

태양전지 어레이 음영 변화에 따른 손실 보상을 위한 최대전력점 추종 기법

(Real Maximum power point tracking for loss compensation of PV array under partially shaded condition)

정훈영* · 지용혁 · 정두용 · 이수원 · 원중연

(Hoon-young Jung · Young-hyok Ji · Doo-yong Jung · Su-Won Lee · Chung-Yuen Won)

성균관대학교 정보통신공학부

Abstract

Under partial shading condition, the multiple local maxima can be existed on the output characteristics of PV array. In case of the conventional MPPTs (i.e. P&O or IncCond), the failure of maximum power point tracking could be occurred under partial shading condition(PSC). The problems are deduced by the analysis of conventional MPPTs. In this paper, a real maximum power point tracking for PV array under partially shaded condition is proposed. And proposed MPPT is analyzed by case study. It is confirmed by simulation results that the proposed MPPT can track the real MPP under partial shading condition.

1. 서론

산업의 발달에 따라 온난화 및 에너지 소비가 급증하고 있다. 그에 따라 화석연료의 매장량의 한계가 대두되면서 이를 대체할 신재생에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중 태양광 발전 시스템은 햇빛을 이용하여 광기전력을 발생시켜, 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 방식으로 햇빛이 비치는 곳에는 어디서나 전기를 얻을 수 있으며, 다른 발전방식과는 달리 대기오염뿐만 아니라 소음, 발열, 진동 등의 공해가 전혀 없는 청정에너지원으로 각광 받고 있다. 태양전지의 출력은 주위 환경에 의해 그 출력이 비선형적으로 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 태양광 발전 시스템에서 최대전력점 제어(MPPT)는 필수적인 기술이다. MPPT 기법 중 P&O 및 IncCond 기법은 태양전지 어레이 전체에 동일한 일사량이 조사되는 경우에 99% 이상의 높은 MPPT 효율을 보인다[1]. 하지만 태양전지 어레이에 부분적으로 그늘이 드리운 경우(PSC : Partial Shading Condition), 실제 최대전력점을 추종하지 못한다는 단점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 부분음영 발생 시 나타나는 태양전지 발전 손실을 보상하는 RMPT (Real Maximum Point Tracking) 기법을 제안한다.

2. 부분음영 발생 시 기존 MPPT의 동작

태양전지 어레이에 부분적으로 음영이 발생하면 P-V

특성곡선에 국부적으로 다수의 최대전력점(Multiple local maxima)이 발생하게 된다. 이들 중 실제 최대 전력을 발생할 수 있는 점을 실 최대전력점(Real MPP)라고 하고, 나머지 최대전력점은 국부적 최대전력점(Local MPP)라고 한다. 아래 그림 1은 부분음영 발생 시 어레이의 P-V 특성 곡선을 나타낸다.

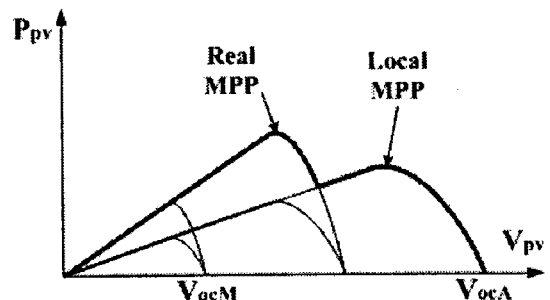


그림 1. 부분음영 발생 시 어레이의 P-V 출력특성
Fig. 1. P-V characteristics under PSC

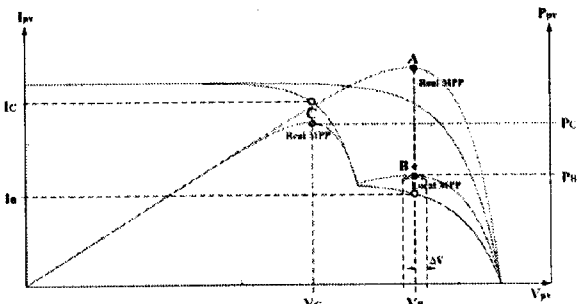


그림 2. 기존 MPPT의 실 최대전력점 추종 실패
Fig. 2. MPPT failure in conventional MPPTs

MPPT 알고리즘 중, P&O 방식[2]과 IncCond 방식[3]이 가장 많이 사용되고 있으나, 이 MPPT 기법은 태양전지 어레이에 부분적으로 음영이 발생하는 경우, 그림 2와 같이 실제 최대전력점 추종 실패가 발생하게 된다.

3. 부분 음영을 고려한 기존의 MPPT

본 논문에서는 부분 음영에 대한 영향을 고려한 MPPT중 하나인 Two-Stage MPPT를 분석함으로써 문제점을 도출하고자 한다. 이 방식은 그림 3과 같이 시스템에 추가적으로 회로를 추가하고 정전압 제어기법과 IncCond 방식을 결합하여 부분 음영 발생 시 다수의 국부적 최대전력점이 발생한 경우에도 이를 추종할 수 있도록 한 제어 기법이다[4].

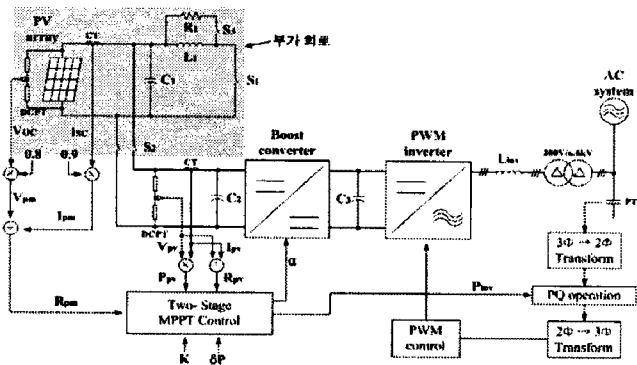


그림 3. Two-Stage MPPT의 시스템 구성
Fig. 3. System configuration for Two-Stage MPPT

이 방식은 그 이름에서도 알 수 있듯이 크게 두 단계(Stage)로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 우선적으로 정전압 제어를 하여 실 최대전력점(Real MPP) 부근으로 동작점을 이동시킨다. 첫 번째 단계의 목표는 동작점을 R_{pm} 상의 어떤 동작점으로 위치시키는 것이며, 이는 식 (1)이 만족 될 때까지 계속된다.

$$R_{pm} \geq R_{pv} \left(= \frac{V_{pv}}{I_{pv}} \right) \quad (1)$$

식 (1)의 V_{pv} 와 I_{pv} 는 각각 현재 태양전지 어레이의 출력 전압 및 전류를 나타낸다. 따라서 첫 번째 단계의 최종 동작점은 그림 4의 C점에 위치하게 된다.

두 번째 단계에서는 IncCond MPPT를 수행하며, 그림에서 동작점은 D로 이동한다. 그림 5에 부분 음영이 존재하지 않을 경우(case 1)와, 부분 음영에 의해 최대 전력점이 우측에 위치한 경우(case 2), 그리고 최대전력점이 좌측에 위치한 경우(case 3)에 대한 Two-Stage MPPT의 동작특성을 나타내었다. 그림 5에서 확인할 수 있는 바와 같이 부분 음영에 의해 여러 개의 국부적

최대전력점이 존재하는 경우에도 첫 번째 단계의 제어(First step control)에서 실 최대전력점 부근으로 동작점을 이동시키게 되므로, 두 번째 단계를 성공적으로 수행한다면 실 최대전력점을 추종할 수 있다.

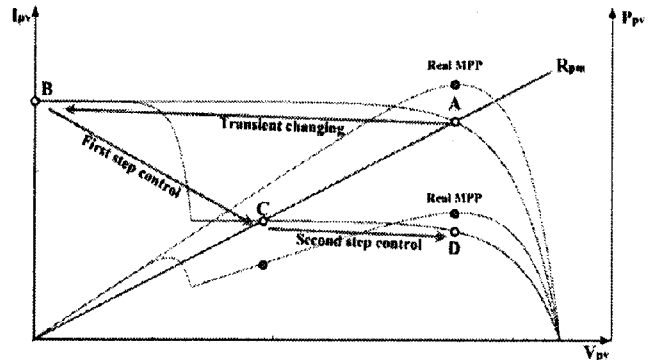


그림 4. Two-Stage MPPT의 동작 원리
Fig. 4. Operation principle of Two-Stage MPPT

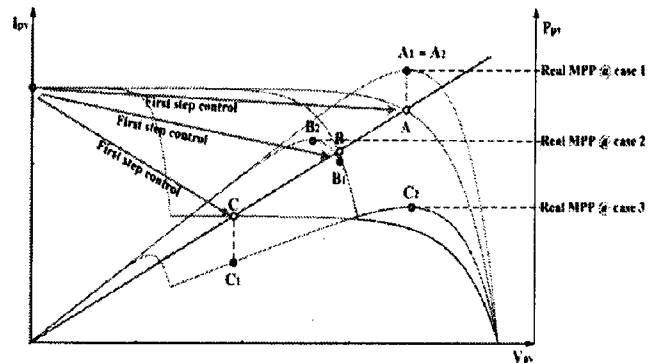


그림 5. Two-Stage MPPT의 동작 특성
Fig. 5. Operation characteristics of Two-Stage MPPT

하지만 이 방식의 단점은 부분 음영이 판단되는 경우에 순간적으로 태양전지 출력을 단락 시키는 과정에 있다. 위의 내용을 바탕으로 기존 방식의 문제점을 요약 하면, 1) 태양전지 어레이의 단락상태를 만들기 위한 회로가 추가적으로 요구된다. 2) 순간적으로 태양전지 어레이의 상태가 단락 상태가 되므로 부분 음영의 이동이 많은 BIPV 시스템에서는 전력 손실이 크게 발생하여, 오히려 효율의 저감을 가져올 수 있다. 3) 알고리즘이 복잡하고, 기존의 시스템에 업로드가 어렵다. 4) 모든 상황에 대한 추종 특성을 보장 할 수 없다는 점으로 요약 할 수 있다.

4. 제안된 RMPT 기법

4.1 RMPT 알고리즘의 개요

제안된 RMPT는 기본적으로 태양전지 출력 전류를 따라 전압 지령치를 결정하도록 식(3)의 v_{PV} 를 V_{PV}^*

로, i_{PV} 를 $I_{PV}[n]$ 으로 치환하여 IncCond MPPT에 전압 지령치의 변동 폭(ΔV)에 변동 폭 비례상수(α)를 곱하여 최종적인 전압 지령치의 변동 폭을 결정하는 변동 폭 가변형식을 취하고 있다. 그림 6에 제안된 RMPT의 순서도를 나타내었다.

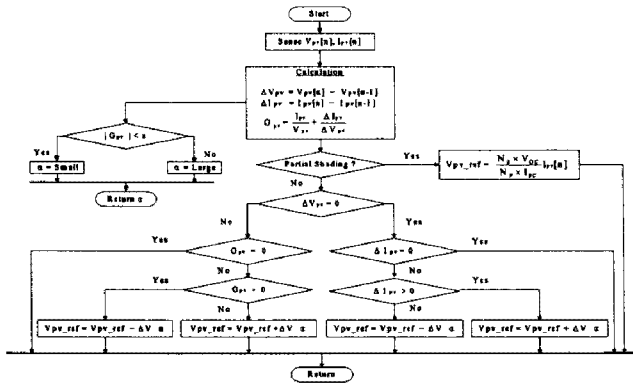


그림 6. 제안된 MPPT(RMPT) 순서도
Fig. 6. Flow chart of proposed RMPT

4.2 RMPT의 동작

제안된 RMPT 기법의 동작은 다음 그림 7에서 확인할 수 있다. 그림 7에서 상단의 그림은 I-V 출력 곡선을, 하단의 그림은 P-V 출력 곡선을 나타낸다. I-V 출력 곡선에서 영점과 점($V_{OC(array)}$, $I_{SC(array)}$) 사이의 직선이 앞서 언급했던 선형 함수를 나타낸다. 이 직선은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

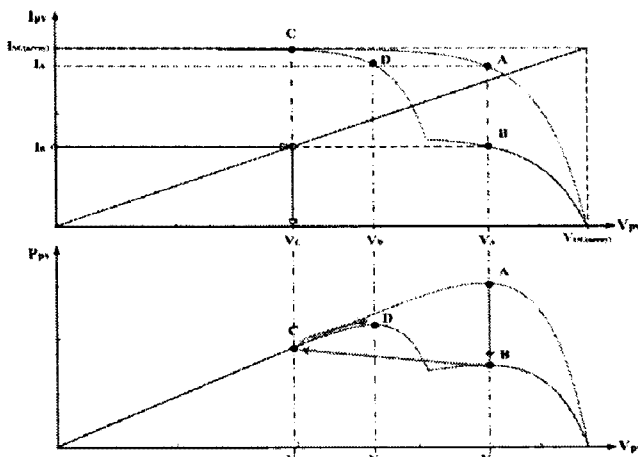


그림 7. RMPT의 동작원리
Fig. 7. Operation principle of RMPT

식 (2)를 전류 i_{PV} 에 대한 함수로 정리하면, 식 (3)과 같이 쓸 수 있다. 식 (3)을 이용하여 부분음영 발생 시에 태양전지 출력 전류에 따라 전압 지령치를 결정하도록 식 (3)의 v_{PV} 를 V_{PV}^* 로, i_{PV} 를 $I_{PV}[n]$ 으로 치환하면, 식 (4)에 보인 함수를 얻을 수 있다.

$$i_{PV} = \left(\frac{I_{SC(array)}}{V_{OC(array)}} \right) v_{PV} = \left(\frac{N_P \times I_{SC}}{N_S \times V_{OC}} \right) v_{PV} \quad (2)$$

$$v_{PV} = \left(\frac{N_S \times V_{OC}}{N_P \times I_{OC}} \right) i_{PV} \quad (3)$$

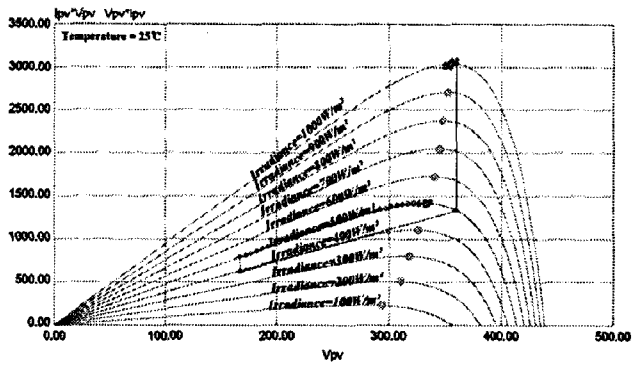
$$V_{PV}^* = \left(\frac{N_S \times V_{OC}}{N_P \times I_{SC}} \right) I_{PV}[n] \quad (4)$$

즉, 식 (4)의 선형 함수는 그림 7의 I_{PV} 축에서 바라본 영점과 점($V_{OC(array)}$, $I_{SC(array)}$) 사이의 직선이라고 생각할 수 있다.

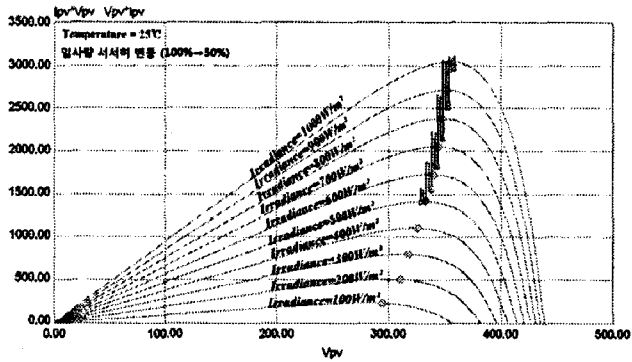
부분 음영 발생 시 제안된 RMPT의 동작 특성을 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 부분음영이 발생하지 않은 상태에서 제안된 MPPT가 A점을 추종하고 있었다고 가정한다. 이때 부분음영이 발생하면 태양전지 출력 특성은 비선형 적으로 변화하게 되고, 동작점은 B점으로 이동하게 된다. 즉, 전압 지령치는 V_C 가 되고, 컨버터는 입력 단 정전압 제어를 통하여 태양전지 출력 전압이 V_C 가 되도록 제어한다. 따라서 B점에서 C점으로 동작점이 이동하게 되며, C점에서 부터는 IncCond MPPT 기법과 동일한 방식으로 최대전력점인 D점을 추종한다. 또한, 동작점이 D점에 가까이 위치하게 되면, 앞서 언급한 바와 같이 전압 변동 폭을 줄여 자려진동을 최소화한다.

5. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 제안된 RMPT 기법을 시뮬레이션을 통하여 검증하고자 한다. 본 논문에서는 부분 음영에 대한 모델링을 통하여 PSIM 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다[5]. 그림 8은 일사량 변동 시, 그림 9는 부분음영 발생 시의 RMPT 동작에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 8에서 일사량 급변 시에 부분음영이 존재하는지에 대한 여부를 판단하기 위해 동작점이 낮은 전압 레벨로 이동하였다가 다시 MPPT를 수행하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 추종 특성의 개선을 위해서는 전압 지령치의 변동 폭을 더 크게 가변시키는 것이 요구되며, 이 가변 폭의 조절로 추종 성능을 개선할 수 있을 것으로 예상된다. 그림 9로부터 제안된 MPPT 기법의 장점을 확인할 수 있다. 기존의 MPPT 기법은 다수의 모듈에 부분음영이 동시에 발생하는 경우에 실 최대전력점을 추종하지 못하고, 국부적인 최대 전력점을 추종하는 추종 실패가 발생하였지만, 제안된 알고리즘은 이 조건에서 실 최대전력점을 추종함을 확인할 수 있었다. 이로써 태양전지 어레이에 부분음영이 발생한 경우 제안된 알고리즘이 보다 우수한 특성으로 동작할 수 있음을 확인할 수 있다.

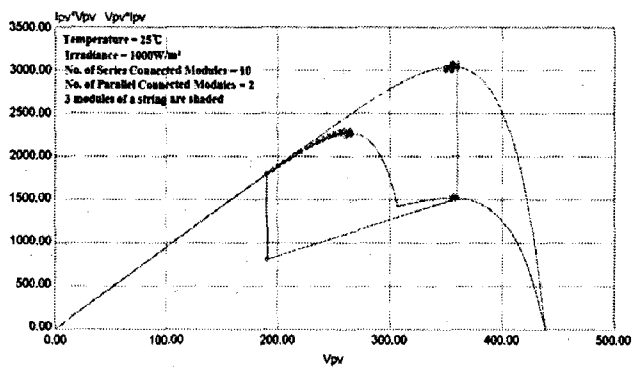


(a) 일사량 급변 시 (100% → 50%)

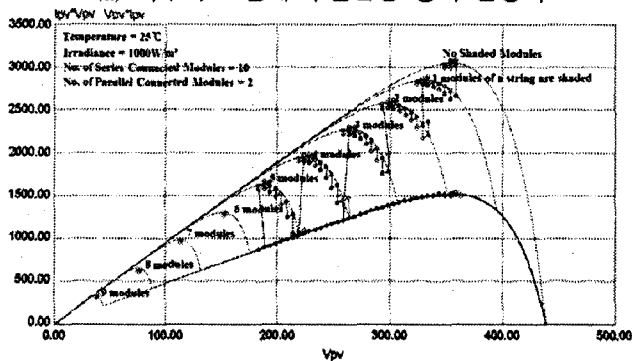


(b) 일사량 서서히 변동 시 (100% → 50%)

그림 8. 일사량 변동 시 RMPT의 동작
Fig. 8. RMPT operation according to the change in irradiance



(a) 다수의 모듈에 부분음영 동시 발생시



(b) 부분음영이 서서히 발생하는 경우

그림 9. 부분음영 발생 시 RMPT의 동작
Fig. 9. RMPT operation under PSC.

6. 결론

본 논문에서는 태양전지 어레이에 부분적으로 주변 건물, 구름, 기타 설치물 및 이물질 등에 의하여 그늘(음영)이 발생한 경우, 태양전지 어레이의 출력 곡선에서 다수의 국부적 최대전력점이 발생할 수 있으므로, 이러한 현상을 고려하여 실 최대전력점을 추종하기 위한 새로운 태양광 발전 시스템의 최대전력점 제어 기법(MPPT)을 제안하였다. 제안된 MPPT는 그 동작 특성상 태양전지 출력단의 전압이 낮은 상태에서 계속적으로 운전할 수 있기 때문에 승압형 DC-DC 컨버터를 사용하는 Two-stage 시스템(DC-DC 컨버터와 DC-AC 인버터를 사용하는 시스템)에 적합하고, 제어 방식에 있어서는 DSP등을 이용한 디지털 제어에 적합하다. 본 논문의 결과는 부분음영이 오랫동안 지속될 수 있는 BIPV 시스템에 적합할 것으로 기대된다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원 사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Trishan Esmar, Patrick L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Transactions on energy conversion, Vol.22, No.2, June, 2007.
- [2] 이경수 · 정영석 · 소정훈 · 유권중 · 최재호 저 " 태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안 ", 전력전자학회, 전력전자학회논문지 전력전자학회 논문지 제10권 제1호, 2005. 2, pp. 21 ~ 28
- [3] Tae-Kyung Kang · Kang-Hoon Koh · Young-Cheal Kim · Mutsuo Nakaoka · Hyuh-Woo Lee · Mikihiko Matsui 저 " The Study on MPPT Algorithm for Improved IncCond Algorithm ", 한국태양에너지학회, 한국태양에너지학회 학술대회논문집 한국태양에너지학회 2004 Proceedings ISEA Asia-Pacific, 2004. 10, pp. 299 ~ 306
- [4] K.Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, "A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," in IEEE Power Eng. Soc. Gen.Meet., 2003, pp. 2612 - 2617.
- [5] Y. H. Ji, J. G. Kim, S. H. Park, J.H. Kim and C. Y. Won, "C-language Based PV Array Simulation Technique Considering Effects of Partial Shading", IEEE International conference on industrial technology, Feb, 2009.