 전류 파형이 매우 양호함을 알 수 있다

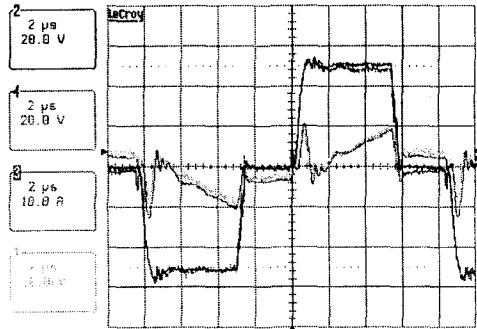


Fig. 8 Waveform of DC/DC converter (Equivalent Current References)

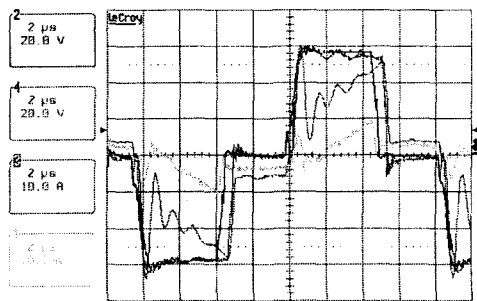


Fig. 9 Waveform of DC/DC converter (Different Current References)

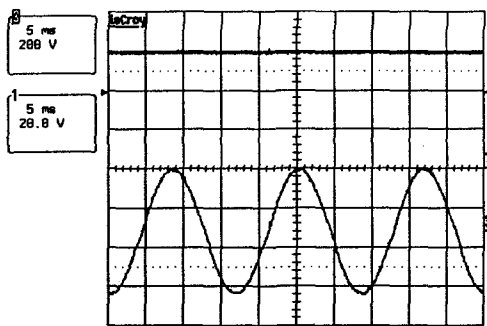


Fig 10 Output voltage waveforms of PV array and inverter

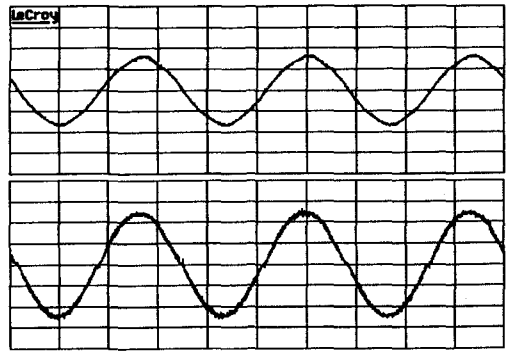


Fig. 11 Waveforms of Grid voltage(upper 200V/div) & Output Current(down 5A/div) at THD 2.5%

5. 결론

본 연구개발은 신·재생에너지로 각광을 받고 있는 태양광을 이용한 발전시스템에서 가장 중요한 부분인 PCS 개발을 위한 연구개발로서, DC/DC 컨버터 설계 및 병렬운전 구현, 인버터 제어기법 연구개발을 수행하였다.

개발한 전력변환장치의 성능을 검증하기 위하여 3kW급 주택용 태양광발전시스템을 설치한 모델하우스를 건설하여, DC/DC 컨버터, 인버터를 비롯한 MMI의 성능을 시험하였고, 성능 및 전기적 특성, 디자인 측면에서 외제에 비해 전혀 손색없는 양호한 결과를 얻었다.

본 개발품은 현재 에너지기술연구원에서 인증을 위한 성능평가를 수행중이며 2005년도 주택용 태양광발전시스템 보급에 적용할 예정이다.

References

- [1] Photon International, March, 2005
- [2] Arnulf Jäger-Waldau, "Status of PV Research, Solar Cell Production and Market Implementation in Japan, USA and the European Union", European Commission Research Centre, 2002. 9. 2001.
- [3] K. Siri and J.Banda, "Analysis and Evaluation of Current-Sharing Control for Parallel-Connected DC-DC Converters Taking into Account Cable Resistance.", IEEE, 1995
- [4] Phuong T. Huynh, "Design and Analysis of a Regulated Peak-Power Tracking System", IEEE Trans. on Aerospace & Electronic Systems, VOL.35, No 1, pp. 84~91, January, 1999
- [5] Eftichios Koutroulis, "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System", IEEE Trans. on Power Electronics, VOL.16, No 1, pp. 46~54, January 2001.
- [6] 日本電氣協會 "分散型電源系統連系技術指針", 2001