

## 태양전지 모의 전원을 이용한 MPPT 알고리즘의 비교 고찰

정영석, 소정훈, 유권중, 최재호\*  
 한국에너지기술연구원, \*충북대학교

### Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using PV Array Simulator

Jung Youngseok, So Junghun, Yu Gwonjong, and Choi Jaeho\*  
 Korea Institute of Energy Research, \*Chungbuk National University

#### ABSTRACT

As the maximum power operating point (MPOP) of photovoltaic (PV) power systems changes with changing atmospheric conditions, the efficiency of maximum power point tracking (MPPT) is important in PV power systems. Many MPPT techniques have been considered in the past, but techniques using microprocessors with appropriate MPPT algorithms are favored because of their flexibility and compatibility with different PV arrays. Although the efficiency of these MPPT algorithms is usually high, it drops noticeably in case of rapidly changing atmospheric conditions. In this paper, we proposed a new MPPT control method called improved perturb and observe method (ImP&O), and a simple voltage and current characteristic equation of a PV array for PV array simulator. Experimental results verify the accuracy and excellent performance of the proposed MPPT method. ImP&O algorithm is very simple, and has successfully tracked the MPOP, even in case of rapidly changing atmospheric conditions.

#### 1. 서론

태양전지 어레이의 출력은 일사량과 온도에 의해서 지속적으로 변동하며, 또한 태양전지 어레이의 동작전압에 따라 출력이 결정된다. 따라서 어레이의 동작전압을 제어하여 최대출력이 발생되도록 하여야 한다. 이와 같은 제어방법을 일반적으로 MPPT (Maximum Power Point Tracking)이라고 한다. MPPT를 위한 디지털 제어 알고리즘의 종류에는 Perturb & Observe(P&O), Incremental Conductance (IncCnd)

등 다양한 제어 알고리즘이 발표되고 있다. 그러나, 실제 적용되는 알고리즘은 구현이 용이하고 안정성이 높다는 측면에서 제어가 간단하고 연산량이 적은 알고리즘이 채택되고 있다<sup>[1][2][3]</sup>.

본 논문에서는 MPPT 제어 알고리즘 중에서 가장 대표적으로 사용되는 P&O 알고리즘과 IncCnd 알고리즘에 대하여 간략히 서술하고, 기존의 P&O 제어방법을 개선한 새로운 제어 알고리즘을 제안한다. 또한, 태양전지 모의 전원장치와 단상 계통연계형 PCS를 이용한 실험을 통하여 각각의 알고리즘에 대한 동작특성을 분석하고 제안된 알고리즘의 타당성을 입증한다.

#### 2. 본론

##### 2.1 태양전지의 모델링

태양전지의 전기적 출력특성은 일반적으로 그림 1에서 보이는 바와 같은 등가회로로 표현된다.

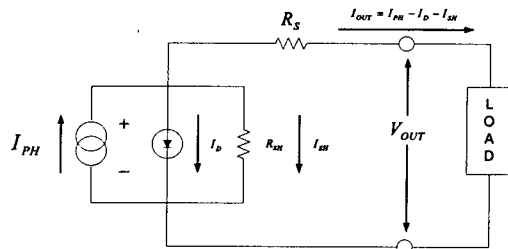


그림 1 태양전지의 등가회로

또한, 이러한 태양전지의 등가회로는 식 (1)과 같은 수식으로 표현되는 것이 일반적이다.<sup>[4]</sup>

$$I_{OUT} = I_{PH} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} (V_{OUT} + I_{OUT}R_S) - 1 \right\} - \frac{V_{OUT} + I_{OUT}R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

여기서,

- $I_{PH}$  : 광발생전류
- $I_{OUT}$  : 부하측에 흐르는 전류
- $V_{OUT}$  : 태양전지 출력전압
- $R_S$  : 내부 직렬저항
- $R_{SH}$  : 내부 병렬저항
- $A$  : 온도특성계수
- $B$  : pn접합 재료 계수
- $k$  : 볼츠만 상수
- $T$  : 전지 온도(K)
- $q$  : 전하량

그러나, 식 (1)과 같은 태양전지의 모델링을 이용하여 시뮬레이션하기 위해서는 예측하기 어려운 상수가 너무 많아 실제 태양전지의 출력특성과 근접한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 수많은 trial-error가 필요하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는, 이러한 수식을 단순화하면서도 실제의 태양전지의 출력 특성에 근접한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있는 식 (2)와 같은 모델링을 사용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

$$I_{OUT} = I_{SC} - \frac{I_{MAX}}{\exp\left\{\frac{q}{kT}K\right\} - 1} \cdot \left\{ \exp\left(\frac{q}{kT} \frac{V_{OUT}}{V_{OP}} K\right) - 1 \right\} \quad (2)$$

여기서,

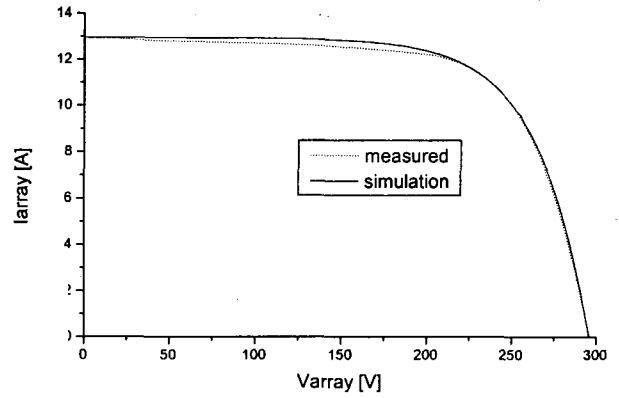
- $I_{SC}$  : 일사량에 따른 단락전류
- $I_{MAX}$  : 일사량  $1kW/m^2$ 시의 단락전류
- $V_{OP}$  : 일사량  $1kW/m^2$ 시의 개방전압
- $K$  : 계수

식 (2)를 이용하면, 단지 계수  $K$ 값만을 변동하여 실제 태양전지의 출력특성을 모의할 수 있으며, 태양전지 어레이의 출력특성에도 그대로 적용할 수 있다.

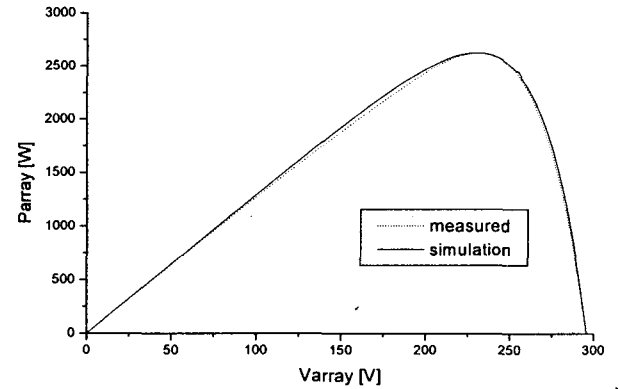
그림 2는 3kW급 태양전지 어레이의 출력 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 실제의 출력특성을 비교하여 나타내고 있으며, 시뮬레이션에 사용한 계수를 표 1에 나타내었다.

표 1 태양전지 어레이 시뮬레이션에 사용된 계수값

| Parameters | Value     |
|------------|-----------|
| $I_{MAX}$  | 12.95 [A] |
| $V_{OP}$   | 295.75[V] |
| $K$        | 0.2464    |



(a) 태양전지 어레이의 전압전류 특성 곡선



(b) 태양전지 어레이의 P-V 특성 곡선

그림 2 태양전지 어레이의 출력 특성 시뮬레이션

## 2.2 MPPT 제어알고리즘 비교

### 2.2.1 IncCnd MPPT 알고리즘

IncCnd MPPT 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지의 임피던스를 비교하여 태양전지 전압을 최대출력점 전압에 대응하도록 제어하는 방법이다. IncCnd 알고리즘의 주요 개념은 태양전지 출력이 최대출력점의 왼쪽에 위치했을 경우, 출력은 전압의 증가에 따라 증가하게 되며( $dP/dV > 0$ ), 반대로 최대출력점의 우측에 위치했을 경우 출력은 감소하게 된다( $dP/dV < 0$ ). 이러한 관계는 다음과 같이 식 (3)으로 표현된다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3)$$

그러므로, 태양전지 어레이의 컨덕턴스에 대한 증분과 순시치( $dI/dV$ ,  $I/V$ )를 측정하여, 태양전지 어레이의 출력전압을 최대출력점 전압으로 제어하게 된다. 이러한 IncCnd 제어방법은 MPPT 성능이 우수한 장점이 있으나, 두 번의 나눗셈이 필요하므로 연산속도에 제한이 있거나, 소수점 연산이 지원되지 않는 컨트롤러로는 구현하기 어렵다는 단점이 있다. 또한  $dI/dV$ 의 값은 매우 작으므로, 급격한

일사량의 변동시에 센싱값의 오차가 발생할 경우 MPPT 제어에 실패할 확률이 높다. 그림 5에 IncCnd MPPT 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

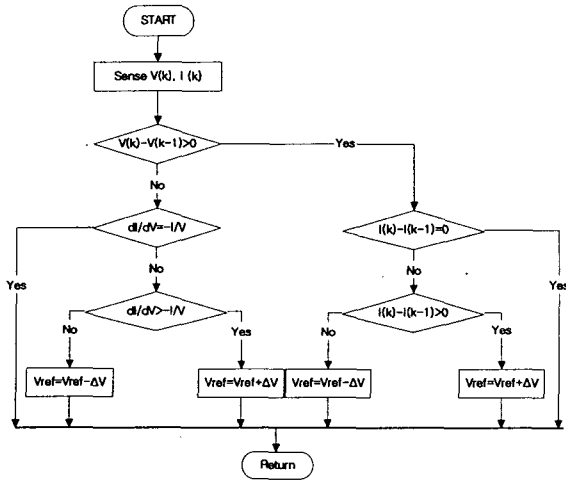


그림 3 IncCnd MPPT 알고리즘 순서도

### 2.2.2 P&O MPPT 알고리즘

P&O MPPT 알고리즘은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 미소 변동시킴으로써 동작하며, 변동 이전의 출력전력과 변동 이후의 출력전력을 비교하여 최대동작점을 추적한다. 따라서 최대동작점에 도달한 후에도 동작전압이 미소 진동하게 되어 출력전력의 손실을 발생시키는 단점이 있다. P&O MPPT 알고리즘의 순서도를 그림 4에 나타내고 있다.

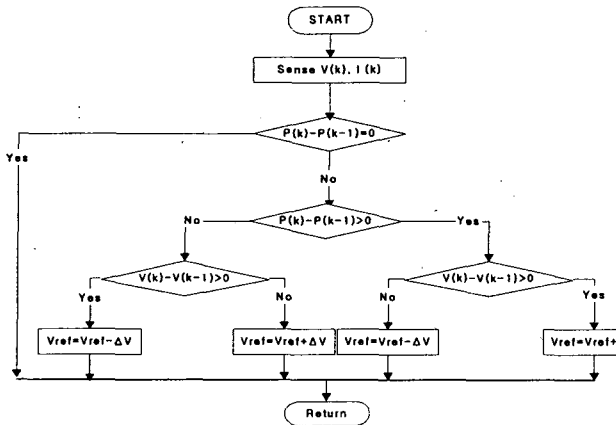


그림 4 P&O MPPT 알고리즘 순서도

### 2.2.3 ImP&O MPPT 알고리즘

기존의 P&O MPPT 제어알고리즘의 단점을 보완한 새로운 MPPT 알고리즘을 제안한다. 제안한 제어방법은 태양전지 어레이의 출력전력이 최대값에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를

동일한 방향으로 증가 또는 감소시키며 최대전력값 ( $P_{max}$ )을 갱신한다. 태양전지 어레이의 출력전력이 최대전력점에 도달하여 현재 출력전력이 최대전력값 보다 작아질 경우, 출력전압의 레퍼런스를 반전시킬 최소한의 전력값( $P_m$ )보다 작은 지를 비교하여, 작을 경우 레퍼런스를 반전하고, 작지 않을 경우 반전하지 않고 통과한다. 이와 같이 반전을 일으키는 최소한의 전력값( $P_m$ )과 비교하는 이유는 센싱값의 오차나 노이즈 등에 영향을 받아 출력값이 진동하는 것이 막고, 최대전력점 도달 후에 발생하는 미소 진동에 대한 완충역활을 하기 위한 것이다. 본 논문에서는  $P_m = P_{max} * 0.96$ 으로 선정하였다.

그러므로, 제안하는 새로운 알고리즘은 최대전력값에 도달할 때까지 진동하지 않고 빠르게 추종하며, 최대전력에 추종한 후에도 진동 폭을 줄이며 안정적으로 동작하게 된다. 또한 본 제어 알고리즘은 매우 간단하고, P&O 알고리즘에 단지 하나의 비교문만을 추가한 것이기 때문에 연산속도에 제한이 있거나 소수점 연산이 지원되지 않는 컨트롤러에도 쉽게 적용 가능한 장점을 가진다.

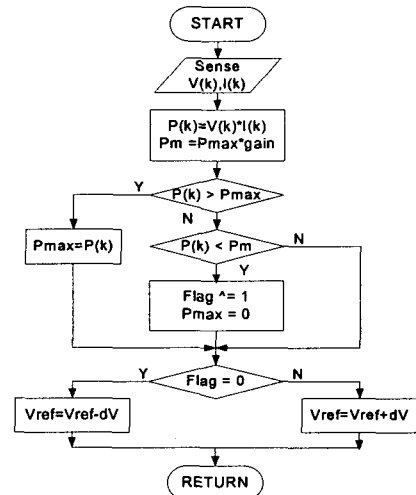


그림 5 ImP&O MPPT 알고리즘 순서도

## 3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 언급한 기존의 제어기와 제안한 제어기를 단상 계통연계형 PCS(3kW)에 적용하여 모의 태양전지 전원장치를 이용하여 동일한 출력 조건에서 MPPT 추종 실험을 실시하였다.

그림 6에서 보이듯이 ImP&O 알고리즘은 일사량의 변동에 대하여 MPPT 추종효율의 편차가 적어 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

그림 7,8,9는 일사량을 50%에서 75%로 급변시켰을 경우의 각각의 제어기에 대한 MPPT 추종특성

을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 제어기에서는 급변 후 약 1초 후에 MPOP에서 벗어나고 있으며, 제안한 제어기는 급변 이후에 진동하지 않고 안정적으로 동작하고 있음을 보이고 있다.

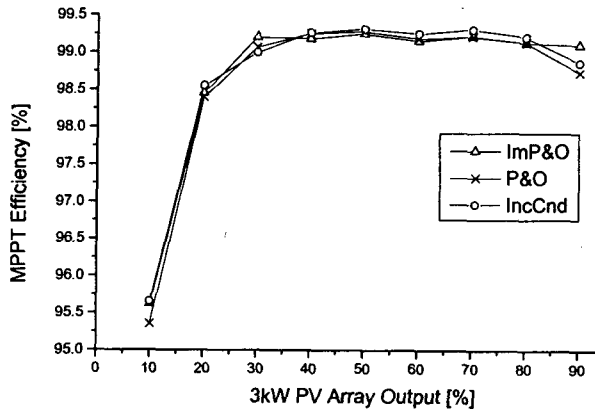


그림 6 각각의 제어기에 대한 MPPT 추종효율 비교

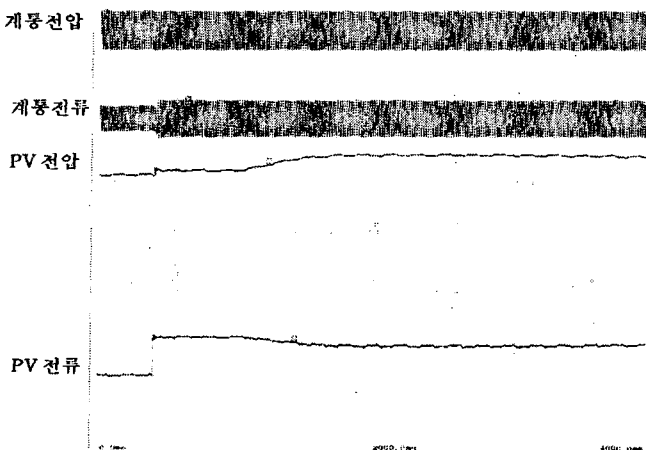


그림 7 일사량 급변시 MPPT 추종특성(P&O)

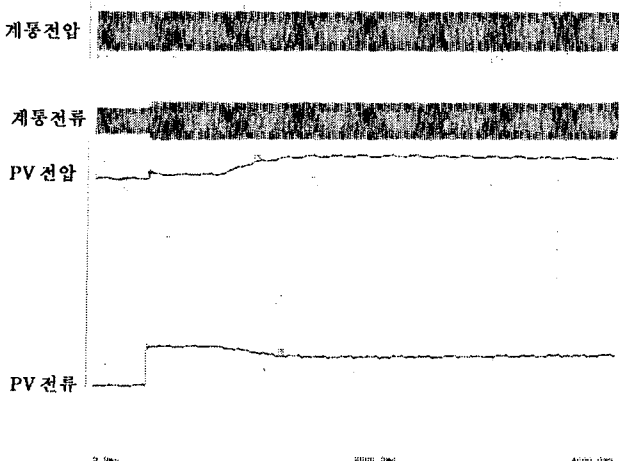


그림 8 일사량 급변시 MPPT 추종특성(IncCnd)

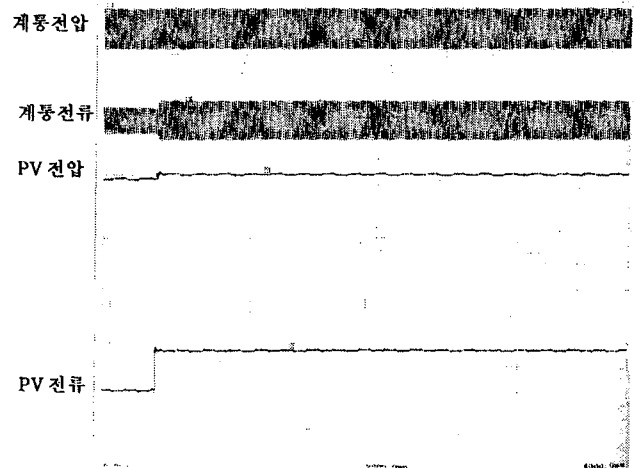


그림 9 일사량 급변시 제안한 MPPT 추종특성

#### 4. 결 론

태양광발전용 PCS의 안정적인 동작과 발전량에 직접적인 영향을 미치는 MPPT 제어기에 대해서 비교 고찰하였으며, P&O 제어기를 보완하는 새로운 MPPT제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 매우 간단하고 연산량이 적어 저가형 컨트롤러에서도 쉽게 적용 가능한 장점을 지니고 있으며, 전 일사량 영역에서 안정적인 추종특성을 나타내고 있음을 실험을 통하여 입증하였다. 특히 일사량의 급변시에도 최대전력점을 벗어나지 않는 우수성을 보여주고 있다.

이 논문은 산업자원부 대체에너지기술개발사업 (2000-T-0006)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참 고 문 헌

- [1] Charles. R. Sullivan, Matthew J.Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle," Proceedings of the IEEE, pp. 574-580, 1993.
- [2] Hussein. K.H., Muta. I, "Modified Algorithms for Photovoltaic Maximum Power Tracking", Record of 1992 Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, Japan, pp.301, 1992, October
- [3] K.H. Hussion, "Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.
- [4] 정영석 외, "P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘", 전력전자학술대회 논문집(II), pp. 925-928, 2003.