

부스트 컨버터를 이용한 태양전지 어레이 전역 최대전력 점 추종 방법

Global Maximum Power Point Tracking Method of Photovoltaic Array using Boost Converter

황 동 현* · 이 우 철*
(Dong-Hyeon Hwang · Woo-Cheol Lee)

Abstract - Since solar cells have non-linear voltage-current output characteristics, Photovoltaic systems require the Maximum Power Point Tracking(MPPT) function. For this reason, a large number of MPPT techniques have been studied. However, the conventional MPPT techniques may fail to track the maximum power point when partial shading occurs in the solar cell array due to its characteristics. Therefore, it is necessary to research the MPPT technique that can follow the maximum power point in the partial shadow condition. In this paper, the characteristics of solar cell arrays in partial shadowing are analyzed and the MPPT technique which can follow the maximum power point in partial shadow condition has been proposed. To validate the proposed MPPT method, simulation and experimentation results are provided.

Key Words : Maximum power point tracking, Photovoltaic arrays, Partial shade

1. 서 론

태양광 발전(PV : Photovoltaic)은 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 방식으로 햇빛만 있으면 어디서나 전기에너지를 얻을 수 있기 때문에 다른 발전방식과 달리 소음, 진동 등의 2차 공해가 없는 에너지원으로 각광받고 있다. 그러나 태양광 발전은 구름이나 그늘에 의해서 출력전력이 감소하며, 태양이 떠있을 때에만 이용이 가능하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 태양전지의 전력을 최대 사용할 수 있는 MPPT기법에 대한 연구가 필요하며, 그에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다[1-2].

구름이나 건물 등의 영향으로 태양전지 어레이에 부분적으로 음영이 발생하였을 때 태양전지 특성은 다수의 국부 최대 전력 점(LMPP : local maximum power point)을 가지게 된다[3-4]. 이 때 기존의 일반적인 MPPT 기법인 P&O, Hill Climbing, IncCond는 실제 최대전력 점인 전역 최대 전력 점(GMPP : global maximum power point)을 추종하지 못하고 LMPP에 머물게 된다[5-7]. 따라서 부분음영에 의해 다수의 LMPP가 발생하였을 때에 대한 분석과 GMPP를 추종할 수 있는 MPPT기법에 대한 연구가 필요하다.

부분음영 하에서 GMPP를 찾기 위한 MPPT 기법에는 Particle Swarm Optimization, Two-stage, Fibonacci search 등이 있다. Particle Swarm Optimization 기법은 GMPP를 추적에 사용되는 무작위 변수로 인해 검색에 걸리는 시간이 일정하지 않고 엔지니어의 경험에 의해 선정되는 값이 많아 제어알고리즘이 복잡하다는 단점을 갖는다[8]. Two-stage 기법은 시스템에 부가적인 회로를 추가한 방법으로 여러 개의 LMPP가 존재하여도 GMPP를 추종할 수 있으나 부가회로가 요구된다는 단점이 있다[9]. Fibonacci search 기법은 빠르고 정확하지만 일부음영 조건에서 GMPP를 놓칠 수 있다[10]. 따라서 본 논문에서는 부가적인 회로 없이 간단한 알고리즘으로 GMPP를 추종할 수 있는 MPPT 방법을 제안하였다.

2. 태양전지

2.1 태양전지 모듈

N 개의 태양전지(PV) 또는 태양전지 셀(PV cell)을 직렬로 태양전지 모듈(PV module)을 구성할 경우, 일사량과 온도가 일정하다면 각 셀의 출력전압은 모두 동일하다. 그러므로 모듈 출력전압(V_{mod})은 셀 출력전압(V_{cell})과 셀 개수 N 을 곱한 것과 같고, 직렬이므로 모듈 출력전류(I_{mod})와 셀 출력전류(I_{cell})는 같다. 이를 식 (1), (2)에 나타내었다.

$$V_{mod} = N \cdot V_{cell} \quad (1)$$

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Electronic & Control Engineering, Institute for information technology convergence, Hankyong National University, Korea
E-mail: woocheol@hknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Electronic & Control Engineering, Hankyong National University, Korea

Received : October 31, 2017; Accepted : January 26, 2018

$$I_{mod} = I_{cell} \quad (2)$$

따라서 직렬연결 된 모듈의 개방전압(V_{oc_mod})과 단락전류(I_{sc_mod})는 다음 식 (3), (4)로 나타낼 수 있다. 식에서 V_{oc} 와 I_{sc} 는 단일 셀의 개방전압과 단락전류를 나타낸다. 그림 1은 3직렬 태양전지 셀로 구성된 모듈의 전압-전류, 전압-전력 특성곡선을 보여준다.

$$V_{oc_mod} = N \cdot V_{oc} \quad (3)$$

$$I_{sc_mod} = I_{sc} \quad (4)$$

N 개의 태양전지 셀을 병렬로 모듈을 구성할 경우 모듈 출력 전압(V_{mod})는 셀 출력전압(V_{cell})과 같고, 모듈 출력전류

(I_{mod})는 단일 셀의 출력전류(I_{cell})와 셀 개수 N 의 곱과 같다.

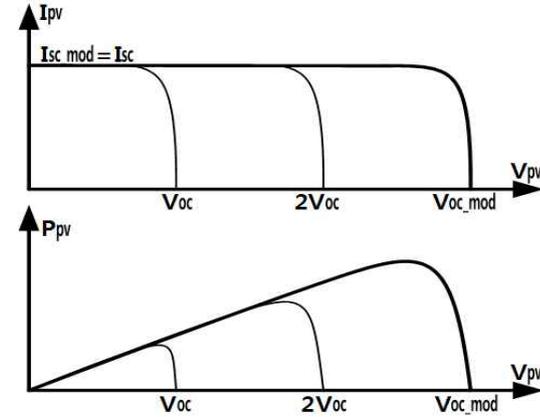


그림 1 3직렬 셀로 구성된 모듈의 V-I, V-P 특성곡선
Fig. 1 V-I (top graph), V-P (bottom graph) characteristic curves of PV module with 3 series cells

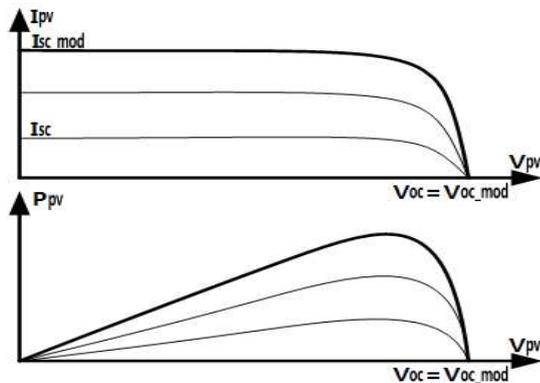


그림 2 3병렬 셀로 구성된 모듈 V-I, V-P 특성곡선
Fig. 2 V-I (top graph), V-P (bottom graph) characteristic curves of PV module with 3 parallel cells

이를 식 (5), (6)에 나타내었다.

$$V_{mod} = V_{cell} \quad (5)$$

$$I_{mod} = N \cdot I_{cell} \quad (6)$$

따라서 병렬연결 된 모듈의 개방전압(V_{oc_mod})과 단락전류(I_{sc_mod})를 다음의 식 (7), (8)로 나타낼 수 있으며, 그림 2는 3 병렬 태양전지 셀로 구성된 모듈의 전압-전류, 전압-전력 특성곡선을 보여준다.

$$V_{oc_mod} = V_{oc} \quad (7)$$

$$I_{sc_mod} = N \cdot I_{sc} \quad (8)$$

2.2 태양전지 어레이

태양전지 어레이(PV array)는 모듈을 직·병렬로 연결하여 구성된다. 직·병렬 구성에 따른 어레이의 특성은 모듈특성과 동일하다. 따라서 어레이 출력전압(V_{array})과 출력전류(I_{array})는 다음 식 (9), (10)으로 나타낼 수 있다. 식에서 N_s 는 직렬연결 된 모듈 수이며 N_p 는 병렬연결 된 모듈 수이다.

$$V_{array} = N_s \cdot V_{mod} \quad (9)$$

$$I_{array} = N_p \cdot I_{mod} \quad (10)$$

따라서 어레이의 개방전압(V_{oc_arr})과 단락전류(I_{sc_arr})는 다음 식 (11), (12)로 나타낼 수 있다.

$$V_{oc_arr} = N_s \cdot V_{oc_mod} \quad (11)$$

$$I_{sc_arr} = N_p \cdot I_{sc_mod} \quad (12)$$

그림 3은 3×2 모듈로 구성된 어레이를 나타내며 그림 4는 3×2 어레이 전압-전류, 전압-전력 특성곡선을 나타낸다.

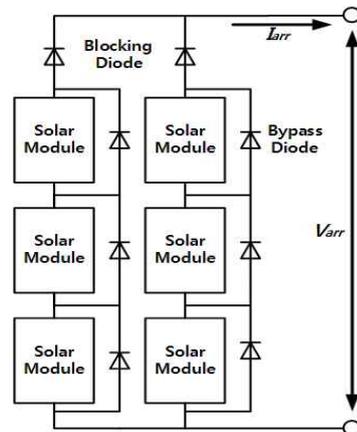


그림 3 3직렬 2병렬 모듈로 구성된 태양전지 어레이
Fig. 3 PV array with 3 series and 2 parallel modules

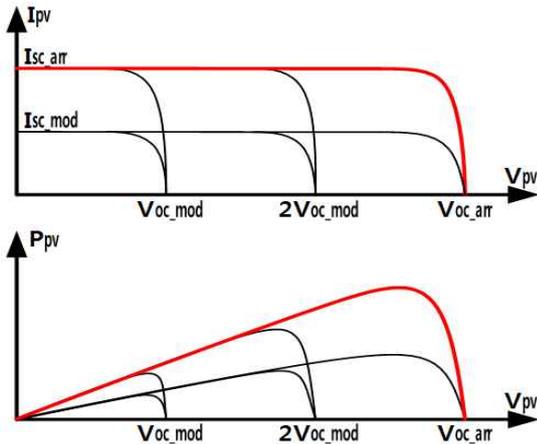


그림 4 3×2 태양전지 어레이 V-I, V-P 특성곡선
Fig. 4 V-I (top graph), V-P (bottom graph) characteristic curves of the 3×2 PV array

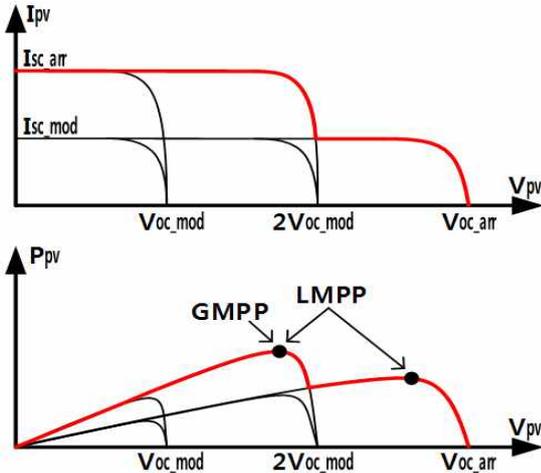


그림 5 3×2 태양전지 어레이를 구성하는 한 개 모듈에 음영발생 시 V-I, V-P 특성곡선
Fig. 5 V-I (top graph), V-P (bottom graph) characteristic curves when a module of the 3×2 PV array is shade

2.3 부분음영의 영향

그림 3의 어레이를 구성하는 1개 모듈에 음영이 발생할 경우, 만약 어레이 출력전압(V_{arr})이 $2V_{oc_mod}$ 이하이면 해당 모듈의 Bypass diode가 도통되어 음영이 발생하지 않았을 때와 동일한 출력이 나오게 된다. 그러나 V_{arr} 가 $2V_{oc_mod}$ 이상이면 해당 모듈이 존재하는 Blocking diode에 역 전압이 인가되어 해당 열은 전류를 출력하지 못하게 된다(즉, 한 개의 열에서만 출력이 발생). 따라서 그림 5와 같은 특성곡선이 나타나며 특성곡선에서 볼 수 있듯이 3×2 태양전지 어레이를 구성하는 하나의 모듈에 음영이 발생하면 2개의 LMPP가 발생하고 둘 중 하나만이 GMPP가 된다는 것을 알 수 있다.

3. 최대전력 점 추종 제어

3.1 제안된 MPPT 기법

태양전지 모듈은 최대 전력 점에서의 전압이 개방전압의 80% 부근에 존재한다. 그러므로 그림 5에서 GMPP의 위치는 $V_{oc_mod} + 0.8V_{oc_mod}$ 로 우측 LMPP의 위치는 $2V_{oc_mod} + 0.8V_{oc_mod}$ 로 근사시킬 수 있다. 따라서 식(11)을 이용하여 GMPP 및 LMPP 에서의 전압 V_{mj} 를 다음의 근사식 (13)으로 나타낼 수 있다. 여기서 ($j=1, 2, \dots, N_s$) 이며 V_{m1} 은 V_{oc_mod} 이하에서의 MPP 전압을 의미하고 V_{m2} 는 V_{oc_mod} 이상 $2V_{oc_mod}$ 이하에서의 MPP 전압을 의미한다.

$$V_{mj} \approx (j-1+0.8)V_{oc_arr}/N_s = (j-0.2)V_{oc_arr}/N_s \quad (13)$$

위의 식 (13)을 이용한 제안된 알고리즘을 다음의 그림 6에 나타내었다. 알고리즘에 대한 설명은 다음 장의 동작과정 설명에서 대체하겠다.

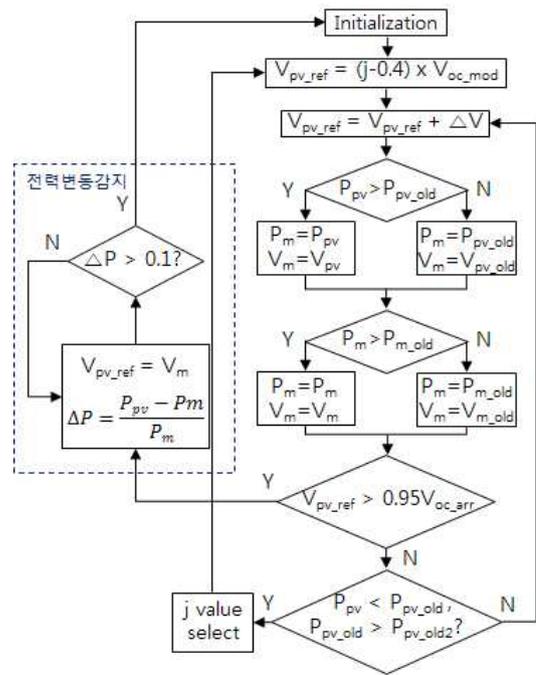


그림 6 제안된 MPPT 알고리즘
Fig. 6 Proposed MPPT algorithm

- V_{pv_ref} : 태양전지 어레이 전압 지령치
- V_{oc_mod} : 태양전지 모듈 개방전압
- V_{oc_arr} : 태양전지 어레이 개방전압
- $P_{pv}, P_{pv_old}, P_{pv_old2}$: 태양전지 어레이 현재 출력 전력, 이전 출력 전력, 이전 전 출력 전력
- P_m, P_{m_old} : 추적된 태양전지 어레이 최대 출력 전력, 이전 최대

출력 전력

V_m , V_{m_old} : 추적된 태양전지 어레이 최대 출력 전력에서의 전압, 이전 최대 출력 전력에서의 전압

3.2 제안된 MPPT 기법의 동작과정

그림 3의 3×2 태양전지 어레이를 예로 들어 제안된 MPPT 기법의 동작 과정에 대해 설명하겠다. 3×2 어레이는 3개의 모듈이 직렬연결된 구조이므로 음영조건에 따라 GMPP의 위치는 3가지 경우로 나뉠 수 있다. GMPP의 위치가 왼쪽, 중간, 오른쪽에 있는 경우이며 각각의 경우에 따른 동작과정을 그림 7에 나타내었다.

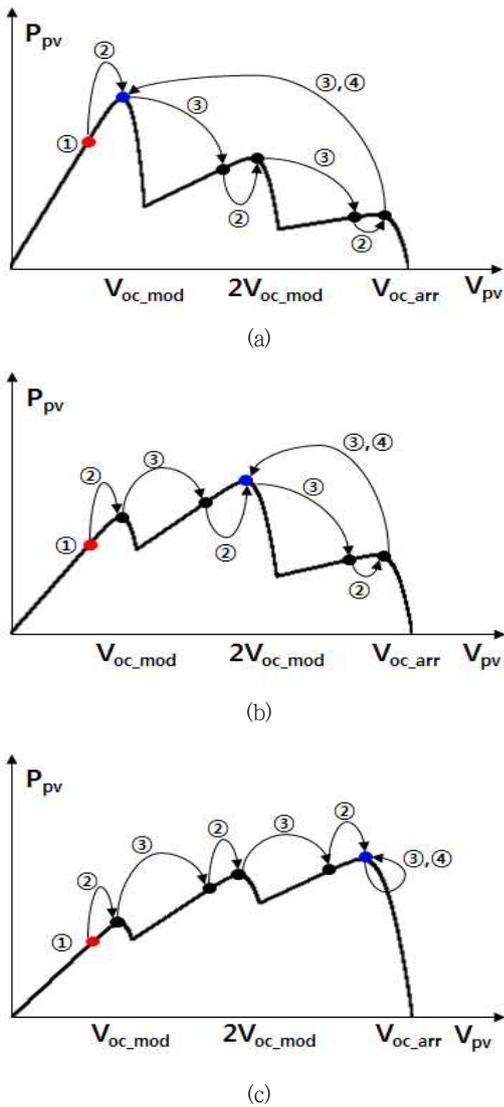


그림 7 제안된 MPPT 동작과정

Fig. 7 Proposed MPPT operation process GMPP at (a) left, (b) middle, and (c) right

그림 7의 (a), (b), (c) 모두 ①→②→③→②→③→②→③→④ 순으로 동작하며 각 번호의 의미는 다음과 같다.

initialization : 모든 변수를 초기화 하고 동작이 멈추는 부분이며 이때 부하를 개방시켜 어레이의 개방전압 값 V_{oc_arr} 를 읽고 저장하며 V_{oc_arr} 를 N_s 로 나눈 값으로 V_{oc_mod} 를 설정한다.

- ① V_{pv_ref} 를 $(j-0.4)V_{oc_mod}$. j 값은 초기에 1이다. 즉, V_{oc_mod} 의 60%로 V_{pv_ref} 를 세팅한다. 이는 식 (13)을 이용한 것이며 사용 모듈(MSX-240)의 온도변화와 조도변화에 따른 태양전지 모듈 개방전압 변화를 고려하여 60%로 설정하였다.
- ② V_{pv_ref} 를 미리지정된 ΔV 만큼 증가시킨다. 이 때 현재전력과 이전전력을 비교하여 큰 전력 값(P_m)과 그 값에서의 전압(V_m)을 저장하고 이 과정을 반복하여 최대전력 점(MPP: Maximum Power Point)을 찾는다.
- ③ 하나의 최대 점을 찾으면 현재 전압의 위치에 따라 j 의 값을 설정하게 된다. 찾아낸 최대 점의 위치가 V_{oc_mod} 이하의 영역에 존재하면 $j=2$ 가 되고 V_{oc_mod} 이상 $2V_{oc_mod}$ 이하의 영역에 존재하면 $j=3$ 이 된다. 그 후 $(j-0.4)V_{oc_mod}$ 로 V_{pv_ref} 를 세팅한다. 이는 다음 MPP를 빠르게 찾기 위해 다음 부근의 최대 점 근처로 전압을 스킵하기 위함이며 ①의 이유와 동일하게 설정된 값이다. ②, ③ 과정은 V_{pv_ref} 가 V_{oc_arr} 의 95%가 될 때까지 반복한다.
- ④ V_{pv_ref} 가 V_{oc_arr} 의 95%가 넘어가면 찾아낸 MPP 중 가장 높은 지점(P_m)일 때의 전압 V_m 으로 V_{pv_ref} 를 세팅하여 동작한다. 이는 개방전압의 95% 이상에는 최대 전력점이 존재하지 않기 때문이다.

그 후 동작 중 그림 6의 전력변동률 ΔP 의 크기가 0.1이 넘어가면 initialization 단계로 돌아가 GMPP를 다시 추적한다. 즉, 태양전지 어레이 출력 전력(P_{pv})이 추적된 최대 전력(P_m)과의 차이가 10%가 넘어가면 GMPP를 재 추적한다.

4. 시뮬레이션

PSIM을 이용하여 그림 8의 3×2 태양전지 어레이와 MPPT를 위한 부스트 컨버터 회로를 구성하였다. PSIM의 DLL을 이용하여 V_{pv} 와 I_{pv} 를 피드백 받아 그림 6의 MPPT 알고리즘을 거쳐 지령치 V_{pv_ref} 가 출력되도록 하였고, V_{pv} 가 지령치 V_{pv_ref} 로 수렴하

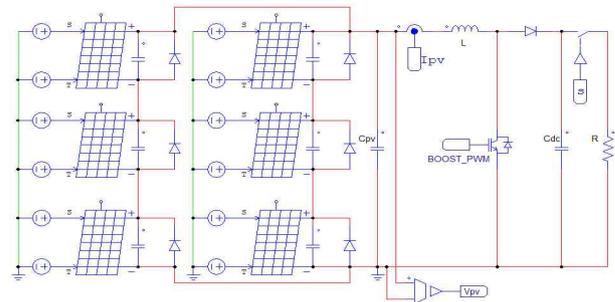


그림 8 3×2 태양전지 어레이 시뮬레이션 회로도

Fig. 8 3×2 PV array simulation circuit

도록 PI제어기를 설계하여 스위치 S_1 의 PWM 신호를 만들어 주었다. 이를 그림 9에 블록도로 나타내었다.

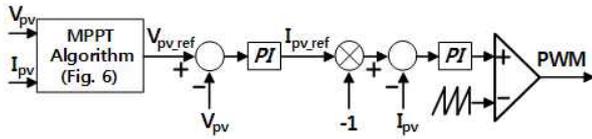


그림 9 부스트 컨버터 제어 블록도
Fig. 9 Control block diagram of the boost converter

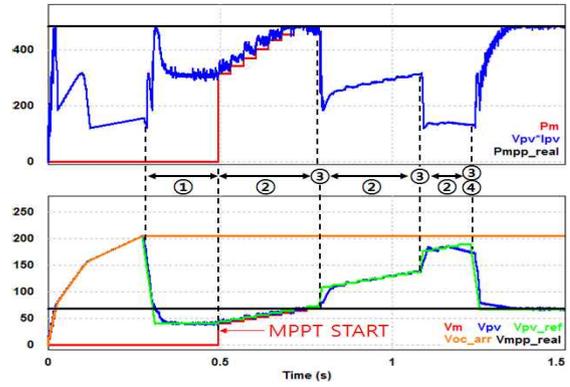
표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타내며, 태양전지 어레이를 구성하는 태양전지 모듈은 Solarex사의 MSX-240을 사용하였다. MSX-240의 개방전압은 84.2V, 단락전류는 3.8A이다. 3×2 태양전지 어레이를 구성하였으므로 구성된 어레이의 개방전압은 모듈의 3배인 252.6V가 되고, 단락전류는 2배인 7.6A가 된다. MPPT 실행주기는 33.3ms로 하였으며, 이는 태양전지 어레이 출력전압 변동 시 출력전력이 진동하여 전력증감을 판단하기 어렵기 때문에 전력 평균값을 계산하여 전력증감을 판단하기 위한 시간이다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 The simulation parameter

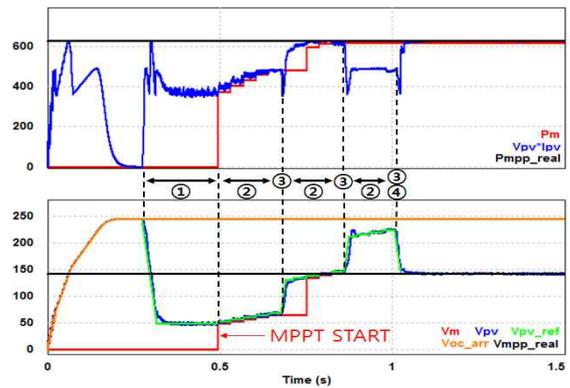
Parameter	Value
PV_Array Open-Circuit Voltage (V_{oc_arr})	252.6 V
PV_Module Open-Circuit Voltage (V_{oc_mod})	84.2 V
PV_Array Short-Circuit Current (I_{sc_arr})	7.6 A
PV_Module Short-Circuit Current (I_{sc_mod})	3.8 A
Switching Frequency, F_{sw}	10 kHz
MPPT Execution Cycle	33.3 ms
Input Capacitance, C_{pv}	330 μ F
Output Capacitance, C_{dc}	2,200 μ F
Inductance, L	1.5 mH
Resistance, R	150 Ω

그림 10은 그림 7의 순서대로 전역 최대 점의 위치가 좌측, 중앙, 우측에 있을 때 MPPT 동작을 보여주는 PSIM 시뮬레이션 파형이며 사용된 변수는 다음과 같다.

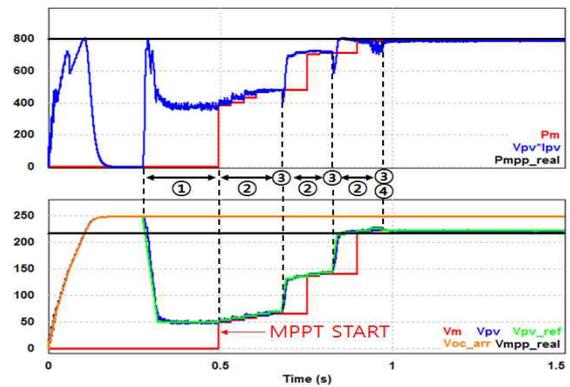
- V_m : 추적된 태양전지 어레이의 최대 출력전력에서의 전압
- V_{pv} : 태양전지 어레이의 출력전압
- V_{pv_ref} : 태양전지 어레이의 출력전압 지령치
- V_{oc_arr} : 태양전지 어레이의 개방전압
- V_{mpp_real} : 태양전지 어레이의 최대 출력전력에서의 전압
- P_m : 추적된 태양전지 어레이의 최대 출력전력
- $V_{pv} * I_{pv}$: 태양전지 어레이의 출력전력
- P_{mpp_real} : 태양전지 어레이의 최대 출력전력



(a)



(b)



(c)

그림 10 제안된 MPPT 동작 시뮬레이션 파형
Fig. 10 Simulation results of the proposed MPPT operation. GMPP at (a) left, (b) middle, and (c) right.

다음의 표 2는 시뮬레이션 및 실험에서 사용된 태양 전지 어레이의 온도와 조도조건과 그 때의 최대전력 점을 나타낸다. 표 2에서 1, 2열은 병렬을 의미한다. 그림 10은 표 2에서 모듈 온도가 25°C일 때 시뮬레이션 파형이다.

동작순서는 그림 7의 설명처럼 ①→②→③→②→③→②→③→④ 순으로 동작하며 다음과 같다.

표 2 시뮬레이션 및 실험 조건

Table 2 Condition for simulation & experiment

조건	조도(W/m ²)			온도(°C)		최대전력(W)	
	1열	2열	3열	25	60	25°C	60°C
(a)	1000	300	100	25	60	484	414
	1000	300	100			633	544
(b)	1000	600	300			633	544
	1000	600	300			820	710
(c)	1000	700	500			820	710
	1000	700	500				

① 동작 전에는 전압 지령치(V_{pv_ref})는 태양전지 어레이 출력전압(V_{pv})과 같고 V_{pv} 가 최대가 될 때 V_{oc_arr} 로 설정하며, V_{oc_mod} 는 V_{oc_arr} 의 1/3로 설정된다. 동작이 시작되면 부하를 연결하고 V_{pv_ref} 를 $(1-0.4)V_{oc_mod}$ 로 설정한다. V_{pv_ref} 로 전압지령을 주게 되면 V_{pv} 는 V_{oc_arr} 에서 V_{pv_ref} 로 추종하여 감소하며, 그에 따라 급격히 모든 전력 점을 통과하므로 태양전지 출력전력($V_{pv} * I_{pv}$)이 매우 흔들리게 된다. 따라서 전력을 정상적으로 읽어 들일 수 없으므로 V_{pv} 전압이 V_{pv_ref} 에 도달하여 안정 될 때 까지 MPPT 수행을 지연시킨다.

② V_{pv_ref} 를 $\Delta V(=4V)$ 만큼 증가시키며 MPP를 찾는다. 찾아낸 MPP중 가장 큰 값은 P_m 에 저장되며 그 때의 전압은 V_m 에 저장된다. ΔV 는 실험을 통해 MPPT 오차기준 $\pm 5\%$ 를 만족하는 큰 값으로 정하였다.

③ 첫 번째 LMPP에서의 V_{pv} 가 V_{oc_mod} 이하이므로 $j=2$ 가 되어 $(2-0.4)V_{oc_mod}$ 로 V_{pv_ref} 를 세팅한다.

④ V_{pv_ref} 를 ΔV 만큼 증가시키며 MPP를 찾는다. 찾아낸 MPP중 가장 큰 값은 P_m 에 저장되며 그 때의 전압은 V_m 에 저장된다.

⑤ 두 번째 LMPP에서의 V_{pv} 가 V_{oc_mod} 이상 $2V_{oc_mod}$ 이하이므로 $j=3$ 이 되어 $(3-0.4)V_{oc_mod}$ 로 V_{pv_ref} 를 세팅한다.

⑥ V_{pv_ref} 를 ΔV 만큼 증가시키며 MPP를 찾는다. 찾아낸 MPP중 가장 큰 값은 P_m 에 저장되며 그 때의 전압은 V_m 에 저장된다.

⑦ 마지막 LMPP에서의 V_{pv} 가 $2V_{oc_mod}$ 이상 $3V_{oc_mod}$ 이하이므로 $j=4$ 가 되어 $(4-0.4)V_{oc_mod}$ 로 V_{pv_ref} 를 세팅한다.

⑧ $V_{pv_ref}(=(4-0.4)V_{oc_mod})$ 의 값이 V_{oc_arr} 의 95%가 넘어하므로 찾아낸 MPP중 가장 큰 P_m 에서의 전압 V_m 으로 V_{pv_ref} 를 세팅하여 동작하게 된다.

그림 10의 3개의 파형 모두 추적된 GMPP인 P_m 이 실제 GMPP인 P_{m_real} 을 추적한 것을 확인할 수 있다.

다음의 그림 11은 조도와 온도변화에 따른 MPPT 동작 시뮬레이션 파형이다. 0s에서 2.2s구간에서는 그림 10의 (c) 조건으로 최대전력 820W를 추종하는 동작을 하고 있다. 그 후 2.2s에 그림 10의 (b) 조건으로 변하면 전력변동이 감지되고, 이때 부하를 개방시켜 V_{oc_arr} 를 재측정하고 다시 MPPT를 수행하여 최대전력 633W를 추종하게 된다. 3.6s에서는 그림 10의 (b)조건에서 태양전지 온도를 60°C로 증가시켰으며 이때도 마찬가지로 변동을 감지하여 부하를 개방시켜 V_{oc_arr} 를 재측정하고 MPPT를 수행하여 최대전력 544W를 추종함을 확인할 수 있다. 여기서 부하를 개방

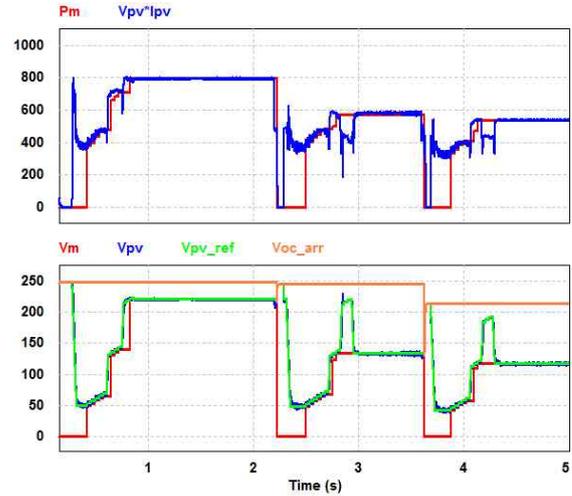


그림 11 조도 및 온도 변화에 따른 MPPT 동작 시뮬레이션 결과
Fig. 11 Simulation results of the MPPT operation according to irradiation and temperature

시키면 부하에 전력을 전달할 수 없게 되지만 추후 부하를 계통 연계 인버터로 대체할 것이므로 문제가 되지 않는다.

5. 실험

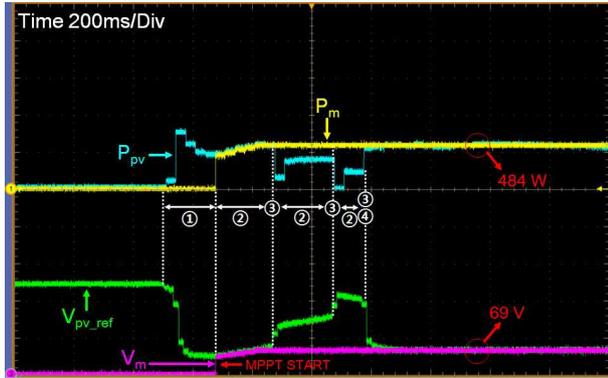
그림 12는 실험회로와 태양전지 어레이를 대체하기 위한 AMETEK사의 태양광 전원장치 ETS600 이다. 실험회로는 시뮬레이션과 동일하고 전원장치를 구동하기 위한 프로그램으로는 TerraSAS Solar Array Simulator를 이용하였으며 실험파형은 Tektronix사의 오실로스코프(DPO-5104)를 사용하여 측정하였다.

그림 13은 MPPT 동작실험 결과이다. 파라미터와 측정변수 및 음영조건은 그림 10의 시뮬레이션과 동일하지만 시뮬레이션 변수 $V_{pv} * I_{pv}$ 는 P_m 로 대체되었으며, V_{pv} 는 V_{pv_ref} 를 잘 추종하기 때문에 파형이 중복되므로 실지 않았다. 그리고 각 파형의 P_{pv} 와 P_m 의 Δ 점은 결과파형 Y축 중앙에 위치하며 V_{pv_ref} 와 V_m 의 Δ 점은 결과파형 Y축 하단에 위치하고 있다.

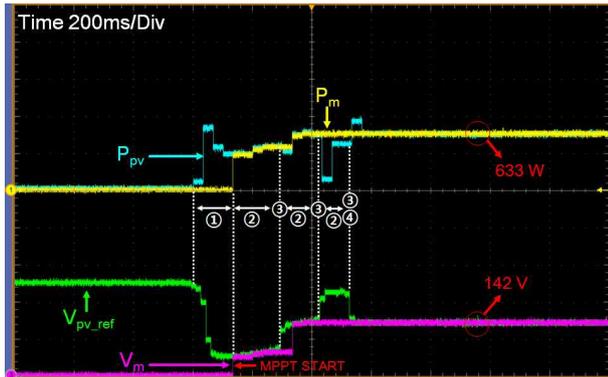
실험결과는 그림 10의 시뮬레이션 결과와 동일하며, V_m 과 P_m 이 최대 출력 점(a) 전압: 69V, 전력: 484W, (b) 전압: 142V, 전력: 633W, (c) 전압: 212V, 전력: 820W)을 잘 추종하는 것을



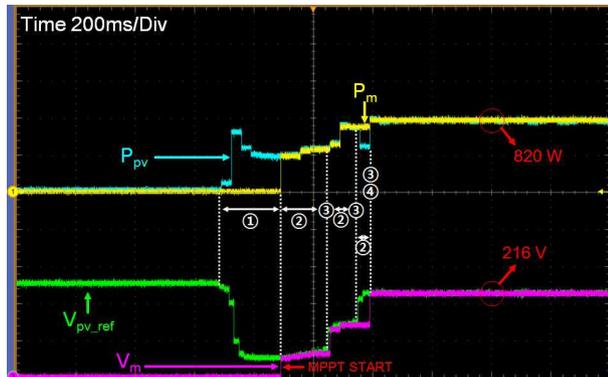
그림 12 실험장비
Fig. 12 Experimental equipment



(a)



(b)



(c)

그림 13 제안된 MPPT 동작 실험결과

Fig. 13 Experimental results of the proposed MPPT operation. GMPP at (a) left, (b) middle, and (c) right. Ch1: Tracked maximum power point power, P_m (400 W/div), Ch2: PV output power, P_{pv} (400 W/div), Ch3: Tracked maximum power point voltage, V_m (100 V/div), Ch4: PV reference voltage, V_{pv_ref} (100 V/div)

확인할 수 있다. 그리고 추종에 걸리는 시간도 0.9초 이내로 빠른 추종을 보여주는 것을 알 수 있다.

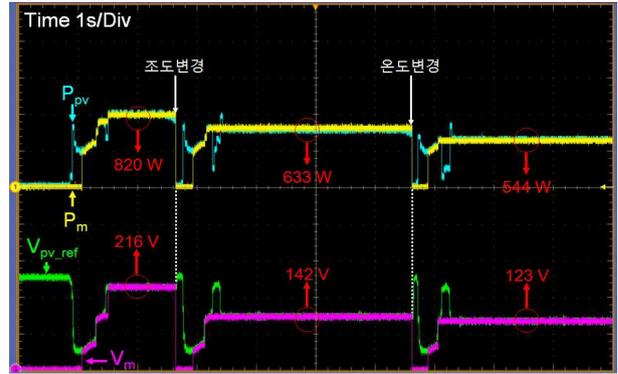


그림 14 조도 및 온도 변화에 따른 MPPT 동작 실험결과

Fig. 14 Experimental results of the proposed MPPT operation according to irradiance and temperature. Ch1: Tracked maximum power point power, P_m (400 W/div) Ch2: PV output power, P_{pv} (400 W/div), Ch3: Tracked maximum power point voltage, V_m (100 V/div), Ch4: PV reference voltage, V_{pv_ref} (100 V/div)

그림 13은 조도와 온도변화에 따른 MPPT 동작 실험 파형이며, 그림 11의 시뮬레이션과 동일한 조건으로 진행하였다. 실험결과와 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 조도 및 온도가 변경하였을 때에도 변경된 최대전력 점을 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 각 파형의 P_{pv} 와 P_m 의 0점은 결과파형 Y축 중앙에 위치하며 V_{pv_ref} 와 V_m 의 0점은 결과파형 Y축 하단에 위치한다.

3. 결 론

본 논문은 태양전지 어레이에 부분음영 발생 시 태양전지 어레이의 특성을 분석하고, 그 때의 전역 최대 전력 점을 추종하기 위한 방법을 제안하였다. 제안하는 MPPT 방법은 최대전력점이 태양전지 모듈 개방전압의 80% 지점에 있다는 결과를 이용한 방법으로서 알고리즘이 간단하고 빠른 추적이 가능하다는 장점을 가진다. 시뮬레이션과 실험결과를 토대로 제안하는 MPPT 방법이 음영이 발생하는 태양광 시스템에 적합할 것으로 기대된다.

References

[1] Yong Tian, Bizhong Xia, Zhihui Xu, and Wei Sun, "Modified asymmetrical variable step size incremental conductance maximum power point tracking method for photovoltaic systems." Journal of Power Electronics, vol. 14, No. 1, pp.156-164, January 2014.

[2] Emad M. Ahmed and Masahito Shoyama, "Scaling factor design based variable step size incremental resistance maximum power point tracking for PV

systems." Journal of Power Electronics, vol. 12, No. 1, pp. 164-171, January 2014.

- [3] Mutlu Boztepe, Francesc Guinjoan, Guillermo Velasco-Quesada, Santiago Silvestre, Aissa Chouder, and Engin Karatepe, "Global MPPT scheme for photovoltaic string inverters based on restricted voltage window search algorithm." IEEE Trans. on Ind. Electron., vol. 61, No. 7, pp. 3302-3312, July 2014.
- [4] Koutroulis, Eftichios, and Frede Blaabjerg. "A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions." IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 2, No. 2, pp. 184-190, February 2012.
- [5] N. Fermia, D. Granozio, G. Petrone, and M. Vitelli, "Predictive & adaptive MPPT perturb and observe method," IEEE Trans. on Aerosp. and Electron. Systems, vol. 43, No. 3, pp. 935-950, July 2007.
- [6] F. Liu, S. Duan, F. Liu, B. Liu, and Y. Kang, "A variable step size INC MPPT method for PV systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, No. 7, pp. 2622-2628, July 2008.
- [7] W. Xiao and W. G. Dunford, "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems," IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, vol. 3, pp. 1957-1963, Jun 2004.
- [8] J. Y. Shi, W. Zhang, Y. G. Zhang, F. Xue, and T. Yang, "MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm," Electric Power Systems Research, vol. 123, pp. 100-107, Jun 2015.
- [9] K. Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, "A study of a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," Solar energy materials and solar cells, vol. 90, No. 18, pp. 2975-2988, November 2006.
- [10] Bader N. Alajmi, Khaled H. Ahmed, Stephen J. Finney, and Barry W. Williams, "A maximum power point tracking technique for partially shaded photovoltaic systems in microgrids." IEEE Trans. on Ind. Electron., vol. 60, No. 4, pp. 1596-1606, April 2013.

저 자 소 개



황 동 현 (Dong-Hyeon Hwang)

1991년 11월 2일생. 2016년 한경대학교 전기공학과 졸업, 2016년~현재 동 대학원 전기전자제어공학과 석사과정

Tel : 031-670-5328

Email : light411@naver.com



이 우 철 (Woo-Cheol Lee)

1964년 3월 24일생. 1987 한양대학교 전기공학과 졸업. 1989년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업. 1988~1998년 효성중공업 기술연구소 책임연구원. 1995~2001년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2007~2009년 Virginia Polytechnic Institute and State University USA Visiting Professor. 현재 한경대학교 전기전자제어공학과 교수. 2018년~현재 대한전기학회 편집이사

Tel : 031-670-5323

Email : woocheol@hknu.ac.kr