

# 태양광 어레이의 출력 특성을 이용한 개선된 전역 최대 전력 점 추종 기법

유규현, 이우철  
한경대학교

## Improved Global Maximum Power Point Tracking Technique Using Output Characteristics of Solar Array

Kyu-Hyeon Yoo, Woo-Cheol Lee  
Hankyung National Univ

### ABSTRACT

태양광 어레이는 일사량과 온도에 의해 출력 특성이 변화하여 전역 최대 전력 점 추종 기법(GMPPT, Global Maximum Power Point Tracking)을 필요로 한다. 기존의 P&O, IncCond 등의 알고리즘은 음영이 발생한 태양광 어레이에서 전역 최대 전력 점을 추종하지 못한다. 본 논문에서는 태양광 어레이의 전압, 전류와 전력의 상관관계를 이용하여 전역 최대 전력점을 추종하는 기법을 제안한다. 제안된 제어기법은 3kW 태양광 인버터 시스템을 구성하여 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

태양광 발전은 태양광 모듈의 가격이 지속해서 저렴해짐에 따라 발전단가가 낮아져 가장 경쟁력 있는 신재생에너지 발전으로 자리 잡고 있다. 태양광 발전 시스템은 어레이로 구성되어 사용량에서 대용량까지 원하는 용량을 쉽게 맞출 수 있고 발전 설비를 구성하는 데 큰 어려움이 없어 신재생 에너지원의 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1-2]</sup>

태양광 모듈은 일사량에 따라 출력 가능한 전력이 변화하는 특성을 가지는데, 어레이로 구성된 환경에서 부분적으로 음영이 발생하면 음영 상태에 따라 다수의 국부 최대전력 점(LMPP : local maximum power point)이 생성될 수 있다.<sup>[3-4]</sup> 이와 같은 환경에서 기존의 MPPT 기법으로 많이 사용되는 P&O 및 IncCond 알고리즘은 태양광 어레이의 전역 최대전력점(GMPP : global maximum power point)을 정확하게 추종하지 못하는 단점을 가지고 있어 최근에는 GMPP를 추종할 수 있는 MPPT기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>[5-7]</sup>

본 논문에서는 태양광 어레이에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 GMPP를 추종하기 위해 넓은 전압 탐색 범위를 가질 수밖에 없는 GMPPT 기법을 태양광 어레이의 출력 특성을 이용하여 효과적으로 탐색 범위를 줄여 빠르게 추종할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 알고리즘에 대한 검증을 위해 3kW 태양광 인버터 시스템을 구성하여 PSIM을 통한 시뮬레이션을 통해 검증하였다.<sup>[1]</sup>

### 2. 본 론

#### 2.1 태양광 어레이 출력 특성

태양광 모듈의 출력 특성은 일사량과 온도의 영향을 받는데, 일사량이 증가하게 되면 태양광 모듈의 단락 전류( $I_{sc\_mod}$ )가 증가하고 개방전압( $V_{oc\_mod}$ )이 소폭 상승하게 된다. 온도가 상승할 때는  $V_{oc\_mod}$ 이 감소하게 되는 특징을 가지고 있다. 이러한 태양광 모듈은 모듈 개방전압의 80% 부근에서 최대전력 점( $V_m$ )이 발견된다. 태양광 어레이는 태양광 모듈을 직·병렬로 연결하여 구성되므로 모듈이 가지고 있는 특성이 어레이에서도 그대로 적용이 된다.  $N \times n$ 의 직·병렬로 구성된 어레이가 가지는 출력전압 및 전류 및 최대전력 점 전압의 특성은 다음과 같다.

$$V_{oc\_arr} = N * V_{oc\_mod} \tag{1}$$

$$I_{sc\_arr} = n * I_{sc\_mod} \tag{2}$$

$$V_m \approx 0.8 * V_{oc\_arr} \tag{3}$$

그림 1은 3 X 2 로 구성된 태양광 어레이의 전압-전류, 전압-전력 특성곡선을 나타낸다.

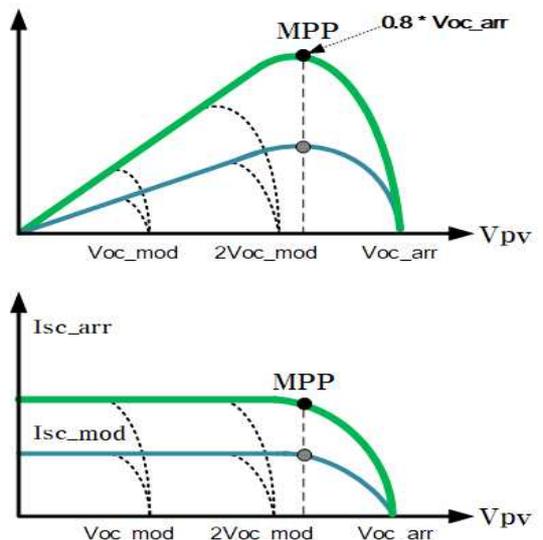


그림 1 PV 어레이 출력 특성 파형  
Fig. 1 PV array output waveform

그림 2는 부분 음영이 발생했을 때의 전압-전류, 전압-전력 특성곡선을 나타내며, GMPP는 음영이 발생하지 않은 2개 모듈 전압 구간의 80%에 있음을 알 수 있다.

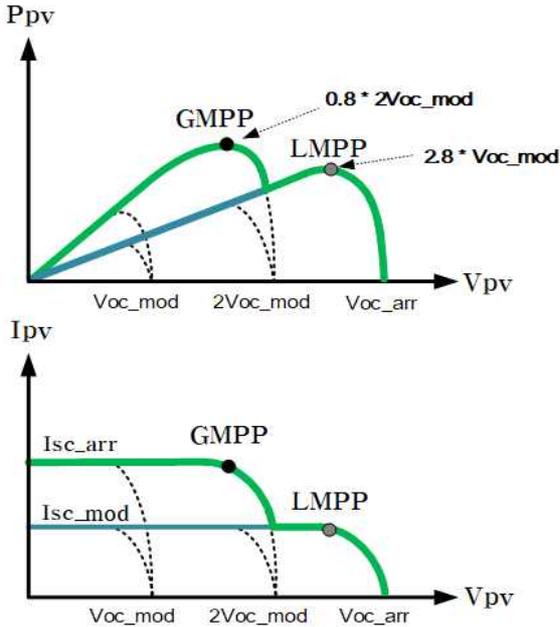


그림 2 부분음영 시 PV 어레이 출력 특성 파형  
Fig. 2 PV array output waveform in Partially Shaded State

## 2.2 제안된 MPPT 제어기법

3 X 2로 구성된 태양광 어레이는 Voc\_arr부터 탐색을 시작할 때 음영이 없는 경우 Voc\_arr의 80% 부근, 부분 음영 시에는 Voc\_arr부터 2Voc\_mod 사이 전압 구간의 80%에서 MPP가 발견되기 때문에 처음 찾은 MPP의 전압만으로 어레이의 부분 음영 여부를 알 수 있고, 이를 통해 전압 탐색 구간을 상당 부분 줄일 수 있다.

첫 MPP점의 전압이 Voc\_arr부터 2Voc\_mod 사이 전압 구간의 80% 부근에서 나타나 부분 음영으로 판독되면 바로 전압 지령치를 1.8Voc\_mod 부근으로 낮추어 탐색을 시작한다. 2Voc\_mod의 80%부근인 1.6Voc\_mod로 하지 않는 이유는 2Voc\_mod와 Voc\_mod 구간에도 부분 음영이 있으면 MPP점은 1.8Voc\_mod 부근에 존재하기 때문이다.

탐색한 2번째 MPP가 1.6Voc\_mod 부근이면 MPP가 아래 전압 구간에는 없다는 것을 알기 때문에 첫 MPP점과 비교하여 전력이 더 높은 전압으로 바로 동작하고, 1.8Voc\_mod 부근에서 발견되면 전압지령치를 0.8Voc\_mod 부근으로 낮추어 탐색 후 마지막 MPP 발견 즉시 모든 MPP의 전력을 비교하여 가장 높은 점으로 동작한다.

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션 회로도

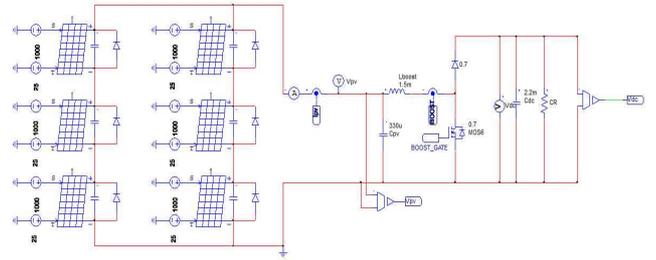


그림 3 PV 어레이 시뮬레이션 회로  
Fig. 3 PV array simulation circuit

시뮬레이션은 PSIM을 사용하였고 그림 3과 같이 태양광 모듈을 3 X 2로 어레이를 구성하였고 GMPP제어를 위한 Boost 컨버터로 구성되었으며, 시뮬레이션 파라미터값은 표 1과 같다

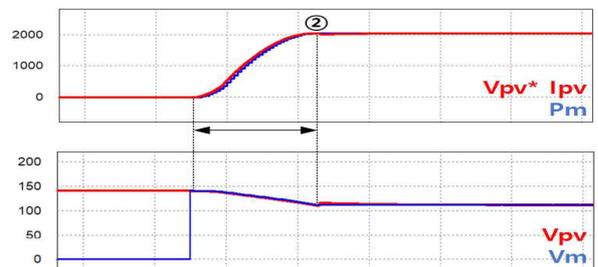
Parameter	Value
PV_Array Open-Circuit Voltage ( $V_{oc\_arr}$ )	141.2 V
PV_Module Open-Circuit Voltage ( $V_{oc\_mod}$ )	47.1 V
PV_Array Short-Circuit Current ( $I_{sc\_arr}$ )	19.2 A
PV_Module Short-Circuit Current ( $I_{sc\_mod}$ )	9.6 A
Switching Frequency, $F_{sw}$	10 kHz
Input Capacitance, $C_{pv}$	330 $\mu$ F
Output Capacitance, $C_{dc}$	2,200 $\mu$ F
Inductance, $L$	1.5 mH
Resistance, R	150 $\Omega$

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 The simulation parameter

### 3.2 시뮬레이션 결과

그림 4는 제안된 MPPT 기법을 통하여 각각의 태양광 어레이 음영 조건에 따른 시뮬레이션 파형을 나타내고 있다. (a)는 무음영 조건, (b)는 하나의 음영, (c), (d), (e)는 각각 GMPP가 낮은 전압, 중간 전압, 높은 전압에서 존재하는 부분 음영 상태의 파형이다.

파형 속 ①은 다음 모듈 개방전압의 80%로의 전압 지령치 스텝을 나타내며, ②는 Vm의 전압이 어레이 개방전압의 80% 부근임을 판정, 그를 통한 MPP가 더 없음을 인지하고 추적 종료, ③은 MPP가 존재 가능한 영역의 탐색이 끝났으므로 Vm으로 전압 지령 및 추적 종료, 화살표로 표시된 구간은 전압 탐색 구간임을 의미 한다.



(a)

#### 4. 결론

본 논문에서는 태양광 어레이의 전압, 전류와 전력의 상관관계를 분석하고, 무 음영 및 부분 음영 환경과 관계없이 탐색 범위를 효율적으로 줄여 추적 시간을 단축할 수 있는 MPPT 기법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. LMPP의 존재 여부 판단 및 MPP의 전압 부근 판단에 대한 알고리즘이 간단하고 추가적인 회로 구성이 필요하지 않은 장점이 있어 실제 태양광 인버터에 적용 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 중소기업벤처부의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음.  
[S2653189, 전역 최대전력점 추적기능을 갖는 5kW급 가정용 ESS 개발]

#### 참고 문헌

- [1] Yong Tian, Bizhong Xia, Zhihui Xu, and Wei Sun, "Modified asymmetrical variable step size incremental conductance maximum power point tracking method for photovoltaic systems.", *Journal of Power Electronics*, vol. 14, No. 1, pp.156-164, January 2014.
- [2] Mutlu Boztepe, Francesc Guinjoan, Guillermo Velasco-Quesada, Santiago Silvestre, Aissa Chouder, and Engin Karatepe, "Global MPPT scheme for photovoltaic string inverters based on restricted voltage window search algorithm." *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 61, No. 7, pp.3302-3312, July 2014.
- [3] N. Femia, D. Granozio, G. Petrone, and M. Vitelli, "Predictive & adaptive MPPT perturb and observe method," *IEEE Trans. on Aerosp. and Electron. Systems*, vol. 43, No. 3, pp. 935-950, July 2007.
- [4] J. Y. Shi, W. Zhang, Y. G. Zhang, F. Xue, and T. Yang, "MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 123, pp. 100-107, Jun 2015.
- [5] K. Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, "A study of a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," *Solar energy materials and solar cells*, vol. 90, No. 18, pp. 2975-2988, November 2006.
- [6] W. Xiao and W. G. Dunford, "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems," *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, vol. 3, pp.1957-1963, Jun 2004.
- [7] Koutroulis, Eftichios, and Frede Blaabjerg. "A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions." *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol.2, No.2, pp.184-190, February 2012.

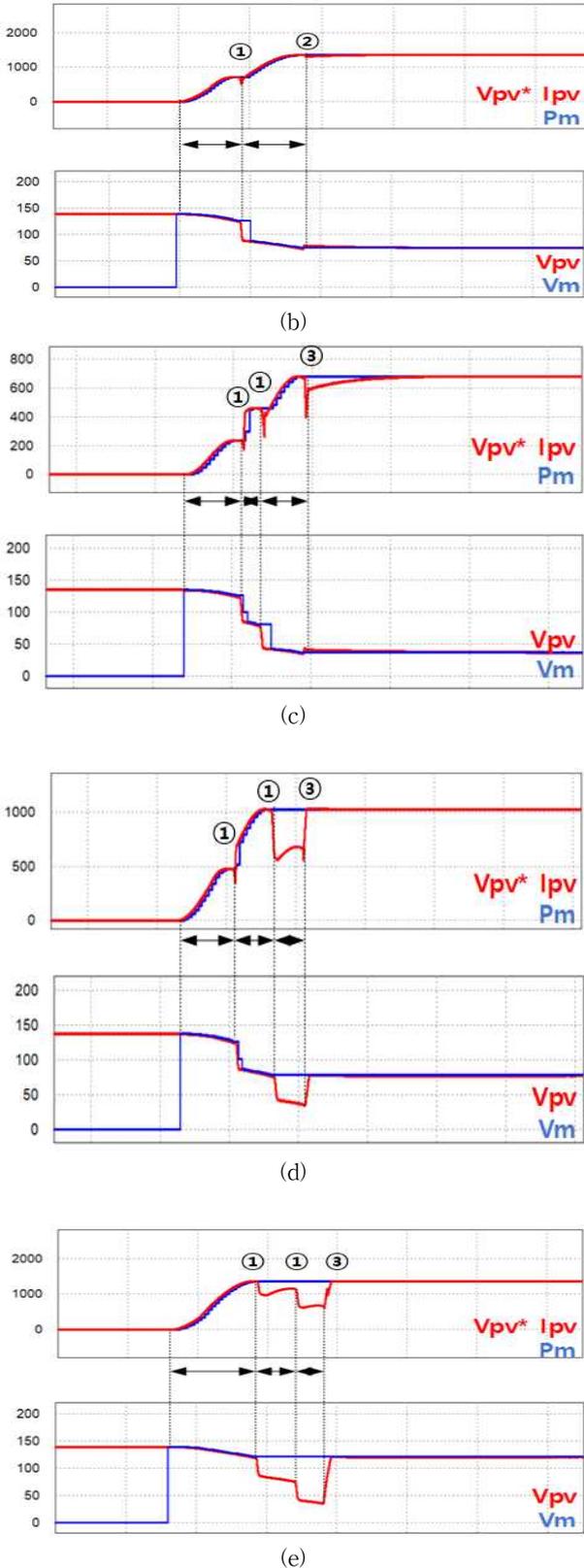


그림 4 제안된 MPPT 동작 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulation results of the proposed MPPT operation. (a) no shade (b) one partial shade, GMPP at (c) Low voltage, (d) middle voltage and (e) high voltage.