

일사량 급변에 따른 태양광시스템의 MPPT 알고리즘 비교 분석

김의중, 유병규, 정영석, 소정훈, 유권중, 차한주*
 한국 에너지 기술 연구원, 충남 대학교*

Review of the maximum power point tracking algorithms under rapid irradiance variations for photovoltaic system

Euijong Kim, Byunggyu Yu, Youngseok Jung, Junghun So, Gwonjong Yu, Hanju Cha*
 Korea Institute of Energy Research, Chungnam National University*

Abstract - 본 논문에서는 기존의 MPPT 기법인 Perturbation-and-Observation(이하 P&O)와 modified incremental conductance(이하 modified InCond)에 대해 Matlab과 PSIM의 인터페이스를 통해 일사량 급변시의 동작을 살펴본다. 기존의 논문에서는 각각의 일사량에 대해 효율 면에서 P&O가 InCond에 비해 높지만 일사량 급변시 과도상태에서는 InCond가 더 효율적으로 발표되었다.[1] 이를 검토해 보기 위해 우선 실제 시판되는 태양전지 모듈에 대해 Matlab을 이용한 모델링을 실시함으로써 보다 정확한 값을 얻는다. 다음으로 PSIM을 이용하여 전력변환부와 제어기를 모델링하고 Matlab의 Simulink를 통해 인터페이스를 실시한다. 마지막으로 일사량 급변 시 과도상태와 급변 후에 MPPT 동작을 살펴본다.

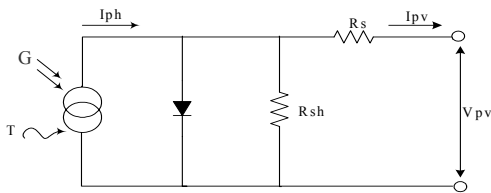
1. 서 론

최근 들어 에너지 과잉소비와 그로 인한 환경오염의 문제가 국제사회에 큰 이슈로 다루어지고 있다. 이에 대한 해결책으로 친 환경적이고 무공해인 재생에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 태양광 에너지는 무한한 에너지원이며 또한 전혀 공해가 없는 자원으로 전 세계적으로 연구가 활발히 이루어지고 있으며 실제 적용에도 많이 사용되고 있다. 하지만 아직까지 태양전지의 효율은 낮은 편이며 이를 보완하기 위해 태양전지 어레이가 최대 전력 점에서 동작하도록 하는 것은 에너지 변환 측면에서 큰 효과를 얻을 수 있다. 태양광 시스템에서 최대전력추종제어는 전력 변환부에서 행하는데 최근 들어 많은 기법들이 소개 되고 있다. 대표적으로 P&O 기법과 InCond 기법이 간단한 알고리즘과 구현의 용이성으로 가장 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 기존의 P&O기법과 InCond기법을 더욱 간략화 한 modified InCond기법에 대해 Matlab과 Psim의 인터페이스를 통해 일사량 급변시 동작을 살펴본다.

2. MPPT 알고리즘 비교 분석

2.1 태양전지 모델링 및 어레이 구성

태양전지의 등가회로는 Shockley 다이오드 등가 식에 기본을 두고 있으며, 단순화한 등가 회로는 다이오드와 전류원의 병렬구성과 같다. 태양전지 등가 모델에서 다이오드는 태양전지의 I-V특성을 정의한다.[2]



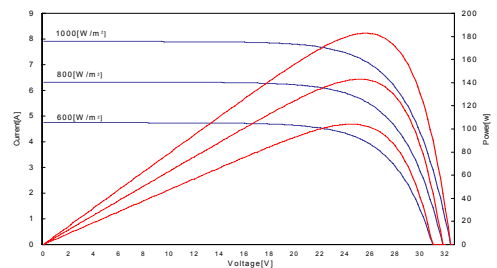
〈그림 1〉 태양전지 등가 회로

본 논문에서 사용된 모듈은 SHARP의 ND-181U1F로 최대출력은 181W이다. 모델링에 사용된 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I_{PV} &= I_{ph} - I_0(e^{q(V_{PV} + I_{PV}R_s)/nkT} - 1) & (1) \\
 I_{ph} &= I_{ph, T_{ref}}(1 + K_0(T_w - T_{ref})) & (2) \\
 I_{ph, T_{ref}} &= G \times I_{sc, T_{ref}} & (3) \\
 K_0 &= (I_{sc, T_w} - I_{sc, T_{ref}}) / (T_w - T_{ref}) & (4) \\
 I_0 &= I_{0, T_{ref}} \times (T_w / T_{ref})^{3/n} \times e^{-qV_d/nk \times (1/T_w - 1/T_{ref})} & (5) \\
 I_{0, T_{ref}} &= I_{sc, T_{ref}} / (e^{qV_{oc, T_{ref}}/nkT_{ref}} - 1) & (6)
 \end{aligned}$$

I_{PV} : PV array output current k : Boltzmann's constant
 V_{PV} : PV array output voltage G : insolation
 I_{ph} : photo generated current K_0 : temperature coefficient
 R_s : cell series resistance T_w : working temperature
 q : electronic charge T_{ref} : reference temperature
 n : diode quality factor

모델링은 25°C 조건하에 일조량을 0.6, 0.8, 1.0[kw/m²]에서 실시하였으며 다이오드 품질계수는 2로 설정하였고 직렬저항은 제조사에서 제공한 최대 전력 점에서의 전압과 전류를 수식에 넣어 구했다. 병렬 저항은 충분히 크다고 가정하여 무시 하였으며 출력 전류의 정확도를 높이기 위하여 Newton's Raphson method를 사용 하였다. Matlab을 이용한 시뮬레이션의 결과와 실제 제품 사양서와 비교하여 전류의 오차 값에 직렬저항의 값을 가변 시켜서 최대한 근접한 값으로 컷브 조정을 하였다.



〈그림 2〉 Matlab을 이용한 모듈 시뮬레이션

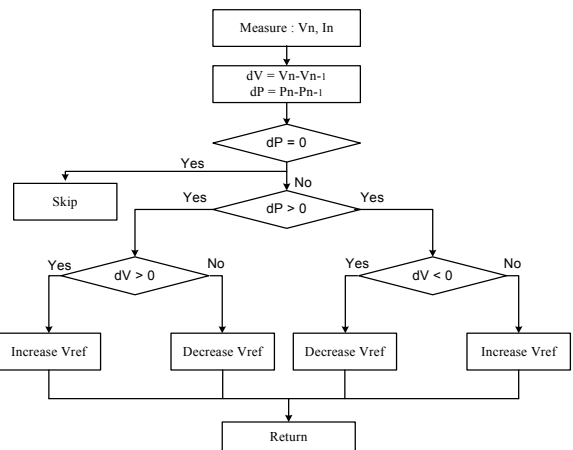
태양광 어레이는 9직렬 2병렬로 모듈을 조합 하였다. 최대 전력점에서의 전압은 232.2[V], 전류는 14.08[A]이다. 최대 전력 점에서의 입력전력은 3.26[kw]이다.

2.2 MPPT 제어 및 시뮬레이션

MPPT 제어 기법은 알고리즘이 간단하고 구현이 용이하여 가장 많이 쓰이고 있는 P&O와 modified InCond에 대해 일사량을 50%에서 25%, 50%에서 75%로 급변시켰을 때의 동작을 Matlab과 PSIM의 인터페이스를 통해 시뮬레이션을 실시한다.

2.2.1 MPPT 제어 방법 비교

P&O는 전력과 기준전압의 변화량을 판단하여 전압을 증가 혹은 감소시키는 기법이다.

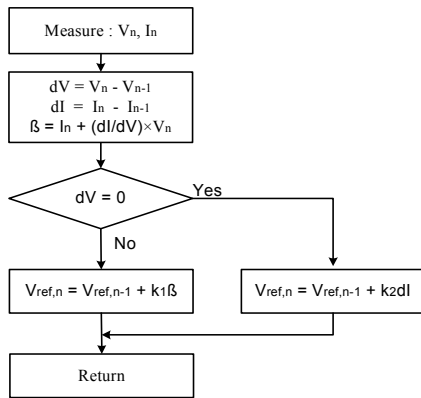


〈그림 3〉 P&O 순서도

처음 센서를 통하여 전압과 전류를 측정한다. 다음으로 현재 전력과 기준전압 및 전류의 변화량을 연산한다. 이제 전류의 변화가 없다면 최대 전력점으로 판단하여 처음 루프로 다시 돌아가고 전류의 변화가 있을 경우 전류의 변화가 증가 방향이었다면 기준전압의 변화에 대해 증가 혹은 감소 방향을 판단하여 증가 방향이었다면 기준전압에 ΔV만큼 증가 시켜본다. 반대로 감소방향이었다면 다시 ΔV만큼 감소를 시켜본다. 전력이 감소였을 때에는 증가하였을 때와 반대로 제어를 한다.

modified InCond는 P-V곡선의 기울기를 계산하여 동작점이 최대 전

력점의 좌측에 위치하면 전압을 증가시키고 우측에 위치하였을 때에는 전압을 감소시켜 제어를 한다.



〈그림 4〉 modified InCond 순서도

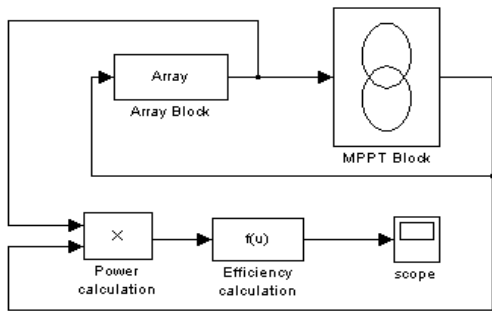
modified InCond는 처음 전압과 전류를 센싱하고 dV와 dI를 계산하여 P-V 기울기 β 를 계산한다.

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

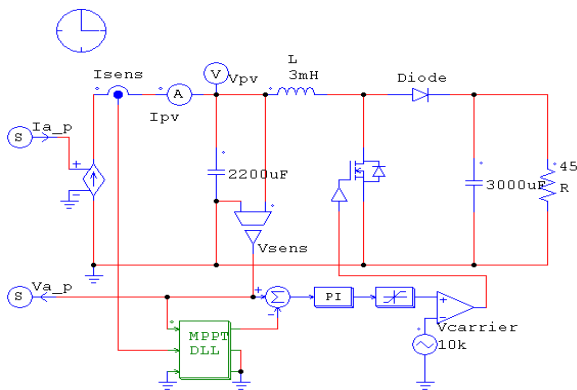
다음으로 전압의 증분에 대해 변화가 없다면 P-V기울기가 존재하지 않으므로 전류의 증분에 비례상수 k_2 를 곱해준 값을 기준전압에 더해주고, 전압의 증분이 있다면 앞에서 구한 P-V기울기 값에 k_1 의 비례상수를 곱해준다.[3]

2.2.2 일사량 급변시 시뮬레이션

본 모델링에서 MPPT는 부스트 컨버터에서 실시하며 PSIM을 이용하여 구성하였다. Matlab을 이용하여 구현한 태양전지 어레이 측을 Simulink를 이용하여 PSIM으로 구현한 전력 변환 부 회로와 링크하였다.



(A) Matlab

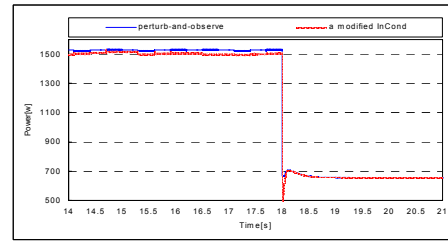


(B) PSIM

〈그림 5〉 어레이 및 전력변환부 회로의 인터페이스

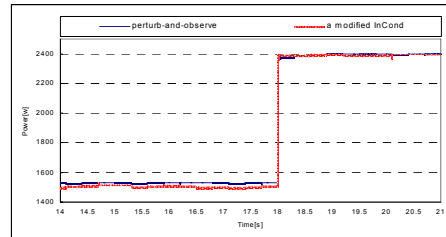
PSIM의 제어 부 회로에서 센싱한 입력 측 전압을 Simulink에 Array 블록 입력 값으로 받아서 Array 블록의 함수에서 일사량을 고려하여 전류 값을 계산한다. 계산된 전류 값을 다시 PSIM의 전력 변환 부 회로의 입력 전류로 흐르게 된다.

DC입력은 3.269[kw]이며 P&O의 ΔV 는 3[V]로 설정하였고 modified InCond의 k_1 는 0.1, k_2 는 0.5로 설정하였다. MPPT 주기는 0.3초로 하였으며 스위칭 주파수는 10[khz]로 시뮬레이션을 하였다.



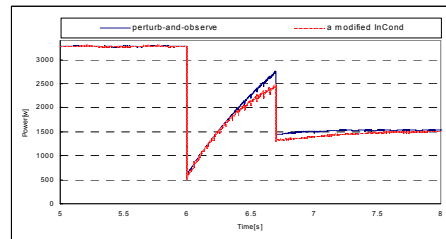
〈그림 6〉 50%에서 25%로 일사량 급변

위의 그래프는 일사량을 50%에서 25%로 급변시켰을 때를 나타낸다. 50%일 때에는 P&O의 효율이 1~2% 높음을 알 수 있다. 25%로 급변하였을 때는 두 기법이 거의 동일함을 알 수 있다.



〈그림 7〉 50%에서 75%로 일사량 급변

위의 그래프는 일사량이 50%에서 75%로 급변하였을 때를 나타낸다. 75%로 급변 하였을 때 초기에는 modified InCond 기법이 효율이 높지만 MPPT 한 주기 이후로 두 기법은 거의 동일하다.



〈그림 8〉 일사량 급변

위의 그림은 순간적으로 일사량이 급변 하였을 때를 보기 위하여 MPPT주기를 0.05초로 설정하고 100%의 일사량에서 25%로 급변시키고 0.7초 동안 일사량을 증가시킨 후 다시 50%로 감소시킨 결과이다. 그래프에서 알 수 있듯이 짧은 시간동안 일사량이 증가 했을 경우 50%일사량 이하에서는 두 기법에 차이가 없지만 50% 이상에서는 P&O가 더 높은 효율을 보이고 있다.

위의 결과를 토대로 50%의 일사량에서 P&O가 높은 효율을 보였고, 25% 일사량에서는 두 기법이 근접한 결과를 보였다. 75%의 일사량에서는 25%일 때와 같은 결과를 얻었다. 다음으로 짧은 시간동안 일사량이 증가 시에 50%이하에서는 두 기법이 근접하지만 50%이상에서는 P&O가 높은 효율을 보였다. 결론적으로 위의 결과에서는 P&O가 MPPT효율이 높지만 각각의 기법에 대해 V_{ref} 에 증가분 값의 차이라고 생각해 볼 수 있다.

3. 결 론

앞에서 Matlab을 이용한 어레이구성으로 일사량과 전압 값에 대해 제조사에서 제공한 사양서의 전류 값과 근접한 전류 값을 구하여 일사량 급변시에 두 기법의 시뮬레이션 결과를 살펴보았다. 결론적으로 일사량 급변시에 두 기법의 차이점은 일사량이 50%에서 조건과 50%이상의 급변시에 P&O가 높다는 결과를 얻었다. 앞으로 생각해볼 과제는 Matlab에서 온도, 일사량, 저항 값, 그림자 등의 여러 변수의 어레이 조건들을 적용시켜 최대한 실제의 상황과 근접한 데이터를 통해 MPPT 기법을 시뮬레이션 해보고 다양한 변수로서 얻은 I-V곡선에서 MPPT효율을 극대화 시키는 방안을 생각해 보는 것이다.

【참 고 문 헌】

- [1] Eduardo Román, Ricardo Alonso, Pedro Ibañez, "Intelligent PV Module for Grid-Connected PV Systems", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 53, no. 4, p. 1066-1073, August 2006.
- [2] J. A. Gow, C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in powerelectronics simulation studies", IEE Proceedings on Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, p. 193-200, March 1999.
- [3] Jung-Min Kwon, Kwang-Hee Nam, Bong-Hwan Kwon, "Photovoltaic Power Conditioning System With Line Connection", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 53, no. 4, p. 1048-1054, August 2006.