

변압기 없는 계통연계형 PV PCS에서의 MPPT 제어기법 비교 분석

이경수², 정영석¹, 소정훈¹, 유권종¹, 최재호²

¹ 한국에너지기술연구원 태양광연구센터, ² 충북대학교 전력전자연구실

Comparison and analysis of the MPPT algorithms in transformerless grid-connected PV PCS

Kyungsoo Lee², Youngseck Jung¹, Junghoon So¹, Gwonjong Yu¹, Jaeho Choi²

¹ Korea Institute of Energy Research, ² Chungbuk National University

Abstract - Maximum power point tracking(MPPT) is used in photovoltaic(PV) systems to maximize the photovoltaic array output power, irrespective of the temperature and irradiation conditions. The object of this paper is to compare and analyze MPPT efficiency for different MPPT techniques by changing irradiance. Also, this paper introduces transformerless grid-connected inverter. Simple flow charts and characteristics of each MPPT algorithm are shown. The implementation of transformerless grid-connected inverter system was based on a digital signal processor(DSP). Simulation was carried out for each MPPT method.

0.2kW/m²부터 1.0kW/m²으로 가변 하였다. 그림에서 보여지는 바와 같이 최대출력점이 일사량에 따라서 바뀌게 된다.

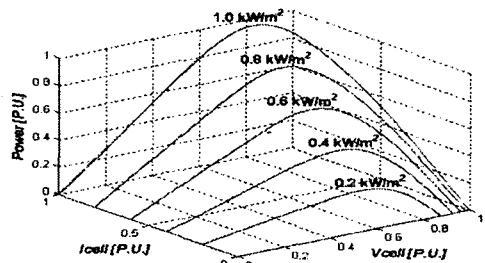


그림 1. 일사량의 변화에 따른 태양전지 어레이의 전류-전압-전력 곡선

1. 서 론
태양전지 어레이의 최대전력점은 일사량과 온도에 의해서 좌우된다. 본 논문에서는 일사량을 가변하여 태양전지 어레이의 I-V 커브특성을 파악한다. 또한 각 일사량에 따라서 최대출력점이 변하므로 각각의 최대전력점에 따른 최대전력을 이용하는 것은 시스템측면에서 중요한 역할이 되었다. 이를 해결하기 위한 방법이 최대전력추종제어(MPPT)로서 일사량에 따라 변하는 최대전력점에 대해 태양전지 어레이의 전압-전류를 센싱 받아서 최대전력점을 연속적으로 추종하도록 하는 방법이다.[1] 최대전력추종제어의 방법에는 현재 여러 방법이 사용되고 있으며, 이 논문에서는 그 중에서 많이 사용하고 있는 P&O 제어, IncCond 제어와 기존의 제어 기법을 개선한 Im P&O 제어, Two-mode 제어에 대해서 각각의 장·단점을 비교분석하고 변압기가 없는 계통연계형 PV PCS 시스템에 적용하여 성능을 평가하였다.

태양전지 어레이는 비선형 곡선으로써 하나의 전류원 모델로 간주한다. 태양전지의 수학적 모델은 태양광시스템을 설계하여 시뮬레이션에 의해 정확한 특성을 파악하고자 할 때 필요한 요소이다. 수식(1)은 태양전지를 전기회로도로서 등가화 시켜서 나타낸 최종 수식이며, 이 수식을 기반으로 태양전지 어레이의 I-V 커브곡선을 시뮬레이션 한다.

$$I_{OUT} = I_{SC} - \left[\frac{I_{MAX}}{\exp(39 \times K) - 1} \right] \times \left[\exp\left(39 \times \frac{V_{OUT}}{V_{OP}} \times K\right) - 1 \right] \quad (1)$$

- I_{SC} : 일사량에 따른 단락전류
- I_{MAX} : 일사량이 1일 때의 단락전류 1kW/m²
- V_{OP} : 일사량이 1일 때의 개방전압 1kW/m²
- K : 계수(다이오드 순방향 전압 V_b)

P&O 제어기법은 간단한 제어구조가 장점인 반면, 어레이 출력전압의 교란이 매주기마다 반복되므로 최대전력점 도달시에 어레이 출력전력에 손실을 가져온다.[1] IncCond 제어기법은 일사량이 급변시에 MPPT 성능이 좋은 장점이 있지만, 두 번의 나뉠셈이 요구되어 빠른 컨트롤러가 필요하므로 결국 시스템 단가를 상승시키는 결과를 초래한다.[3] Improved P&O 제어기법의 특징은 P&O의 단점인 최대전력점에서의 진동을 억제하기 위하여 최대전력점에서 오차범위를 주어 그 범위를 벗어날 경우에 최대전력점을 추종하도록 한다.[3] Two-mode 제어기법의 장점은 저일사량시의 MPPT 추종효율을 높이기 위하여 저일사량(이 논문에서는 약 0.25kW/m²)에서 일정전압으로 전압값을 유지하여 위에서 제시한 3가지(P&O, IncCond, Improved P&O) 제어기법보다 저일사량에서 MPPT 추종 효율을 높인다.[4]

2.2 MPPT 제어

MPPT는 태양전지 어레이에서 샘플링 받은 전압과 전류중에서 전압을 기준 레퍼런스로 하여 최대전력점을 추종하며, 태양전지 어레이의 출력단 전압을 가변시켜서 최대전력점을 추종하는 제어를 한다.[2]

2.2.1 P&O 제어

P&O 제어기법은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 출력전력과 현재의 출력전력을 비교하여 최대전력의 상태를 추적하며 찾는다. 제어가 간단하여 널리 사용되지만, 최대전력점에서 태양전지 출력전압이 연속적으로 미소 진동하여 어레이 출력전력의 손실을 가져온다. 또한 일사량이 급변시 최대전력추종제어를 벗어나는 단점이 있다. 그림 2는 P&O 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

2. 본 론

2.1 태양전지 어레이 특성곡선

태양전지 어레이는 일사량과 온도에 따라 크게 좌우된다. 그림 1은 일사량에 따른 태양전지 어레이의 특성을 보여주고 있다. 또한 전압, 전류 그리고 전력에 대해서 Per unit 단위를 사용하여 나타내었고, 일사량은

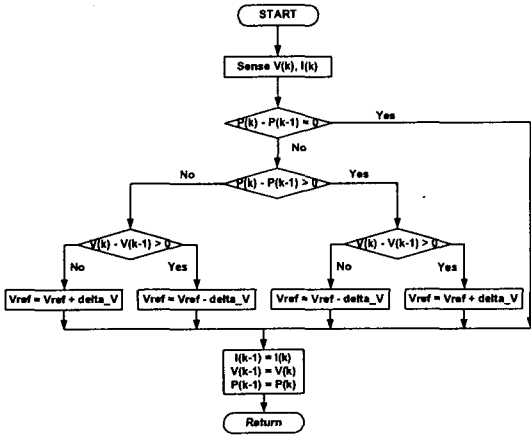


그림 2. P&O 제어기법의 순서도

2.2.2 Incremental Conductance 제어

IncCond 제어기법은 태양전지 출력의 증분 컨덕턴스를 이용하여 최대전력점을 추적하는 방법이다. IncCond 제어기법의 주요 개념은 태양전지 출력전력이 최대출력점의 왼쪽에 위치했을 경우, 출력전력은 전압의 증가에 따라 증가하게 되며($dP/dV > 0$), 반대로 최대출력점의 우측에 위치하였을 경우 출력전력은 감소하게 된다($dP/dV < 0$). 이러한 관계는 다음의 식 (2)로 표현된다.

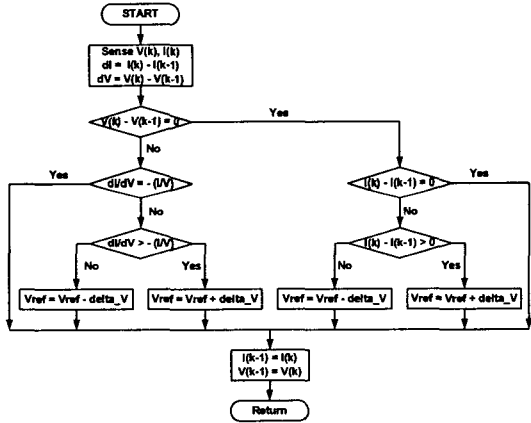


그림 3. IncCond 제어기법의 순서도

$$\frac{dP}{dV} = d \frac{VI}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (2)$$

양변에 $1/V$ 를 각각 곱하면,

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (3)$$

여기서 태양전지 컨덕턴스와 증분 컨덕턴스를 정의하면,

$$G = \frac{I}{V} \quad (4)$$

$$\Delta G = \frac{dI}{dV} \quad (5)$$

그림 1의 곡선에서,

$$G > \Delta G \text{ 이면(최대전력점의 왼쪽), } dP/dV > 0 \quad (6)$$

$$G = \Delta G \text{ 이면(최대전력점), } dP/dV = 0 \quad (7)$$

$$G < \Delta G \text{ 이면(최대전력점의 오른쪽), } dP/dV < 0 \quad (8)$$

결국, 이 제어기법은 태양전지 컨덕턴스와 증분 컨덕턴스가 같아지도록 태양전지 출력전압을 최대전력점 전압에 추종하도록 한다.

록 한다.

2.2.3 Improved P&O 제어

개선된 P&O 제어기법은 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 것을 막고, 최대전력점 도달 후에 발생하는 미소 진동에 대한 완충역할을 하기 위한 것이다. 본문에서는 시뮬레이션을 통하여 P_m 에 대한 완충 값을 식 (9)에 나타내었다.[3]

$$P_m = P_{max} \times 0.98 \quad (9)$$

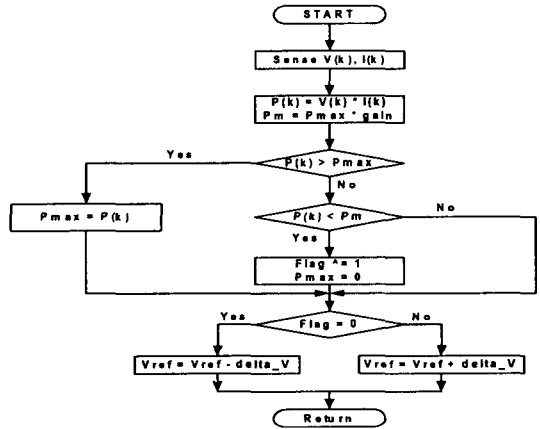


그림 4. Improved P&O의 순서도

2.2.4 Two-mode 제어

Two-mode 제어 기법은 저 일사량에서 태양전지 어레이의 출력전력의 효율을 극대화하기 위하여 제안한 방법이다. 그림 5는 Two-mode 제어의 순서도를 나타낸다. Two-mode 제어는 기존에 사용되고 있는 IncCond 기법에 일사량이 $0.25kW/m^2$ 이하가 되면 일정전압 제어의 방법으로 제어를 바꾸게 된다. 이 기법의 장점은 저 일사량에서도 약 90%의 MPPT 추종효율을 얻을 수 있는 반면 일사량에 대한 센서가 추가로 필요한 결점이 있다.[4]

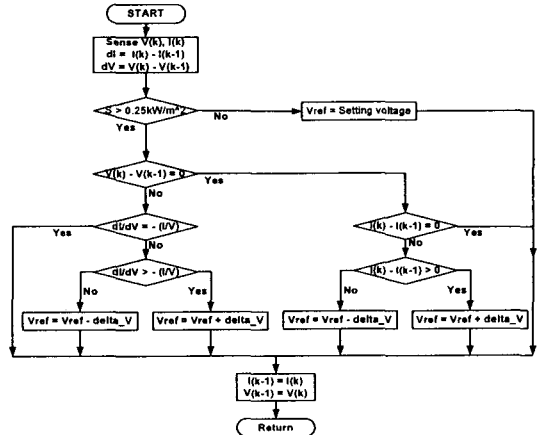


그림 5. Two-mode 제어기법의 순서도

2.3 시뮬레이션

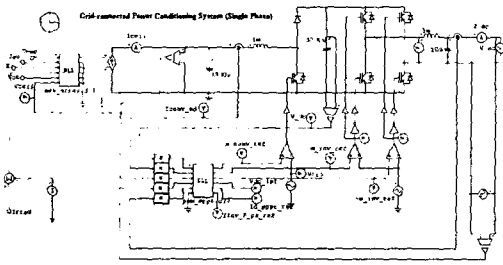


그림 6. 변압기 없는 단상 계통연계형 인버터

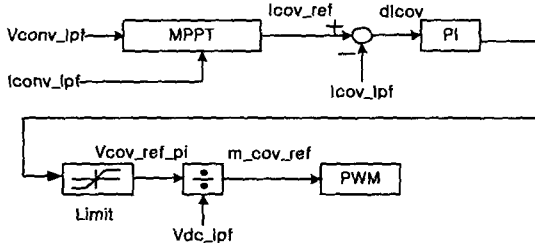


그림 7. 컨버터 제어 블록도

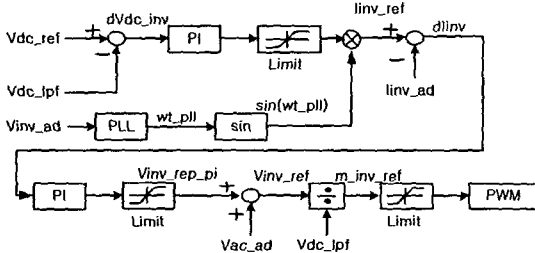


그림 8. 인버터 제어 블록도

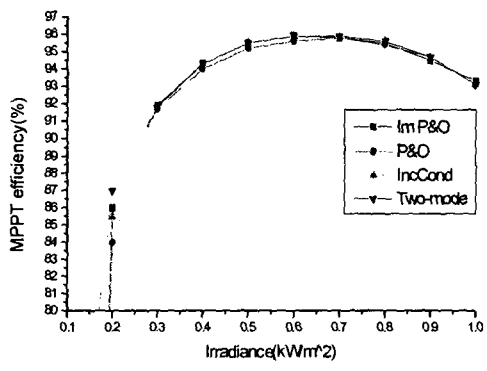


그림 9. 일사량에 따른 MPPT추종효율 비교

그림 6은 변압기를 사용하지 않는 컨버터와 인버터를 결합한 계통연계형 태양광시스템을 보여준다. PSIM 프로그램에서 DLL(Dynamic Link Library)을 이용하여 태양전지 I-V커브곡선과 컨버터와 인버터에서 PWM 제어에 대해서 프로그래밍 하였다. 시스템은 3kW급 태양전지 어레이를 구성하였고, 그때 나오는 동작전압은 약 280V

정도가 되며 이렇게 나온 전압을 부스트 컨버터를 통하여 약 380V로 승압 하였다. 결국 DC링크단 전압은 약 380V가 유지되도록 제어하였다. 전체적인 흐름은 컨버터가 MPPT제어를 행하고, 인버터는 DC링크단 전압을 유지하면서 계통과의 연계를 행한다.

그림 7과 8은 계통연계형 태양광 인버터 시스템의 컨버터와 인버터의 제어 블록도를 나타낸다. 컨버터는 MPPT로부터 전류 레퍼런스를 형성하고, 이 전류 레퍼런스를 가지고 PI제어를 거쳐 나온 전압 레퍼런스가 삼각파와 비교를 통하여 PWM 스위칭을 하게 된다. 이때 부스트 출력단 전압 즉, DC링크가 일정하도록 태양전지 어레이의 입력단을 제어하는 입력단 제어방식을 취한다.

인버터는 DC링크단에 380V의 레퍼런스 전압과 실제 DC링크단에서 센싱받은 전압을 비교하여 PI제어를 거쳐 치게된다. 이때 DC링크로부터 입력 오차를 거친값이 인버터 레퍼런스의 크기가 되고, 계통전압은 PLL을 거쳐서 위상이 계통과 동기인 사인파를 만들어서 결국 인버터 레퍼런스에 위상이 된다. 크기와 곱한 위상은 인버터의 레퍼런스 전류가 된다. 또한, DC링크전압이 일정하도록 인버터 출력전류를 제어한다. 이것은 결국 인버터의 PWM 레퍼런스 파형이 되며 컨버터와 마찬가지로 삼각파와 비교를 통해서 인버터 PWM제어를 하게 된다.

그림 9는 전 일사량에 대하여 4가지의 MPPT 기법을 3kW급 계통연계형 인버터 시스템에 적용하여 MPPT 추종 효율을 분석한 것이다. 일사량은 0.1kW/m²으로부터 1.0kW/m²까지 행하였다. 결과에서 일사량이 높을수록 MPPT 추종효율이 커짐을 알 수 있는 반면, 일사량이 0.3kW/m² 이하에서는 모든 제어기법의 MPPT추종 효율이 90%이상이 되었다. 일사량이 0.2kW/m²이하에서는 일정전압제어로 동작하는 Two-mode제어가 가장 효율이 우수하였고, 0.1kW/m²에서는 Two-mode 제어 이외에 다른 제어는 MPPT를 추종하지 못하였다.

3. 결 론

최대전력추종제어(MPPT)의 목적은 태양전지 어레이로부터의 최대전력을 부하에 공급하는 것이다. 이 논문에서는 먼저 최대전력추종제어 기법들 중에서 P&O, IncCond, Im P&O 그리고 Two-mode 등에 대해서 각각의 특징과 순서도를 살펴보았다. 그리고 MPPT 추종 효율을 비교하기 위하여 전 일사량에 대해서 MPPT를 시뮬레이션 하였다. MPPT 추종 효율을 분석한 결과 일사량 0.3kW/m² 이상에서는 MPPT제어 기법간의 추종효율이 거의 차이가 나지 않은 반면, 일사량이 0.3kW/m² 이하에서는 Two-mode 제어기법이 다른 제어기법들보다 나은 MPPT 추종효율 특성을 나타내었다.

더불어 이 논문에서는 변압기 없는 형태의 컨버터와 인버터 시스템을 이용하여 MPPT를 행하였다. 컨버터는 MPPT 제어를 하는 동시에 DC링크 전압이 일정하도록 태양전지 어레이 입력단 제어를 행하였고, 인버터는 DC 링크단 전압을 일정하게 유지하면서 계통과의 연계를 하는 인버터 출력단 제어를 행하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] K.H. Hussein의 3인, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEE Proc-Gener. Transm. Distrib, Vol.142, No.1, 59-64, 1995
- [2] Chihchiang Hua와 1인, "A modified tracking algorithm for maximum power tracking of solar array", Energy Conversion and Management, 45, 911-925, 2004
- [3] 정영석의 1인, "P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘", 전력전자학술대회 논문집, 925-928, 2003
- [4] G.J.Yu와 5인, "A novel two mode mppt control algorithm based on comparative study of existing algorithms", 29th IEEE PVSC, 1531-1534, 2002