

PV 전류를 이용한 최대전력점 추적방식의 태양광 발전 시스템 개발

(Configuration of PV System for Improved Efficiency Using PV Current Control of MPPT)

유양우* · 서덕현 · 김유하

(Yang-Woo Yoo · Deok-Hyun Seo · Yoo-Ha Kim)

Abstract

Maximum power point tracking method is very important to enhance efficiency of photovoltaic system. Meanwhile a lot of research about MPPT has been studied and developed new one better than a method of the past. This paper deals with Perturb and Observation that are most commonly used. Tracking parameter changed PV voltage for PV current and it was simulated with P-SIM program. The P&O tracking method to use current for parameter lows ripple rate of output and enhances response rate of tracking. Through this study, it has been demonstrated that method using current for tracking parameter is effective.

Key Words : Maximum Power Point Tracking, Photovoltaic Module, MPPT Efficiency, Ripple Rate

1. 서 론

최근 수 십년 동안, 화석에너지의 고갈에 따라, 에너지 문제에 대한 위기의식이 점점 고조되고 있다. 또한 연료고갈과 더불어 환경문제에 대한 인식이 높아지면서 새로운 대체 전력 에너지원에 대한 활동은 전 세계적으로 진행되고 있다. 그 중 태양광 에너지는 깨끗하고, 고갈되지 않으며 지속적인 발전 비용이 들지 않는다는 장점이 있다. 태양광시스템의 대표적 활용도는

축전지 충전, 급수펌프, 가정용 전력 공급, 가로등, 전 기차, 군사 및 항공우주 응용품목 등의 독립형에 활용되거나 그리드 연계형으로 활용되어 진다[1-2]. 태양광 발전시스템은 원리상 타 발전에 비하여 발전효율이 매우 낮고, 특히 일사량이 저조한 날에는 더욱 낮아지는 등 지속적으로 날씨 등 환경에 따른 변동 폭이 심하다. 태양전지의 비선형적 특성을 가지는 $V-I$ 특성은 일조량과 패널자체 온도에 따라 크게 변동된다. 따라서 태양광시스템이 최대의 효율을 내고 최대의 전력을 생산할 수 있을 때의 태양전지 $V-I$ 및 $V-P$ 곡선 상에 하나의 점을 최대 전력점(Maximum Power Point : MPP)이라고 하며, 이 최대 전력점을 알고리즘 계산을 통해서 찾는 최대전력추종(Maximum Power Point Tracking : MPPT)은 태양광발전시스템의 효율 개선부분에서 매우 중요한 요소이다. 그동안 최대전력추종의 알고리즘은 다양하게 연구되었다. 대표적인

* 주저자 : 인하대학교 전기공학과 박사과정
* Main author : Candidate for the Ph. D, Dept. of Electrical Engineering, Graduate School of Inha University
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : yoo@kmec.co.kr
접수일자 : 2014년 1월 14일
1차심사 : 2014년 3월 4일, 2차심사 : 2014년 3월 17일
심사완료 : 2014년 4월 15일

기법으로 P&O(Perturb and Observe), IC(Incremental Conductance)이 있으며, 그 밖에 Artificial Neural Network 기법, Fuzzy Logic method 기법 등이 있다 [3]. 가장 기본적인 P&O MPPT 알고리즘은 구현하기 쉽고 간단한 구조 때문에 널리 이용되고 많이 사용하고 있으나, MPP 주위에서의 진동, 느린 응답 속도 및 일사량 및 외부 온도의 급속한 변화에 따라 틀린 방향으로의 추적을 하는 등 P&O 알고리즘은 몇 가지 단점이 존재한다. 또한 IC MPPT 알고리즘은 원리 상 P&O 알고리즘의 단점을 극복할 수 있으나, P&O 알고리즘에 비하여 복잡한 연산처리가 필요하다. 따라서 태양광 발전 효율 상승을 위해서 다양한 알고리즘을 구현하는 방법은 매우 중요하다[4-7].

2. 본 론

2.1 PV셀의 다이오드 특성

PV 패널 기본구성은 광전지이며, 그것은 기본적으로 빛 에너지를 직접 전기로 변환하는 p-n 접합 반도체이다. 그림 1은 광전지의 등가회로이다. 전류원 I_{ph} 는 광기전력 변환에 의해 기인된 셀 광전류를 표현한 것이고 I_{pv} 는 PV 패널 출력전류를 나타낸다. R_j 는 p-n 접합부의 비선형 임피던스, R_o 는 부하의 입력 임피던스이다. R_{sh} 와 R_s 는 각각 분로 및 셀의 직렬 고유 저항이며, 보통 R_{sh} 의 값은 아주 크고 R_s 는 아주 작기 때문에 분석을 간단하게 하기 위하여 무시될 수 있다 [8-9].

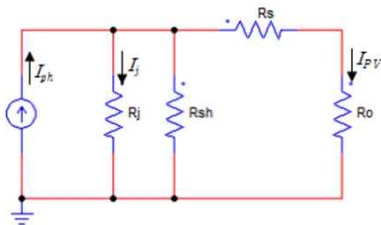


그림 1. 태양전지의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of PV cell

PV 패널을 위한 수학적 모델은 다음 방정식으로 기

술될 수 있다.

$$I_{PV} = n_p I_{ph} - n_s I_{rs} \left[\exp\left(\frac{qV_{PV}}{kTA}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

여기에서 I_{PV} 는 PV 패널 출력전류이고, V_{PV} 는 PV 패널 출력전압이다. n_s 는 직렬로 연결된 셀의 개수이다. n_p 는 병렬로 연결된 모듈의 개수이다. 전하량 및 볼츠만 상수는 각각 $q=1.9 \times 10^{-19}C$, $k=1.38 \times 10^{-23}eV/K$ 로 적용하여 계산하였다. A 는 p-n 접합 제조상수, T 는 셀 온도(K), 그리고 I_{rs} 는 셀 역포화 전류이다. 식 1에 있는 요소 A 는 이상적인 p-n 접합 특성에서 셀 편차를 결정한다. 셀 역포화 전류 I_{rs} 는 다음 방정식에 따라 온도에 따라 변화한다.

$$I_{rs} = I_{rr} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp\left[\frac{qE_G}{kA} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

여기에서 T_r 는 셀 레퍼런스 온도이고, I_{rr} 는 T_r 에 따른 역포화 전류, E_G 는 셀의 밴드갭 에너지이다. 광전류 I_{ph} 는 태양광 일사량 레벨 및 셀 온도에 따라 다음과 같이 좌우된다.

$$I_{ph} = [I_{scr} + k_i(T - T_r)] \frac{S}{1000} \quad (3)$$

여기에서 I_{scr} 는 레퍼런스 온도와 일사량에 따른 셀 단락 전류이고, k_i 는 단락 전류 온도 계수, S 는 단위각 W/m^2 인 일사량 레벨이다. 상기의 방정식에서, PV 패널의 출력 특성은 대응되는 매개변수의 항에서 계산될 수 있다. 그림 2는 PSIM 소프트웨어를 이용하여 서로 다른 태양광 일사량 레벨과 온도의 상태에서 다음 매개변수에서 계산된 PV 패널의 출력 곡선을 나타낸 것이다.

$$I_{ph} = 16.18[A], I_{rr} = 3.94 \times 10^{-8}[A]$$

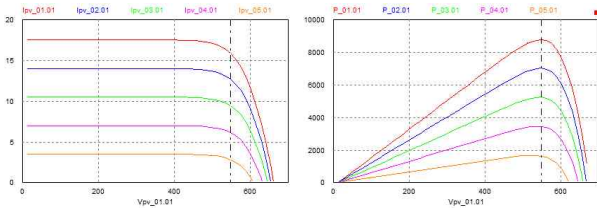
$$A = 1.2$$

$$E_G = 1.12[eV]$$

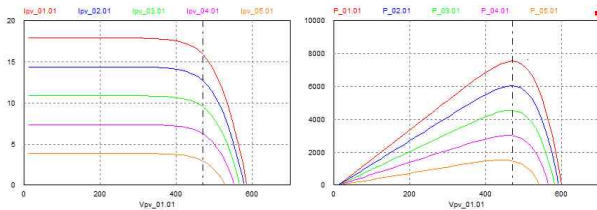
$$n_p = 2, n_s = 1080$$

$$P_{\max} = 8600 \text{ W}, V_{\max} = 534.45 \text{ V},$$

$$I_{\max} = 16.46 \text{ A}, V_{OC} = 664 \text{ V}, I_{SC} = 17.56 \text{ A}$$



(a) PV 패널 온도 25°C



(b) PV 패널 온도 60°C

그림 2. PV 패널의 I-V 및 P-V 곡선

Fig. 2. I-V and P-V curve of Photovoltaic system

그림 2 (a)는 온도 25°C, 일사량 200~1000W/m²에서의 전류와 전압, 전류 및 전력의 곡선이며, 그림 2 (b)는 온도 60°C에서의 그림 2 (a)와 같은 조건일 때 곡선이다. 특성곡선에서 주위 온도 및 태양광 일사량 레벨, 바람과 같은 여러 가지 대기의 상태에 따라 변화하는 PV 패널의 출력 특성은 비선형이다. 특정 대기의 상태 하에서 1개의 유일한 최대 전력 점이 있다는 것을 PV 출력 전력 대 전압 또는 전류 곡선에서 알 수 있고, MPP는 다른 태양광 일사량 레벨, 온도 및 바람에 따라 변화한다. PV 패널의 운전 점이, 최대 전력을 주어진 조건에서 출력하기 위하여 v_{PV} 또는 i_{PV} 를 제어해서 조정되어야 한다는 것을 의미한다. 그림 2와 같이 PV 패널 출력 전류 대 출력 전압의 곡선에서, 단락 전류가 태양광 일사량 레벨의 대략 일차 함수이고 개방 회로 전압에는 음의 온도 계수를 갖는 것을 볼 수 있다. 즉 태양광 일사량 레벨의 변이는 주로 단락 전류에 영향을 미치고, PV 패널 주위 온도의 변화는 주로 개방 회로 전압에 영향을 미친다. 따라서 일사량 변화에 따른 MPP 추적은 PV 패널 전류 i_{PV} 를 제어하는 알고리즘에 의하여 실시하였다.

2.2 시뮬레이션 회로

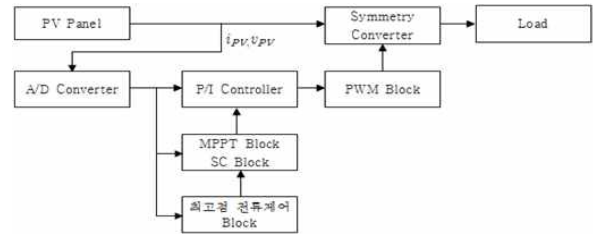


그림 3. 전류제어 MPPT 블록 다이어그램

Fig. 3. Block diagram of current-controlled MPPT

MPPT 시스템의 응답의 속도를 개선을 위하여 PV 전류를 제어하는 알고리즘을 이용하였다. 본 알고리즘은 아날로그 회로의 스위칭고조파 제거용 RC회로를 사용하는 대신 빠른 제어속도를 활용하기 위해 DSP를 이용한 디지털 방식으로 실시하였다. 또한 디지털방식으로 실시하기 위하여 MPPT 시스템 출력을 위한 MPPT 기능 블록, PV 전류의 평균값을 제어하기 위하여 PI 제어를 선택하였다.

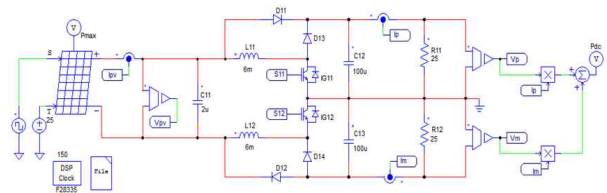


그림 4. 본 PV 시스템에 사용된 대칭 부스트 회로

Fig. 4. Symmetry boost circuit for PV system

출력단에 변압기가 없는 태양광 인버터에서 접지를 가진 분리된 공급 직류 전압의 대칭은 문제가 된다. 부스트 회로에서 입 · 출력의 불균형을 모두 다루기 위하여 대칭 부스트(Symmetry Booster) 방식을 이용하였다. 회로는 부스터 출력의 중립점(Neutral Point)의 대칭을 지키고 있는 동안, 태양전지판의 입력 불균형을 조절하기 위하여 최대 전력점을 조절할 수 있다. 회로는 2개의 부스트 회로로 구성되었다. 양의 전압 및 음의 전압의 대칭을 위하여 직류 출력 전압을 감지하여 PWM회로의 듀티비를 조절하는 회로가 구성하였다. 비대칭 태양광 셀 전압 및 부하 상태를 제어할 뿐만 아니라, 승압기에 다른 소스의 전력과 MPP 특성

이 다른 전지판을 결합하는 것도 가능하며, 부스터 다음에 3상 3레벨 NPC(Neutral Point Clamped) 태양광 인버터에 대한 해결책이기도 하다. 이 비절연 토폴로지는 단상 인버터와 연계된 부스트 컨버터로 사용되어 넓은 범위의 최대 전력점을 다룰 수 있다. 입력 전압이 DC 링크 전압보다 더 높은 경우에, 부스트 컨버터는 작동하지 않게 되고, 바이패스 다이오드는 인버터로 입력 전력을 그대로 전달하게 된다.

2.3 시뮬레이션 각 구성요소

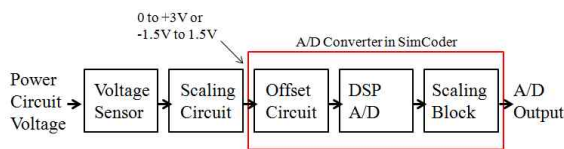


그림 5. A/D Converter 과정
Fig. 5. Process of A/D converter

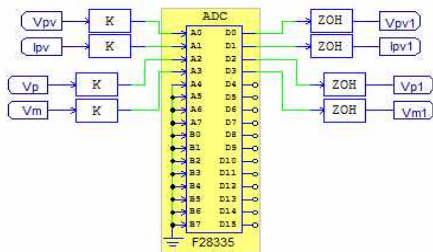


그림 6. A/D 컨버터
Fig. 6. A/D Converter

A/D converter의 과정을 그림 5와 같이 나타내었다. 12비트 16채널 A/D 변환기를 사용하기 위하여 TI F28335 DSP를 이용하였다. TI DSP는 Group A와 Group B의 2개의 그룹으로 분할되며, DSP의 물리적인 A/D 변환기의 입력 범위는 0V에서 +3V이므로 정상적으로 전력 회로의 양(전압, 전류, 온도 등등)이 몇 단계를 걸쳐 DSP에 주어진다. 회로의 전압은 전압 센서를 사용하여 제어 신호로 먼저 변환되고, 스케일링 회로는 그 때 신호를 배율하기 위하여 사용된다. 오프셋 회로는 필요하다면 신호에 dc를 제공하기 위하여 사용된다. 이 신호는 DSP에 있는 디지털 방식으로 값으로 변환되고, 스케일링 블록은 그것의 본래 값에 맞

대응되는 값을 증감하기 위하여 이용될 수 있다.

스케일링 블록의 이득 및 A/D 채널의 내부 배율을 정하여 그림 6과 같이 A/D Converter의 입출력을 구성하였다. ZOH(zero-order-hold) block은 PV 전압 및 전류, Symmetry Booster 출력전압에 대한 샘플링 값을 디지털 하드웨어를 실행하는 A/D 변환기를 시뮬레이션하기 위하여 사용한다. F28335 DSP는 PWM 출력 6 세트를 제공한다. 여기서 1-phase PWM generators를 적용하였으며, 이 PWM 발생기를 이용하여 A/D 변환기를 트리거하고, trip-zone 신호를 이용할 수 있도록 하였다. Trigger ADC는 Trigger ADC Group A로 설정하여 PWM 발생기에 의하여 A/D 변환기를 트리거 한다. 최고점 전류제어를 위하여 Carrier Wave Type을 Triangular (start low)로 설정하고, 이를 통해 스위칭 주파수에 맞추어서 전력 스위치의 스위치 오프 타임에 순시 표본 추출을 할 수 있도록 하였다.

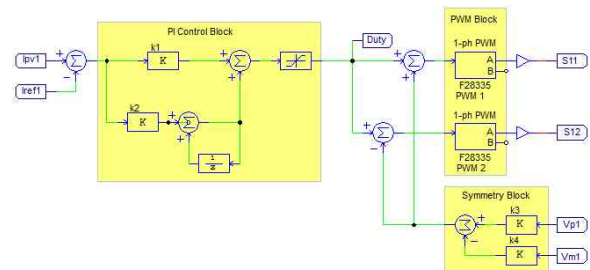


그림 7. PI 제어블럭, PWM블럭 및 대칭블럭
Fig. 7. PI Control Block, PWM Block, Symmetry Block

그림 7과 같이 디지털 PI 제어기로 구성하였다. 적분기는 Backward Euler 방법으로 식 (4)와 같이 시간 영역에 있는 입출력 관계를 표현할 수 있다.

$$y(k) = y(k-1) + T_s \times u(k) \tag{4}$$

$y(k)$ 는 현재 시간에 대한 출력, $u(k)$ 는 현재 시간에 대한 입력을 나타내고, $y(k-1)$ 은 이전 표본 추출 기간에서의 출력, T_s 는 표본 추출 기간이다. 상기의 방정식을 사용하여, 덧셈기와 unit-delay block으로 디지털 적분기를 구성하였고, Symmetry Block은 부하

변동에 따른 DC bank 전압의 증성점에 대한 포지티브 전압과 네거티브 전압의 대칭을 위하여 직류 출력 전압을 감지하여 PWM회로의 듀티비를 조절하게끔 부스트 회로를 구성하였다.

P&O 알고리즘에서 섭동 변수는 MPPT 변환기의 PV 패널 터미널 전압, PV 패널 출력 전류, 또는 duty cycle에 대한 값이 될 수 있다. 그림 8에서 보이는 것처럼, PV 패널의 출력 전압이 교란되고 $dp/di > 0$ 의 상태일때, 운전 점이 MPP의 왼쪽영역에 있다. P&O 알고리즘은 MPP로 운전 점을 이동하기 위하여 PV 패널 레퍼런스 전류를 증가시킬 것이다. $dp/di < 0$, 즉

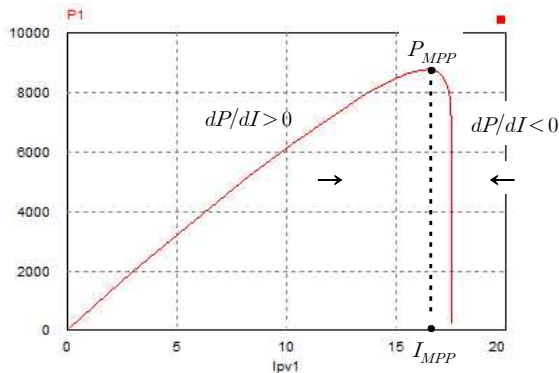


그림 8. PV 시스템의 P-I 곡선영역
Fig. 8. Operation area of P-I curve

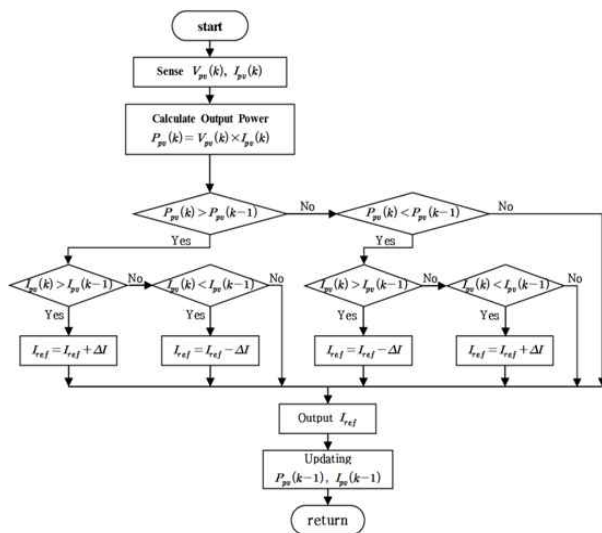


그림 9. 전류제어 MPPT 알고리즘
Fig. 9. MPPT Algorithm of PV current-controlled

운전 점이 MPP의 오른쪽 영역에 있다는 것을 알게 되면, P&O 알고리즘은 그 때 PV 패널 레퍼런스 전류를 감소시킬 것이다.

섭동 변수가 전류인 경우에는, PV 출력 전력에 있는 섭동은 정기적으로 작은 값에 의하여 레퍼런스 전류를 증가하거나 감소하여 달성된다. 그러므로 섭동 방향의 결정은 섭동과 관측 알고리즘에 있는 중요한 기능이다.

그림 9는 P&O MPPT 알고리즘의 실행을 순서도로 나타낸 것이다. 여기에서 PV 출력 전류는 제어 변수로 이용된다. 첫째로, 패널의 터미널 전압 V_{pv} 와 전류 I_{pv} 가 감지된다. PV 전류 증가와 함께 PV 출력 전력이 증가하게 되면, 섭동 스텝 크기 하나씩 레퍼런스 전류가 증가 또는 감소된다. 예를 들면, 섭동을 가진 PV 패널의 출력 전력 그리고 전류가 있는 경우에,

$$P_{pv}(k) > P_{pv}(k-1) \tag{5}$$

$$I_{pv}(k) < I_{pv}(k-1) \tag{6}$$

여기에서 매개변수 $k-1$ 과 k 는 섭동 전후에 대응 측정된 양을 각각 가리킨다. 식 (5)와 식 (6)은 섭동이 I_{pv} 를 감소될 때 P_{pv} 가 증가된다는 것을 의미하며 이에 따른 다음 섭동 방향이 레퍼런스 전류 I_{ref} 가 감소시키기 위한 것을 그림 9에서 보인 순서도를 통해 결정되어진다. P&O 알고리즘에서는, 전력이 증가하는 경우에, 섭동은 다음 주기 동안 동일한 방향으로 계속 진행되며 전력량이 감소되면 섭동 방향은 반전한다. 상기의 연속 과정을 통해, PV 패널의 운전 점은 다른 온도 및 태양광 일사량에 대응하는 최대 출력 점으로 이동된다. MPPT 블록은 제시한 “순시 표본 추출” 방법을 가진 MPPT 알고리즘을 실행한다. I_{pv} 와 P_{pv} 의 순시 표본은 각 스위칭 주기에서 선택되어 처리되며, I_{ref} 는 각 스위칭 주기에서 출력된 섭동 방향에 따라 개정되어진다. MPPT 변환기의 스위칭 주파수는, 더 작은 용량의 필터 소자를 사용하거나 더 빠른 과도 응답 속도를 갖추기 위하여 시스템이 허용한다면 수백 kHz까지 높게 할 수 있으며, 주기에 따라 단 하나의 순시 표본을 추출하기 때문에, 섭동 주기는 아주 작은 MPPT

변환기의 스위칭 주기와 같다. 더 작은 섭동 주기를 가질 경우 운전 점이 MPP 주위에서 진동할 때 더 작은 전력 손실을 의미하므로 작은 섭동 스텝 크기를 갖는 것이 유리하다. 추종 속도 역시 아주 짧은 섭동 주기 때문에 빠르게 된다. 즉 대기의 조건 변화로 인한 MPP 추종은 비교적 빠른 속도를 갖는다는 것을 의미한다. 결론적으로 스위칭 주기 당 단 하나 순시 표본을 추출함에 의하여 짧은 섭동 주기를 출력하므로, 운전 점이 MPP의 근처에서 진동하여 전력 손실을 감소시킬 수 있다.

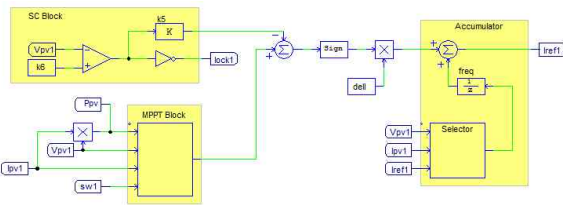


그림 10. SC 블록, MPPT블럭, Accumulator
Fig. 10. SC Block, MPPT Block and Accumulator

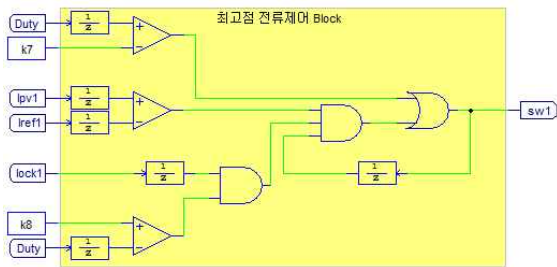


그림 11. 최고점 전류제어 Block
Fig. 11. Block of maximum power point controlled by PV current

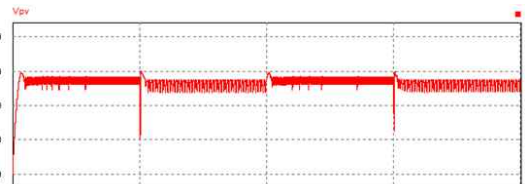
태양광 일사량 값이 급격히 떨어지는 경우에 정상상태가 되는 시간은 길게는 수 초에 이르기 까지 매우 길게 된다. 그림 10과 같이 이를 해결하기 위하여 SC Block을 MPPT Block에 추가하였다. i_{pv} 가 I_{SC} 와 같거나 크게 될 때, v_{pv} 가 영이 되는 PV 패널의 특성을 이용하였으며, v_{pv} 가 0인 경우 전류 레퍼런스 I_{ref} 는 항상 줄여야 하나 실제, PV 출력 끝단이 단락되더라도, 선저항 때문에 PV 출력 전압이 영이 될 수 없으므로 상수를 설정하였다. v_{pv} 가 사전 설정 값보다 더 작다면,

i_{pv} 는 I_{SC} 와 같거나 가까운 값을 갖는 것으로 보고 전류 레퍼런스를 줄이는 것으로 강제한다.

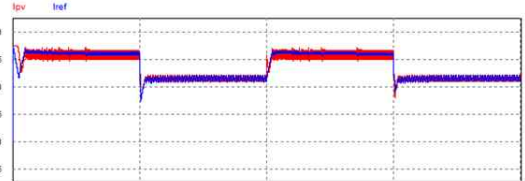
그림 11에서 P&O 추적의 전류제어 요소값 I_{pv} 가 I_{ref} 에 도달하게되고 대응하게 유지되도록 적용한 회로이다. 각 흐름에 따라 통류율과 각 AND, OR 게이트의 동작을 통해 I_{pv} 는 I_{ref} 에 유지토록 하였다.

3. 모의결과

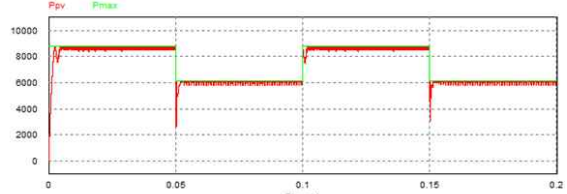
그림 12에서 0에서 MPP까지 대략 5ms로써, 출력 콘덴서를 충전하는 시간을 감안해도 기동시간이 매우 짧음을 알 수 있다. $t=50ms$ 에서 i_{pv} 가 16A에서 11.5A로 감소할 때, 약 1 ms의 응답 속도를 갖는다. 그림 13에서 일사량 급변에 따른 MPPT시스템 응답이 $V-I$ 곡선과 $P-I$ 곡선으로부터 MPP에 추종됨을 알 수 있다. 그림 14는 일사량 급변에 따른 부스터 출력 전압 V_p , V_m , 전류 I_p , I_m , 전력 P_{dc} 을 볼 수 있으며, 일사량



(a) 시간에 따른 Vpv



(b) 시간에 따른 IPV 및 IREF 변화



(c) 시간에 따른 PPV의 변화

그림 12. 일사량 급변에 따른 MPPT시스템 응답
Fig. 12. I-V and P-V curve of PV panel

1000 W/m²일 때를 기준으로 맥동전압 $\Delta V_p = 8V$, 출력 전압의 맥동율은 $8V/330V \approx 2.4\%$, 맥동전류 $\Delta I_p = 0.3A$, 출력 전류의 맥동율은 $0.3A/13.2A \approx 2.3\%$ 로 매우 양호함을 알 수 있다.

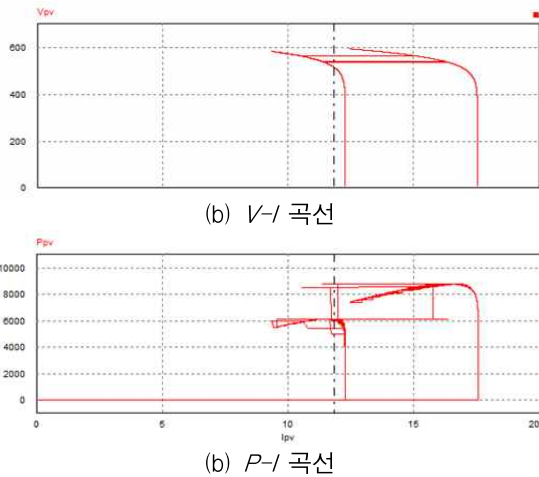


그림 13. 일사량 급변에 따른 V-I 및 P-I 곡선
Fig. 13. I-V and P-V curve of PV panel

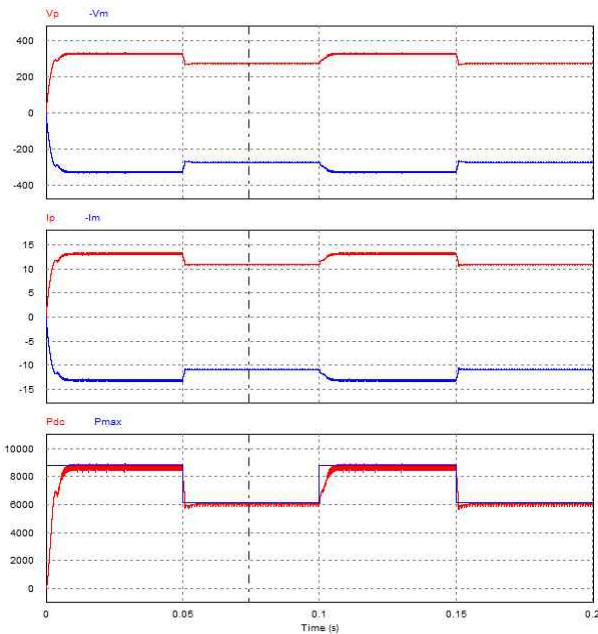


그림 14. 일사량 급변에 따른 인버터 출력변화 (VP, VM, IP, IM, Pdc)
Fig. 14. Variation of output(VP, VM, IP, IM, Pdc) with PV system according to radiation changed

4. 결 론

P&O 알고리즘은 간단하고 실행하는 것이 쉬운 큰 장점 때문에 대부분의 PV 발전 시스템에서 사용된다. 그러나 잘못된 방향으로의 MPP 추종, 느린 응답 속도 및 급속한 대기 변화상태에서의 MPP 주위에서 진동과 같은 문제가 있다. 순시 표본 추출과 전류 제어를 이용하여 최대전력을 추종할수 있도록 시스템을 구성하였고 이를 통해 결점을 감소시키는 방법을 제시하였다. 특히 빠른 순시표본을 추출함으로써 스위칭 주기 당 단 하나의 순시 표본 추출을 하여, 섭동 주기를 MPPT 변환기의 스위칭 주기와 같게 함으로써 오차는 아주 작게 된다. 따라서 급속하게 대기의 상태가 바뀌는 조건에서 정확한 방향을 추적하지 못했던 기존의 P&O MPPT 알고리즘의 결점을 해소시키는, MPPT 시스템의 빠른 추종 및 응답 속도를 이끌어 내었다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.20133010011770)

References

- [1] Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Dong-Hwa Chung, "Optimal Current Detect MPPT Control of PV System for Robust with Environment Changing", Journal of the Korean Institute and Electrical Installation Engineers, Vol. 25, No.10, pp. 47~58, 2011.
- [2] T. L. Kottas, Y. S. Boutalis and A. D. Karlis, "New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks," IEEE Trans on EC, Vol. 21, No. 3, pp. 791~803, 2006.
- [3] Roberto Faranda, Sonia Leva, "Energy comparison of MPPT technique for PV systems", WSEAS Trans on Power systems, Vol. 3, No. 6, pp. 446~455, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] H. S. Kim, J. M. Park, K. B. Jo, H. W. L, "A Study on the Boost Converter for MPPT Using Micro-controller in PV System", KSES CNF, pp.51-60, 2003.
- [9] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.

◇ 저자소개 ◇



유양우(柳良佑)
 1958년 2월 2일생. 2009년 2월 인하대 공학대학원 전기공학과 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정수료. (주)광명전기 전무이사.
 Tel : (032)860-7398
 Fax : (032)863-5822
 E-mail : yoo@kmec.co.kr



서덕현(徐德賢)
 1980년 4월 26일생. 2006년 8월 원광대 전기전자공학과 졸업. 현재 한성대학원 융합기술학과 석사과정 수료. (주)광명전기 신재생에너지사업부 과장.
 Tel : (02)2240-8416
 Fax : (02)2240-8497
 E-mail : seoducks@naver.com



김유하(金庾河)
 1980년 4월 27일생. 2007년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2013년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). (주)광명전기 신재생개발팀 재직 중.
 Tel : (02)2240-8419
 Fax : (02)2240-8497
 E-mail : baal80@daum.net