

# 그림자 영향을 고려한 PV MIC 시스템의 새로운 MPPT 제어

(A Novel MPPT Control of PV MIC System Considering the Shaded Effect)

최정식\* · 정동화\*\*

(Jung-Sik Choi · Dong-Hwa Chung)

## Abstract

This paper presents the new maximum power point tracking(MPPT) control of the photovoltaic(PV) module integrated converter(MIC) system considering the shadow influence. The output characteristics of the solar cell is a nonlinear and affected by a temperature, the solar radiation and influence of a shadow. Particularly, MIC system is very sensitive to the shadow influence because the capacity is very small. In order to increase an output and efficiency of the solar power generation, the maximum power point(MPP) obeying control are necessary. Conventional perturbation and observation(PO) and Incremental conductance(IC) are the method finding MPP by the continued self-excitation vibration. The MPPT control is unable to be performed by rapid output change affected by the shadow. To solve this problem, the new control algorithm of the multi-level in which the step value changes by output change is presented. In case there are the solar radiation, a temperature and shadow influence, the presented algorithm treats and compares the conventional control algorithm and output error. In addition, the validity of the algorithm is proved. through the output error response characteristics.

Key Words : PV System, MPPT Algorithm, Output Error, Shaded Effect, Insolation, Temperature

## 1. 서 론

태양광발전 시스템은 다른 신·재생 에너지에 비해 운전 및 유지관리 비용을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 따라서 태양광발전 시스템은 오래 전부터 많은 연구가 진행되어 왔고, 전력전자 기술의 발전에 의한 인

버터의 기능 향상과 대형화로 여러 분야에서 태양광발전 시스템이 사용되고 있다. 그러나 태양광발전 시스템의 주요 부품인 태양전지의 제작비용이 감소되었지만, 종래의 발전 방법과 비교했을 때 초기 설치비용이 높고 에너지 밀도 및 효율이 낮아서 발전단가는 높게 평가되고 있다[1-2].

소용량 단상 계통연계형 PV PCS(Power Conditioning System)는 MIC라고 불리며 인버터의 고장 및 그림자 효과 등에 있어서 매우 유용하게 운전되는 장점이 있다. 또한 MIC는 “Plug and Play”의 개념으로 에너지 생산의 최적화를 제공할 수 있다. 각각의 PV

\* 주저자 : 전자부품연구원 선임연구원  
\*\* 주저자 : 순천대학교 전기제어공학과  
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-752-1103  
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr  
접수일자 : 2011년 3월 5일  
1차심사 : 2011년 3월 19일, 2차심사 : 2012년 4월 16일  
심사완료 : 2012년 5월 1일

모듈은 DC-AC 인버터를 가지고 있으며, MPPT 제어 기능과 계통과 연계할 수 있는 계통연계 알고리즘을 수행하게 된다. 태양광발전 시스템의 출력 효율을 높이기 위하여 일반적으로 태양전지 셀 자체의 효율을 높이거나 태양광발전 제어용 전력변환 시스템의 변환 효율 및 MPPT 제어를 하여 높이는 방법, 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 추적식 방법 등을 이용하고 있다[3-4].

이 중 태양광 PCS 제어를 통한 태양광발전 제어용 전력변환 시스템의 효율을 높이는 방법이 전력전자 분야에서 응용이 가능하다. 전력변환 시스템의 제어 알고리즘에 있어서 발전설비의 효율을 높이기 위해 일반적으로 가장 용이한 방법은 MPPT 제어이며 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있고 이를 응용한 제어기들도 태양광발전 전력변환 장치에 필수적으로 사용되고 있다.

PV MIC 시스템은 약 200[W]급의 소용량 PCS로서 PV의 각 모듈에 부착하여 AC 모듈의 형태로 사용되며 DC-DC 컨버터에서 MPPT 제어를 수행한다. MIC 시스템에 적용되는 MPPT 제어는 각 모듈에 대한 최적전압 및 최적전류를 검출하는 것으로서 대용량 MPPT 제어에 비해 부분적인 그림자 영향에 매우 민감하다.

종래의 MPPT 제어 방법은 정전압 제어방식과 비선형함수 계산방식, PO 제어방법, IC 제어방법 등이 대표적이다[5-8]. 종래의 MPPT 제어방식들은 거의 대부분 태양전지에 그림자 효과가 발생한 경우에 대해서는 고려하지 않았다. 이는 태양전지 셀을 직·병렬로 구성된 PV 모듈의 경우, 부분적인 그림자에 의해 다수의 국부적인 최대전력점이 존재하는 경우에는 최대전력점 추종을 실패할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 신경회로망, 유전자 알고리즘 퍼지제어등 인공지능 제어를 이용하여 최대전력점을 추적하는 방법들에 대한 연구가 이루어졌다. 그러나 이러한 방법들은 많은 연산이 필요하며 지속적으로 변화하는 환경에서 강인성이 약하다는 단점을 가진다[9-11]. 본 논문에서는 그림자 영향을 고려한 새로운 MPPT 제어 방법을 제시한다. 새로운 MPPT 제어 방법은 종래의 PO 방법을 개선한 것으로서 진동

스텝 크기를 출력오차에 따라 다양하게 변화하여 태양광 발전 출력변화에 강인하게 제어가 되며 구조가 간단하여 구현이 용이하다. 제시한 제어 알고리즘은 종래의 PO 및 IC 방법과 응답특성을 비교하여 그 타당성을 입증한다.

## 2. 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.

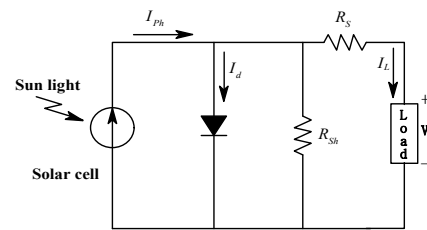


그림 1. 태양전지의 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

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

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

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.

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

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

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

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

여기서  $S_N$  : 단위 일사량

$I_i$  : 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)을 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.

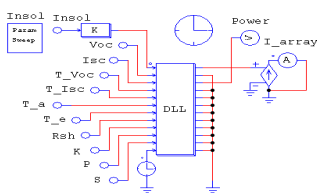


그림 2. 태양전지 어레이의 PSIM 모델  
Fig. 2. PSIM model of solar cell array

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

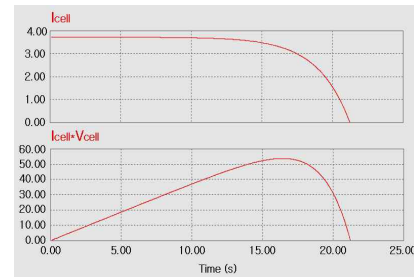


그림 3. 태양전지 어레이의 I-V, P-V 특성곡선  
Fig. 3. I-V, P-V characteristic waveform of solar cell array

태양전지의 특성곡선은 셀의 온도와 일사량 등 여러 가지 환경적인 요소에 크게 영향을 받는다. 이는 일사량과 태양전지 단락전류와의 관계에 기인하게 되며 태양전지의 모델링으로 나타 낼 수 있다. 또한 온도가 상승할수록 개방전압이 하강하여 P-V 곡선이 온도상승에 따라 왼쪽으로 이동한다. 그림 4는 일사량을 200 [W/m<sup>2</sup>]에서 1,000[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 일사량이 60~100[%]의 범위에서는 큰 변화가 없으나, 낮은 일사량인 30[%]미만에서는 크게 감소되는 것을 알 수 있다.

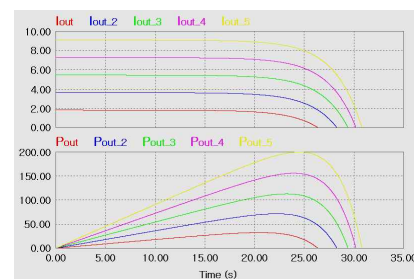


그림 4. 일사량에 대한 태양전지의 출력특성  
Fig. 4. Output characteristics of solar cell by radiation

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°C<sup>-1</sup>]씩 감소하고, 광전류는 온도가 상승함에 0.1[%°C<sup>-1</sup>]씩 증가하고, 최대전력은 0.35[%°C<sup>-1</sup>]씩

그림자 영향을 고려한 PV MIC 시스템의 새로운 MPPT 제어

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.

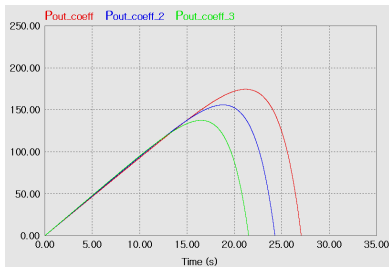


그림 5. 온도에 대한 태양전지의 출력특성  
Fig. 5. Output characteristics of solar cell by temperature

### 3. 종래의 MPPT 제어 알고리즘

MPPT의 제어방법은 하드웨어적인 분류방식으로 아날로그방식과 디지털방식이 있으며, 알고리즘 측면에서는 PO, 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 발생하는 전력이 출력전압에 따라 변하기 때문에 MPPT 제어를 하지 않을 경우 태양전지는 MPP에서 발전하지 못하여 태양전지의 발전효율이 저하되고 손실이 발생된다. 따라서 일사량 조건과 부하조건의 변화에 따라 최적의 동작전압을 추종하는 MPPT 제어가 필요하다.

#### 3.1 PO 제어방법

PO MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 추정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이의 출력전력을

비교하여 MPP를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 6과 같은 순서도에 의해 동작한다.

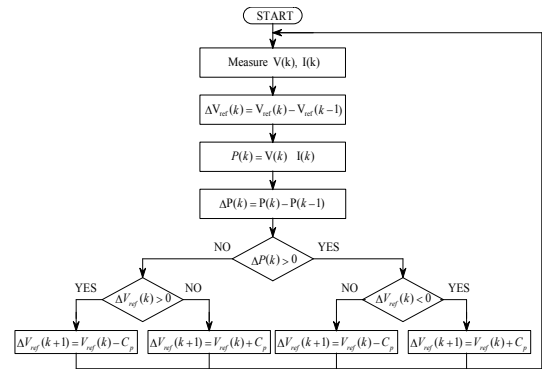


그림 6. PO MPPT 방법의 순서도  
Fig. 6. Flowchart of PO MPPT Method

그림 6의 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 도달할 경우 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 문헌을 통하여 IC 제어방법이 PO 제어방법보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 증명하였으며 특히 빠른 일사량 변동할 경우에 유리한 제어방법으로 알려져 있다. 이 방법은 그림 7과 같은 순서도에 의해 동작한다.

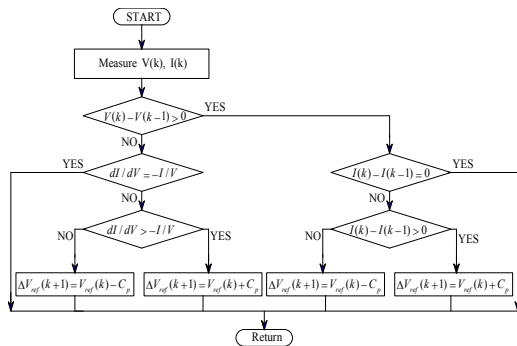


그림 7. IC MPPT 방법의 순서도  
Fig. 7. Flowchart of IC MPPT Method

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.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dIV}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \tag{9}$$

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

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{10}$$

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

#### 4. 제시한 MPPT 제어 알고리즘

종래의 MPPT 제어방식들은 거의 대부분 태양전지에 그림자 효과가 발생한 경우에 대해서는 고려하지 않았다. 이는 태양전지 셀을 직·병렬로 구성한 PV 모듈의 경우, 부분적인 그림자에 의해 다수의 국부적인 최대전력점이 존재하는 경우에는 최대전력점 추종을 실패할 수 있다는 것을 의미한다. 종래의 MPPT 방법 중 가장 많이 쓰이고 있는 PO 방법과 IC 방법에 대한 PV 모듈에 부분적인 그림자가 발생한 경우의 MPPT 추종 특성은 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.

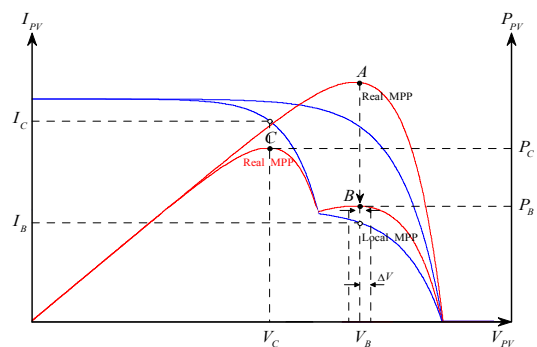


그림 8. 부분적인 그림자 발생 시 PO, IC MPPT의 추종 특성  
Fig. 8. Tracking characteristics of PO and IC with partial shadow

그림 8에서 부분적인 그림자 영향이 발생하지 않은 경우, MPPT가 정상적으로 추종되고 있다면, 동작점은 A점에 위치하게 된다. 이 때 PV 모듈에 부분적인 그림자가 발생하여 일부 태양전지 셀의 bypass diode가 도통된 상태가 된다면 PV 모듈의 출력곡선은 변화하게 되고, 동작점은 B점으로 이동하게 된다. 부분적인 그림자 영향에 의해 bypass diode가 도통 상태가 된 경우에는  $P-V$  특성 곡선에서 여러 개의 국부적 최대전력점이 발생하며, 그림 9에서 B점은 국부 최대전력점이고 C점이 실제 최대전력점이 된다.

종래의 PO 및 IC 계열의 MPPT 방식에서는 A점에서 B점으로 동작점이 이동하는 경우, 일사량이 급변 또는 그림자 영향이 발생했다고 판단하고, B점에서부터  $\Delta V$ 만큼 전압 기준치를 변동시키면서 MPP를 판별한다. 이 경우 그림 9에서와 같이 B점을 기준으로  $V_B + \Delta V$ ,  $V_B - \Delta V$ 의 전압범위에 있는 지점의 전력은 B점의 전력보다 낮기 때문에 B점을 MPP라고 판단하고 B점 부근에서 자려 진동을 하게 된다. PV MIC를 적용하는 BIPV(Building Integrated PV) 시스템에서는 이러한 부분적인 그림자 영향에 의한 MPPT 제어의 실패가 발생할 확률이 더욱 높다. 또한 현재 상용되고 있는 제품을 부분적인 그림자 영향이 존재하는 조건에서 테스트하여 부분적인 그림자 영향에 의해 발생하는 전력손실이 70[%]에 달한다는 것을 확인한 연구가 발표되었다[9]. 발전 시간에 제약을 갖는 태양광발전 시스템의 특성상 부분음영에 의한 영향을 고려하여 MPPT를 수행함으로써 태양광발전 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 진류제어형 MPPT 제어를 제시하고 알고리즘의 간소함을 위한 Multi-level PO 방법의 알고리즘을 제시한다.

진류제어형 MPPT 알고리즘은 종래의 PO 방법을 개선한 알고리즘으로서 환경조건에 따라 스텝 크기를 변화시키는 방법을 나타낸다. 제시한 Multi-level PO MPPT 알고리즘의 과정은 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 현재 전력과 이전 전력을 비교하여 변화량을 통해 3가지의 가속계수 중 하나를 선택할 수 있다. 그 다음은 종래의 PO 방법과 마찬가지로 이전의 진동이 최대전력점으로 향하는지 또는 멀어지는지를 판별하고,

현재 동작전압이 최적전압보다 높은지 또는 낮은지를 판별하여 4가지의 동작모드로 운전한다.

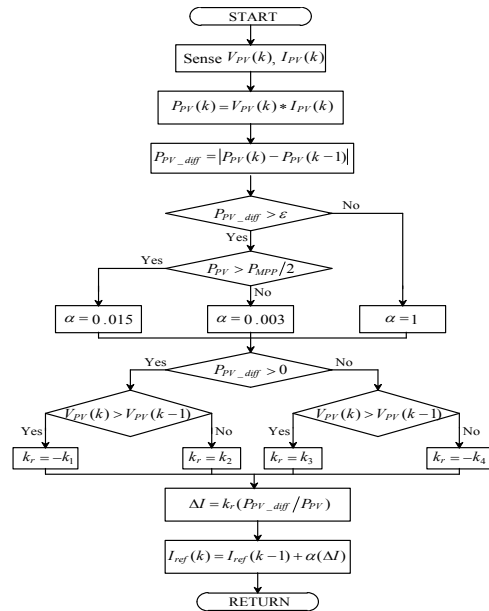


그림 9. 제시한 MPPT 알고리즘의 순서도  
Fig. 9. Flowchart of proposed MPPT algorithm

이러한 4가지의 동작 모드는 스텝 크기를 결정하는데 서로 다른 이득 계수를 갖으며, 이는 이전의 진동 스텝의 크기에 의존한다. 각 반복 루프에서 새로운 지령전류  $I_{ref}$ 는 진동의 스텝 크기  $\Delta I$ 에 이전의 지령전류를 더하며 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{ref}(k) = I_{ref}(k-1) + \alpha \Delta I \quad (11)$$

여기서 가속 계수  $\alpha$ 는 그림자 영향 또는 일사량 변화 등의 환경변화에 민감하게 동작하도록 제어된다. 또한 최적전압과 최적전류의 변화 폭이 클 경우에 최대전력점으로 빠르게 추종할 수 있도록 하며, 실제 최대전력점에서 MPPT 제어가 정확하게 변환되도록 수행한다. 진동 스텝의 크기는 현재 전력과 이전 전력의 민감도에 의존한다.

진동 스텝의 신호는  $P-V$  특성곡선에서 기울기 신호에 대한 방향을 나타내는  $k_r$ 에 의해 결정되며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta I = k_r \frac{P_{PV\_diff}}{P_{PV}} \quad (12)$$

$$P_{PV\_diff} = P_{PV}(k) - P_{PV}(k-1) \quad (13)$$

여기서  $P_{PV}(k)$ 는  $k$ 번째 샘플링 기간 동안의 PV 전력을 나타내고,  $P_{PV}(k-1)$ 는  $k-1$ 번째의 샘플링 기간 동안 측정된 PV 전력을 나타낸다. 또한  $k_r$ 은 진동 방향과  $dP_{PV}/dV_{PV}$ 의 기울기 방향으로 혼합된 4가지 동작모드에 대한 계수를 나타낸다. 진동 사이클은 PV 전력이 최대전력점에서 유지될 수 있도록 환경 조건의 변화에 대해 반복되어 수행한다.

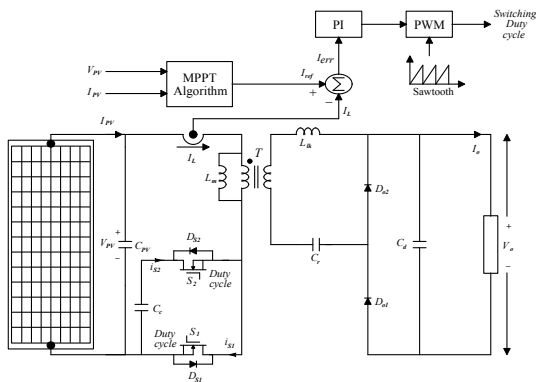


그림 10. MPPT 제어를 위한 DC-DC 컨버터의 구성도  
Fig. 10. Configuration of DC-DC converter for MPPT control

MPPT 변환은 최대전력점을 추종하기 위해 DC-DC 승압형 컨버터에서 수행된다. 전류제어형 MPPT 제어를 수행하기 위한 승압형 컨버터의 구조는 그림 10과 같이 나타낼 수 있다. 제시한 DC-DC 컨버터 제어 알고리즘은 입력과 출력을 포함하고 있으며, 개선된 PO 제어 알고리즘을 통한 출력은 최적전류인 지령전류  $I_{ref}$ 를 출력한다. 출력된  $I_{ref}$ 는 DC-DC 컨버터의 인덕터 전류  $I_L$ 과 비교하여 PI 제어기로 입력된다. PI 제어기의 출력은 톱니파와 비교하여 PWM을 형성하고 이러한 신호는 Duty cycle로 DC-DC 컨버터의 스위칭 동작을 수행하여 최종적인 MPPT 제어로 동작한다.

## 5. 시스템 성능결과

MPPT 제어를 수행하는 각각의 알고리즘에 대한 성능분석을 위한 PSIM 회로도에는 그림 11과 같다. 표 1은 MPPT 제어의 성능분석을 위한 태양전지 모듈의 파라미터를 나타낸다. 태양전지 모듈의 파라미터는 AM 1.5, 온도 25[°C] 및 일사량 1,000[W/m<sup>2</sup>]의 실험조건에서 측정된 값을 나타낸다. PSIM 회로도에는 본 논문에서 제시한 높은 전압 이득을 갖는 승압형 DC-DC 컨버터와 단상 인버터로 구성되었다. 또한 제어부는 태양전지의 모델링을 위한 PVMODEL.dll과 DC link 전압 제어를 위한 VDCCON.dll 및 MPPT 제어 알고리즘의 적용을 위한 MPPT.dll로 구성하였다. MPPT 제어의 성능시험은 일사량과 온도가 변동할 경우 및 그림자 영향의 조건으로 나누어 분석하였다.

표 1. 태양전지 모듈의 파라미터  
Table 1. Parameter of solar cell module

파라미터	기호	측정값	단위
개방전압	$V_{oc}$	42.8	[V <sub>dc</sub> ]
단락전류	$I_{sc}$	8.42	[A]
최대전력 전압	$V_{mp}$	34.6	[V <sub>dc</sub> ]
최대전력 전류	$I_{mp}$	6.5	[A]
최대전력	$P_{mp}$	225	[W]

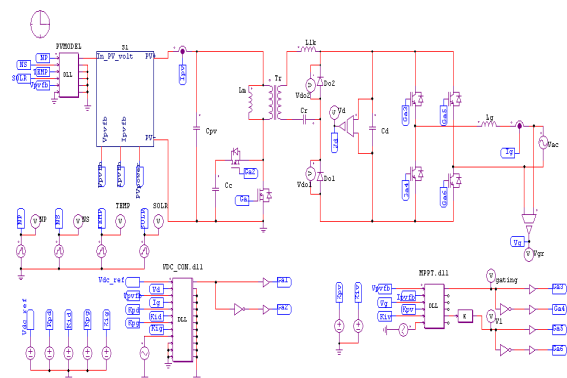
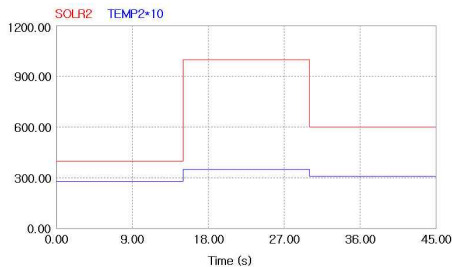


그림 11. MPPT 제어를 위한 PSIM 회로도  
Fig. 11. PSIM circuit for MPPT control

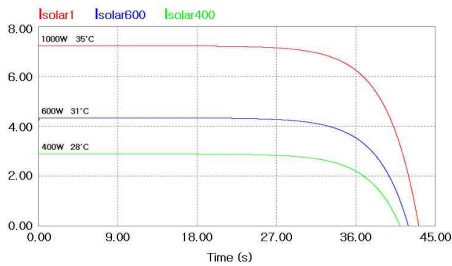
그림자 영향을 고려한 PV MIC 시스템의 새로운 MPPT 제어

### 5.1 일사량과 온도가 변동할 경우

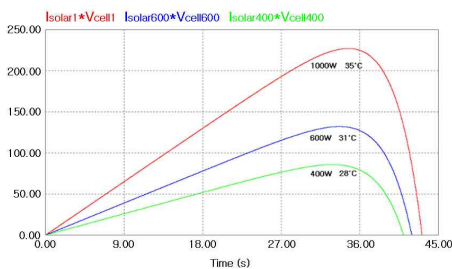
그림 12은 일사량이  $400[\text{W}/\text{m}^2] \rightarrow 1,000[\text{W}/\text{m}^2] \rightarrow 600[\text{W}/\text{m}^2]$ 으로 변동함에 따라 온도가  $28[^\circ\text{C}] \rightarrow 35[^\circ\text{C}] \rightarrow 31[^\circ\text{C}]$ 로 변화할 경우를 나타낸다. 그림 12 (a)는 일사량 및 온도의 변화, 그림 12 (b)는 일사량과 온도 변화에 따른 태양전지의  $I-V$  특성곡선 및 그림 12 (c)는 같은 조건에서 태양전지의 출력전력을 나타내고 있다. 일사량 및 온도 변화 조건에 따라 최적전압과 최적전류는  $(32.9[\text{V}], 2.56[\text{A}])$ ,  $(34.6[\text{V}], 6.5[\text{A}])$ ,  $(33.8[\text{V}], 3.9[\text{A}])$ 로 나타난다.



(a) Changed radiation and temperature



(b)  $I-V$  characteristic curve of solar cell module



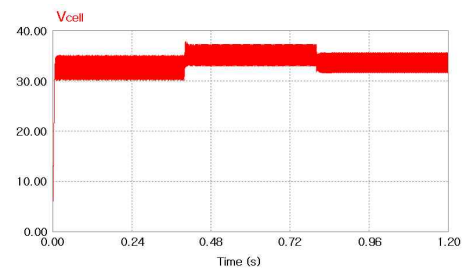
(c)  $P-V$  characteristic curve of solar cell module

그림 12. 일사량 및 온도가 변동할 경우의 태양전지 모듈의 특성곡선

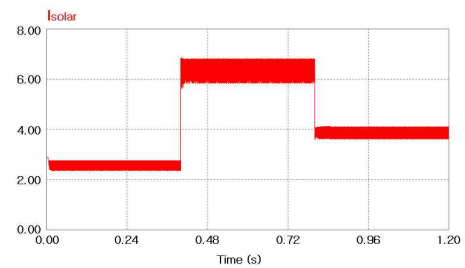
Fig. 12. Characteristic curve of solar cell module with changed radiation and temperature

#### 5.1.1 PO 제어방법

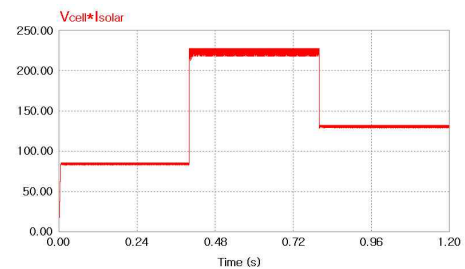
그림 13은 PO MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 14는 PO 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력과 이론적인 최대전력의 오차를 나타내고 있다. 일사량 및 온도 변화에 대한 PO 제어방법의 최대전력 오차율은 약 3.9[%]를 나타내고 있다.



(a) Output voltage of solar cell module



(b) Output current of solar cell module



(c) Output power of solar cell module

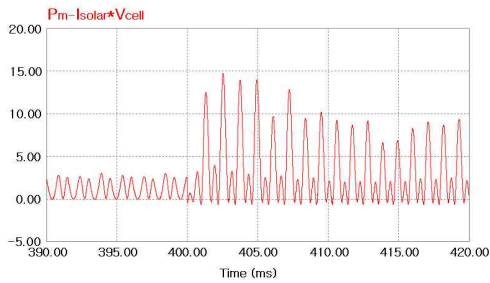
그림 13. 태양전지 모듈의 응답특성(PO 방법)

Fig. 13. Response characteristic of solar cell module(PO method)

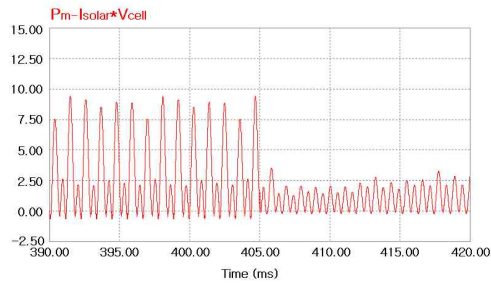
#### 5.1.2 IC 제어방법

그림 15는 IC MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 16은 IC 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력전력과 이론적인 최대전력





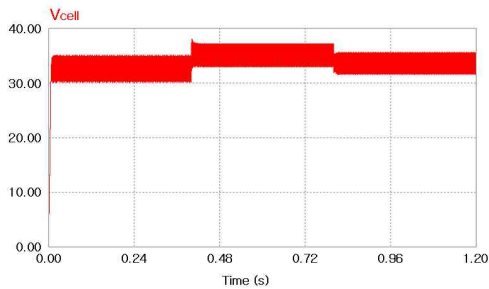
(a) 400(W/m<sup>2</sup>), 28(°C)→1,000(W/m<sup>2</sup>), 35(°C)



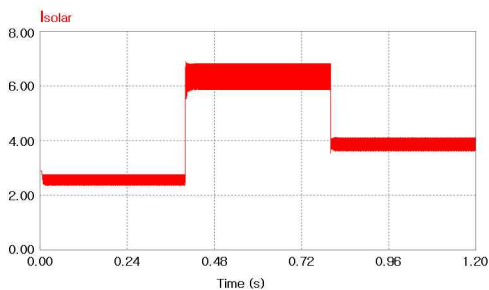
(b) 1,000(W/m<sup>2</sup>), 35(°C)→600(W/m<sup>2</sup>), 31(°C)

그림 14. 태양전지 모듈의 출력오차(PO 방법)

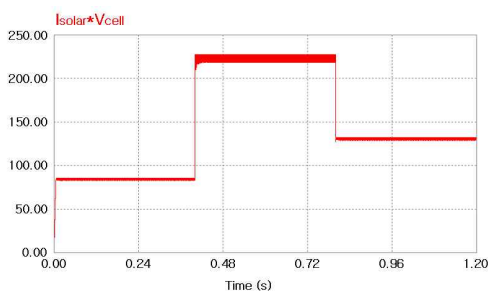
Fig. 14. Output power error of solar cell module(PO method)



(a) Output voltage of solar cell module



(b) Output current of solar cell module

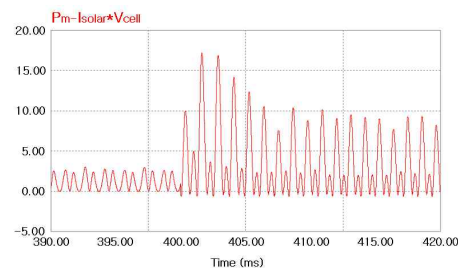


(c) Output power of solar cell module

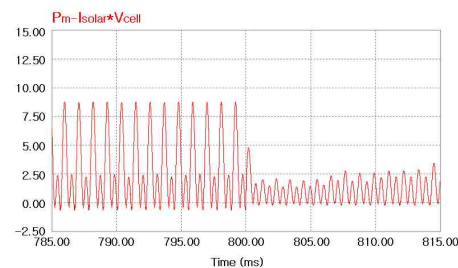
그림 15. 태양전지 모듈의 응답특성(IC 방법)

Fig. 15. Response characteristic of solar cell module (IC method)

의 오차를 나타내고 있다. IC 제어방법의 최대전력 오차율은 약 3.6[%]을 나타내고 있다.



(a) 400(W/m<sup>2</sup>), 28(°C)→1,000(W/m<sup>2</sup>), 35(°C)



(b) 1,000(W/m<sup>2</sup>), 35(°C)→600(W/m<sup>2</sup>), 31(°C)

그림 16. 태양전지 모듈의 출력오차(IC 방법)

Fig. 16. Output power error of solar cell module (IC method)

### 5.1.3 제시한 MPPT 제어방법

그림 17은 제시한 MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 18은 제시한 제어방법에 대한 최대전력의 오차를 나타낸다. 제시한 제어방법의 최대전력 오차율은 1[%] 이내로 양호한 최대전력 추종 성능을 나타낸다.

그림자 영향을 고려한 PV MIC 시스템의 새로운 MPPT 제어

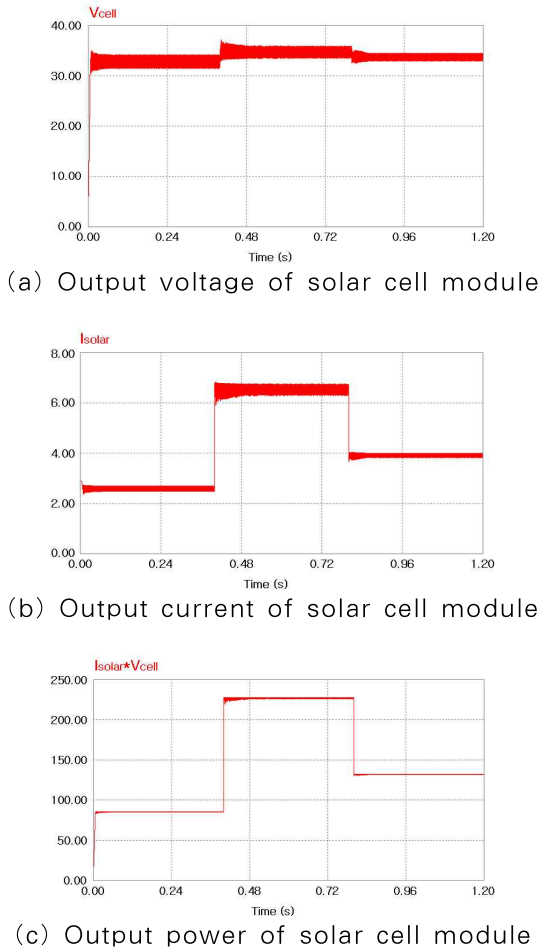


그림 17. 태양전지 모듈의 응답특성(제시한 방법)  
Fig. 17. Response characteristic of solar cell module(proposed method)

## 5.2 그림자 영향을 고려한 경우

그림 19는 그림자 영향을 고려한 태양전지 모듈의  $I-V$ 와  $P-V$  특성곡선을 나타낸다. 그림자 영향은 태양전지 모듈의 면적에 대하여 30[%]의 경우와 50[%]의 경우를 고려하였다. 그림 19 (a)는 태양전지 모듈의  $I-V$  특성곡선, 그림 19 (b)는  $P-V$  특성곡선을 나타낸다. 그림자 영향이 있을 경우 태양전지의 최대전력을 위한 최적전압과 최적전류는 일사량 및 온도변화에 비해 크게 변화되고 있으며, 그림자 영향이 30[%]일 경우 최적전압과 최적전류는 (27.2[V], 6[A]), 그림자 영향이

50[%]일 경우에는 (22.7[V], 5.5[A])로 나타난다.

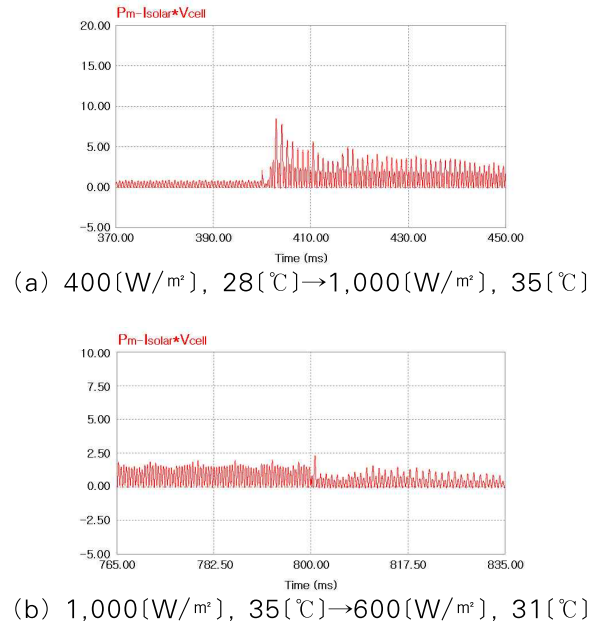
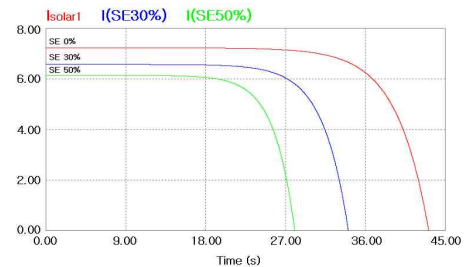
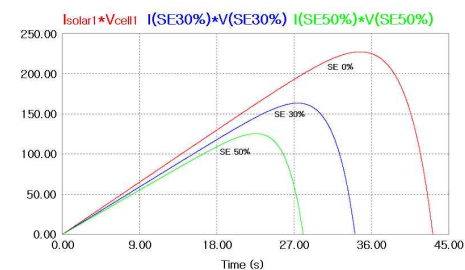


그림 18. 태양전지 모듈의 출력오차(제시한 방법)  
Fig. 18. Output power error of solar cell module (proposed method)



(a)  $I-V$  characteristic curve of solar cell considering shaded effect



(b)  $P-V$  characteristic curve of solar cell considering shaded effect

그림 19. 그림자 영향을 고려한 태양전지 모듈의 특성곡선  
Fig. 19. Characteristic curve of solar cell module considering shaded effect

5.2.1 PO 제어방법

그림 20은 PO MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 출력 응답특성을 나타낸다. 그림 21은 그림자 영향을 고려할 경우의 최대전력 오차를 나타낸다. 최대 전력 오차는 30[%]의 그림자 영향에서 15[W], 50[%]일 경우에는 18[W]로 그림자 영향이 높을수록 오차가 크게 나타난다.

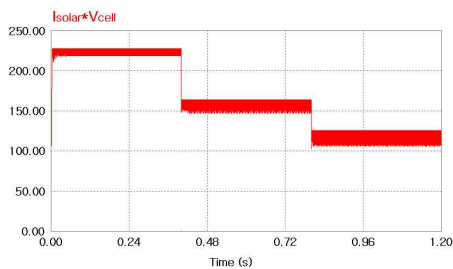
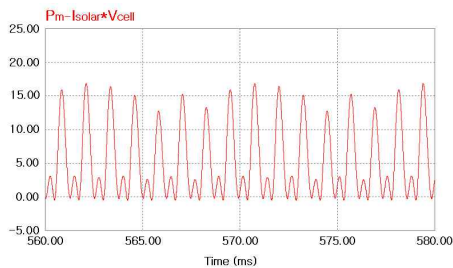
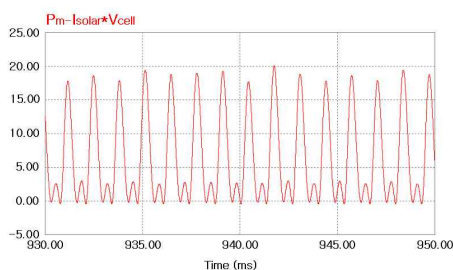


그림 20. 태양전지 모듈의 출력 응답특성(PO 방법)  
Fig. 20. Response output characteristic of solar cell module(PO method)



(a) 30[%] of shaded effect



(b) 50[%] of shaded effect

그림 21. 태양전지 모듈의 출력오차(PO 방법)  
Fig. 21. Output power error of solar cell module (PO method)

5.2.2 IC 제어방법

그림 22는 IC MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모

듈의 출력 응답특성을 나타낸다. 그림 23은 IC 제어방법에 대한 최대전력 오차를 나타내고 있다. PO 방법과 마찬가지로 IC 제어방법에서 그림자 영향이 클수록 오차가 높게 나타나며 정량적 수치는 14.5[W]와 18[W]를 나타낸다.

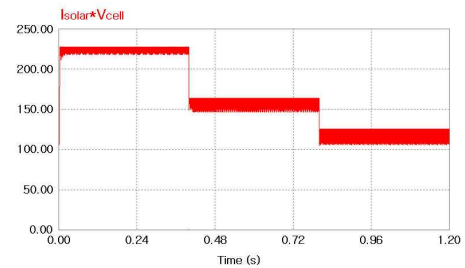
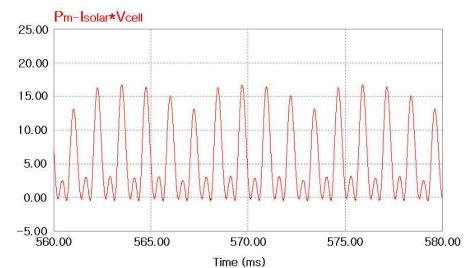
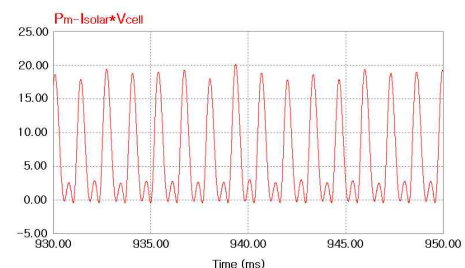


그림 22. 태양전지 모듈의 출력 응답특성(IC 방법)  
Fig. 22. Response output characteristic of solar cell module(IC method)



(a) 30[%] shaded effect



(b) 50[%] shaded effect

그림 23. 태양전지 모듈의 출력오차(IC 방법)  
Fig. 23. Output power error of solar cell module (IC method)

5.2.3 제시한 새로운 MPPT 제어방법

그림 24는 제시한 MPPT 제어방법에 대한 태양전지 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 25는 제시한 제어방법에 대한 최대전력 오차를 나타낸다. 그림자 영향

그림자 영향을 고려한 PV MIC 시스템의 새로운 MPPT 제어

에서도 제시한 제어방법의 최대전력 오차율은 1% 이내로 우수한 최대전력 추종 성능을 나타낸다.

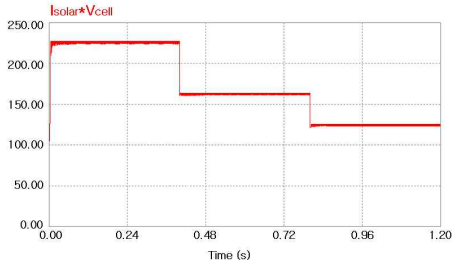
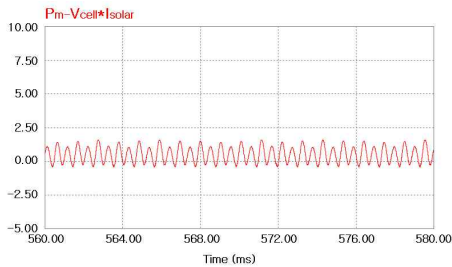
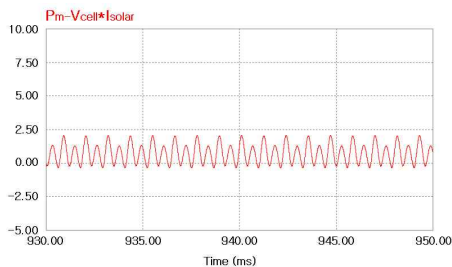


그림 24. 태양전지 모듈의 출력 응답특성(제시한 방법)  
Fig. 24. Response output characteristic of solar cell module(proposed method)



(a) 30[%] shaded effect



(b) 50[%] shaded effect

그림 25. 태양전지 모듈의 출력오차(제시한 방법)  
Fig. 25. Output power error of solar cell module (proposed method)

## 6. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전의 MIC 시스템을 위한 그림자 영향을 고려한 새로운 MPPT 제어 알고리즘을 제시하였다. PV MIC 시스템은 약 200W급의 소용량 PCS로서 PV의 각 모듈에 부착하여 AC 모듈의 형태로 사용되며 DC-DC 컨버터에서 MPPT 제어를 수

행하였다. MIC 시스템에 적용되는 MPPT 제어는 각 모듈에 대한 최적전압 및 최적전류를 검출하는 것으로서 대용량 MPPT 제어에 비해 부분적인 그림자 영향에 매우 민감하다.

종래의 MPPT 제어방식들은 지속적인 자려진동을 통하여 최대전력점을 찾아가는 방식이며 대부분 출력이 급격하게 변동하는 태양전지에 그림자 효과가 발생한 경우에 대해서 고려하지 않았다. 이는 태양전지 셀을 직·병렬로 구성한 PV 모듈의 경우, 부분적인 그림자에 의해 다수의 국부적인 최대전력점이 존재하는 경우에는 최대전력점 추종을 실패할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 그림자 영향을 고려한 새로운 MPPT 제어 알고리즘을 제시하였다. 새로운 MPPT 제어 알고리즘은 종래의 PO 제어 방법을 기반으로 하여 구조가 간단하며 구현이 용이하다. 또한 출력의 변동에 따라 스텝값이 가변하기 때문에 그림자 또는 온도 및 일사량 등의 환경요인이 변동할 경우 최대전력점을 빠르게 추종할 수 있다. 이 특징으로 정상상태에 도달한 경우 최대전력점에서 자려진동값이 매우 작아지게 되므로 시스템의 손실이 줄어든다.

본 논문에서는 종래의 PO와 IC MPPT 제어 방법을 제시한 새로운 MPPT 제어 방법과 응답특성을 비교하였다. 성능비교는 온도와 일사량이 변하는 조건과 그림자 영향에 대해 출력오차를 분석하였다. 제시한 MPPT 제어 알고리즘은 종래의 PO나 IC 제어 방법에 비해 온도와 일사량 및 그림자 영향에 대해 정상상태 출력 오차가 1% 이내로 매우 양호한 응답특성을 나타냈다. 이로써 본 논문에서 제시한 MPPT 제어 알고리즘의 타당성을 입증할 수 있었다.

## References

- [1] S. D. Kim, "Incorporating the Power Generation Capacities of New and Renewable Energy into Long-Term Electricity Supply Planning", Ministry of Commerce, Industry and Energy, pp. 13-20, 2005.
- [2] C. H. Lee, "Amendment of the Korean Feed-in-Tariffs in 2011", Korea Electrotechnology Research Institute, 2010.
- [3] H. J. Noh, D. Y. LEE, D. S. Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications", IEEE IES, Vol. 2, pp.1113-1118, 2002.

- [4] R. Andoubi, A. Mami, G. Dauphin, M. Annabi, "Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter", IEEE ICS, Vol. 3, pp.200-205, 2002.
- [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] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a matlab PV model" Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, pp. 49-55, 2001.
- [8] J. A. Abu-Qahouq, H. Mao, H. J. Al-Atrash, and I. Batarseh, "Maximum efficiency point tracking (MEPT) method and digital dead time control implementation," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 21, no. 5, pp. 1273-1281, Sep. 2006.
- [9] H. Taheri, Z. Salam, K. Ishaque, Syafaruddin, "A novel Maximum Power Point Tracking Control of Photovoltaic System under Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions using Differential Evolution", IEEE Industrial Electronics & Applications, pp. 82-87, 2010.
- [10] C. S. Chin, P. Neelakantan, H. P. Yoong, S. S. Yang, K. T. K. Teo, "Maximum Power Point Tracking for PV Array under Partially Shaded Conditions", Computational Intelligence, Communication Systems and Network 2011, pp. 72-77, 2011.
- [11] Syafaruddin, E. Karatepe, T. Hiyama, "Artificial neural network -polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions.", IET Journals, Renewable Power Generation, Vol. 3, no. 2, pp. 239-253, 2009.

◇ 저자소개 ◇



**최정식 (崔正植)**

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2011년 1월~현재 전자부품연구원 선임 연구원.

Tel : (062)975-7038

Fax : (062)975-7039

E-mail : cjs1108@keti.re.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 정보통신공학부 교수.

Tel : (061)750-3543,

Fax : (061)752-9841

E-mail : hwa777@scnu.ac.kr