

태양광 발전에 적합한 DC/DC 컨버터의 병렬운전

김병우\*, 박성준\*, 문채주\*\*, 남해곤\*, 김철우\*\*\*, 김종달\*\*\*\*

\* : 전남대학교 전기공학과, \*\* : 목포대학교 전기공학과, \*\*\* : 부산대학교 전기공학과, \*\*\*\* : 동명대학

A Parallel Operation of DC/DC Converter for suitable Photovoltaics System

Byeong-Woo Kim\*, Sung-Jun Park\*, Chae-Ju Moon\*\*, Hae-Kon Nam\*, Cheul-U Kim\*\*\*, Jong-Dal Kim\*\*\*\*

\*:Chonnam National University, \*\*:Mokpo National University, \*\*\*:Pusan National University, \*\*\*\*:Dong-Myoong College

**Abstract** - A novel technique for efficiently extracting maximum power from PV panels is proposed, consisting of a modified buck-boost converter, witch is controlled by a DSP. A variation of the proposed MPPT technique is directly use the modified buck-boost converter current reference as a control parameter. Also 4 parallel boost converters have division of load. A theoretical analysis of the proposed converter is performed and compared with experimental results obtained from a 1k[W] prototype solar panel under a controlled experimental setup.

$$I = I_{LC} - I_{OS} \left\{ \exp \left[ \frac{q}{AkT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$I$  : 태양전지의 출력전류       $V$  : 태양전지의 출력전압  
 $R_s$  : 내부직렬저항             $R_{sh}$  : 내부병렬저항  
 $I_{LG}$  : 광 발생전류             $I_{OS}$  : 온도특성 계수  
 $q$  : 전하량                     $k$  : 볼츠만 상수  
 $A$  : pn접합 재료 계수         $T$  : 전지온도

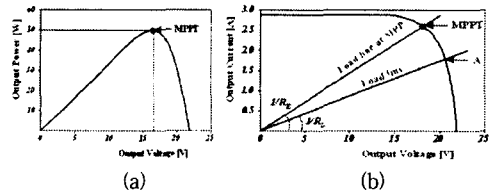


그림 2. 태양전지의 특성

- (a) 전형적인 태양전지의 전류 전압 특성
- (b) 전형적인 태양전지의 전력 전압 특성

Fig. 2 The characteristics of a PV module

- (a) Current-voltage characteristics of the PV module
- (b) Power-voltage characteristics of the PV module

1. 서 론

본 논문에서는 Buck-boost 컨버터를 변형한 태양광 발전에 적합한 새로운 DC/DC 컨버터 전력회로를 제안하고, 컨버터의 출력중대 및 특성개선을 위해 DC/DC 컨버터의 병렬운전 기법을 제안하였다. 제안된 병렬운전기법은 DC/DC 컨버터의 파라미터가 상이하여도 부하분담 특성을 우수하게 할 수 있는 스위칭 기법이다. 제안한 태양광발전에 적합한 DC/DC 전력회로는 Buck-boost 컨버터의 기본 토폴로지서 태양광 발전에 적합하도록 출력콘덴서를 다르게 하여 구성하였으며, DC/DC 컨버터의 특성개선을 위해 컨버터 4개를 병렬로 구성하여 에너지 변환 효율 및 등가 스위칭 주파수의 증대로 인한 출력전압 리플 저감하였다. 또한 병렬로 연결된 변형된 DC/DC 컨버터에서 부하분담 비율을 우수하게 하기 위해 전류 피드백에 의한 스위칭 함수를 구현하였다. 제안된 컨버터 및 제어방식의 타당성을 검증하기 위해 1 k[W]급 프로토타입의 태양전지 모듈을 대상으로 하여 실험하였다.

2. 병렬운전에 의한 태양광 발전

2.1 태양전지의 특성

그림 1은 태양전지를 수학적으로 모델링 한 것으로 태양전지의 특성을 해석하는데 일반적으로 적용되는 one-diode 모델의 등가회로를 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 태양전지에서 발생하는 전압과 전류의 관계는 비선형성이 매우 강하다. 이러한 비선형성을 갖는 태양전지의 I-V 특성곡선을 얻기 위한 기본수식은 식 1과 같이 주어진다.<sup>[1]-[2]</sup>

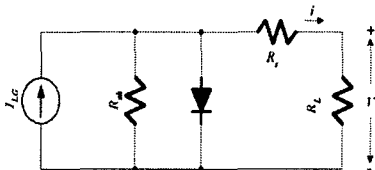


그림 1. 태양전지의 등가회로 및 특성  
 Fig. 1 Equivalent circuit of a PV module and characteristics

그림 2(a) 및 그림 2(b)는 식 1의 태양전지의 I-V 특성식으로부터 나타난 태양전지의 전압 전류 특성 및 전압 출력 특성을 나타내고 있다. 식 1의 태양전지의 I-V 특성식에서 알 수 있듯이 태양전지의 출력은 일사량 및 온도 등의 주변환경에 따라 변하게 되고, 부하상태 또한 변하기 때문에 태양전지의 전압전류특성의 MPPT점과 부하에 의해 결정되는 점이 항상 일치하기란 거의 불가능하다. 그림 2(a)에서 부하( $R_L$ )에 의해서 결정되는 태양전지 전압 전류 점은 A가되어 태양전지의 MPPT점에서 벗어나 있게 된다. 이 동작점을 MPPT점으로 이동하기 위해서는 등가부하가 MPPT점을 만족하는 부하( $R_E$ )로 바꾸어 주는 장치가 필요하다. 이러한 등가부하를 만들 수 있는 장치가 컨버터이다. 따라서 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 MPPT 제어를 행하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 전압 또는 전류를 제어할 수 있는 컨버터의 설치가 필수적이다.

2.2 태양광 발전 시스템

그림 3은 기존의 Buck-boost 컨버터를 변형하여 태양광 발전에 적합한 새로운 승압형 컨버터이다.

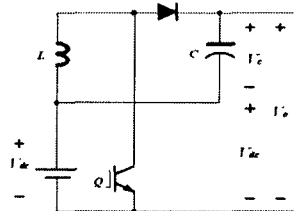


그림 3. 승압이 가능한 기존의 DC/DC컨버터 및 제안된 회로  
 Fig. 3 DC/DC converter & proposed converter

제안된 컨버터는 Buck-boost컨버터의 입력전압과 출력 전압이 직렬로 연결되도록 출력단자를 인출하였고, 스위칭 소자의 전원신호를 입력전압을 사용할 수 있도록 스위치의 위치를 바꾼 형태를 하고 있다. 이러한 구조로 인하여 출력단 콘덴서 용량을 Boost컨버터에 비하여 적게 할 수 있는 장점을 가진 상태에서 Boost컨버터와 동일한 특성을 갖는 장점이 있다. 그림 3의 제안된 컨버터에서 인덕터의 전류가 연속이라는 가정하에 입출력 관계식은 승압형 컨버터와 같이 다음과 같다.

$$V_o = \frac{1}{1-D} V_{dc} \quad (2)$$

만일 인덕턴스의 전류가 적어 불연속모드로 되면 입력 출력관계식 또한 승압형 컨버터와 같은 형태를 취한다.

$$V_o = \frac{D+D_2}{D_2} V_{dc} \quad (3)$$

따라서 모든 입출력 관계식은 기존의 승압형 컨버터와 같은 특성을 가진다. 그러나 제안된 컨버터는 기존의 승압형 컨버터에 비해 다음과 같은 장점을 가진다.

첫째, 기존의 승압형 컨버터의 출력단 전압은 출력단 콘덴서 전압을 사용하나 제안된 컨버터에서는 출력전압이 입력전압과 출력측 콘덴서 전압의 합으로 사용하게 된다. 따라서 출력콘덴서의 동작전압이 기존의 승압형 컨버터에 비해 낮아져, 동일한 출력전압 리플율에서 콘덴서 용량이 적어지는 장점을 갖고 있다. 둘째, 적은 출력콘덴서 용량으로 인하여 기동시 초기 돌입전류가 적다는 장점이 있다.

그림 4는 제안된 PV용 DC/DC컨버터의 출력증가 및 효율 향상을 위해 제안된 DC/DC 컨버터 4조를 사용한 병렬회로 구성을 나타내고 있다. 그림 4와 같이 컨버터가 병렬로 구성될 경우 부하분담의 문제가 발생하게 된다. 병렬로 연결된 각 DC/DC 컨버터는 입력과 출력을 동일하게 사용하므로 부하분담이 동일하려면 각 컨버터의 파라메타 및 시비율이 동일하여야 한다. 특히 각 컨버터에 인가되는 시비율에 미소한 차이가 발생하면 시비율이 가장 큰 컨버터에서만 전류 연속 모드로 동작하고, 나머지 컨버터는 전류 불연속 모드로 동작하여 에너지 전달 기능이 한 곳에 편중되게 된다. 이러한 부하 분담의 편중을 막기 위해서는 각 DC/DC 컨버터에는 전류제어기가 필요하게 된다. 따라서 병렬로 연결된 각 DC/DC컨버터에서 발전되는 양의 균일한 분담을 위해서 전류제어형으로 구성하여야 한다. 이를 해결하기 위해서 그림 4와 같은 속응성이 뛰어난 피크전류 제어방식으로 전류를 제어하였다.

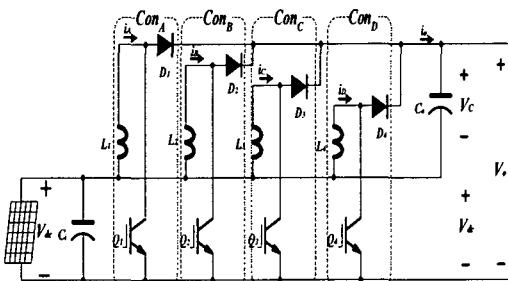
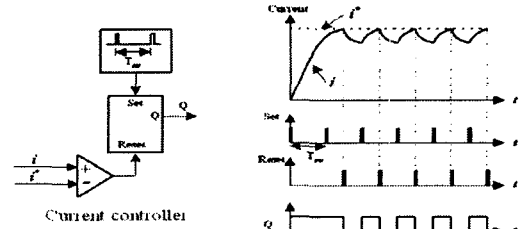


그림 4. 병렬구동 DC-DC컨버터에 의한 출력 및 효율 개선회로  
Fig. 4 Improvement circuit of the output and efficiently by the parallel DC-DC converters

그림 5의 전류제어기는 비교기와 플립플롭으로 구성되어 있다. 스위칭 주기마다 플립플롭의 셋 단자를 인에이블시켜 스위치를 온 하게 하여 실제전류는 증가하게 되고, 비교기에서 전

류 지령치와 실제전류를 비교하여 실제전류가 지령치 전류보다 크게 되면 리셋 단자를 인에이블시켜 스위치를 오프하여 전류는 감소하게 된다. 이러한 전류제어방식은 제어기의 속응성은 델타변조기법과 동일한 우수한 특성을 갖게 되고, 스위칭 주파수는 일정하게 할 수 있는 장점을 갖고 있다.



(a) Current controller (b) operation waveform  
그림 5. 전류제어기와 동작파형  
Fig. 5. Current controller and operation waveform

그림 4와 같은 4조로 구성된 병렬 컨버터에는 그림 5와 같은 전류제어기가 4조가 필요하게 된다. 이러한 병렬 구동 컨버터에서 등가스위칭 주파수를 증대시켜 출력전압의 리플을 개선하기 위해서는 컨버터의 상호 연관된 스위칭 기법이 필요하다. 등가 스위칭 주파수를 증대시키기 위해서는 각 컨버터의 스위칭 신호에 위상차가 필요하게 되며, 각 컨버터의 스위칭 함수의 위상차는 아래 식을 만족하여야한다.  $\phi = 2\pi/N$  (단,  $N =$  병렬컨버터 수) 그림 4의 병렬 컨버터 수가 4임으로 각 컨버터의 위상차는  $90^\circ$ 가 되어야하며, 등가 스위칭 주파수는 실제 스위칭 주파수의 4배가 된다.

그림 6은 등가 스위칭 주파수를 증대시키기 위해 제안된 스위칭 방식으로 제어할 경우 각 컨버터의 인덕터 전류와 출력측 콘덴서로 유입되는 전류를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 각 컨버터의 한 주기 인덕터 전류에 대하여 출력측 콘덴서로 유입되는 전류는 4주기가 나타난다. 따라서 등가 스위칭 주파수는 실제 스위칭 주파수의 4배가 된다.

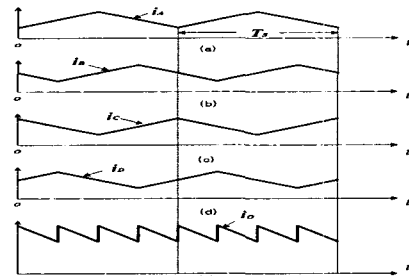


그림 6 제안된 컨버터의 주요 동작 파형  
Fig. 6 Waveforms of proposed current-source PWM converter

### 2.3 제어회로구성

태양광 발전용 DC/DC컨버터의 병렬운전 효과를 극대화하기 위해서는 각 컨버터간에 상호 연관된 스위칭 기법이 필요하다. 전류제어기는 DSP, 플립플롭 및 비교기로 구성되어 있다. DSP칩인 TMS320F2406은 자체에 2개의 타이머를 갖고 12개의 PWM단자로 구성되어 있다. 본 제어기에서는 타이머 1과 타이머 2의 값을  $90^\circ$  위상차를 갖는 값으로 초기화하여 사용하고, 각 타이머에서 발생하는 정 및 부의 PWM단자를 사용함으로써 위상차  $90^\circ$ 를 갖는 4개의 연속적인 펄스를 발생하게 하여 각 컨버터의 스위치를 온하게 하였으며, 각 컨버터의 전류를 피드백하여 지령전류와 비교하여 각 컨버터의 스위치를 오프하게 하였다. 이때 전류신호에는 스위칭 노이즈에 의한 오동작을 방지하기 위해서 저역통과 필터를 사용하였다.

그림 7은 태양광 발전용 DC/DC컨버터의 전체 제어 블록도를 나타내고 있다. 우선 DSP의 자체 12bit AD를 통하여 태양

전지의 전압, 출력전압 및 전류를 검출한다. 각 센서로부터 검출된 전압 전류로부터 태양전지의 동작전압을 제어하여 MPPT가 되도록 제어한다. 이때 태양전지의 전압제어 알고리즘은 P&O MPPT법을 사용하였다.<sup>[3(4)]</sup> P&O MPPT에서 발생한 전압을 제어하기 위한 전류 지령치는 비례적분 제어를 사용하여 전류 지령치를 발생하였다. 4조로 구성된 병렬 컨버터의 스위치의 온 신호는 90°위상차를 갖는 타이머 1과 타이머 2를 이용하여 PWM1, PWM2, PWM7, PWM8단자에서 발생하며, 오프 신호는 태양전지 단자전압의 지령치와 실제치에 의한 비례적분제어 값을 PWM3을 통하여 펄스폭으로 발생하고 이를 저역통과 필터를 통한 값과 각 컨버터의 전류를 피드백하여 지령전류의 비교에 의해 발생한다.

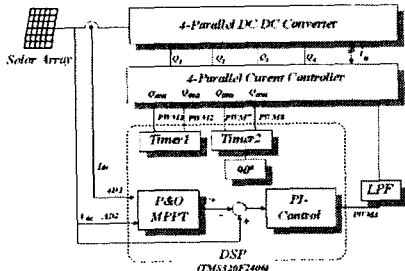


그림 7. 제어블록도  
Fig. 7. Control block diagram

### 3. 실험 결과

그림8은 제작된 컨버터의 사진을 나타내고 있다. 정격 용량이 400[W]인 컨버터 4조를 사용하여 병렬구동방식으로 구성하였으며, DSP(TMS320F2406)에서 모든 제어를 행하게 하였다.

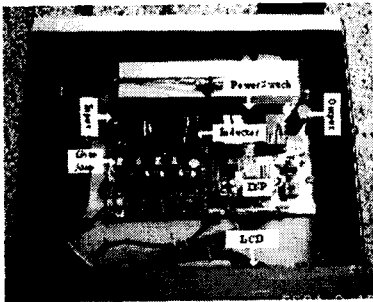


그림 8. 제작된 컨버터의 사진  
Fig. 8 The photograph of prototype converter

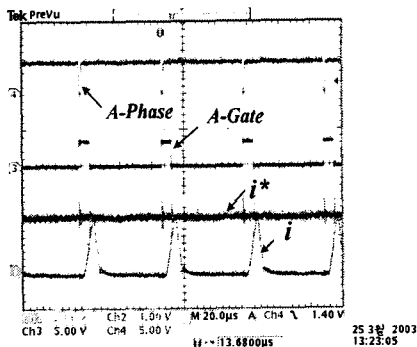


그림 9. 각 컨버터의 상신호 발생  
Fig. 9 Gate signal generation of the each converter

그림 9는 전류제어기의 특성을 관찰하기 위한 파형으로 스위치 온신호, 지령전류치, 스위치 Source단에 연결된 전류 검출 저항의 전압 및 A상 게이트 신호를 나타낸다. A상 게이트신호는 DSP에서 발생하는 스위칭 주파수에 해당하는 상 스위칭 신호에 의해 온 되며, 지령전류와 스위칭 소자의 전류의 비교에 의해 스위칭 소자의 전류가 지령전류와 같아지는 시점에 상 스위칭 신호를 오프하게 된다.

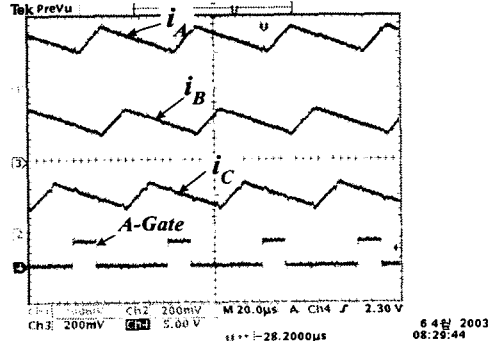


그림 10 각 컨버터의 상전류 전류  
Fig. 10 Phase current of each converter

그림 10은 A상 컨버터의 게이트 신호 및 A상, B상, C상 인덕터에 흐르는 전류파형을 나타내고 있다. 파형에서 일수 있듯이 각 전류파형은 전기적으로 90°를 유지하면서 형태를 취하고 있어 컨버터의 병렬 운전으로 인하여 컨버터 출력전류에는 스위칭 주파수 상승효과가 나타나며, 각 컨버터의 부하분담특성은 매우 우수하게 나타났다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전에 적합한 전력회로를 위해 입력 전압과 직렬형태를 취하여 출력전압을 형성할 수 있는 새로운 DC/DC 컨버터 제안하였으며, 컨버터의 출력증대 및 특성개선을 위해 DC/DC 컨버터의 병렬회로로 구성하였다. 또한 병렬 구동 컨버터에서 부하분담 특성을 우수하게 할 수 있는 스위칭기법을 제안하였다. 제안한 병렬형 컨버터를 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였고, 프로토타입으로 구성하여 시험한 결과 스위칭 주파수의 증대효과 및 부하분담 특성이 양호한 것으로 나타났다.

본 연구는 산업자원부 인프라구축지원사업을 통한 지원으로 연구되었음

### [참 고 문 헌]

- [1] Michihiko Nagao, and Koosuke Harada, "Power Flow of Photovoltaic System using Buck Boost PWM Power Inverter", IEEE/PEDS, pp.144-149, 1997.
- [2] Johanna M. A. Myrzik, "Novel Inverter Topologies for Single-Phase Stand-Alone or Grid Connected Photovoltaic Systems", IEEE PEDS, pp.103-108, 2001.
- [3] S. Nonaka, "A Novel Three-Phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Photovoltaic Power
- [4] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw Hill, Inc., 1991.