

일사량 변화를 고려한 PV 시스템의 개선된 P&O 알고리즘 개발

(Development of Improved P&O Algorithm of PV System Considering Insolation variation)

고재섭* · 최정식, 강성준, 장미금, 백정우, 김순영, 정동화

(Jae-Sun Ko*, Jung-Sik Choi, Sung-Jun Kang, Mi-Geum Jang, Jeong-Woo Baek, Soon-Young Kim, Dong-Hwa Chung)

Abstract

This paper proposes a novel maximum power point tracking(MPPT) control algorithm considering insolation to improve efficiency of PV system. The proposed algorithm is composed perturb and observe(P&O) method and constant voltage(CV) method. P&O method is simple to realize and CV method is possible to tracking MPP with low insolation. Response characteristics of proposed algorithm is compared to conventional P&O method with insolation variation. This paper proves the validity of proposed algorithm through the analysis result.

1. 서론

태양광 발전은 무한정한 에너지원으로 연료의 수송, 기계적 가동, 국부적 고온 및 고압부가 없어 발전설비의 유지관리가 용이하고, 설비규모의 선택과 설치공사가 쉬운 장점을 가지고 있다. 따라서 도서 벽지나 관공서는 물론, 일반주택에도 적용이 가능하다. 또한 태양광 발전은 최대전력을 발전하는 시간대가 여름철 냉방으로 인한 피크전력 소비 시간대와 비슷하여 전력수급의 불평형을 해소할 수 있다[1]. 그러나 태양에너지는 에너지 밀도가 $1[\text{kW}/\text{m}^2]$ 정도로 낮고, 직류-교류 전력변환장치가 필요하며 출력특성이 일사량, 온도 등의 자연조건에 따른 변동으로 불안정하다. 또한 태양전지의 광전변환 효율이 상용제품의 경우 16.9[%]정도로 낮고, 1[W]당 가격이 약 4[\$]정도로 많은 초기 투자비가 소요되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 재료적인 측면과 전력변환 측면으로 나누어지며, 전력변환 측면에서는 태양광 발전의 전력변환 효율 및 고성능화에 관심을 두고 집중적으로 연구를 하고 있다. 따라서 에너지 손실의 최소화와 태양전지 어레이로부터 최대전력을 얻을 수 있는 최대출력제어에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[2].

현재 태양전지의 최대 출력점 추적을 위해 가장 많이 적용되는 방법으로는 Perturbation and Observation (P&O)방법, Incremental Conductance(IncCond) 및 Constant Voltage(CV)방법 등이 있다. 그러나 종래의 P&O 방법은 구현이 간단하지만 일사량이 급격하게 변하는 경우에 최대출력점 정확하게 추적하지 못하는 단

점이 있고, IncCond 방법은 급격한 일사량 변동에 빠르게 추적을 할 수 있지만, 계산량이 많아 고성능 CPU가 요구되어 가격이 상승되는 단점을 가지고 있다. 또한 CV 방법은 태양전지 어레이에 상관없이 제어되기 때문에 일사량이 급변하는 경우에 정확한 최대전력점을 추적하지 못하는 문제점을 가지고 있다[3-5].

본 논문에서는 종래의 P&O 알고리즘의 문제점을 해결하기 위하여 일사량 변화를 고려한 개선된 P&O 알고리즘을 제시한다. 개선된 P&O 알고리즘은 종래의 MPPT 방법인 P&O방법과 CV방법의 장점을 상호 혼합하여 구성한 것으로 고 일사량뿐만 아니라 저 일사량 시에도 최대전력점을 추적함으로써 발전량을 증대시키고 효율을 향상시킨 새로운 MPPT 제어 방법이다. 또한 일사량 변동에 대한 실험을 통하여 제시한 새로운 MPPT 제어 방법의 타당성을 입증한다.

2. 태양전지의 모델링

태양전지의 등가회로부터 단락전류 I_{sc} 는 이상적으로 광전류 I_{ph} 와 일치하고, 다이오드 포화전류 I_d 에 의해 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_d} + 1 \right] \quad (1)$$

여기서,

V_{oc} 는 개방전압, k 는 볼츠만 상수, q 는 전하[C], T 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다.

또한, 온도변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_o \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{kT}\right) \right] \quad (2)$$

태양전지의 전류-전압 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{ph} = I_{sc} S_N + I_r(T_c - T_r) \quad (3)$$

$$I_d = I_o \left[\exp\left(\frac{q(V_L + I_L R_s)}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

$$I_o = I_{or} \left[\frac{T_c}{T_r} \right]^3 \cdot \exp\left(\frac{qE_g}{Bk} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right)\right) \quad (5)$$

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

여기서,

S_N : 단위 일사량

I_r : 표면온도 1°C 상승 시 단락 전류 온도계수[A/K]

T_c : 태양전지 온도[K]

T_r : 태양전지 동작 기준온도[K]

B : 제조상수

I_{or} : 태양전지 동작 기준온도에서 역포화전류[A]

E_g : 에너지 밴드 갭 (Si PN 접합 에너지 Gap, 1.12[eV])

3. 종래의 P&O 알고리즘

P&O 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지 전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다. 그림 1은 P&O 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

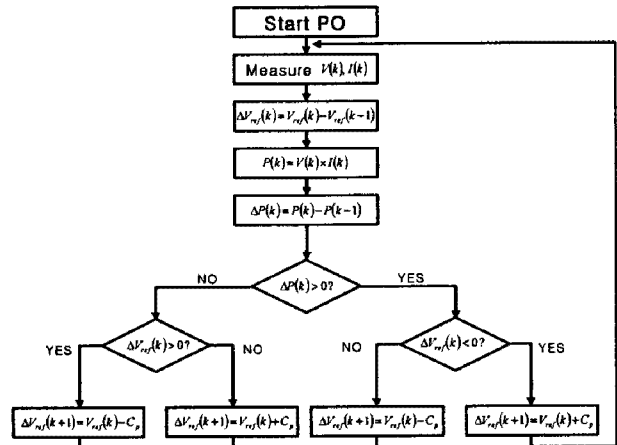


그림 1 P&O MPPT 방법의 순서도
Fig. 1 Flowchart of P&O MPPT Method

전력이 증가하면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 MPP에 이르렀을 때 P&O 제어방법은 일정 혹은 천천히 변하는 환경조건에서 자려진동 할 것이며, 그 결과 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 P&O 제어방법의 개선에 의해 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 스텝의 감소가 있다. 그러나 이 방법은 환경조건이 급하게 변할 경우 MPP 추적속도가 늦어지게 되므로 스텝의 결정이 중요하게 된다.

4. 개선된 P&O 알고리즘

개선된 P&O 제어방법은 일사량에 따라 태양전지 어레이의 출력전력의 효율을 극대화하기 위하여 제안한 방법이다. 일사량의 따라서 MPPT를 수행하는 알고리즘을 다르게 사용한다. 먼저 일사량이 낮은 경우에는 CV 제어방법을 수행하고, 일사량이 높은 경우에는 기존의 P&O 제어방법이 최대 전력점에서 진동으로 손실이 발생하는 단점을 개선한 P&O 제어방법을 수행한다. 실험상에서 P&O 제어방법이 낮은 일사량에서 CV 제어방법보다 효율이 높지 않으므로, 특정의 낮은 일사량에서 CV 제어방법으로 동작모드를 변경하는 방법이다. 이 방법에 대한 순서도는 그림 2와 같다. 이 제어방법은 일사량센서를 이용하거나 전력량을 가지고 일사량 값으로 바꾸어 프로그램 상에서 동작모드를 변경할 수 있다.

제안된 방법은 전지 어레이의 출력전력이 최대 전력점에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를 동일한 방향으로 증가 또는 감소시킴써 최대전력(P_{max})

을 추종한다. 또한 P_{max} 값에 일정한 α 값(1이하)을 곱하여 최소 출력전력을 결정하고, 최대전력점에 도달한 후 태양전지의 출력전압은 최소출력과 같아질 때까지 추종한다. 임의로 만들어준 최소출력전력 값보다 낮아질 경우, 플래그가 변경되어 반대 방향으로 태양전지의 출력전압을 증가시킨다. 최대전력점을 통과하고 태양전지의 출력전압은 같은 최소출력전력에 도달하게 된다. 이 최소출력전력보다 작게 되면 다시 플래그가 반전되어 태양전지의 출력전압을 감소시킨다.

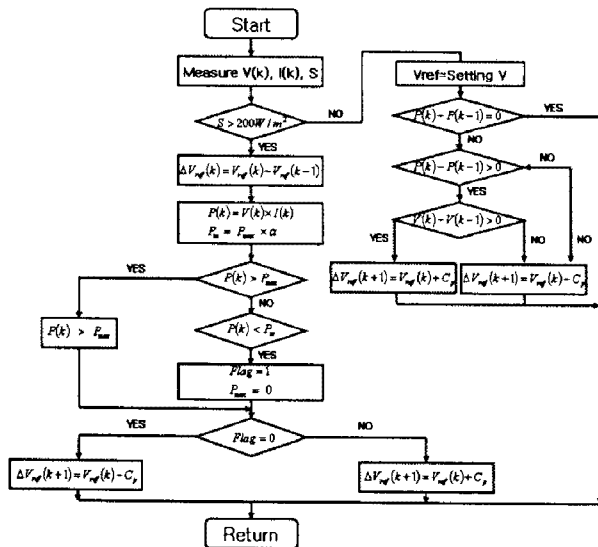


그림 2 제시한 MPPT 알고리즘 순서도
Fig. 2 Flowchart of proposed MPPT algorithm

따라서 MPP를 기준으로 태양전지의 출력전압을 증가 혹은 감소시키면서 MPPT제어를 한다. 본 논문의 시뮬레이션에 사용된 α 값과 최소전력(P_{max})을 식 (7)과 같다.

$$P_m = P_{max} \times \alpha \quad (7)$$

태양전지의 출력전압을 MPP까지 증가 시킨 후, 임의의 α 값으로 MPP를 곱하여 두 개의 최소 출력점을 생성하게 된다. 이 기법은 MPP에 도달하자마자 주위에서 진동하게 되는 종래의 P&O 제어방법의 단점을 개선하여 진동으로 발생하는 손실을 감소시키게 된다.

5. 시스템 성능 결과

그림 3은 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능시험을 위한 태양광 발전시스템의 구성도를 나타낸다. 태양에너지를 전기에너지로 변화하는 PV 모듈과 Boost 컨버터로 구성된다. PV 모듈에서 전압과 전류를 측정하여 전력을 계산하여 일사량 변동에 대하여 MPPT를 수행

한다. MPPT에서 나오는 V_{ref} 을 이용하여 PWM을 통해 Boost 컨버터를 제어한다. 본 논문에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 P&O 방법과 제시한 새로운 방법의 성능을 비교, 분석하였다.

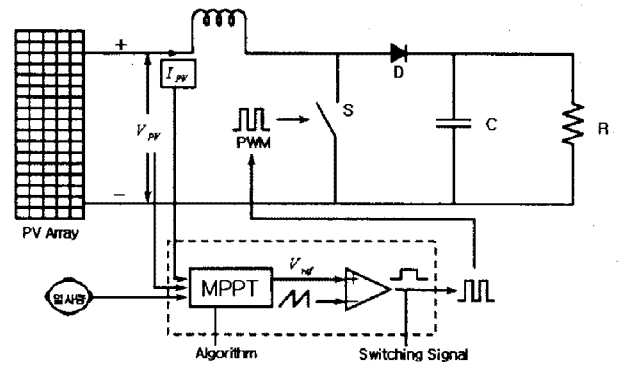


그림 3 PV 시스템 구성도.
Fig. 3 Configuration of PV system

그림 4~7은 PSIM으로 구성된 시뮬레이션의 출력파형을 나타내고 있다. 어레이의 일사량은 $1000[W/m^2]$, 온도는 $45[^\circ C]$ 로 일정하게 하고 부하에 대한 어레이에서 발생하는 최대전력과 V_{ref} 을 나타내고 있다.

그림 3의 P&O 제어방법은 정상상태에서 V_{ref} 값이 지속적으로 증가 혹은 감소를 통해서 출력전력도 진동을 하게 되고, 이런 불필요한 진동은 출력손실로 나타난다. 그림 4는 본 논문에서 제시한 MPPT 제어의 출력파형을 나타낸다. 종래의 P&O 방법에 비해 제시한 방법에서 안정화 시간이 빠르며, 정상상태에서 진동이 감소되고 있다.

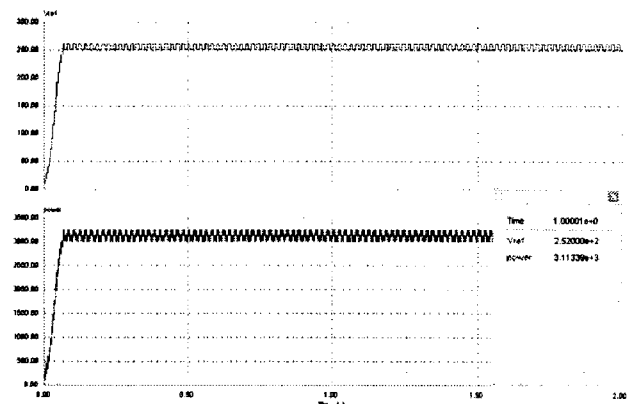


그림 4 MPPT 방법에 따른 응답특성(종래의 P&O).
Fig. 4 Response characteristic with MPPT Method(conventional P&O)

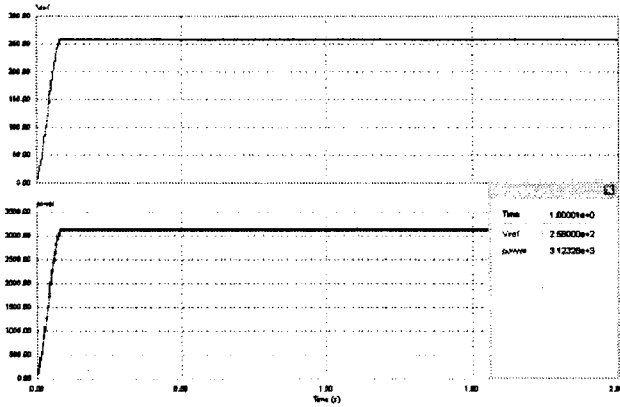


그림 5 MPPT 방법에 따른 응답특성(제시한 방법)
Fig. 5. Response characteristic with MPPT Method(Proposed Method)

그림 6은 일사량 변동에 대한 P&O 제어방법의 오차를 나타내고 있다. P&O 방법은 최대전력의 추정속도가 스텝 값에 따라 결정된다. 한편 저 일사량에서는 MPPT에 실패하여 오차 값이 급격하게 증가하는 것을 보여주고 있다. 그림 7은 본 논문에서 제시한 일사량에 따른 개선된 P&O 제어방법의 오차를 나타내고 있다. 본 논문에서 제시한 제어방법은 종래의 P&O 제어방법보다 출력오차가 적게 나타나며, 종래의 P&O 제어방법은 저 일사량에서 정확한 최대전력점 추적에 실패하였지만 제시한 제어방법은 저 일사량에서도 최대전력점을 추적하는 것을 발생된 오차의 비교를 통해 알 수 있다.

제시한 새로운 방법이 종래의 P&O 방법에 대해 정상상태 안정화 시간이 짧고 저 일사량에서도 최대전력점을 추적할 수 있었으며 이로서 MPPT 제어의 우수한 성능을 나타내고 있다.

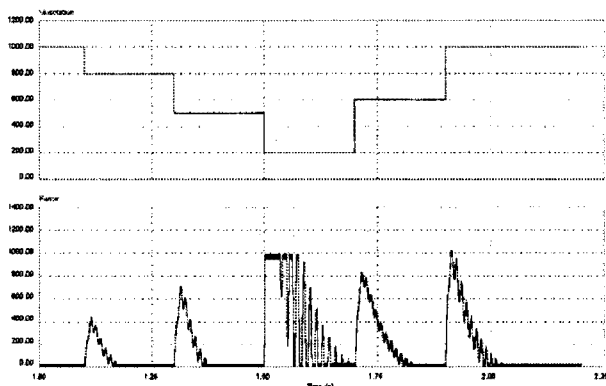


그림 6 일사량 변동에 따른 응답특성(종래의 P&O)
Fig. 6. Response characteristic with insolation variation(conventional P&O)

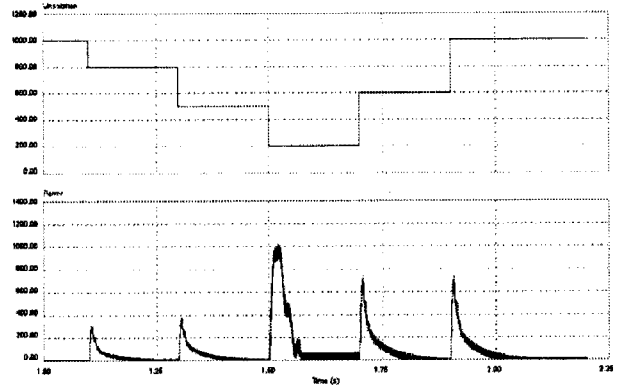


그림 7 일사량 변동에 따른 응답특성(제시한 방법)
Fig. 7. Response characteristic with insolation variation(Proposed Method)

6. 결 론

본 논문에서는 종래의 MPPT 제어방법의 문제점을 개선하기 위해 P&O 방법과 CV 방법을 혼합한 새로운 MPPT 제어방법을 제시하였다. P&O 방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 추정 파라미터를 갖기 때문에 구현이 간단하고, CV 방법은 저 일사량에서도 MPPT 추적이 가능한 제어방법이다. 일사량의 변화가 일정할 때와 일사량이 급변하는 조건으로 PSIM을 이용하여 결과를 종래의 P&O 방법과 비교, 분석하였다. 제시한 MPPT 제어 방법은 종래의 P&O 방법에 비해 저 일사량에서도 MPPT 추적이 가능하고 정상상태에서도 출력전력의 자려진동이 감소되어 발전 성능이 향상됨을 알 수 있다. 이로서 본 논문에서 제시한 일사량을 고려한 개선된 P&O MPPT 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 윤경훈 "태양전지 기술개발 현황과 전망", 한국에너지 기술연구원(KIER) 태양전지 연구센터.
- [2] 최주엽 "Development of highly efficient dispersed photovoltaic power generation system" 과학재단, 2004.
- [3] N. Femia, G. Petron, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 20, no. 4, pp. 963-973, Jul. 2005.
- [4] E. Roman, P. Ibanez, S. Elorduizapatarietxe, R. Alonso, D. Goitia, and I. Martinez de Alegria "Intelligent PV module for grid-connected PV systems," in Proc. IEEE 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 3082-3087, Nov. 2004.
- [5] R. Kiranmayi, K. Vijaya Kumar Reddy and M. Vijaya Kumar "Modeling and a MPPT method for solar cells" J. Eng. Applied Sci., 3(1) pp. 128-133, 2008.