

## 태양광 발전용 전력변환장치에 관한 연구

류승표, 전세봉, 민병권, 서광덕  
현대중공업 기술개발본부 기계전기연구소

### The Study of Power Conditioning System for Photovoltaic Power Generation System

S.P. Ryu, S.B. Jeon, B.G. Min, and K.D. Seo

Electro-Mechanical Research Institute, Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd

#### ABSTRACT

Recently, because of the depletion of fossil fuels and the environmental pollution by using fossil fuels and atomic power generation, the interests concerning of new and renewable energy resources are rising rapidly.

In this study, the 3kWp photovoltaic power generation system is realized to verify the performance of the PCS developed.

The photovoltaic array used in this system is composed of 60 modules of 50Wp capacity. The developed system is tested and the experimental results show the excellent electrical characteristics.

#### 1. 서 론

화석연료에 대한 대체에너지원의 발굴, 범 세계적으로 환경에 대한 경각심의 고조, 그리고 개발도상국의 에너지 수요 급증에 따라 장기적으로 친환경적인 대체에너지와 신발전방식에 대한 관심이 높아가고 있으며 여러 대체에너지들 중에서 특히 에너지원이 무한정하고 공해가 전혀 없는 태양광발전이 가장 유망한 대체에너지원으로 인정받고 있고 그 적용이 크게 증가하고 있다. 그리고 태양전지 재료 및 공정기술의 발전과 각국의 시장 활성화 정책에 힘입어 최근 5년간 전세계의 태양전지 생산량은 매년 평균 30%씩 증가하였으며 기술개발에 의한 저가격화에 따라 선진 각국의 기술 로드맵(road map)에 의하면 2000년 현재 전세계의 태양광발전 누적 설치량 1GW가 2010년에는 14GW, 2020년에는 70GW, 2030년에는 140GW로 크게 성장할 것으로 예측되어 이러한 시장증가 추세는 장기적으로 계속될 전망이다. 이러한 태양에너지를 사용하기

위해서는 태양에서 발생된 직류를 교류로 변환하는 전력변환장치가 필요하다. 태양광 발전장치에 사용되는 전력변환장치는 시스템을 소형경량화 하고 성능을 개선하며 MMI 기능을 확보하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 이러한 기능을 구현하기 위해서 고주파 링크 방식을 이용한 계통연계형 3kWp급의 태양광 발전 시스템을 개발하였으며, 시스템 제어를 위해서 DSP를 사용하였다.

구현한 시스템에 사용된 태양전지 어레이는 50Wp 모듈 60개가 사용되었고, DC/DC 컨버터, 인버터 비롯한 MMI로 구현된 PCS(Power Conditioning System) 시스템의 성능을 시험하였고, 시험결과 양호한 결과를 얻었다. 또한 MMI에서는 시스템 자체의 VFD(Vacuum Fluorescent Display)나 PC에서 RS232 직렬통신이나 인터넷 통신을 통하여 시스템의 전압, 전류 및 시스템의 상태를 감지 할 수 있는 감시 체제를 구현하였다.

#### 2. 시스템 구성

본 연구에는 시스템의 구현을 위해서 고주파 링크 방식을 이용한 전력회로를 구성하였으며, 구성도는 그림 1과 같다. DC/DC 컨버터부는 태양전지에서 발생된 저전압의 DC를 60kHz의 고주파 스위칭에 의해서 고주파의 AC로 변환 시킨다. 그리고 AC는 고주파 변압기와 다이오드 브릿지 정류기, LC 필터를 통하여 고전압의 DC로 변환되며 리플이 최소화 된다. 전력소자로 FET를 사용하여 고주파 스위칭이 가능하게 하고 소음을 최소화하였다. 1.5kW 용량의 컨버터 2대를 병렬로 구성하여 시스템의 용량 증대를 용이하게 하고 다른 분산전원 시스템도 사용할 수 있도록 하였다. 인버터부는 DC를 AC로 변환하여 정전압, 정주파수를 갖는 양질

의 교류출력을 부하측에 공급하는 역변환장치이다. 본 시스템에서는 저주파수의 변압기를 사용하지 않고 인버터 출력측에 LC 저역 필터를 설치하여 고조파를 제거하였다. 계통과 연계를 위해서 계통전원의 위상을 검출하고 시스템의 유, 무효전력에 따라 전류의 위상이 결정되도록 하였다.

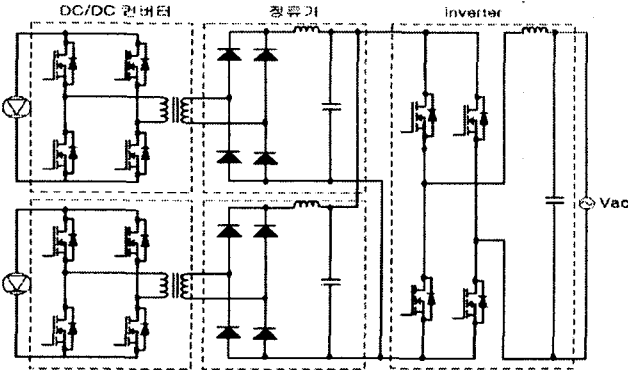


그림 1 전력회로 구성도  
Fig. 1 Configuration of power circuit

### 3. 시스템 제어

#### 3.1 DC/DC 컨버터

본 연구에서는 여러 종류의 분산 발전 시스템의 전원으로 동시에 사용할 수 있도록 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 예러 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 제어기를 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 들어서 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.

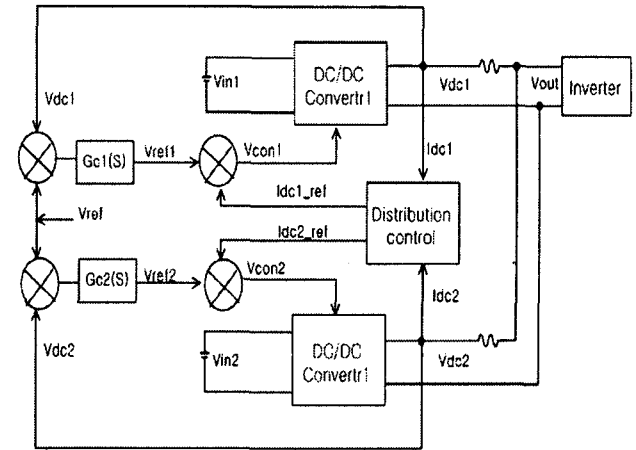


그림 2 DC/DC 컨버터 병렬제어기  
Fig. 2 DC/DC converter parallel controller

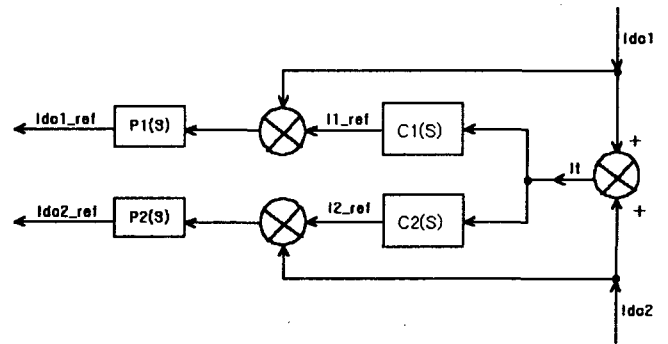


그림 3 DC/DC 컨버터 분산 제어기  
Fig. 3 DC/DC converter distributed controller

#### 3.2 최대출력점 추종제어

태양전지의 출력 전력은 태양전지의 출력전압에 따라 변화한다. 태양전지의 출력 전력을 최대로 이용하기 위해서 가능한 최대출력을 끌어내기 위한 동작점 추종이 필요하다. 일반적인 방법은 태양전지의 전력을 감지하고 태양전지 증가 방향에 따라 태양전지의 특성점을 이동함으로써 최대 출력점을 추정하는 것이다. 본 연구에서는 전류 피드백 제어에서 전류 예러 신호를 모니터링하여 최대출력점을 추종하는 MPPT 제어 방법을 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.

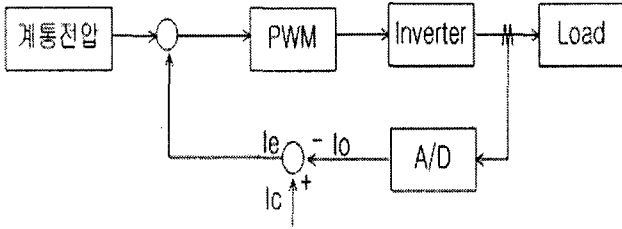


그림 4 MPPT 제어기 구성도  
Fig. 4 Block diagram of MPPT

### 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, 모니터링, 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 있다. 그림 5는 감시시스템의 화면이다.

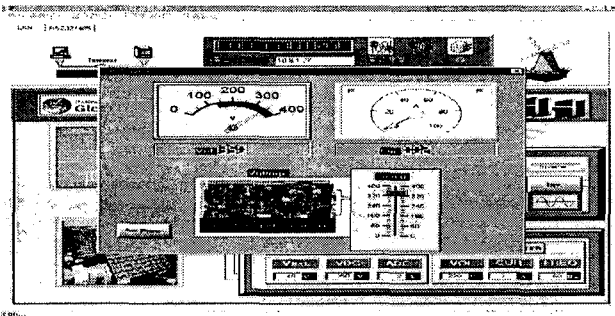


그림 5 MMI menu 화면  
Fig. 5 screen of MMI menu

## 4. 전력변환장치 제작 및 시험 결과

### 4.1 전력변환장치 제작

본 연구에서 제시한 제어시스템의 타당성을 검토하고 그의 특성을 검증하기 위하여 표 1과 같은 시스템을 제작하였다. 그림 6은 제작된 시스템의 사진이며, 그림 7은 당사에 설치된 3kW급의 태양전지 어레이이다.

표 1 시스템 제작 사양

Table 1 Specification of system product

전기적 특성	정격 용량	3kW
	입력 DC 전압	40~68Vdc
	출력 DC 전압	360Vdc
	인버터 출력 전압	220Vac
	출력 주파수	60Hz
	출력 왜율	3%이하
기타 특성	스위칭 주파수	60kHz
	MMI 기능	PC 통신, VFD
	제어방식	Full Digital 제어
	냉각방식	강제 공냉식
	전력소자	FET
소음	60dB이하	

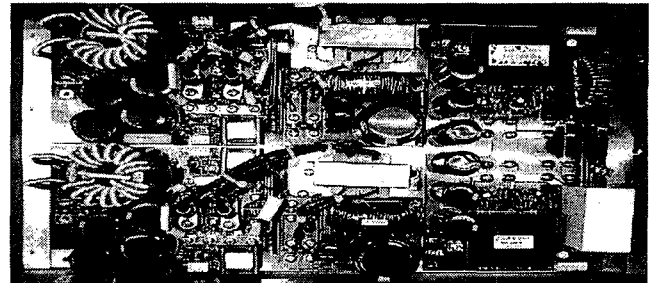


그림 6 제작된 전력변환장치  
Fig. 6 Photograph of system

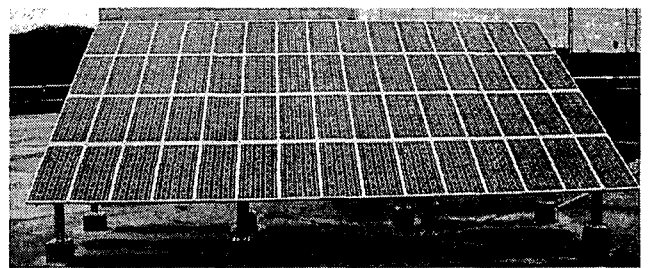


그림 7 당사에 설치된 3kW급 태양전지  
Fig. 7 Solar Cell array in HEMRI

### 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 전류지령이 다른 경우의 전압 및 전류 파형이다. 컨버터의 병렬운전이 잘 이루어짐을 알 수 있다. 그림 10은 당사에 설치된 태양전지의 출력 전압 파형 및 인버터의 출력 전압 파형이다. 인버터의 출력 전압 파형이 양호함을 알 수 있다

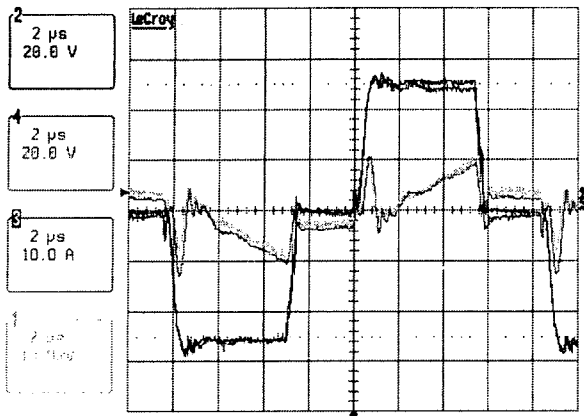


그림 8 전류지령이 같은 DC/DC 컨버터의 파형  
Fig. 8 DC/DC converter waveform

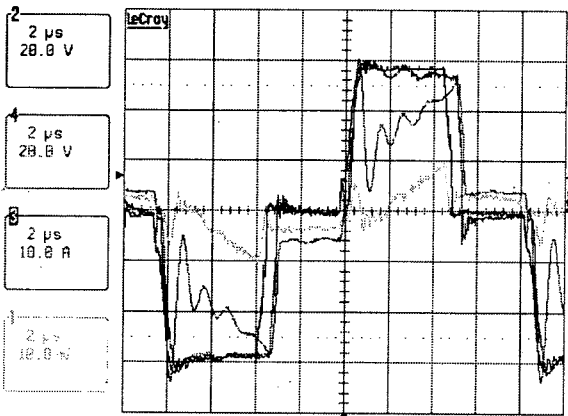


그림 9 전류지령이 다른 DC/DC 컨버터의 입출력 파형  
Fig. 9 DC/DC converter waveform

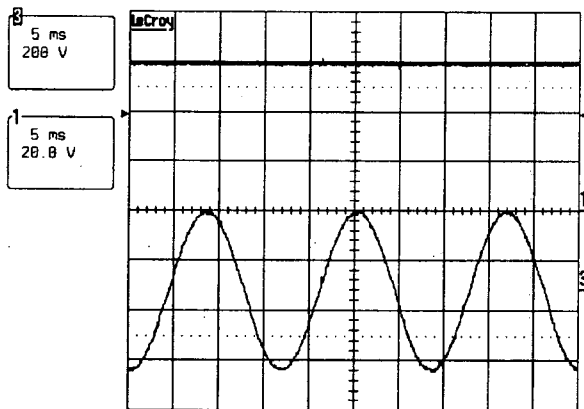


그림 10 태양전지 전압 및 인버터 출력 파형  
Fig. 10 Output voltage waveform of solar array and inverter

## 5. 결 론

본 연구는 대체에너지로 각광을 받고 있는 태양광을 이용한 발전시스템에 필요한 전장품 개발을

위한 연구로서, DC/DC 컨버터 및 병렬운전 연구, 인버터 제어기법 연구를 수행하였다.

설계한 전력변환장치의 성능을 검증하기 위하여 3kW급의 태양광발전장치를 제작하여, DC/DC 컨버터, 인버터를 비롯한 MMI의 성능을 시험하였고, 양호한 결과를 얻었다.

향후 연구계획으로는 본 연구를 통하여 개발된 전장품을 상품화하기 위하여, 회로의 개선을 통한 콤팩트화 설계를 수행하고 시스템의 신뢰성 확보를 위한 연구를 계속 수행 할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Richard Redl "A Novel Soft-Switching Full Bridge DC/DC converter : Analysis, Design Considerations, and Experimental Results at 1.5kW, 100kHz" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 6, No. 3, pp. 408~418, July 1991.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 日本電氣協會, "分散型電源系統連系技術指針", 2001.