

## 일사량 변화를 고려한 PV 시스템의 개선된 P&O 알고리즘 개발

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

최정식\* · 고재섭 · 정동화

(Jung-Sik Choi · Jae-Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

### 요 약

태양전지의 출력 특성은 비선형이고 온도와 일사량에 많은 영향을 받는다. 최대전력점 추종 제어는 태양광 발전의 출력을 최대로 하기 위해 사용되는 제어기법이다. 태양광발전 시스템의 출력 및 효율을 증가시키기 위해 더욱 우수한 최대전력점 추종 제어기법이 필요하다. 본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 효율을 개선하기 위해 일사량을 고려한 새로운 최대전력점 추종 제어 알고리즘을 제시한다. 제시한 알고리즘은 종래의 P&O방법과 CV 방법을 혼합한 것이며, PSIM 시뮬레이터를 통하여 종래의 MPPT 알고리즘과 다양한 일사량 조건에서 성능시험을 비교하였다.

제시한 알고리즘은 종래의 알고리즘에 비해 출력의 자력진동없이 다양한 일사량에서 우수한 성능을 나타냈다. 이로서 본 논문에서 제시한 HB 방법의 최대전력점 추종 제어 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

### Abstract

The output characteristics of photovoltaic(PV) arrays are nonlinear and are affected by the temperature and solar insolation of cells. Maximum power point tracking(MPPT) methods are used to maximize PV array output power by tracking maximum power point(MPP) continuously. To increase the output efficiency of PV system, it is important to have more efficient MPPT. 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. The proposed method is simulated under varying operating conditions. The effectiveness of these different MPPT methods is investigated thoroughly by PSIM simulation.

The simulation results show that this proposed method provides better performance than conventional methods at a variable insolation without self-excited vibration of the power. By the simulation results, the validity of the proposed HB method is proved.

Key Words : PV System, MPPT Algorithm, Efficiency, Insolation

\* 주저자 : 순천대학교 전기제어공학과

Tel : 061-750-3540, Fax : 061-752-1103, E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr

접수일자 : 2010년 2월 10일, 1차심사 : 2010년 2월 16일, 심사완료 : 2010년 3월 8일

## 1. 서 론

1997년 교토 의정서가 발효된 이래, 현재 전 세계적으로 지구의 온실가스 배출기준이 규제되고, 화석에너지의 고갈에 따른 미래에너지의 대안으로 태양광, 풍력, 연료전지 및 바이오메스 등 다양한 대체에너지의 연구가 독일 및 일본, 미국 등의 해외 선진기업들을 중심으로 이루어지고 있다[1-2]. 태양광 발전은 무한정한 에너지원으로 연료의 수송, 기계적 가동, 국부적 고온 및 고압부가 없어 발전설비의 유지관리가 용이하고, 설비규모의 선택과 설치공사가 쉬운 장점을 가지고 있다. 또한 태양광발전은 최대전력을 발전하는 시간대가 여름철 냉방으로 인한 피크전력 소비 시간대와 비슷하여 전력수급의 불평형을 해소할 수 있다[3]. 태양에너지는 에너지 밀도가  $1[\text{kW}/\text{m}^2]$  정도로 낮고, 직/교류 전력변환장치가 필요하다. 또한 출력특성이 일사량과 온도 등의 자연조건에 따른 변동으로 불안정하며 태양전지의 광전변환 효율이 상용제품의 경우 16.9[%] 정도로 낮고,  $1[\text{W}]$ 당 가격이 약 4[\$] 정도의 많은 초기 투자비가 소요되는 문제점이 있다. 태양광 발전에 대한 연구는 크게 재료적인 측면과 전력변환 측면으로 나누어진다. 그 중 전력변환 측면에서는 전력변환 효율 및 고성능화에 관심을 두고 집중적으로 연구를 하고 있다. 따라서 에너지 손실의 최소화와 태양전지 어레이로부터 최대전력을 얻을 수 있는 최대 출력제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 태양광 발전시스템의 최대전력점제어는 일반적으로 Maximum Power Point Tracking(MPPT)라고 하며, 그 제어 방법에 대해서는 많은 저서와 논문을 통하여 다양한 방법의 연구 결과가 보고되고 있다. 현재 태양전지의 Maximum Power Point(MPP)를 제어하기 위해 가장 많이 적용되는 방법으로 Perturbation and Observation(P&O)방법, Incremental Conductance(IC)방법 및 Constant Voltage(CV)방법 등이 있다[5-10]. P&O방법은 주기적으로 태양전지 전압과 전류를 측정하여 전력을 계산한 후 전력 값을 이용하여 MPP를 추적하는 방법이다. IC 제어방법은 태양전지 전압과 전류를 측정하여 어레이의 단자전압 동작점의 변화에 대한 전력의 변화율이 0이 되도록 제어하는 방

법이다. CV 제어방법은 태양전지 어레이의 동작전압이나 전력에 상관없이 일정한  $V_{ref}$ 으로 제어하는 방법이다.

그러나 각각의 제어방법들은 일사량 변동 등의 파라미터 변화에 대한 장점과 단점을 가지고 있다[11-12]. 따라서 본 논문에서는 종래의 MPPT 알고리즘의 문제점을 분석하고 이를 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 성능결과를 통하여 제시한 새로운 MPPT 제어 방법의 타당성을 입증한다.

## 2. 태양전지 모델링

### 2.1 태양전지 모델링

빛이 조사될 때 광기전력 효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

여기서,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $I_d$ 는 다이오드 포화전류이다.

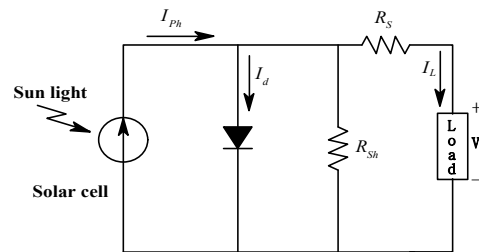


그림 1. 태양전지의 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

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

일사량 변화를 고려한 PV 시스템의 개선된 P&O 알고리즘 개발

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

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.

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

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

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

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

여기서,  $S_N$  : 단위 일사량

$I_t$  : 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])

식 (3)~(6)를 이용하면 태양전지 어레이의 출력특성을 얻을 수 있으며, 그림 2는 3.2[kW]급 태양전지 어레이의 PSIM 모델과 DLL(Dynamic Link Library)

을 이용하여 일사량과 온도의 영향을 고려한 PSIM 회로도이다.

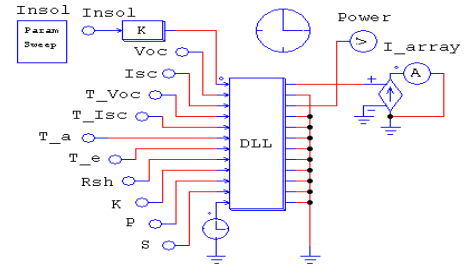


그림 2. 태양전지 어레이의 PSIM 모델  
Fig. 2. PSIM model of solar cell array

그림 3은 태양전지 어레이의 시뮬레이션 결과 파형이다. 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위해서는 동작 전압 또는 전류를 신중히 제어할 필요가 있다.

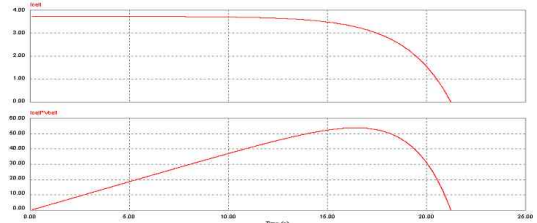


그림 3. 태양전지 어레이의 I-V, P-V 특성곡선  
Fig. 3. I-V, P-V characteristic waveform of solar cell array

## 2.2 온도와 일사량에 따른 태양전지의 특성

태양전지의 특성곡선은 셀의 온도와 일사량 등 여러 가지 환경적인 요소에 크게 영향을 받는다. 이는 일사량과 태양전지 단락전류와의 관계에 기인하게 되며 태양전지의 모델링으로 나타내어진다. 또한 온도가 상승할수록 개방전압이 하강하여 P-V 곡선이 온도상승에 따라 왼쪽으로 이동한다. 그림 4는 일사량을 200[W/m<sup>2</sup>]에서 1000[W/m<sup>2</sup>] 까지 200[W/m<sup>2</sup>]씩 증가시켰을 때 일사량에 따른 태양전지의 출력특성을 나타내고 있다. 일사량 변동에 태양전지의 최대전류와 전력은 일사량에 비례하여 변화되지만 전압은 일사량

이 60~100[%]의 범위에서는 큰 변화가 없으나, 낮은 일사량인 30[%]미만에서는 크게 감소되는 것을 알 수 있다.

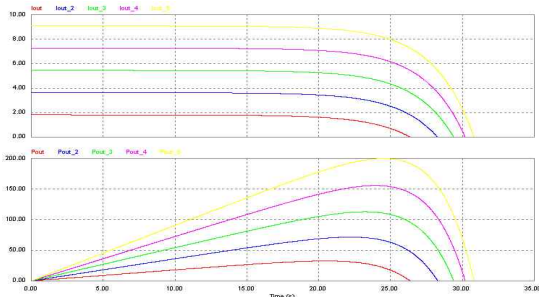


그림 4. 일사량에 대한 태양전지의 출력특성  
Fig. 4. Output characteristics of solar cell by radiation

그림 5는 온도에 따른 태양전지의 출력특성으로 온도를 25[°C]에서 75[°C]까지 25[°C]씩 증가하였을 때의 변화를 나타내고 있다. 개방전압  $V_{oc}$ 는 20~100[°C]사이에서  $2[mV^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소하고, 광전류는 온도가 상승함에  $0.1[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 증가하고, 최대전력은  $0.35[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소되며, 최대효율은 지수 함수적으로 감소한다. 그림에서는 셀 표면의 온도가 증가할 때 출력이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다. 즉 태양전지의 출력은 온도와 일사량에 의해서 영향을 받으며 특성분석을 위해서는 온도와 일사량을 반드시 고려하여야 한다.

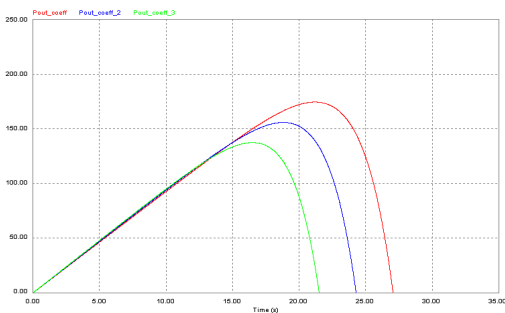


그림 5. 온도에 대한 태양전지의 출력특성  
Fig. 5. Output characteristics of solar cell by temperature

### 3. 종래의 MPPT 제어

최대전력점 추종 제어를 위한 태양광 발전 시스템의 구성도는 그림 6과 같다. 태양광에너지를 전기에너지로 변화하는 PV 모듈과 Boost 컨버터로 구성된다. PV 모듈에서 전압과 전류를 측정하여 전력을 계산하여 일사량 변동에 대하여 MPPT를 수행한다. MPPT에서 나오는  $V_{ref}$ 을 이용하여 PWM을 통해 Boost 컨버터를 제어한다.

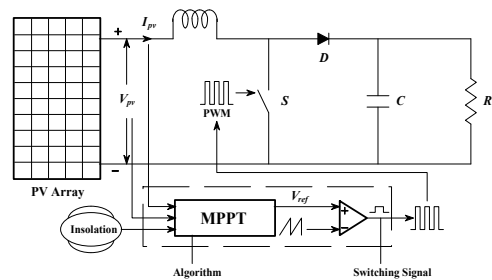


그림 6. PV 시스템의 제어  
Fig. 6. Control of PV system

MPPT의 제어방법은 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식이 있으며, 알고리즘 측면에서는 P&O, IC 및 CV 제어방법 등이 있다. 또한 새로운 방식의 MPPT 제어방법에 대해 현재까지 많은 연구 성과가 보고되고 있다. MPPT 제어방법은 일사량과 표면온도의 변화에 영향을 받는 태양전지의 MPP를 추종하여  $V_{ref}$  값으로 출력된다.

MPP는 동일 일사량에서 발생되는 전력이 출력전압에 따라 변하기 때문에 MPPT 제어를 하지 않을 경우 태양전지는 MPP에서 발전하지 못하여 태양전지의 발전효율이 저하되고 손실이 발생된다. 따라서 일사량 조건과 부하조건에 따라 최적의 동작전압을 추종하는 MPPT 제어가 필요하다.

#### 3.1 P&O 제어방법

P&O MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖고 있으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지전압을 주기적으로 증가, 감소시

킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이의 출력전력을 비교하여 MPP를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 7과 같은 순서도에 의해 동작한다.

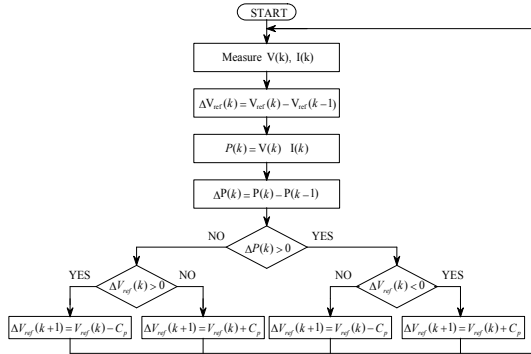


그림 7. PO MPPT 방법의 순서도  
Fig. 7. Flowchart of PO MPPT Method

그림 7의 제어방법은 다음과 같이 설명할 수 있다. 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 PO 제어방법은 급변하는 환경조건에서 자려진동 할 것이며, 그 결과 태양전지 어레이에서 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 PO 제어방법의 개선으로 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. 여기서  $C_p$  값을 0.1[V]로 설정하여 각각의 MPPT 제어방법을 시뮬레이션 하였다.

### 3.2 IC 제어방법

IC MPPT 제어방법은 임피던스 비교법, 증분 컨덕턴스방법으로 불린다. 이 방법은 태양광 전지 어레이 출력의 컨덕턴스와 증분 컨덕턴스를 비교하여 MPP를

추종하는 방법이다. 그리고 PO 제어방법에서 간과하고 있는 일정온도에서 일사량이 증가할 경우, 전압의 변동 폭이 '0'이 되도록 제어 알고리즘이 추가되어 있으므로 좀 더 향상된 방법이라고 할 수 있다. 특히 빠르게 변하는 일사량에서 효과적인 방법이며 MPP에 도달 시 태양광 전지 어레이의 출력전력이 안정한 특징이 있다. PO 제어방법의 문제점을 개선하기 위한 IC 제어방법은 전압과 전류를 측정하여 전력 대 전압의 기울기를 계산한 후 기울기의 부호 즉, 양과 음을 판단하여 기준전압을 증가 혹은 감소시켜 MPP를 추종하는 방법이다. 많은 논문을 통하여 IC 제어방법이 PO 제어방법보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 증명하였으며 특히 빠른 일사량 변동 시에 유리한 제어방법으로 알려져 있다. 이 방법은 그림 8과 같은 순서도에 의해 동작한다.

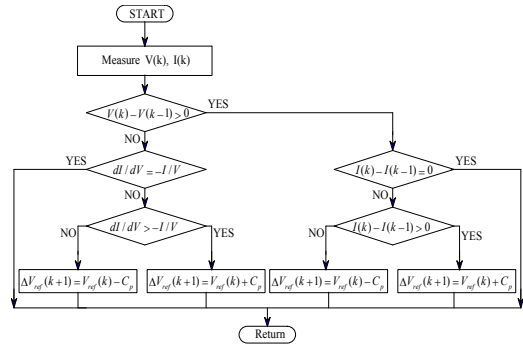


그림 8. IC MPPT 방법의 순서도  
Fig. 8. Flowchart of IC MPPT Method

MPP는  $\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되는 경우이므로 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$IdV + VdI = 0 \tag{7}$$

$$\frac{V}{I} = -\frac{dV}{dI} \tag{8}$$

위 식은 부하 임피던스가 MPP에 있어서 태양전지 어레이의 V-I곡선의 기울기에 동등하다는 것을 나타내고 있다.

MPP의 최대전력곡선에서 MPP의 왼쪽은 전력의 증가(즉,  $dP/dV > 0$ )이며, MPP의 오른쪽은 전력의 감소(즉,  $dP/dV < 0$ )를 나타낸다.

태양전지의 전류와 전압으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dIV}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (9)$$

MPP 조건  $V = V_{mp}$ 를 만족하는 아래의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (10)$$

IC 제어방법은 빠른 환경변화에서 MPPT 성능이 매우 좋은 장점이 있으나, 많은 계산량으로 인해 고성능 CPU가 필요하므로 결국 시스템 단가를 상승시키는 단점이 있다.

### 3.3 CV 제어방법

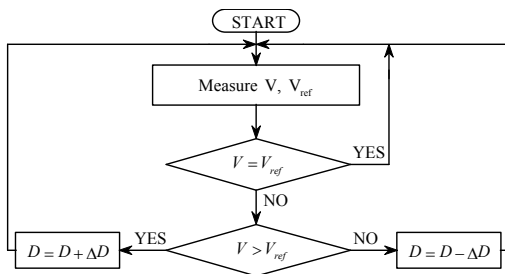


그림 9. CV MPPT 방법의 순서도  
Fig. 9. Flowchart of CV MPPT Method

태양전지의 최대 출력전압은 일사량과 태양전지 온도에 크게 영향을 받지 않는다. 태양전지 어레이의 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동 폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로,  $V_{ref} = 0.76V$ 로 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 CV 제어방법이라고 한다. 따라서 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않는다. Boost 컨버터의 duty는 제어 회로에 의해 결정되고, 출력 측 DC 전압은 정

상상태 조건의  $V_{ref}$  값에 의해 일정한 값으로 유지된다. 이 CV 제어방법은 일사량 급변 시 정확한 MPP를 추종하지 못해 출력효율이 감소되고 태양전지 모델링의 정확성에 성능이 좌우되는 단점이 있지만, 어레이 및 DC측의 센서를 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

### 4. 개선된 P&O 알고리즘

개선된 P&O 제어방법은 일사량에 따라 태양전지 어레이의 출력전력의 효율을 극대화하기 위하여 제안한 방법이다. 일사량에 따라서 MPPT를 수행하는 알고리즘을 다르게 사용한다. 먼저 일사량이 낮은 경우에는 CV 제어방법을 수행하고, 일사량이 높은 경우에는 기존의 PO 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 Hybrid(HB)방법이다. 이 방법에 대한 순서도는 그림 10과 같다. 이 제어방법은 일사량센서를 이용하거나 전력량을 가지고 일사량 값으로 바꾸어 프로그램 상에서 동작모드를 변경할 수 있다.

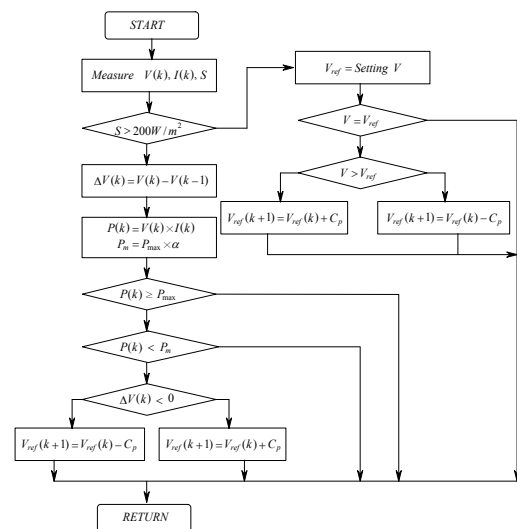


그림 10. 제시한 HB MPPT 알고리즘 순서도  
Fig. 10. Flowchart of proposed HB MPPT algorithm

제시된 HB방법은 태양전지 어레이의 출력전력이 최대 전력점에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를 동일한 방향으로 증가 또는 감소시키며 최대전력( $P_{max}$ )을 추종한다. 또한  $P_{max}$  값에 일정한  $\alpha$  값(1이하)을 곱하여 최소 출력전력을 결정하고, 최대 전력점에 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.

따라서 MPP를 기준으로 태양전지의 출력전압을 증가 혹은 감소시키면서 MPPT제어를 한다. 본 논문의 시뮬레이션에 사용된 최소출력전력( $P_m$ )은 식 (11)과 같다.

$$P_m = P_{max} \times \alpha \tag{11}$$

태양전지의 출력전압을 MPP까지 증가 시킨 후, 임의의  $\alpha$  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 성능결과

표 1은 PSIM 모델링을 위한 태양 어레이의 파라미터 값과 태양전지 모듈의 사양을 나타내고 있다.

MPPT 제어는 DLL(Dynamic Link Library)을 이용하여 C 언어로 프로그램 하였다. 회로도에서 사용된 DLL은 총 3부분으로 구성되어 있으며, Max.dll은 태양전지의 일사량, 온도 등의 중요 파라미터들을 고려하여 출력전력을 얻을 수 있도록 설계하였다. insol.dll은 일사량의 변동에 대하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 설계하였으며, EX.dll은 종래의 MPPT 제어방법인 PO, IC 및 CV방법을 적용할 수 있도록 각각의 dll 파일로 프로그램 하였다. PSIM을 사용하여 각각의

MPPT 회로도도 그림 11과 같이 구성하였다.

표 1. PV 모듈의 사양  
Table 1. Specification of PV Module

Maximum power( $P_{max}$ )	[W]	200
NP	[수]	4
NS	[수]	16
셀 직렬 저항( $R_s$ )	[ $\Omega$ ]	0.00005
셀 shunt 저항( $R_{sh}$ )	[ $\Omega$ ]	5×1
Max.power voltage( $V_{mp}$ )	[V]	24.5
Max.power current( $I_{mp}$ )	[A]	8.16
Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )	[V]	30.8
Short circuit current( $I_{sc}$ )	[A]	5.57
Warranted minimum power( $P_{min}$ )	[W]	190.5
Output tolerance	[%]	+10/-5
Maximum system voltage	[V]	600
Temperature coefficient of $P_{max}$	[%]	-0.5
Temperature coefficient of $V_{oc}$	[V/°C]	-111
Temperature coefficient of $I_{sc}$	[mA/°C]	0.065
Standard Test Conditions : Air mass 1.5 Irradiance= 1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature=25°C		

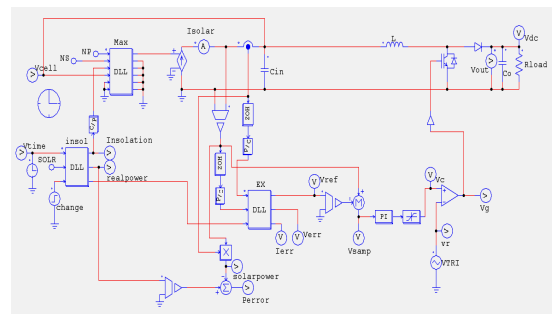


그림 11. MPPT 제어를 위한 PSIM 회로도  
Fig. 11. PSIM circuit for MPPT control

### 4.1 MPPT 제어방법 비교

그림 12~15는 PSIM으로 구성한 시뮬레이션의 출력 파형을 나타내고 있다. 어레이의 일사량은 1000[W/m<sup>2</sup>],

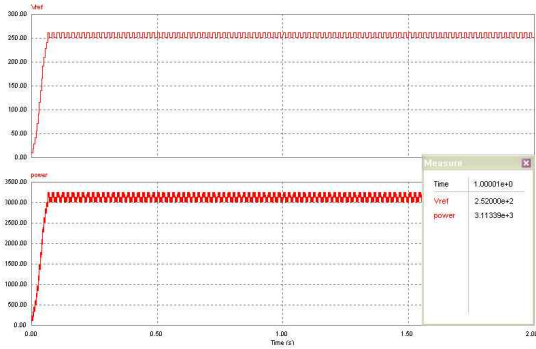


그림 12. MPPT 방법에 따른 응답특성(PO)  
Fig. 12. Response characteristic of MPPT method(PO)

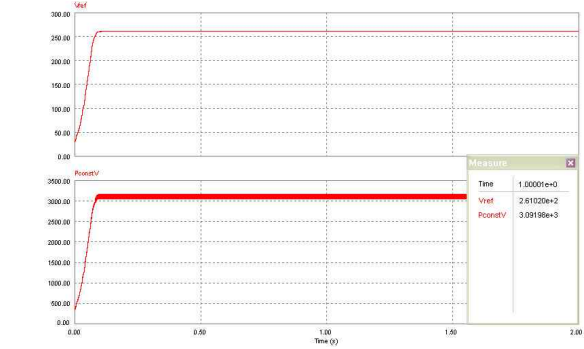


그림 14. MPPT 방법에 따른 응답특성(CV)  
Fig. 14. Response characteristic of MPPT method(CV)

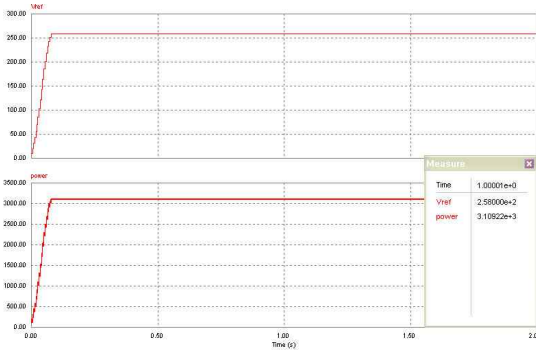


그림 13. MPPT 방법에 따른 응답특성(IC)  
Fig. 13. Response characteristic of MPPT method(IC)

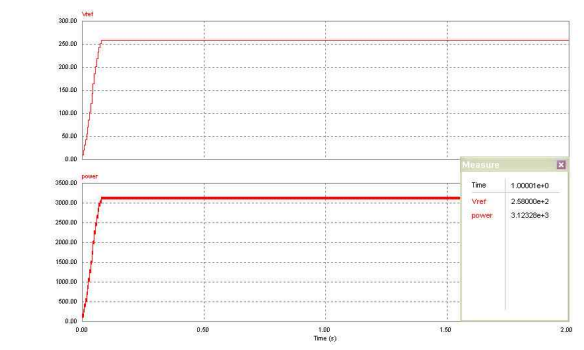


그림 15. MPPT 방법에 따른 응답특성(HB)  
Fig. 15. Response characteristic of MPPT method(HB)

온도는 45[°C]로 일정하게 하고 부하에 대한 어레이에서 발생하는 최대 전력과  $V_{ref}$ 을 나타내고 있다.

그림 12의 PO 제어방법은 정상상태에서  $V_{ref}$  값이 지속적으로 증가 혹은 감소를 통해서 출력 전력도 진동을 하게 되고, 이런 불필요한 진동은 출력손실로 나타난다. 그림 13의 IC 제어방법은 MPP를 빠르게 추종하면서 정상상태의 MPP에서 일정하게 출력을 유지한다. 따라서 PO 제어방법에 비하여 상대적으로 적은 손실이 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 15는 CV 제어방법의 응답 특성으로 개방전압의 76[%]의  $V_{ref}$  값으로 MPP를 추정한다. 간단하고 쉽게 제어할 수 있지만 추정성능이 느리고, 정상상태의 MPP에서 진동이 발생되어 손실이 발생하는 것을 나타내고 있다. 그림 15는 본 논문에서 제시한 방법인 HB MPPT 제어방법의

출력 파형을 보여주고 있다. 그림 12에서 PO 제어방법의 출력전력과 비교 하였을 때, 제시한 HB 제어방법이 MPP에서 진동이 감소된 것을 나타내고 있다.

표 2. MPPT 방법의 출력 비교

Table 2. Output power comparison with MPPT methods

	PO 방법	IC 방법	CV 방법	HB 방법
T	1[s]	1[s]	1[s]	1[s]
$V_{ref}$	252.0[V]	258.0[V]	261.0[V]	258.0[V]
POWER	3.113[kW]	3.199[kW]	3.091[kW]	3.123[kW]

표 2는 종래의 MPPT 제어방법과 제시한 HB MPPT 방법을 일사량  $1000[W/m^2]$ 과 시간 1[s]에서



측정한  $V_{ref}$ 와 출력전력을 비교하여 나타낸 것이다. 제시한 HB 방법이 가장 높은 출력으로 MPP를 추정하는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 일사량 변동에 대한 제어방법 비교

태양광 발전은 일사량과 온도에 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서 온도는  $45[^\circ\text{C}]$ 로 일정하게 한 후 일사량을  $1000[W/m^2]$ 에서 빠르게 변화시킬 경우에 각각의 제어 방법의 추적성능을 비교하였다. PSIM 시뮬레이션을 통하여 일사량에 따른 이상적인 발전량을 *insol.dll*로 계산하고, 전압과 전류센서를 이용하여 계산한 실제 발전량과의 오차  $P_{error}$ 을 계산하였다. 그림 16의 상단의 파형은 PO 제어방법에서 일사량 값을 1000, 800, 500, 200, 600,  $1000[W/m^2]$ 으로 변화할 때 최대전력과 실제 발전되는 전력과의 오차로  $P_{error}$ 를 계산하였다.

그림 16의 하부 파형은 일사량 변동에 대한 PO 제어방법의 오차를 나타내고 있다. CV 제어방법에 비하여 오차의 양이 적게 나타나고 있으며, 추정속도는 스텝 값에 따라 결정되어진다. 또한 저 일사량에서는 MPPT에 실패하여 오차 값이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 17은 빠르게 변하는 일사량 변동에 대한 IC 제어방법의 출력오차를 나타내고 있다. IC 제어방법은 일사량 변동에 빠르게 MPP를 추종하며 PO 제어방법에 비하여 오차 값은 작게 나타나고 있다. 그러나 빠르게 변하는 저 일사량에서는 MPP를 정확히 추종을 못하고 출력오차 값이 증가하는 것을 나타내고 있다. 따라서 저 일사량뿐만 아니라 고 일사량에서도 MPP를 추종할 수 있는 MPPT 제어방법이 필요하다.

그림 18은 CV 제어방법으로 간단하고, 전압 센서만으로 시스템을 설계할 수 있으나 PO와 IC 제어방법에 비하여 응답 특성이 느리고 오차가 크게 발생되지만, 낮은 일사량에서도 MPPT를 추종할 수 있는 장점이 있다.

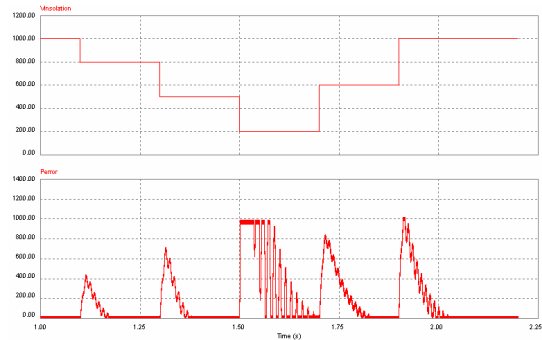


그림 16. 일사량 변동에 따른 응답특성(PO)  
Fig. 16. Response characteristic in fast-insolation (PO)

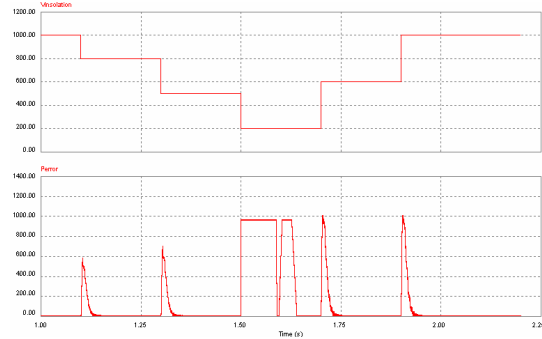


그림 17. 일사량 변동에 따른 응답특성(IC)  
Fig. 17. Response characteristic in fast-insolation (IC)

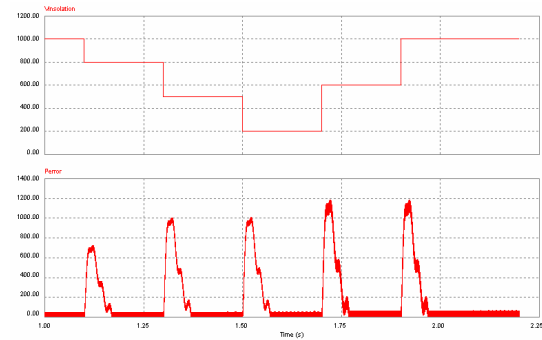


그림 18. 일사량 변동에 따른 응답특성(CV)  
Fig. 18. Response characteristic in fast-insolation (CV)

그림 19는 고 일사량뿐만 아니라 저 일사량에서도 MPP를 추종 할 수 있는 HB 제어방법의 출력오차를 나타내고 있다. 여기서  $V_{ref}$ 의 변동 폭은 0.1로 설정하

여 시뮬레이션 하였으며 어레이의 단자전압이 기준전압을 추종하여 MPPT를 수행하게 된다. HB 제어방법은 종래의 PO 제어방법보다 출력오차가 적게 나타나며, PO와 IC 제어방법은 저 일사량에서 정확한 MPP 추종에 실패하였지만 제안한 HB 제어방법은 저 일사량에서도 MPP를 추종하는 것을 발생된 오차의 비교를 통해 알 수 있다.

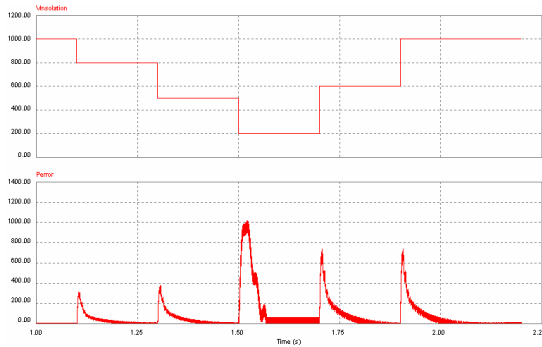


그림 19. 일사량 변동에 따른 응답특성(HB)  
Fig. 19. Response characteristic in fast-insolation (HB)

표 3은 일사량의 변동이 있을 때, 종래의 MPPT 제어방법과 본 논문에서 제시한 HB 제어 방법의 효율을 비교한 것이다. 표 4는 일사량이 단계적으로 변화할 경우의 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 일사량이 변동할 경우에도 마찬가지로 HB 제어 방법이 가장 높은 효율을 나타내고 있으며, 저 일사량에서도 MPP를 양호하게 추종함을 알 수 있다.

표 3. 효율 비교(일사량 변동조건)  
Table 3. Efficiency comparison in dynamic condition

Algorithm	일사량 변동	효율
PO 방법	200 - 1000[W/m <sup>2</sup> ]	88[%]
	0 - 200[W/m <sup>2</sup> ]	32[%]
IC 방법	200 - 1000[W/m <sup>2</sup> ]	85[%]
	0 - 200[W/m <sup>2</sup> ]	15[%]
CV 방법	200 - 1000[W/m <sup>2</sup> ]	73[%]
	0 - 200[W/m <sup>2</sup> ]	65[%]
HB 방법	200 - 1000[W/m <sup>2</sup> ]	91[%]
	0 - 200[W/m <sup>2</sup> ]	65[%]

표 4. 효율 비교(일사량 고정조건)  
Table 4. Efficiency comparison in static condition

일사량	PO	IC	CV	HB
1000[W/m <sup>2</sup> ]	97.3[%]	97.5[%]	96.6[%]	97.6[%]
800[W/m <sup>2</sup> ]	97.1[%]	97.2[%]	96.5[%]	97.3[%]
600[W/m <sup>2</sup> ]	97.2[%]	97.5[%]	96.3[%]	97.4[%]
400[W/m <sup>2</sup> ]	97.3[%]	97.6[%]	96.5[%]	97.5[%]
300[W/m <sup>2</sup> ]	87.9[%]	89.1[%]	86.5[%]	89.3[%]
200[W/m <sup>2</sup> ]	22.9[%]	25.5[%]	86.4[%]	86.4[%]
100[W/m <sup>2</sup> ]	20.2[%]	19.4[%]	38.9[%]	38.9[%]

## 6. 결 론

본 논문에서는 종래의 MPPT 제어방법의 문제점을 개선하기 위해 PO 방법과 CV 방법을 혼합한 하이브리드 형태의 개선된 MPPT 제어방법을 제시하였다. PO 방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 구현이 간단하고, CV 방법은 저 일사량에서도 MPPT 추적이 가능한 제어방법이다. 일사량의 변화가 일정할 때와 일사량이 급변하는 조건으로 PSIM을 이용하여 결과를 종래의 MPPT 제어방법인 PO 방법, IC방법 및 CV 방법과 비교, 분석하였다. PO 방법과 IC 방법은 고 일사량에서 MPP 추적 성능이 매우 양호하게 나타났다. 그러나 저 일사량에서 전압의 변화량이 작아 전력오차가 커져 MPP 추적이 실패하였다. CV 방법은 저 일사량에서도 MPP 추적이 가능하나 일사량이 급변하는 경우에 MPP 추적의 응답속도가 느린 단점이 있다. 정상상태에서 발전 효율이 PO 방법 97.3[%], IC 방법 97.5[%], CV 방법 96.6[%]이고 HB 방법은 97.6[%]로 향상된 효율을 보여주었으며, 일사량이 급변하는 환경조건에서 PO 방법 88[%], IC 방법 85[%], CV 방법 73[%]이고 HB 방법은 91[%]의 효율로 기존의 방법에 비하여 안정된 발전과 최대전력점을 추적함은 물론 효율 또한 향상됨을 알 수 있었다. 이로서 본 논문에서 제시한 일사량을 고려한 개선된 P&O MPPT 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

## References

- [1] 산자부 “신재생에너지 RD&D 전략 2030(태양광)”, 2007.
- [2] 이준신, 김경해, “태양전지공학”, 그린도서출판사.
- [3] 윤경훈 “태양전지 기술개발 현황과 전망”, 한국에너지 기술연구원(KIER) 태양전지 연구센터.
- [4] 최주엽 “Development of highly efficient dispersed photovoltaic power generation system” 과학재단, 2004.
- [5] 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.
- [6] P. Wolfs, Q. Li “A current-sensor-free incremental conductance single cell MPPT for high performance vehicle solar arrays” PESC06. pp. 1-7.
- [7] L. Zhanlg, A. Al-Amoudi, Y. Bai, “Real-time maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic systems”, IEEE Publ. No. 475, pp. 124-129, 2000.
- [8] Tae-Kyung Kang, Kang-Hoon Koh, Young-Cheal Kim, “The study on MPPT algorithm for improved incCond algorithm” 한국태양 에너지학회, pp. 299-306, 2004.
- [9] E. Roman, P. Ibanez, S. Elorduizapatarietxe, R. Alonso, D. Goitia, and I. Martinez de Alegia “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.
- [10] X. Sun, W. Wu, X. Li, Q. Zhao, “A research on photovoltaic energy controlling system with maximum power point tracking”, Proc. of PCC '02, Vol. 2, pp. 822-826, 2002.
- [11] Fang Luo, Pengwei Xu, Yong Kang, Shangxu Duan “A variable step maximum power point tracking method using differential equation solution” IEEE, pp. 2259-2263, 2007.
- [12] R. J. Wai, W. H. Wang, and C. Y. Lin, “High-performance stand-alone photovoltaic generation system,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 1, pp. 240-250, Jan. 2008.

## ◆ 저자소개 ◆



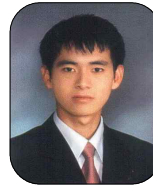
### 최정식(崔正植)

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사 과정.

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)752-1103

E-mail : cjs1108@scnu.ac.kr



### 고재섭(高在涉)

1980년 2월 2일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사 과정.

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)752-1103

E-mail : kokos22@scnu.ac.kr



### 정동화(鄭東和)

1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년 현재 순천대학교 전기제어공학과 교수.

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)752-1103

E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr

WebPage: <http://pelab.sunchon.ac.kr/~hwa777>