

# 태양광 벅 컨버터 전압 제어기 설계기법에 관한 연구

황규일, 김일송  
한국교통대학교

## Study on The Solar Buck Converter Voltage Controller Design Method

KYUIL HWANG, ILSONG KIM  
KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF TRANSPORTATION

### ABSTRACT

본 연구에서는 태양광 벅 컨버터 제어기에 P&O 알고리즘을 이용하면서 MPPT 알고리즘의 추적 속도를 올리기 위한 최적 태양전지 전압 제어기 설계방법에 대해 제안한다. 제안된 제어기에서는 외부 루프의 MPPT 제어기의 수행 속도를 얼마나 빠르게 하는지에 대한 이론적인 방법을 제시하고 업데이트 주기를 0.1[sec] 이하로 줄이는 것을 목표로 전압제어기는 오버슈트가 없고, 빠른 상승시간을 갖도록 설계하여 MPPT 제어기의 추적 속도를 향상시키는 제어기법을 제안하고, 설계된 제어기 이득을 PSIM 시뮬레이션을 통해 제어기 성능을 검증한다.

### 1. 서론

신재생에너지의 활발한 보급에 따라 현재 상용화된 태양광 발전시스템의 발전효율은 약 15-20% 정도로 다른 신재생에너지원의 발전효율에 비해 낮은 편이다. 따라서 태양전지 모듈에서 발전가능한 최대전력을 추출하는 기술 개발이 필수적이다.<sup>[1]</sup> 태양광 발전의 전력을 최대로 하기 위해 최대전력점추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어기법이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 P&O 알고리즘을 이용하면서 MPPT 알고리즘의 추적 속도를 올리기 위한 최적 태양전지 전압제어기  $G_{CV}(s)$ 를 설계하는 방법에 대해서 서술한다. 그림 1에서 제안하는 MPPT 시스템 구성을 보여준다. P&O MPPT 알고리즘에서 태양전지 기준 전압( $V_{sa\_ref}$ )을 일정 주기마다 변화시키면 전압제어기  $G_{CV}(s)$ 에서 태양전지 전압을 기준전압에 제어되도록 한다.

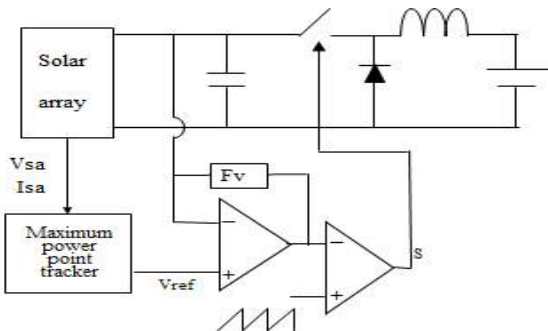


그림 1 Solar array P&O MPPT 제어블록도  
Fig. 1 Solar array P&O MPPT Control block diagram

### 2. P&O MPPT 제어 알고리즘

#### P&O 제어 알고리즘

P&O 기법은 태양전지 출력전압의 주기적인 증감률과 전류 주기에서 측정되는 전력의 증감률에 의해서 작동하는 방법이다. 전압이 한 방향으로 이동하고 그에 따라 전력이 증가하면, 제어 알고리즘은 그 방향으로 동작점을 이동시킨다. 반대로 전력이 감소하면, 동작점은 반대방향으로 이동한다. 즉, 한번 전압의 변화에 따른 방향이 결정되면 빠른 응답과 정상상태에서의 변동을 고려하여 설정된 일정한 비율로 동작점이 이동하게 된다. 알고리즘의 수학적 표현식은 식 (1)과 같다.

$$V_{ref}(k+1) = V_{ref}(k) \pm M \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (1)$$

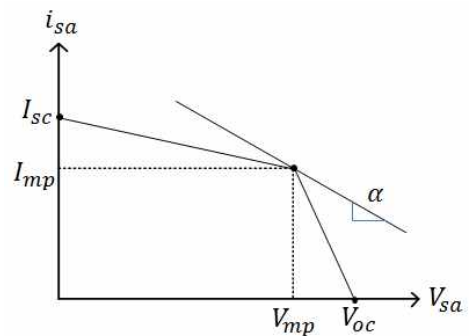


그림 2 태양전지 선형 모델  
Fig. 2 Solar array linear model

### 3. 태양전지 선형 모델

태양전지의 전류-전압 특성은 그림 2와 같이 비선형 특성을 보여준다. 따라서 태양전지가 컨버터나 인버터에 연결되어 동작하는 제어기를 설계하기 위해서는 그림 2과 같이 태양전지 특성 곡선을 최대전력점에서의 등가선형직선으로 근사화 과정이 필요하며, 태양전지의 선형화된 표현식은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$i_{sa} = -a \times V_{sa} + b \quad (2)$$

이때,  $a = \frac{I_{mp}}{V_{mp}}$  이고,  $b = 2I_{mp}$ 이다.

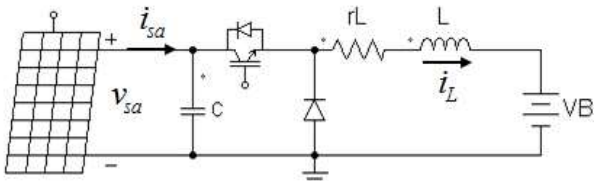


그림 3 태양전지 벅 컨버터 등가회로  
Fig. 3 Solar buck converter equivalent circuit

### 3.1 태양전지 벅 컨버터 모델링

태양 전지 벅 컨버터 등가회로는 그림 3에서 보는 바와 같이 태양전지와 벅 컨버터로 구성된다. 등가회로를 기반으로 상태 방정식은 ON Time과 OFF Time에서 상태방정식으로 상태공간평균화 모델은 식 (3)과 같이 정의한다.

$$\begin{pmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_{sa}}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{r_L}{L} & \frac{1}{L}d \\ -\frac{1}{C}d & -\frac{\alpha}{C} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_{sa} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{V_B}{L} \\ \frac{\beta}{C} \end{pmatrix} \quad (3)$$

이 식을 행렬형태로 표시하면 다음 식 (8)과 같이 비선형 방정식으로 표시되며

$$\dot{X} = A(d)X + B \quad (4)$$

이때, 선형모델링으로 변환하기 위한 정상상태값은 식 (9)이다.

$$\dot{X} = -A^{-1}(D)B \quad (5)$$

이때,  $U = -\frac{F}{B}$ 로 표현하면 다음 식 (10)과 같은 선형화된 방정식을 얻을 수 있다.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (6)$$

따라서 선형화된 상태 공간 표현식을 이용하여 다음과 같이 전달함수를 계산할 수 있다.

$$sX = AX + BU \Rightarrow X = (sI - A)^{-1}BU \quad (7)$$

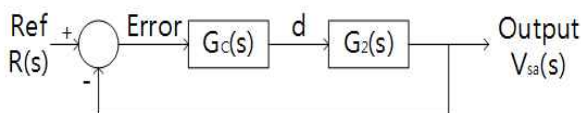


그림 4. 일반적 전압제어기 전달함수  
Fig. 4 Typical Voltage Controller Transfer function

폐 루프 전달함수는  $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_C(s)G_2(s)}{1 + G_C(s)G_2(s)}$ 로 주어진다.

그러나 태양전지 부스트 컨버터 시스템에서는  $G_2(s)$ 가 (-)값이기 때문에 일반적 피드백 제어시스템과 동일한 폐 루프 전달함수를 갖기 위해서는 순방향 경로에 -1을 곱해 주어야 한다. 이것은 제어기 함수  $G_C(s)$  출력에 -1을 곱해주거나 아니면 그림 8과 같이 Error의 부호를 바꾸어 주면 된다. 제안된 전압 제어기 구성은 그림 5와 같다. 폐 루프 전달함수를 계산해보면

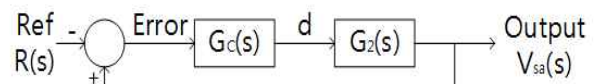


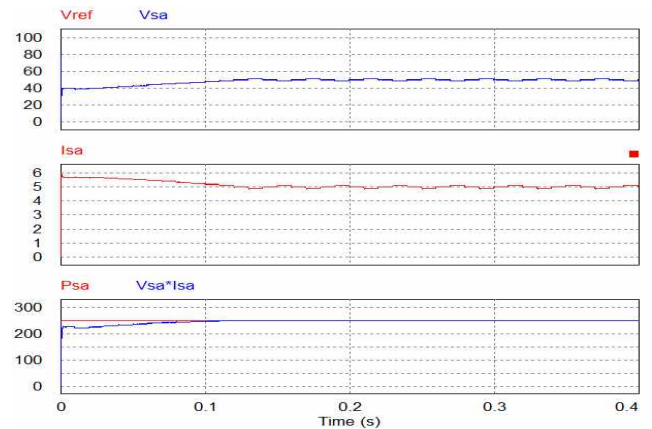
그림 5. 제안된 태양전지 전압제어기 전달함수  
Fig. 5 Solar Array Voltage Controller Transfer function

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{-G_C(s)G_2(s)}{1 - G_C(s)G_2(s)}$$

로  $G_2(s)$ 가 (-)부호인 점을 고려하면 기존의 폐 루프 전달함수와 동일한 값을 얻을 수 있기 때문에 태양전지 전압제어기로 그림 5의 구성을 사용한다.

## 4. 시뮬레이션

제안된 P&O MPPT 알고리즘을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션하였다. 태양광 벅 컨버터의 L은 1mH이며, C는 100uF로 사용하였고, 스위칭 주파수는 10kHz로 설정하였다.



## 5. 결론

본 연구에서는 빠른 업데이트 속도를 갖는 P&O MPPT 제어기를 통해 보다 MPPT 제어기의 추적 속도를 향상시키는 제어기법을 제안하고, 설계된 제어기 이득을 PSIM 시뮬레이션을 통해 제어기 성능을 PSIM을 통해 확인하였다. 추후 다양한 DC-DC 컨버터를 이용한 보다 효율적인 MPPT 제어기법에 대해서도 연구하고자 한다.

이 논문은 2019 한국교통대학교 연구비 지원과 2019 한국연구재단 기초연구과제 지원으로 작성되었습니다..(2019014457)

## 참고 문헌

- [1] 최영식, 김은경, 정진우, "태양광 발전시스템의 MPPT 제어기법", 전력전자학회지, 제18권, 제1호, 2013.02, 29-36 (8 pages)