

# 태양전지의 출력 불균일에 대한 최대전력 알고리즘 연구

심재휘\*, 최주엽+, 최익\*\*, 이상철\*\*\*, 이동하\*\*\*

\*광운대학교 전기공학과 (jaehwe@kw.ac.kr), +교신저자 : 광운대학교 전기공학과 (juyeop@kw.ac.kr)  
\*\*광운대학교 로봇학과, \*\*\*대구경북과학기술원

## The Study on MPPT Algorithm of PV Module by mismatched Solar Cell

Shim, Jae-Hwe\*, Choi, Ju-Yeop+, Choy, Ick\*\*, Lee, Sang-Chul, Lee, Dong-Ha

\*Dept. of Embedded SW, Kwangwoon University (jaehwe@kw.ac.kr)  
+Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University (juyeop@kw.ac.kr)  
\*\*Dept. of Information and Control Engineering, Kwangwoon University  
\*\*\*Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

### Abstract

This paper is about the study on MPPT algorithm of PV module where mismatched solar cells exist. PSIM simulation tool was used to verify new MPPT algorithm and PV module modeling was made. It was verified for the proposed algorithm to track the right MPP of PV boost converter under mismatched condition, which shows a shading effect in PV module. An experiment will be done soon using PV simulator for verification of the proposed algorithm.

Keywords : 태양광 전력변환장치(PV PCS), 태양전지 모듈(PV(Photovoltaic module), 미스매치(Mismatching), 그림자 효과(Shading effect)부스트 컨버터(Boost Converter)

### 1. 서 론

태양광 발전 시스템은 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 기술로 최근 들어 전 세계적으로 환경오염으로 인한 탄소배출권 규제와 원자력 발전소의 사고로 인하여 대체 에너지원인 풍력이나 태양광 같은 신재생 에너지의 중요도와 관심이 날로 증가하는 추세이다.<sup>[1]</sup>

신재생에너지원인 태양전지의 출력전력은 일사강도와 온도와 같은 주변환경에 따라 비선형적인 출력특성을 가진다. 또한 사용자가 원하는 전압과 전류의 정격 용량을 맞추기 위해서 다수의 직렬 혹은 병렬로 연결하여 구성한다. 이러한 비선형 출력특성에 대해 효율을 극대화 하기 위하여서는 최대전력을 발전할 수 있도록 제어하여야 한다. 최대전력을 생산하기 위하여 사용되어지는 최대전

력추종제어 알고리즘으로는 이전부터 P&O<sup>[2]</sup>, IncCond 등 다양한 방법들이 사용되어져 왔고, 이를 바탕으로 보완 및 개선된 새로운 알고리즘들이 제시되어 왔다. 그러나 직병렬로 구성되어 있는 태양전지에서 일부 태양전지들이 그림자나 눈 등과 같은 문제로 인하여 모듈간 출력 불평형 상태인 미스매치 현상이 일어나면 최대전력점이 다수가 존재하는 비선형적인 출력 특성곡선을 가지게 되는데<sup>[3]</sup>, 이러한 미스매치 현상이 발생하였을 때, 기존의 알고리즘들은 올바른 최대전력을 추종하지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 미스매치 현상을 극복하는 새로운 최대전력 추종제어 알고리즘을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통해 검증하고자 한다.

## 2. 태양전지 모델링

태양전지의 전류-전압, 전력-전압 곡선은 일사강도와 온도의 변화에 의해 비선형곡선으로 나타내어진다. 태양전지의 출력특성을 등가회로로 표현하면 그림 1과 같은 등가회로로 표현 가능하고, 또한 본 등가회로에 대해 수식 1처럼 표기할 수 있다.<sup>[3]</sup>

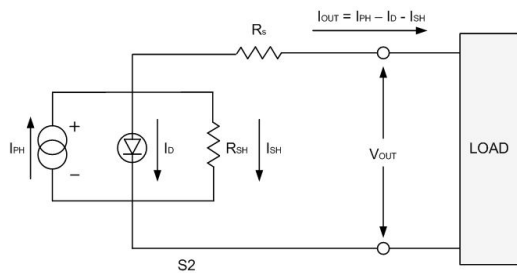


그림 1. 태양전지의 등가회로

$$I_{out} = I_{ph} - \frac{I_{max}}{\exp\left(\frac{q}{BkT} \times Vd\right) - 1} \times \left\{ \exp\left(\frac{q}{BkT} \left(\frac{V_{out}}{V_{oc}} \times K\right) - 1\right) \right\} \quad (1)$$

수식 1에 대하여 일사강도의 변화에 따른 태양전지의 출력특성을 알아보기 위해 3kW급 태양전지를 모델링하여 PSIM을 통해 시뮬레이션 하면 다음 그림 2와 같이 나타난다.<sup>[4]</sup>

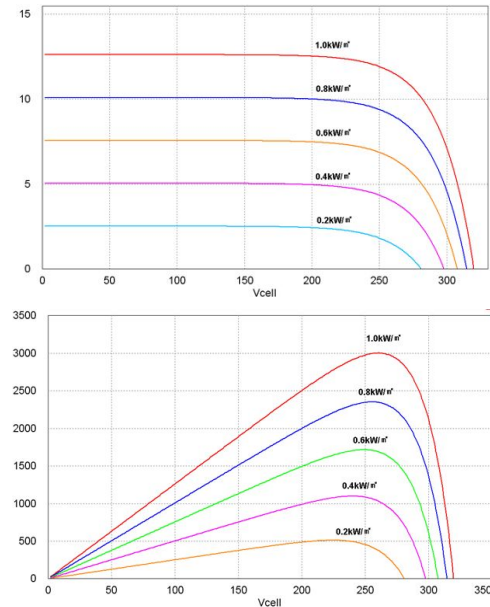


그림 2. 일사강도 변화에 따른 태양광 모듈의 출력특성

## 3. 미스매치 현상

태양광 발전 시스템에서 태양전지의 출력 전력은 온도와 일사강도의 변화와 함께 미스매치 현상에 의하여 달라질 수 있다. 실제로 건물 혹은 구름의 그림자나 눈이 셀을 덮는 것과 같은 외부원인에 의해서 일부 셀이 정상동작하지 않게 되는 경우가 발생하면 전체 태양광 출력전력은 다르게 동작하는데 이를 미스매치라고 한다. 이러한 미스매치가 없는 정상상태의 태양전지 동작에 대한 출력특성 곡선을 그림 3과 같이 나타내었고, 미스매치인 상황에서의 출력특성을 그림 4와 같이 나타내었다. 일반적으로 일부 태양전지가 외부 환경요인으로 영향을 받아 정상 출력을 갖지 못하면 모듈이 부하처럼 동작하여 열이 발생하거나 손실을 가져올 수 있다. 따라서 바이

패스 다이오드를 연결하여 주는데, 일정전압 이하로 역전압이 인가되면 다이오드로 전류를 바이패스 시킨다.

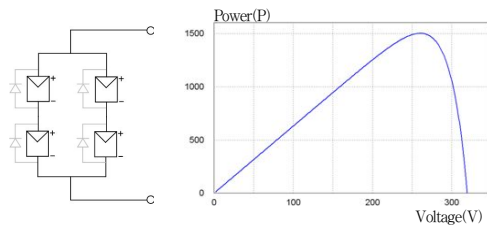


그림 3. 정상상태의 태양전지 출력특성

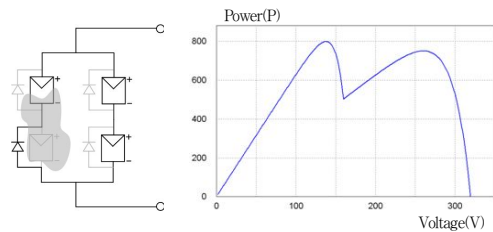


그림 4. 미스매치 상태의 태양전지 출력특성

#### 4. 미스매치 현상을 극복하는 새로운 알고리즘

태양광 발전시스템에서 최대전력을 추종하기 위해 가장 많이 쓰이는 방식인 기존의 P&O 알고리즘에 대한 순서도를 그림 5에 나타내었다. P&O 제어기법은 태양전지의 출력전압과 전류의 곱에 의한 전력의 변화의 계산에 기초를 두고 있고, 제어가 간단하고 구현이 쉬워서 실제 태양광 발전 시스템에서 가장 널리 사용되는 제어기법이다.<sup>[5]</sup>

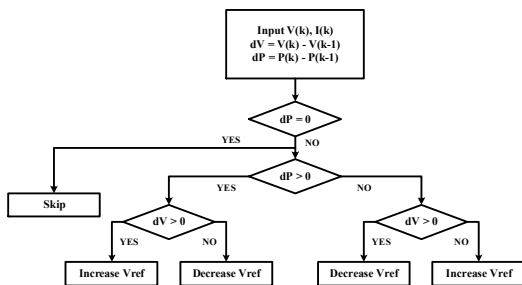


그림 5. P&O방식의 순서도

그러나 본 방식은 앞서 설명한 미스매치 현상이 일어났을 경우, 최대전력점이 아닌 지점을 최대전력점으로 제어하는 현상이 발생할 수 있다. 그림 4처럼 미스매치 현상이 일어났을 때, 기존의 P&O방식은 실제 최대전력점보다 낮은 지점을 최대전력점으로 제어할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 미스매치 상황에서 최대값이 아닌 점을 최대전력점으로 제어하는 기존의 알고리즘을 보완하기 위해 다음과 같은 방법을 제안하고자 한다.

태양전지가 미스매치가 아닌 정상상태일 때의 최대전력점 값을 구하기 위하여 수식 1의 태양전지 수식을 근거로 최대전력점 값을 계산하여 일사강도(Irradiance) 변화에 따른 최대전력점( $P_{mpp}$ )값과 최대전압( $V_{mpp}$ ), 최대전류( $I_{mpp}$ )값을 계산하여 표 1에 나타내었다. 또한 표 1의 최대전력점 값을 그림 6과 같이 V-P 곡선에 나타내었다.

표 1. 정상상태의 태양광 모듈에서 일사강도 변화에 따른 최대전력점의 전압, 전류 값

Irradiance	$V_{mpp}$ (V)	$I_{mpp}$ (A)	$P_{mpp}$ (P)
0.00	0.0	0.00	0.00
0.05	206.9	0.57	118.22
0.10	220.3	1.15	253.18
0.15	228.1	1.73	394.52
0.20	233.7	2.31	540.02
0.25	238.1	2.89	688.61
0.30	241.6	3.48	839.67
0.35	244.6	4.06	992.79
0.40	247.2	4.64	1147.68
0.45	249.5	5.23	1304.10
0.50	251.6	5.81	1461.89
0.55	253.4	6.40	1620.92
0.60	255.1	6.98	1781.07
0.65	256.7	7.57	1942.25
0.70	258.2	8.15	2104.38
0.75	259.5	8.74	2267.39
0.80	260.8	9.32	2431.22
0.85	262.0	9.91	2595.83
0.90	263.1	10.49	2761.16
0.95	264.1	11.08	2927.18
1.00	265.2	11.67	3093.85

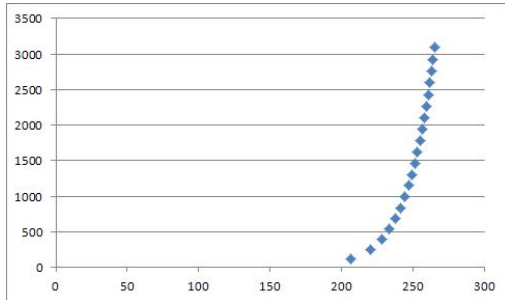


그림 6. 정상상태 태양전지의 최대전력점 값 (V-P)

그림 6처럼 정상상태 태양전지의 최대전력점값을 나타내면 비선형적인 곡선의 형태로 최대전력점 값들이 나타내어짐을 확인할 수 있다. 따라서 본 정상상태의 최대전력점인 비선형 곡선을 수식화 하여 정의한다면, 본 곡선의 값을 벗어나는 값을 최대전력점으로 추종 제어 할 경우 태양광 모듈이 정상상태가 아닌 미스매치인 상황에서 최대전력보다 더 낮은 전력점을 제어하고 있다고 볼 수 있다.

본 최대전력점 곡선을 수식화하기 위하여 다양한 방법이 존재하지만 여기서는 3차 다항식으로 놓고 이를 연립일차방정식으로 풀어 수식을 정의하고자 한다. 방정식이 고차일수록 최대전력점에 가장 근접한 수식이겠지만 여기서는 3차 방정식으로 제안하였다.

수식 (2)과 같은 3차 다항식을 정의하기 위해 최대전력점인 표 1의 값을 참조하여 표 본점 4개를 수식 (3)처럼 대입하여 행렬로 정의하고 이를 역행렬로 풀어 수식 (4)와 같이 최대전력점 방정식으로 정의하였다.

$$\begin{bmatrix} x^3 & x^2 & x & 1 \\ x^3 & x^2 & x & 1 \\ x^3 & x^2 & x & 1 \\ x^3 & x^2 & x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \\ y \\ y \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 206^3 & 206^2 & 206 & 1 \\ 233^3 & 233^2 & 233 & 1 \\ 247^3 & 247^2 & 247 & 1 \\ 265^3 & 265^2 & 265 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 118 \\ 540 \\ 1147 \\ 3000 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$0.020099 x^3 - 13.1114 x^2 + 2862.8x - 208922 = y \quad (4)$$

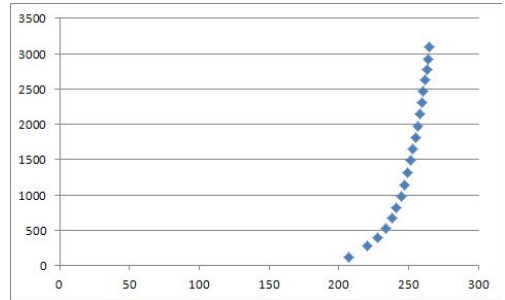


그림 7. 최대전력 방정식을 통한 최대전력점 값 (V-P)

그림 7과 같이 수식(4)의 최대전력 방정식을 통해 구한 값이 실제 태양전지의 최대전력점 값들이 그림 6의 값과 비교하면 근소한 오차를 보이며 거의 일치함을 볼 수 있다.

따라서 최대전력점 방정식을 통해 구한 최대 전력점 값을 기준으로 태양광 발전시스템이 최대전력을 추종 제어하고 있을 때의 값과 비교하여 안정성이라 여겨지는 일정비율의 오차범위를 벗어난다면 미스매치인 태양전지로서 올바른 최대전력을 추종하지 않는다고 보고, 다시 올바른 최대전력을 추종 제어 할 수 있도록 제어하는 방법을 그림 8과 같은 알고리즘 순서도로 제안하였다.

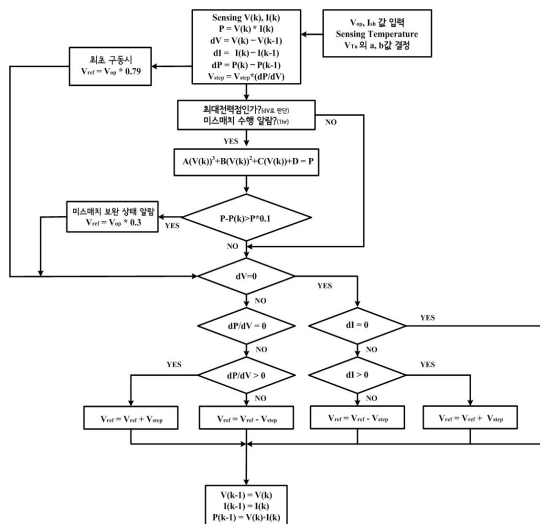


그림 8. 태양전지의 미스매치 현상을 보완한 새로운 최대전력 추종 제어 알고리즘 순서도

본 알고리즘은 그림 9와 같은 순서도를 가진 미분요소기법 알고리즘을 기반으로 동작하므로 가변 지령전압값( $V_{ref}$ )이 최대전력점에 근접할수록 작게 된다.<sup>[6]</sup>

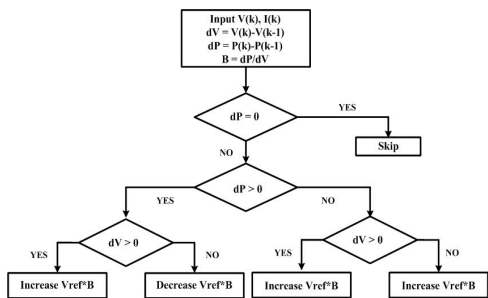


그림 9. 미스매치 상황에서의 태양전지 출력곡선

이를 통해 추종제어하고 있는 지령전압차( $dV$ )가 작다면 최대전력점을 제어하고 있으므로, 이때의 최대전력 값이 앞서 정의한 정상상태 최대전력점 방정식(수식 (1))을 통해 구한 전력값과의 오차가 10%( $P*0.1$ ) 이상 난다면 정상상태의 최대전력점이 아니라고 판단하고, 전압지령치를 낮은지점에서부터 순차적으로 다시 추종제어하여 올바른 최대전력점을 찾는 방법이다.

본 알고리즘 순서도를 따라 최대전력점을 추종제어한다면 기존의 알고리즘은 미스매치인 상황에서 낮은 전력값을 최대전력으로 추종제어 하지만 본 알고리즘은 올바른 최대 전력점 값을 찾는 기능을 수행하여 태양광 발전 시스템의 발전 효율을 극대화 할 수 있다.

## 5. 시뮬레이션

본 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위해 PSIM을 통하여 회로도를 작성하고 구현하였다. 3kW급 태양광 시스템을 기준으로 컨버터를 제작하였고, 미스매치 상황을 나타내는 태양광 모듈을 구성하여 그림 10의 회로도 구성하였다.

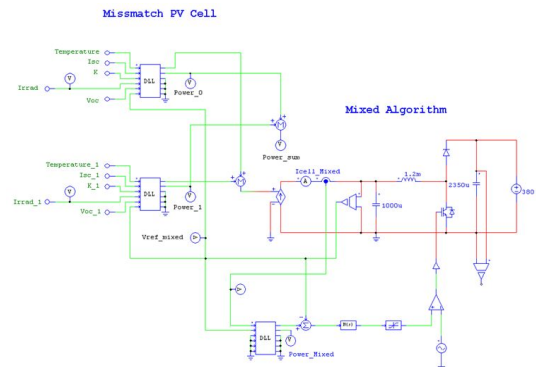


그림 10. 3kW급 태양광 모듈 및 컨버터 회로도

그림 11은 미스매치 태양전지 출력특성을 나타내고 있고, 이러한 조건에서 기존의 P&O 알고리즘과 본 논문에서 제안한 새로운 알고리즘을 비교하여 올바른 최대전력점을 찾는지를 검증해 보았다. 그 결과 그림 12처럼 기존의 P&O알고리즘에 비해 제안한 알고리즘이 더 높은 최대전력점을 추종제어함을 알 수 있다.

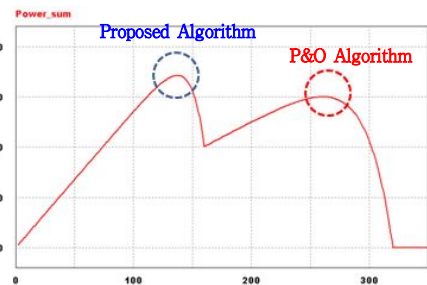


그림 11. 미스매치 상황에서의 태양전지 출력곡선

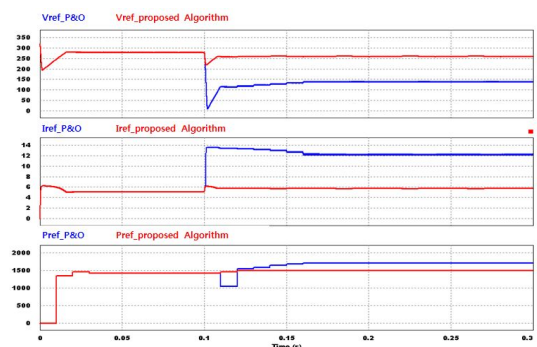


그림 11. 기존의 P&O알고리즘과 제안한 알고리즘 시뮬레이션 결과

## 6. 결 론

본 논문은 태양전지의 미스매치 상황에서 기존의 최대전력 추종제어 알고리즘이 올바른 최대전력을 추종하지 못하는 상황을 극복하는 최대전력 알고리즘을 제안하였다. 또한 이를 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다. 본 알고리즘을 통하여 태양광 발전 시스템에서 발생할 수 있는 전력손실을 극복하고 올바른 최대전력을 추종토록 하여 태양광 발전시스템 산업에서의 효율을 극대화 하고자 하였다.

향후 연구계획으로는 본 알고리즘을 실험을 통해 구현 및 검증하여 본 알고리즘의 타당성을 확인하는 계획을 가지고 있다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부의 대구경북과학기술원 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. Ze Cheng, Hang Zhou, Hongzhi Yang, "Research on MPPT control of PV system based on PSO algorithm" CCDC, 2010 pp.887-892, 2010
2. Hiren Patel and Vivgawal Agawal, "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics", IEEE VOL 23, NO 1, pp.302-310, 2008
3. N.D. Kaushika, Anil K. Rai "An investigation of mismatch losses in solar photovoltaic cell networks", Energy 32, pp.755-759, 2007
4. K.h. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 142, pp.59-64, 1995
5. Ahmad Al-Diab, Constantinos Sourkounis, "Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for PV System" OPTIM, pp.1097-1102, 2010
6. 심재휘, 양승대, 정승환, 최주엽, 최익, 안진웅, 이동하, "태양광 발전시스템의 MPPT 알고리즘 분석", 한국태양에너지학회 논문집, Vol 31, No2, pp. 16-21, 2011, April