

태양광발전용 PCS의 MPPT 제어알고리즘 고찰

정 영석*, 유 권중*, 소 정훈*, 최 주엽**, 최 재호***
 *한국에너지기술연구원, **광운대학교, ***충북대학교

A Study of MPPT Algorithm for PV PCS

Jung Youngseok*, Yu Gwonjong*, So Jeonghun*, Choi Juyeop**, Choi Jaeho***
 *Korea Institute of Energy Research, **Kwangwoon Univ., ***Chungbuk National Univ.

Abstract - As the maximum power operating point(MPOP) of photovoltaic(PV) power generation systems changes with changing atmospheric conditions such as solar radiation and temperature, an important consideration in the design of efficient PV system is to track the MPOP correctly. Many maximum power point tracking(MPPT) techniques have been considered in the past, however, techniques using microprocessors with appropriate MPPT algorithms are favored because of their flexibility and compatibility with different PV arrays. Although the efficiency of these MPPT algorithms is usually high, it drops noticeably in case of rapidly changing atmospheric conditions. This paper proposed a new MPPT algorithm based on perturb & observe(P&O) algorithm with experiment. The results shows that the new P&O algorithm has successfully tracked the MPOP, even in case of rapidly changing atmospheric conditions, and has higher efficiency than ordinary algorithms.

1. 서 론

태양전지 어레이의 출력은 일사량과 온도에 의해서 지속적으로 변동하며, 또한 태양전지 어레이의 동작전압에 따라 출력이 결정된다. 따라서 어레이의 동작전압을 제어하여 최대출력이 발생되도록 하여야 한다. 이와 같은 제어방법을 일반적으로 MPPT (Maximum Power Point Traking)이라고 한다.

MPPT를 위한 디지털 제어 알고리즘의 종류에는 Perturb & Observe(P&O), Incremental Conductance(IncCnd), Fuzzy 등 다양한 제어 알고리즘이 연구되고 있다. 그러나 실제 제품에 적용되는 알고리즘은, 구현이 용이하고 안정성이 높다는 측면에서 제어가 간단하고 연산량이 적은 알고리즘이 채택되고 있다.

본 논문에서는 MPPT 제어 알고리즘 중에서 가장 대표적으로 사용되는 P&O 알고리즘과 IncCnd 알고리즘에 대하여 서술하고, 기존의 제어방법을 개선한 새로운 P&O 제어 알고리즘을 제안한다.

또한, 각각의 알고리즘에 대하여 태양전지 모의 전원 장치와 3상 계통연계형 PCS를 이용한 실험을 통하여 동작특성을 분석하고 제안된 알고리즘의 타당성을 입증한다.

2. 본 론

2.1 태양전지 어레이의 시뮬레이션

태양전지의 출력 특성은 일반적으로 그림 1에서 보이는 바와 같은 등가회로로 표현된다. 그림 1의 태양전지 등가회로를 일반적으로 다음의 수식으로 표기할 수 있다.

$$I_{OUT} = I_{PH} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} (V_{OUT} + I_{OUT}R_S) - 1 \right\} - \frac{V_{OUT} + I_{OUT}R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

- I_{PH} : 광발생전류
- I_{OUT} : 부하측에 흐르는 전류
- V_{OUT} : 태양전지 출력전압
- R_S : 내부 직렬저항
- R_{SH} : 내부 병렬저항
- A : pn접합의 재료특성과 온도특성 계수
- B : 재료 계수
- k : 볼츠만 상수
- T : 전지 온도(, K)
- q : 전하량

식 (1)에서 $R_S=0$, $R_{SH}=\infty$ 로 설정하면 식 (2)로 간략화 시킬 수 있다.

$$I_{OUT} = I_{PH} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} V_{OUT} - 1 \right\} \quad (2)$$

일사량 $1kW/m^2$ 일때의 단락전류를 I_{MAX} 로 하면,

$$I_{OUT} = I_{PH} = I_{MAX} \quad (3)$$

태양전지의 출력을 개방 ($I_{OUT}=0$)하면, 태양전지의 출력전압은 다이오드의 순방향 전압이 되기 때문에,

$$0 = I_{MAX} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} V_D - 1 \right\} \quad (4)$$

계수 B는 일반적으로 1에서 2사이의 수치를 사용하며, 본 논문에서는 B=1을 선정하였다. 따라서, 식(3),(4)를 정리하면 온도특성 계수 A를 구할 수 있다.

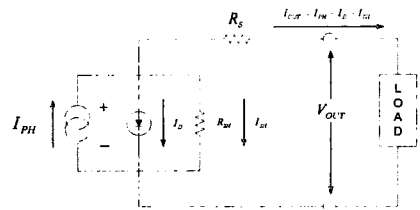


그림 1 태양전지의 등가회로

$$A = \frac{I_{MAX}}{\exp \left\{ \frac{q}{BkT} V_D \right\} - 1} \quad (5)$$

다이오드 순방향 전압 V_D 를 새로운 계수 K로 정의 ($V_D=K$)하면, 특정일사량에서 동작하는 태양전지 출력 전류의 일반식은 다음과 같이 표현 된다.

$$I_{OUT} = I_{SC} - \frac{I_{MAX}}{\exp \left\{ \frac{q}{BkT} K \right\} - 1} \left\{ \exp \left(\frac{q}{BkT} \frac{V_{OUT}}{V_{OP}} K \right) - 1 \right\} \quad (6)$$

- I_{SC} : 일사량에 따른 단락전류
- I_{MAX} : 일사량 $1kW/m^2$ 시의 단락전류

V_{OP} : 일사량 1 kW/m^2 시의 개방전압

K : 계수(다이오드 순방향 전압 V_D)

식 (6)을 이용하면 일사량에 따른 태양전지 어레이의 출력특성을 얻을 수 있으며, 전력전자용 시뮬레이션 툴인 PSIM을 이용한 시뮬레이션 구성도를 그림 2에 나타내었고, 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다.

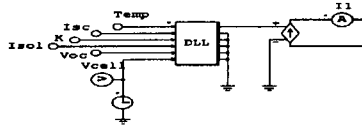
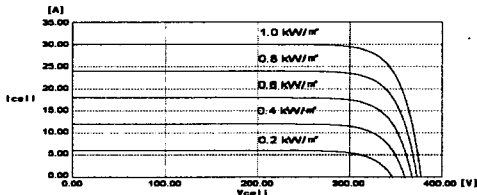
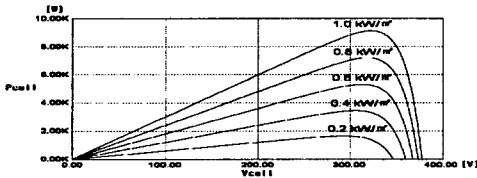


그림 2 태양전지 어레이 시뮬레이션 구성도



(a) 태양전지 어레이의 전류-전압 특성곡선



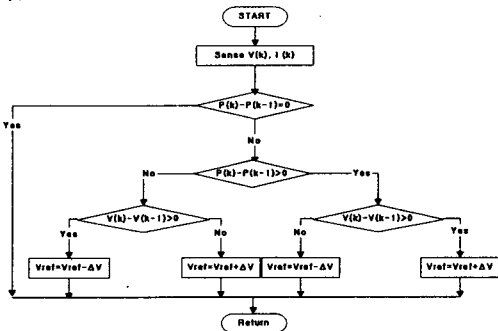
(b) 태양전지의 어레이의 전력-전압 특성 곡선

그림 3 일사량에 따른 태양전지 어레이의 출력특성곡선

2.2 MPPT 제어 알고리즘 고찰

2.2.1 P&O MPPT 알고리즘

P&O MPPT 알고리즘은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 미소 변동시킴으로써 동작하며, 변동 이전의 출력전력과 변동 이후의 출력전력을 비교하여 최대동작점(MPOP : Maximum Power Operating Point)을 추적한다. 따라서 MPOP에 도달했을 경우, 동작전압이 진동하게 되어 출력전력의 손실이 발생하게 된다. P&O MPPT 알고리즘의 순서도를 그림 4에 나타내고 있다.



· 그림 4 P&O MPPT 알고리즘 순서도

2.2.2 IncCnd MPPT 알고리즘

P&O MPPT 알고리즘의 단점을 보완하기 위한

IncCnd MPPT 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지의 임피던스를 비교하여 태양전지 전압을 MPOP 전압에 대응하도록 제어하는 방법이다. IncCnd 제어알고리즘의 주요 개념은 그림 3의 (b)에서 보이듯이 태양전지 출력이 MPOP의 왼쪽에 위치했을 경우, 출력은 전압의 증가에 따라 증가하게 되며($dP/dV > 0$), 반대로 MPOP의 우측에 위치했을 경우 출력은 감소하게 된다($dP/dV < 0$). 이러한 관계는 다음과 같이 식 (7)로 표현된다.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (7)$$

그러므로, 태양전지 어레이의 컨덕턴스에 대한 증분과 순시치(dI/dV , I/V)를 측정하여, 태양전지 어레이의 출력전압을 MPOP 전압으로 제어하게 된다.

이러한 IncCnd 제어방법은 MPPT 성능이 우수한 장점이 있으나, 두 번의 나눗셈이 필요하므로 연산속도에 제한이 있거나, 소수점 연산이 지원되지 않는 컨트롤러로는 구현하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 dI/dV 의 값은 매우 작으므로, 급격한 일사량의 변동시에 센싱값의 오차가 발생할 경우 MPPT 제어에 실패할 확률이 높다. 그림 5에 IncCnd MPPT 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

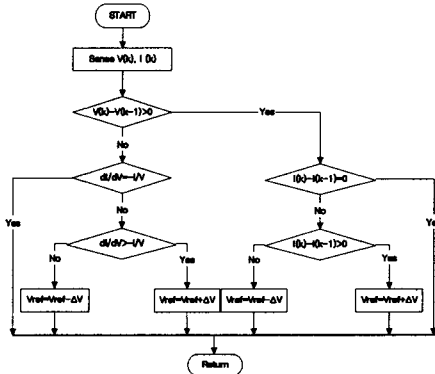


그림 5 IncCnd MPPT 알고리즘 순서도

2.2.3 개선된 P&O MPPT 알고리즘

기존의 MPPT 제어알고리즘의 단점을 보완한 새로운 MPPT 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 순서도를 그림 6에 나타내고 있다. 제안한 제어방법은 태양전지 어레이의 출력전력이 최대값에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를 동일한 방향으로 증가 또는 감소(ΔV)시키며 최대전력값(P_{max})을 갱신한다. 태양전지 어레이의 출력전력이 최대전력값에 도달하여 현재 출력전력이 최대전력값 보다 작아질 경우, 출력전압의 레퍼런스를 반전시킬 최소한의 전력값(P_m)보다 작은 지를 판단하여, 작을 경우 레퍼런스를 반전하고, 작지 않을 경우 반전하지 않고 통과한다. 이와 같이 반전을 일으키는 최소한의 전력값(P_m)을 비교하는 이유는 센싱값의 오차나 노이즈 등에 영향을 받아 출력값이 진동하는 것이 막기 위한 것이다. 본 논문에서는 $P_m = P_{max} * 0.96$ 으로 선정하였다.

그러므로, 제안하는 새로운 알고리즘은 최대전력값에 추종할 때까지 진동하지 않으며, 최대전력에 추종한 후에도 진동 폭을 줄이며 안정적으로 동작하게 된다. 또한 본 제어 알고리즘은 매우 간단하고, 단지 두 번의 곱셈만을 필요로 하여 연산속도에 제한이 있거나 소수점 연산이 지원되지 않는 컨트롤러에도 쉽게 적용 가능한 장점을 가진다.

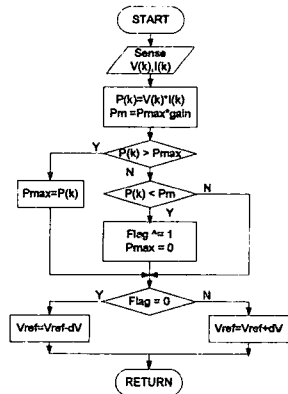


그림 6 제한한 MPPT 제어알고리즘 순서도

2.2.4 실험결과 및 분석

본 논문에서 언급한 기존의 제어기와 제한한 제어기를 3상 계통연계형 PCS(10kW)에 적용하여 모의 태양전지 전원장치를 통하여 동일한 일사량 조건에서 MPPT 추종 실험을 실시하였다.

그림 7에서 나타나듯이 제안된 알고리즘은 일사량의 변동에 대하여 MPPT 추종효율의 편차가 적어 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

그림 8, 9, 10은 일사량을 50%에서 75%로 급변시켰을 경우의 각각의 제어기에 대한 MPPT 추종특성을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 제어기에서는 급변 후 약 1초 후에 MPOP에서 벗어나고 있으며, 제안한 제어기는 급변 이후에 진동하지 않고 안정적으로 동작하고 있음을 보이고 있다.

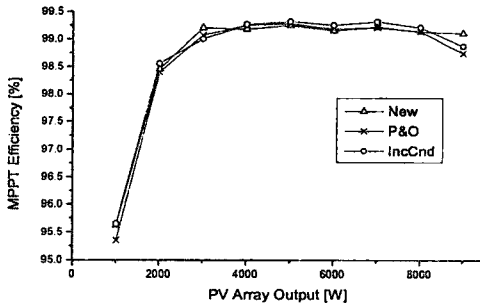


그림 7 각각의 제어기에 대한 MPPT 추종효율 비교

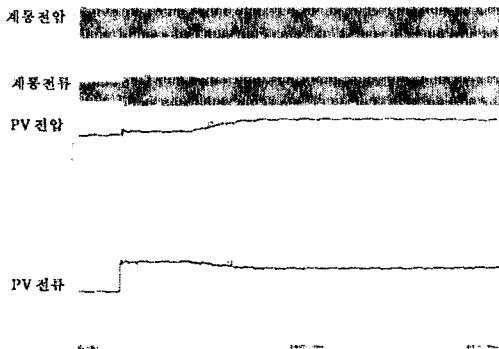


그림 8 일사량 급변시 MPPT 추종특성(P&O)

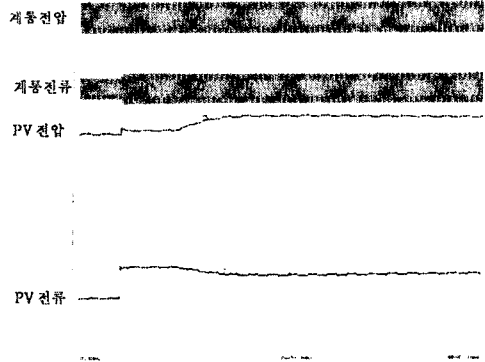


그림 9 일사량 급변시 MPPT 추종특성(IncCnd)

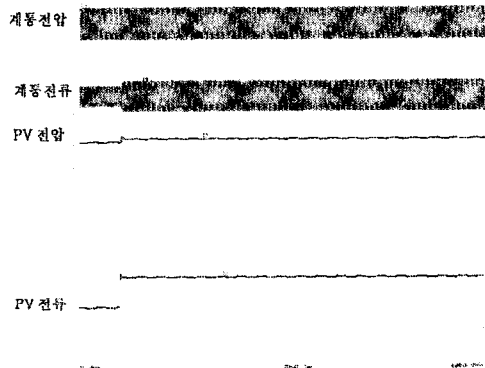


그림 10 일사량 급변시 제안한 MPPT 추종특성

3. 결론

태양광발전용 PCS의 안정적인 동작과 발전량에 직접적인 영향을 미치는 MPPT 제어기에 대해서 서술하고 기존의 제어기를 보완하는 새로운 MPPT제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 매우 간단하고 연산량이 적어 저가형 컨트롤러에서도 쉽게 적용 가능한 장점을 지니고 있으며, 전 일사량 영역에서 안정적인 추종특성을 나타내고 있음을 시험을 통하여 입증하였다. 특히 일사량의 급변시에도 MPOP를 벗어나지 않는 우수성을 보여주고 있다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00313-0-2002)의 지원으로 수행된 결과입니다.

[참고 문헌]

- [1] Charles. R. Sullivan, Matthew J.Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle," Proceedings of the IEEE, 1993, pp. 574-580.
- [2] Hussein. K.H., Muta, I, "Modified Algorithms for Photovoltaic Maximum Power Tracking", Record of 1992 Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, Japan, pp.301, 1992, October.
- [3] K.H. Hussion, "Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Vol. 142, No. 1, pp. 59-64, 1995.