

태양광 발전시스템의 MPPT 알고리즘 분석

심재휘*, 양승대*, 정승환**, 최주엽*, 최익**, 안진웅***, 이동하***

*광운대학교 임베디드 소프트웨어공학(jaehwe@kw.ac.kr), 광운대학교 전기공학과(juyeop@kw.ac.kr),
광운대학교 로봇학과, *대구경북과학기술원

Analysis of various MPPT algorithms for PCS

Shim, Jae-Hwe* Yang, Seung-Dae* Jung, Seung-Hwan** Choi, Ju-Yeop* Choy, Ick**
An, Jin-Ung*** Lee, Dong-Ha***

*Dept. of Embedded Software, Kwangwoon University(jaehwe@kw.ac.kr)

**Dept. of Information and Control Engineering, Kwangwoon University

***Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

Abstract

Since the maximum power operating point(MPOP) of PCS alters with changing atmospheric conditions, temperature conditions, shadow conditions, it is important to operate for PCS to keep maximum power point tracking(MPPT) continuously. This paper presents the results of modeling PV system by PSIM simulator and investigates the influence on the PV system from aspect of power quality, i.e. voltage drop. This paper investigates four MPPT algorithms; Perturbation & Observation(P&O), Improved P&O, Incremental Conductance(Incond), Differential coefficient method simulated with irradiation, temperature change, and shadow conditions.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic Module), 최대전력(Maximum Power Point, MPP)

1. 서론

태양광 시스템의 태양 전지는 온도와 일사강도에 따라 태양 전지의 단락 전류와 개방 전압의 특성이 변화하게 되며 태양 전지의 전력 활용의 효율을 극대화 할 수 있는 최대 전력 출력 지점의 위치도 온도와 일사강도에 따라

변하게 된다. 이와 같이 외부변화에 따라서 최대 전력 동작점 또한 달라지기 때문에 태양광 시스템이 최대 전력 동작 점에서 운전되기 위해서는 태양 전지의 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 알고리즘에 의해서 운행되어야 하고, 태양 전지 제어기는 이러한 변화에 따라 능동적으로 최대 전력을 추적할

투고일자 : 2011년 2월 17일, 심사일자 : 2011년 2월 25일, 게재확정일자 : 2011년 4월 21일
교신저자 : 김용식(newkim@incheon.ac.kr)

수 있도록 디자인되어야 한다.

2. 본 론

2.1 태양광 어레이의 특성

태양전지의 전류-전압, 전력-전압 곡선은 비선형곡선으로 나타나고 이러한 태양전지의 출력 특성은 일반적으로 그림 1에서 보이는 바와 같은 등가회로로 표현된다. 또한 태양전지의 등가회로에 대하여 일반적으로 다음 수식처럼 정리하여 표기할 수 있다.

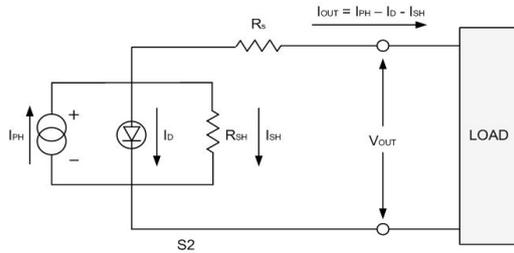


그림 1. 태양전지의 등가회로

$$I_{out} = I_{ph} - A \left\{ \exp\left(\frac{q}{BkT} \times V_{out} + I_{out} \times R_s\right) - 1 \right\} - \frac{V_{out} + I_{out} \times R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

I_{ph} : 광 발생전류	I_{out} : 부하에 흐르는 전류
V_{out} : 출력전압	R_s : 내부 출력저항
R_{sh} : 내부 저항	k : 볼츠만 상수(1.38×10^{-23})
B : PP접합재료 계수	q : 전하량(1.6022×10^{-19})
i_{MAC} : 일사강도가 최대일 때	I_{sm} : 일사강도에 따른 단락전류
K : 계수(다이오드 순방향 전압)	

식(1)에서 R_s 와 R_{sh} 는 태양전지의 내부저항으로 측정하기 힘들고 또한 식(1)을 간소화하기 위해 $R_s=0$, $R_{sh}=\infty$ 로 정의하면 다음 식(2)로 간략화시킬 수 있다.

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

여기서 만약 일사강도가 최대인 $1[\text{kw}/\text{m}^2]$ 이라면, 태양전지 단락전류(I_{ch})는 식(3)과 같이 치환할 수 있다.

$$I_{ph} = I_{max} = I_{sc} \quad (3)$$

만약 태양전지 출력전류(I_{out})가 0일 경우, 태양전지의 출력전압(V_{olt})은 다이오드의 순방향 전압(V_D)로 치환되어 식(4)과 같이 표현된다.

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

재료계수 B 는 하나의 기율기로서 일반적으로 상수 1부터 2사이의 수치를 이용하지만 본 논문에서는 $B=1$ 로 정의하였다. 따라서 (3),(4)을 정리하면 온도특성 계수 A 를 다음 식 (5)로 구할 수 있다. 여기서 절대온도 T 는 섭씨온도에 273을 더해준 값($T=273+\text{온도}[\text{C}]$)이다.

$$A = \frac{I_{max}}{\exp\left(\frac{q}{BkT} \times V_d\right) - 1} \quad (5)$$

결국 지금까지 구한 식을 정리한 태양전지 모델링의 최종수식은 다음 식(6)과 같이 표현된다.

$$I_{out} = I_{ph} - \frac{I_{max}}{\exp\left(\frac{q}{BkT} \times V_d\right) - 1} \times \left\{ \exp\frac{q}{BkT} \left(\frac{V_{out}}{V_{oc}} \times K \right) - 1 \right\} \quad (6)$$

식(6)을 이용하면 일사강도와 온도에 대한 태양전지 어레이의 출력특성을 얻을 수 있으며, 이를 전력전자용 프로그램인 PSIM을 이용하여 DLL파일을 구성하여 그림 2와 같이 회로도 그리고 시뮬레이션 하였다.

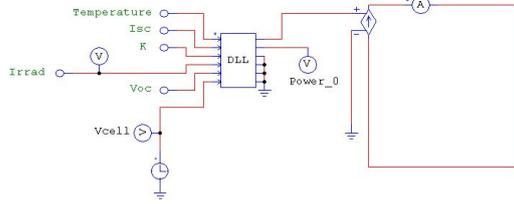
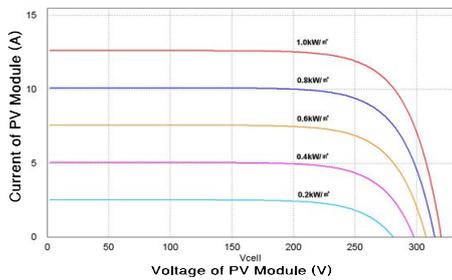


그림 2. PSIM을 이용한 태양전지 회로도

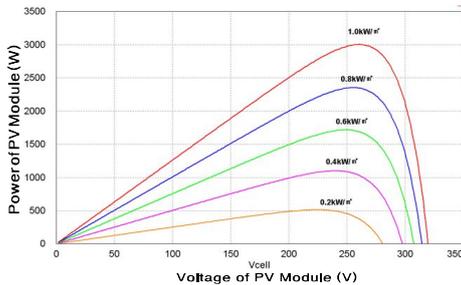
표 1은 태양전지 회로도를 시뮬레이션 하기 위하여 사용된 변수 값이고, 그림 3은 태양전지에 대한 시뮬레이션 결과로서 일사강도가 최소 0.2[kw/m²]에서 1.0[kw/m²]까지에 대한 각각의 태양전지 어레이의 비선형 출력 특성곡선을 보여주고 있다.

표 1. 태양전지 어레이 시뮬레이션 파라미터 값

파라미터 값	Value
Ism	126 [A]
VOC	320 [V]
K	0.34
Temperature	25°C



(a) 태양전지 어레이의 I-V 곡선



(b) 태양전지 어레이의 P-V 곡선

그림 3. 일사강도 변화에 따른 출력특성 곡선

그림3의 전력-전압 곡선에서 일사강도에 따라 전압의 값에 대해 최대전력점이 결정되는데 이러한 최대전력점에 대해 외부의 조건(일사강도, 온도)으로 인하여 최대전력점이 변해도 항상 태양전지 어레이의 최대출력으로 동작하도록 하게 제어하는 것을 최대전력 추종제어(MPPT)라고 한다.

2.2 태양광 어레이의 직·병렬 연결

일반적으로 태양 어레이는 시스템에서 요구하는 전기적 사양을 가지기 위하여 여러개의 태양광 모듈을 직렬 혹은 병렬로 연결하여 어레이로 구성해 사용한다. 먼저 태양광 모듈의 직렬연결은 그림 4와 같은 V-I 곡선이 나타남을 알 수 있다. 그림과 같이 태양광 모듈의 연결개수가 늘어날수록 전류는 변하지 않고, 전압이 상승함을 볼 수 있다.

그림 5는 태양광 모듈의 병렬연결시 나타나는 V-I 곡선의 특징이다. 그림에 나타난 것과 같이 병렬로 연결한 태양광 모듈의 개수에 따라서 전압은 변하지 않고, 전류가 상승함을 볼 수 있다.

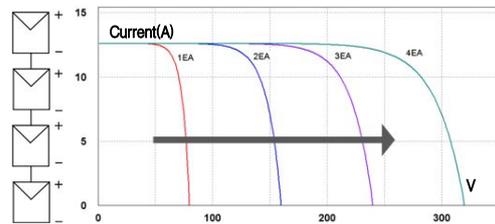


그림 4. 태양광 모듈 직렬 연결

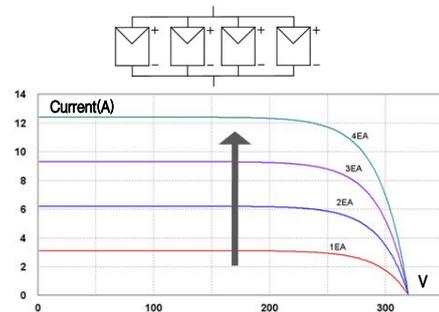
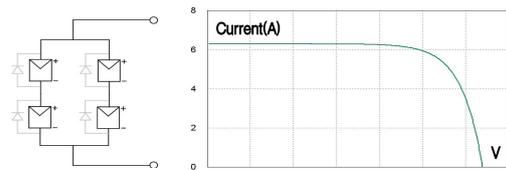


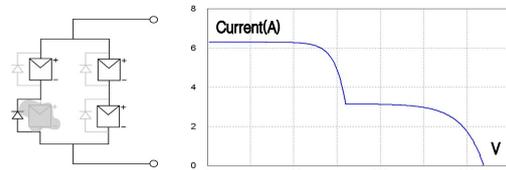
그림 5. 태양광 모듈 병렬 연결

2.3 미스매치 효과

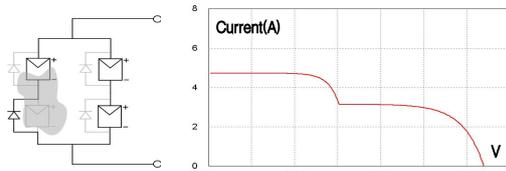
태양광 발전 시스템에서 태양전지의 출력전력은 온도와 일사강도 뿐만 아니라 미스매치에 의하여 달라질 수 있다. 실제로 건물 혹은 구름의 그림자나 눈이 셀을 덮는 것과 같은 외부원인에 의해서 일부 셀이 정상동작하지 않게 되는 경우가 발생하면 전체 태양광 출력전력은 다르게 동작하는데 이를 미스매치라고 한다. 이때의 태양광 모듈 동작에 대한 출력특성 곡선을 그림6과 같이 나타내었다. 일반적으로 일부 셀이 외부 환경요인으로 영향을 받아 정상 출력을 갖지 못하면 모듈이 부하처럼 동작하여 열이 발생하거나 손실을 가져올 수 있다. 따라서 바이패스 다이오드를 연결하여 주는데, 일정전압이하로 역전압이 인가되면 다이오드로 전류를 바이패스 시킨다.



(a) 셀이 모두 정상 동작할 때



(b) 셀 일부가 정상동작하지 않을 때-(1)



(b) 셀 일부가 정상동작하지 않을 때-(2)

그림 6. 미스매치 효과

2.4 MPPT 제어 알고리즘 분석

2.4.1 P&O 알고리즘

Perturbation & Observation(이하 P&O)

제어 기법은 전력의 변화는 기준 동작 전압을 변동시킴으로써 현재와 바로 전 주기의 과거 전압 값의 비교에 의해서 결정된다. 그림 7의 순서도에서 전 주기의 전력 값과 현재 주기의 전력 값과의 차이를 계산한 후, 계산 값이 0이 되면 어레이 동작전압을 조정하지 않고 그 값을 유지한다. 하지만 전력 값에 차이가 발생하면 즉, 전 주기의 전압 값과 현재 주기의 전압 값의 차이에 발생하면 어레이 동작전압을 증가 혹은 감소하여 동작점을 변화시켜 최대전력점을 추종한다.

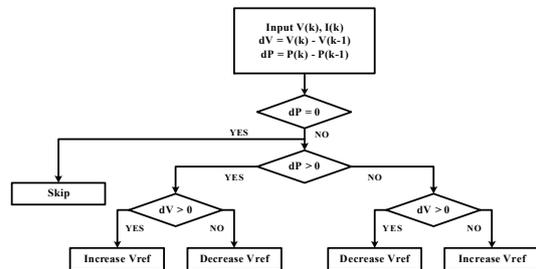


그림 7. P&O 알고리즘 순서도

2.4.2 Improved P&O 알고리즘

Improved P&O 기법은 기존의 P&O 알고리즘에서 증감하는 Vref 값에 대하여 일정 이상의 증분 값(B)을 곱하여 빠르게 추종하는 제어 알고리즘이다. 제어방법은 태양전지 어레이의 출력전력이 최대값(Pmax)에 도달할 때까지 태양전지 출력전압의 레퍼런스를 동일한 방향으로 증가 또는 감소(dV)시키면서 최대전력값(Pmax)을 갱신한다.

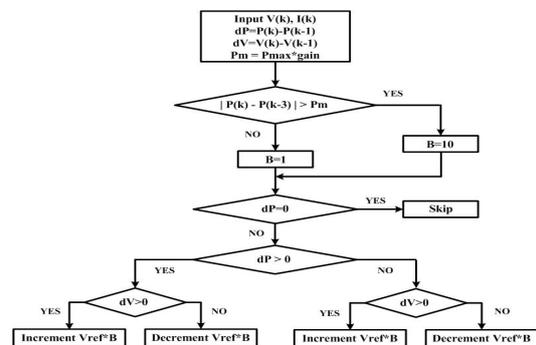


그림 8. Improved P&O 알고리즘 순서도

2.4.3 Increment Conductance 알고리즘

Incremental conductance(이하 IncCond) 제어 기법은 태양전지 어레이 전력-전압 곡선에서 최대전력점의 수식 중 (현재전력에서 바로 전 과거 전력 값을 뺀 차)/(현재 전압에서 바로 전 과거전압을 뺀 차)의 기울기가 0이 되는 즉, 기울기의 크기와 부호에 따라 기준 동작점을 유지, 증가 혹은 감소하는 원리로 동작한다. 만약 기울기가 0이면, 최대전력점을 나타내고 있는 것이므로 기준 동작전압을 그대로 유지하고, 양이면 최대전력점의 왼쪽에 동작점이 위치하므로, 기준전압을 증가시킨다. 또한, 기울기가 음이면 최대전력점의 오른쪽에 동작점이 위치하므로, 기준전압을 감소시키는 방법으로 최대전력점을 추종하도록 한다.

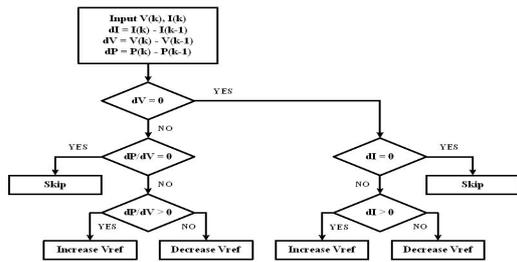


그림 9. IncCond 알고리즘 순서도

2.4.4 미분요소기법 알고리즘

미분요소기법 제어 알고리즘은 기존의 P&O 기법과 Improved P&O 기법을 이용하여 추종 제어 시간을 감소시키는 알고리즘이다. dP/dV 에 대한 미분요소 값은 초기에는 선형적으로

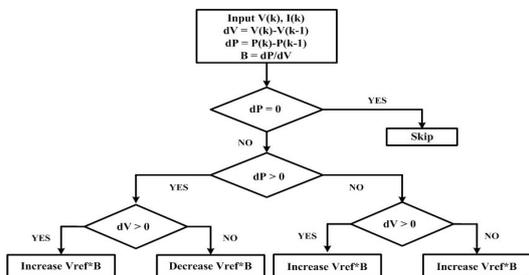


그림 10. 미분요소기법 알고리즘 순서도

증가하다가 MPP의 값에 근접할수록 점점 작아지게 되는데, 이를 레퍼런스(V_{ref}) 값의 증분값으로 취해주면 기존의 알고리즘보다 빠르게 최대전력값을 추종한다. 이를 그림 8의 순서도로 나타내었다.

3. MPPT 알고리즘 시뮬레이션

표 2. 시뮬레이션 조건 값

파라미터 값	Value
Control Time	1E - 006
Sampling Frequency(제어기)	1,000

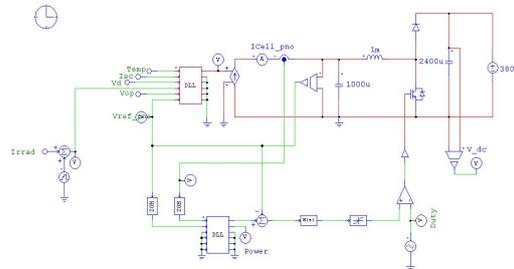
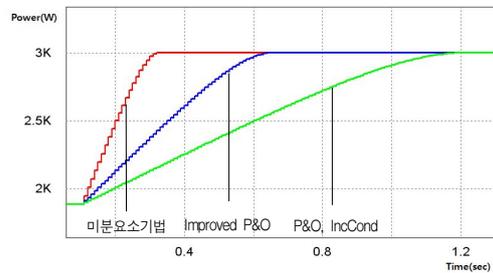
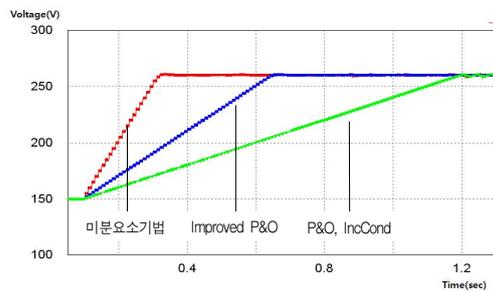


그림 11. 부스트 컨버터 회로도



(a) MPPT에서 전압의 추종 곡선



(b) MPPT에서 전력의 추종 곡선

그림 12. 최대전력추종제어 출력 특성

논문에서 설명하였던 알고리즘들을 시뮬레이션 하기 위하여 그림 8과 같이 PSIM 회로도를 구성하였으며, 그 결과값을 그림 9에 나타내었다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 미분요소기법 알고리즘이 가장 빠른 최대전력에 도달함을 알 수 있었고, P&O 알고리즘과 IncCond 알고리즘은 동일한 최대전력 도달 속도를 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 일사강도와 그림자 같은 외부 요인들이 태양광 모듈에 미치는 영향과 이를 추종제어하는 알고리즘에 대하여 논하였고, 일반적으로 쓰이는 기존의 추종제어기법에서 이를 보완하는 미분요소기법 알고리즘을 설명하였다. 설명한 미분요소기법 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 빠르게 추종제어함을 알 수 있었고, 이는 시뮬레이션을 통하여 입증하였다. 특히 일사강도 급변시에도 최대전력점을 벗어나지 않는 우수성을 보여주고 있다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 대구경북과학기술원 일반사업 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이경수, 정영석, 소정훈, 유권중, 최재호, “태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안”, 전력전자학술대회, pp.21~28, 2003
2. 김의중, 유병규, 차한주, 유권중, “그림자 영향과 태양광 어레이 주교에 따른 최대 발생전력 비교 해석 및 실험”, 한국태양에너지학회 논문집, pp.8~13, 2009
3. 정영석, 유권중, 소정훈, 최주엽, 최재호, “P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘”, 전력전자학술대회 논문집, pp.925~928, 2003
4. Hiren Patel and Vivgawal Agawal, “MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics”, IEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, pp.302-310, 2008