

태양광 모듈 온도 영향에 따른 개방전압 추종을 위한 PV 시스템의 최대 전력 점 추종 기법

서정민 이우철

한경대학교 전기전자제어공학과

Maximum Power Point Tracking Technique of PV System for the Tracking of Open Voltage according to Solar Module of Temperature Influence

Jung-Min Seo, Woo-Cheol Lee

Hankyung National Univ

ABSTRACT

태양광 모듈은 일사량과 온도에 의해 P-V 및 I-V의 특성이 변하여 최대 전력 점 추종 기법(MPPT, Maximum Power Point Tracking)이 필요하다. 기존의 기법들의 경우 모듈의 온도로 인해 개방전압이 변하거나 음영이 발생하면 태양광 모듈의 최대 전력 점을 추종하지 못한다. 본 논문에서는 태양광 패널에서의 P-V 및 I-V의 상관관계와 온도 변화에 대한 태양광 모듈의 최대 전력 점을 추종하는 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 제어기법은 3kW 태양광 인버터 시스템을 구성하여 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 주된 에너지원인 화석연료의 고갈로 인해 신·재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있으며 그중 태양광 발전 시스템은 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 방식으로 2차 공해가 없고 실용적이며 경제적이다. 또한, 태양광 모듈을 어레이로 구성하여 추가 설치가 가능하여 필요한 용량에 따라 편리하게 태양광 발전 시스템을 구성하는데 편리하다. [1]

태양광 모듈은 일사량과 온도에 따라 출력 가능한 전력이 변화하는 특성을 가진다. 또한, 어레이로 구성된 모듈에 발생한 음영 상태에 따라 다수의 국부 최대 전력 점(LMPP : Local Maximum Power Point)이 발생 될 수 있다. 이런 태양광 발전 시스템의 전체적인 효율을 높이기 위해서는 최대 전력 점인 전역 최대 전력 점(GMPP : Global Maximum Power Point)을 추종할 수 있는 MPPT기법이 필요하다. [2-3]

MPPT 동작 이후 모듈의 온도가 올라가는 경우 개방전압이 달라져 GMPP가 변동이 된다. 그러면 발전 시스템의 효율을 위해 다시 MPPT 동작이 필요하게 되는데 기존의 개방전압의 80% 부근을 찾는다. 하지만 온도의 변화로 개방전압이 바뀌었기 때문에 기존의 개방전압을 최신화할 필요가 있다. 개방전압을 최신화하기 위해 발전 시스템을 다시 동작하면 오랜 시간이 걸리므로 변동된 개방전압을 온도계수를 이용하여 찾고 MPPT를 하면 시간을 단축할 수 있다. [4]

본 논문에서는 태양광 모듈에 발생한 온도 변화에 따른 개방전압 추종을 통하여 효과적으로 GMPP 추종을 하며 탐색 범위를 줄여 빠르게 추종 할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 검증 을 위해 그림 1과 같은 3kW급 태양광 인버터 시스템을 구성하여 PSIM을 통한 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

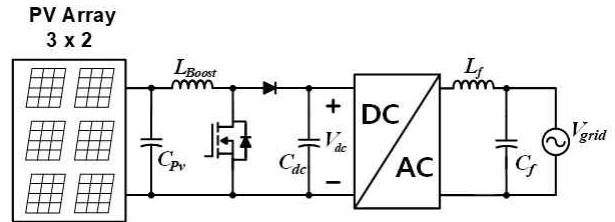


그림 1 단상 태양광 발전 시스템.

Fig. 1 Single Phase Solar Power system

2. 온도 영향에 따른 개방전압 추종을 위한 최대 전력 점 추종 기법

2.1 태양광 모듈 출력 특성

태양광 모듈은 일사량과 온도에 영향을 받는데, 일사량이 증가함에 따라 모듈의 개방전압($V_{oc,mod}$)은 미세하게 상승하고 단락 전류($I_{sc,mod}$)는 증가한다. 온도의 변화가 생겨 기존보다 높아지면 개방전압은 일사량의 변화에 따른 개방전압 변화와는 다르게 큰 폭으로 감소하고 단락전류는 미세하게 증가한다. 온도 영향에 의한 개방전압의 변화는 온도계수($\beta v \%/^{\circ}C$)를 이용하여 $25^{\circ}C$ 를 기준으로 바뀐 개방전압($V_{oc,tem}$)을 수식 (4)를 통해 계산해낼 수 있다. 이러한 태양광 모듈의 전기적 특성으로 모듈의 최대 전력 점은 일사량과 온도에 따라 계속해서 변하는 특성을 가진다.

태양광 모듈을 $N \times n$ 의 직·병렬로 연결하여 어레이로 구성하고 어레이의 개방전압과 단락전류는 모듈의 특성을 적용할 수 있다. 태양광 모듈의 최대 전력 점이 존재하는 전압(V_{mpp})은 개방전압의 80% 부근에서 존재한다. 어레이로 구성된 출력전압과 단락전류, 온도계수를 이용한 개방전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{oc,arr} = N * V_{oc,mod} \tag{1}$$

$$I_{sc,arr} = n * I_{sc,mod} \tag{2}$$

$$V_{mpp} \approx 0.8 * V_{oc,mod} \tag{3}$$

$$V_{oc,tem} = (1 + (\beta v / 100)(T_{em} - 25)) * V_{oc,mod} * N \tag{4}$$

다음 그림 2는 3x2 태양광 모듈의 P-V, I-V 특성곡선이며 그림 3은 온도에 따른 P-V, I-V 특성곡선 그림이다.

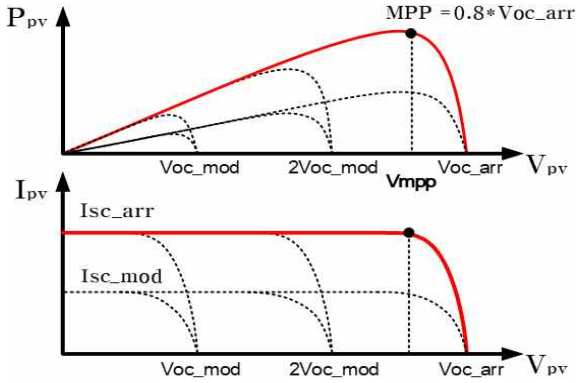


그림 2 3 x 2 태양광 모듈 어레이 P-V, I-V 특성곡선
Fig. 2 P-I, I-V characteristic curves of the 3 x 2 solar module

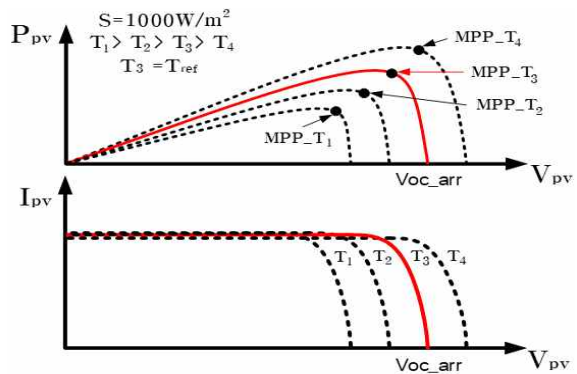


그림 3 온도에 따른 태양광 모듈 P-V, I-V 특성곡선
Fig. 3 PV module P-V, I-V characteristic curve according to temperature

2.2 제안한 MPPT 제어 기법

태양광 모듈을 직·병렬로 연결하여 어레이로 구성하면 다수의 국부 최대 전력 점 LMPP가 발생한다. 이 중 최대 전력 점인 전역 최대 전력 점 GMPP를 찾기 위해 MPPT 기법이 필요하다. MPPT 동작 이후 개방전압의 80% 부근에 있는 MPP 점을 찾기 위해 개방전압의 85%에서부터 찾아가며 미리 정한 ΔV 만큼 V_{pv_ref} 를 낮춰 가면서 찾는다. 이때 이전 전력을 비교해 가며 큰 전력 값을 P_{mpp} 를 갱신하고 이때의 전압 V_{mpp} 를 갱신한다. 만약 어레이에 음영이 발생하지 않는 경우 가장 높은 P_{mpp} 의 V_{mpp} 에서 동작을 멈추고 전력변동의 10%가 발생하기 전까지 동작을 멈춘다.

이전에 MPPT를 정상 동작 후 온도 변화가 발생하면 개방전압의 변동으로 기존의 개방전압의 80% 부근에 MPP점이 존재하지 않는다. 이러면 다시 MPPT를 진행해도 개방전압이 바뀌어 제대로 된 MPPT 동작이 이루어지지 않는다. 그래서 식 (4)를 이용하여 온도가 바뀌어도 기존의 개방전압을 새로 계산하여 MPPT 동작하여야 한다.

먼저 온도 변화가 발생하여 개방전압이 바뀌면 새로 계산한 개방전압을 이용하여 V_{oc_mod} 를 계산한다. 그 후 기존에 있던 V_{mpp} 와 P_{mpp} 다시 찾기 위해 초기화한다. 다음으로 기준이 되는 온도 25°C보다 낮으면 MPP점이 기존 MPP점 보다 높은 전압에 있어 기존에 찾은 V_{mpp} 점에서 개방전압의 증가량만큼 지령치를 더 주고 MPPT를 동작한다. 만약 온도가 25°C보다 높

으면 MPP점은 기존 MPP점 보다 낮은 전압에 있어 기존의 V_{mpp} 점에서 일정하게 전압을 낮춰 가면서 P_{mpp} 새로 갱신될 때까지 MPPT 동작을 진행하고 MPP점을 찾으면 MPPT 동작을 멈추고 다음 온도 변화나 일사량 변동으로 인한 전력변동이 발생할 때까지 MPPT 동작을 정지한다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 회로도

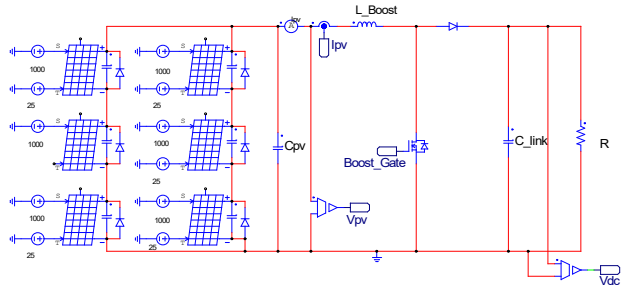


그림 4 태양광 어레이 시뮬레이션 회로
Fig. 4 Solar array simulation circuit

제안한 알고리즘을 확인하기 위하여 그림 4와 같이 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 시행하였다. 태양광 모듈을 어레이로 구성하기 위해서 3 x 2로 구성하였으며 MPPT 제어를 위해 Boost Converter를 연결하고 조건으로는 표 1과 같이 선정하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Table 1 The simulation parameter

Parameter	Value
Solar_Module Open-Circuit Voltage (V_{oc_mod})	119.9 V
Solar_Array Open-Circuit Voltage (V_{oc_arr})	359.7 V
Solar_Module Short-Circuit Current (I_{sc_mod})	4.1 A
Solar_Array Short-Circuit Current (I_{sc_arr})	8.2 A
Temperature	0°C~50°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.3%/°C

3.2 시뮬레이션 결과

그림 5와 그림 6은 제안된 MPPT 기법으로 GMPP 점을 찾는 시뮬레이션 파형이다. 먼저 그림 5의 (a)는 무응답 상태에서 온도 변화로 개방전압의 갱신이 없어 MPPT 동작이 제대로 이루어지지 않는다. (b)는 온도가 50°C로 상승 후 제안한 MPPT 기법으로 인해 MPP 점을 찾은 경우이며 (c)는 온도가 0°C에서 찾은 경우이다. 그림 6은 GMPP 점이 중간에 있는 경우에서 (a)는 온도가 50°C에서 동작, (b)는 0°C에서 동작하는 경우이다.

그림 5의 (b)에서 ①은 온도의 변화를 인식하고 기존의 MPP 점을 다시 찾기 위한 과정이고, ③에서 기준 온도보다 높은 온도를 인식하여 기존의 V_{mpp} 점에서 조금씩 지령치를 낮춰서 P_{mpp} 를 갱신한다. 그리고 MPP점을 찾은 후 동작을 멈춘다. ② 동작은 기준 온도보다 낮은 온도를 인식한 것으로 기존의 MPP점에서 개방전압의 증가량만큼 가중치를 주고 MPPT 동작한다.

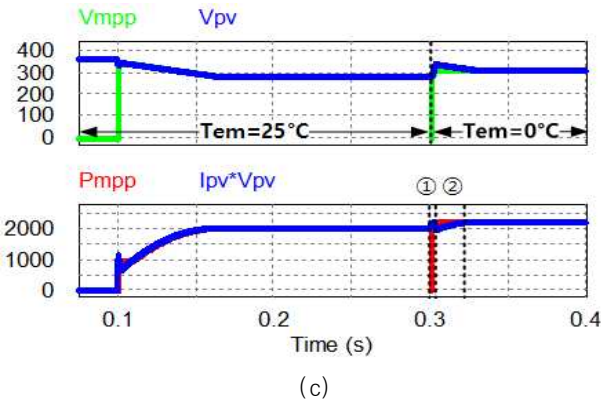
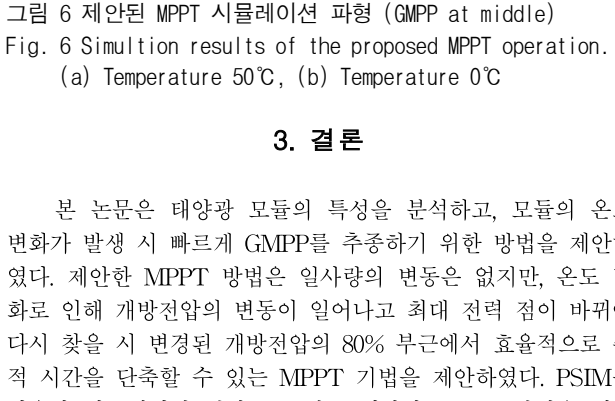
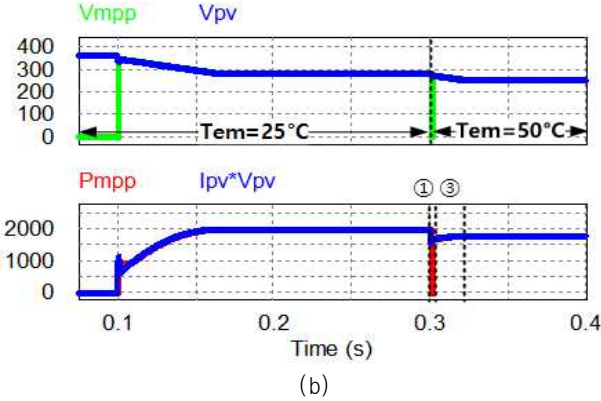
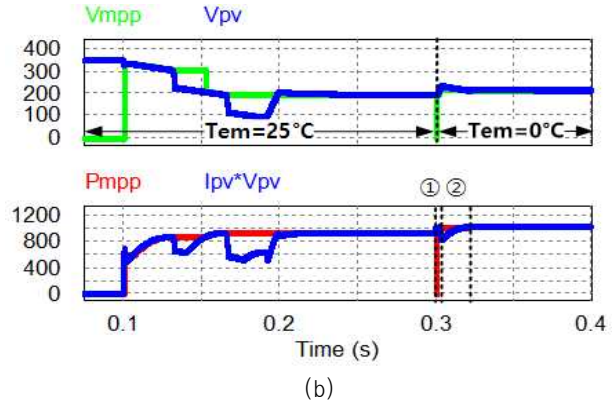
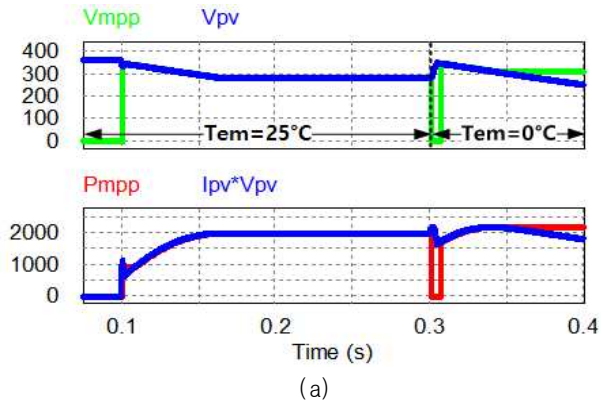


그림 5 제안된 MPPT 동작 시뮬레이션 파형 (무응영)
 Fig. 5 Simulation results of the proposed MPPT operation.
 (a) MPPT Operation failure, (b) Temperature 50°C, (c) Temperature 0°C

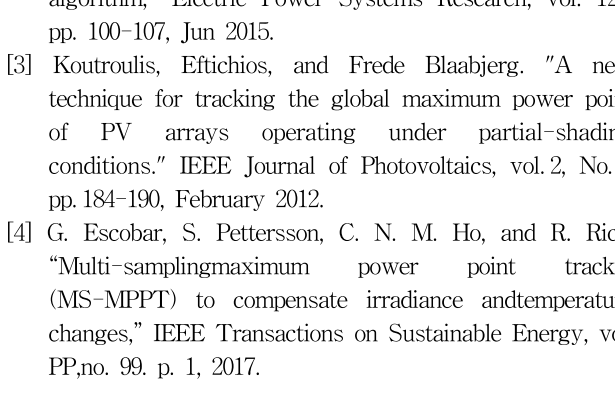
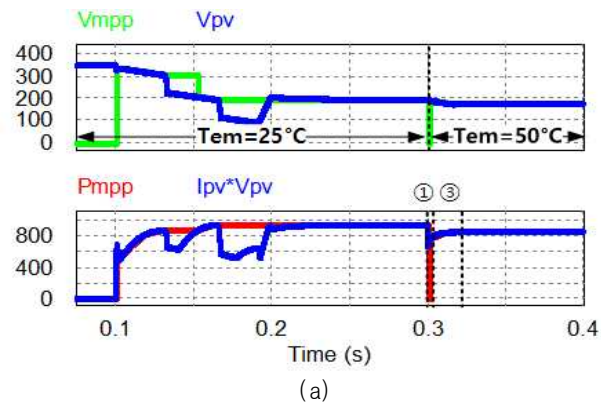


그림 6 제안된 MPPT 시뮬레이션 파형 (GMPP at middle)
 Fig. 6 Simulation results of the proposed MPPT operation.
 (a) Temperature 50°C, (b) Temperature 0°C

3. 결론

본 논문은 태양광 모듈의 특성을 분석하고, 모듈의 온도 변화가 발생 시 빠르게 GMPP를 추종하기 위한 방법을 제안하였다. 제한한 MPPT 방법은 일사량의 변동은 없지만, 온도 변화로 인해 개방전압의 변동이 일어나고 최대 전력 점이 바뀌어 다시 찾을 시 변경된 개방전압의 80% 부근에서 효율적으로 추적 시간을 단축할 수 있는 MPPT 기법을 제안하였다. PSIM을 이용한 시뮬레이션 결과를 토대로 제안한 MPPT 방법은 태양광 시스템에 적합할 것으로 기대된다.

본 연구는 한국전력공사의 2020년 선정 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호: R20X002-37)

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] G. Escobar, S. Pettersson, C. N. M. Ho, and R. Rico, "Multi-sampling maximum power point tracker (MS-MPPT) to compensate irradiance and temperature changes," IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. PP, no. 99, p. 1, 2017.