

저일사강도에서 MPPT를 동작시키기 위한 알고리즘 연구

김기현, 유권중, 정영석, 김영석*
한국에너지기술연구소, 인하대학교*

A Study of MPPT algorithm for Low-insolation

Ki-Hyun Kim, Gwon-Jong Yu, Young-seok Jung, Young-seok Kim

Abstract - This paper proposed a MPPT (Maximum Power Point Tracking) control algorithm for PV(Photovoltaic) array based on a modified constant voltage control MPPT algorithm at low-insolation. This method which combines a IncCond(Incremental Conductance) and a constant voltage control algorithm. In contrast to the typical conventional MPPT algorithm, the proposed method have been obtained high efficiency and good performance. The proposed algorithm is verified through simulation result. In order to confirm the availability of the scheme, a simulation used PSIM and ACSL software tool.

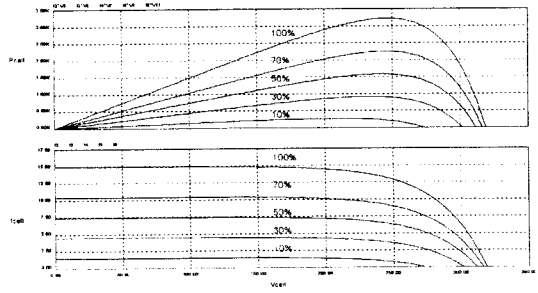


그림 1 일사량에 따른 PV 어레이 특성(3.2Kw)
1) 전압-전류 곡선 2) 전압-전류 곡선

1. 서 론

현재 화석원료가 급격하게 감소하고 있으며 에너지 비용도 크게 증가하고 있는 실정이므로 이에 대한 대책으로 세계각국에서는 대체에너지 개발이 진행중이며 이중 Solar energy는 가장 주목받는 대체에너지원중의 하나이다. 그러나 아직 우리나라에서는 태양광발전에 대한 연구가 미흡한 점이 많으므로 이에 대한 연구가 활성화되어야 할 것이다.

Solar Array의 최대전압은 일사량과 온도에 의해서 시시각각으로 변한다. 또한 부하상태도 변하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점은 변하게되어 최대출력이 얻어지는 부하와는 같지 않게 된다. 따라서, 태양전지를 효율적으로 동작시키기 위해서 태양전지에서 최대파워를 끌어내 가능한 Array의 출력을 항상 최대로 동작시켜야한다. 일사량 변동조건에 따른 PV array에서 전력변동 의존관계는 그림 1의 PV array의 I-V곡선과 P-V곡선 특성에서 볼 수 있으며 solar cell이 전기적으로 비선형 특성임을 알 수 있게 한다. 여기서 Array의 전류와 전력은 Array단자의 동작전압에 의존한다.

본 논문에서는 기존의 MPPT 알고리즘들이 고일사량(1000~200 W/m²)에서는 MPPT 추종이 비교적 잘 되어 지나 저일사량(200 W/m²이하)에서는 MPPT 제어에 실패하였으므로 저일사량에서 Solar Array의 MPPT를 찾아 동작시키기 위하여 기존의 방법을 수정한 새로운 알고리즘을 제시하고 그 알고리즘을 시뮬레이션하여 효율성 검토를 하였으며 실제 인버터에 적용하기 위한 타당성을 검토하였다

2. 본 론

2.1 PV Cell 등가회로 검토^{[1][2]}

PV array를 이루는 것은 solar cell이며 이것은 빛에너지에서 전기로 바로 전환하는 p-n 접합 다이오드이다. 이것은 그림2에서 보여지는 등가회로를 갖는다.

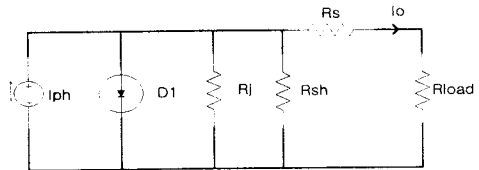


그림 2 PV cell의 등가회로

여기서, 전류원 Iph는 광기전류로 표현되며 Rj는 p-n 접합의 비선형 임피던스, Rsh and Rs는 각각 셀의 shunt 저항 and 직렬저항이며 보통 Rsh는 매우 크고 Rs는 매우 작다. 그러므로 Rs는 간략화된 분석에서는 무시할 수 있다. PV array를 시뮬레이션하기 위해 다음에 따르는 PV 수학적 모델을 사용하였다.^[2]

$$I_o = n_p I_{ph} - n_p I_{rs} \left[\exp\left(\frac{q}{kTA} \frac{V_o}{n_s}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

여기서, n_s는 직렬연결된 셀들의 수, n_p는 병렬연결된 모듈들의 수, q는 전하량, k는 Boltzman's상수, A는 p-n 접합 ideality factor, I_{rs}는 셀의 역포화 전류이며 공식 (1)에서 factor A는 이상적인 p-n junction 특성들로부터 유도된 셀에 의해 결정되는데 이상적인 값은 1이다. 셀의 역포화 전류 Irs는 온도에 따라 변하고 다음의 공식에 따른다.

$$I_{rs} = I_{rr} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left(\frac{qE_G}{kQA} \left[\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right] \right) \quad (2)$$

T_r 은 셀의 reference 온도, I_{rr} 은 T_r 에서 역포화전류, E_G 는 셀에서 사용된 반도체의 band-gap 에너지, 광전류 I_{ph} 는 일사량과 셀온도에 의존한다.

$$I_{ph} = [I_{scr} + k_i(T - T_r)] \frac{S}{100} \quad (3)$$

여기서, I_{scr} 은 reference 온도와 일사량에서 셀 short-circuit current, k_i 는 short-circuit current 온도계수, S 는 일사량[mW/cm²].

PV array power P 는 공식(4)을 사용하여 계산할 수 있으며 다음과 같다.

$$P = IV = n_p I_{ph} V - n_p I_{rs} V \left[\exp \left(\frac{q}{kTA} \frac{V}{n_s} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

여기에 대한 시뮬레이션은 PSIM을 이용하여 그림 1에 나타내었다.

2.2 MPPT를 수행하기 위한 기본 Topology.

MPPT를 수행하는 알고리즘을 고찰하기 위해 사용한 Psim Topology를 그림 3에 나타내었다. 이 회로도에서 기본적으로 PV Array에 평활용 Capacitor, Boost Converter 부하를 달았으며 MPPT Algorithm은 DLL로 구성하여 수행되도록 하였다.

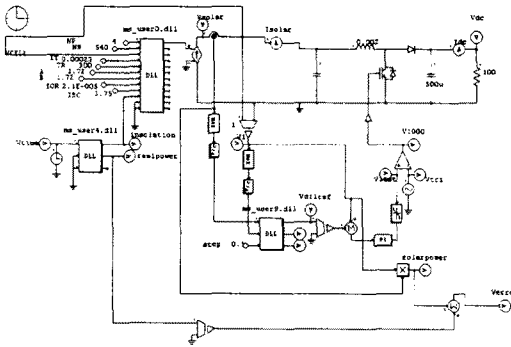


그림 3 MPPT를 수행하기 위한 시뮬레이션 회로도

2.3 MPPT를 수행하는 기본 알고리즘들^{[3][4][5][6]}

2.3.1 일정전압 제어방식 MPPT제어 알고리즘

태양전지 에레이의 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로, 어떤 일정한 전압을 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 일정전압제어방법이라고 하며, 따라서 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않다. 부스트의 듀티는 제어 회로에 의해 결정되며 이것의 출력측 dc 전압은 정상상태 조건의 V_{ref} 값에 의해 일정하게 유지된다. 이 정전압제어법은 전류센서를 줄일 수 있으며 일사량 급변시 정확한 MPP점을 찾아 동작하지 못해 출력효율이 감소하는 단점이 있다.

2.3.2 P&O MPPT 알고리즘

P&O MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖고 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기동안의 태양전지 에레이 출력

전력과 함께 현재 에레이 출력 전력 비교에 의해 최대 전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 4와 같은 순서도에 의해 동작한다.

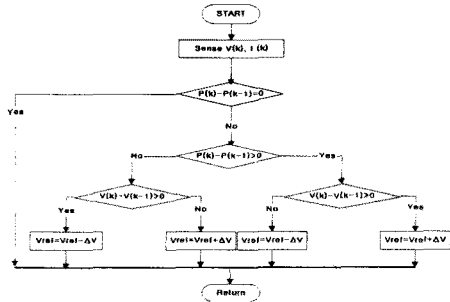


그림 4 P&O MPPT 알고리즘 순서도

2.3.3 IncCond MPPT 알고리즘

IncCond(Incremental Conductance)방법은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법이며, P&O 알고리즘의 결점을 피하기 위한 IncCond 알고리즘은 에레이 단자전압이 이 값의 상대적인 MPPT 전압에 따라 항상 조절되어지며, 이 방법은 그림 5과 같은 순서도에 의해 동작한다.

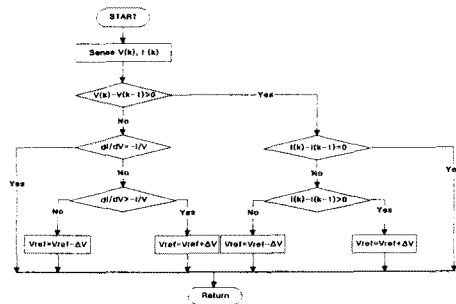


그림 5 IncCond MPPT 알고리즘 순서도

2.3.4 저일사강도에서 MPPT를 수행하는 알고리즘

위의 그림 3의 시뮬레이션에서 일정전압제어 MPPT, P&O MPPT, IncCond MPPT를 각각 시뮬레이션 한 결과 일사량 1000~200 W/m² 사이에서는 99%이상의 정확성을 갖고 MPPT를 동작시킴을 알 수 있었으나 200 W/m²이하의 저일사강도에서는 출력전력의 변동이 매우 작으므로 레퍼런스 신호가 동작범위에서 크게 벗어나서 제어에 실패하므로 MPPT추적이 안됨을 알 수 있었다. 따라서, 저일사강도에서 MPPT를 동작시키기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 적용하였다.

그림 6에서 고일사강도에서는 환경변화 적용에 유리한 IncCond MPPT 알고리즘을 적용하였고 낮은 일사강도에서는 전압, 전류의 리플을 줄이며 동시에 빠른 MPPT추적을 하기 위하여 수정된 정전압제어를 하였다.

일반적으로 정전압제어를 할 경우 기준신호가 정해져 있는 반면 본 논문에서는 $V(k)$ 를 가지고 기준신호를 증가, 감소시켜 최대전력을 얻고자 하였다. 먼저 V_{ref} 값을 증가 시킨 후 $V(k)$ 값을 센싱받아 그 값이 최대로 될 때까지 증가시킨 후 일사량이나 부하의 변동으로 인하여 $V(k)$ 가 감소할 경우 V_{ref} 를 줄이게 되어있다. 본 시뮬레이션에서는 PV array가 3.2Kw의 출력을 낼 수 있도록 설정하였는데 일사량 10일 경우 최대출력은 약 273W이고 기준신호의 범위는 140~170V 사이였다.

4. 결 론

본 논문에서는 PV array의 출력전력을 최대화하기 위하여 사용하는 MPPT 알고리즘들을 살펴보았으며, MPPT 알고리즘 중에서 P&O MPPT, IncCond MPPT가 고일사량에서는 잘 동작하지만 저일사량에서는 MPPT 추종이 안되고 효율도 낮은관계로 이를 보완하여 저일사량에서도 잘 동작하게 하는 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘을 가지고 시뮬레이션을 한 결과 저일사량에서 기존의 MPPT 알고리즘보다 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유권중 외 2인, "고주파링크 방식을 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템", 전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1050-1052, 2000.
- [2] 정영석 외 2인, "직연변압기를 생략한 새로운 계통연계형 햇빛 발전시스템 고찰", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 670-673, 2000
- [3] 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.
- [4] Hussein. KH, 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
- [5] K.H. Hussion, "Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Vol. 142, No.1 ,pp. 59-64, 1995.
- [6] C. Hua and C. Shen, "Study of Maximum Power Tracking Techniques and control of DC/DC Converter for Photovoltaic Power System", IEEE, 1998.

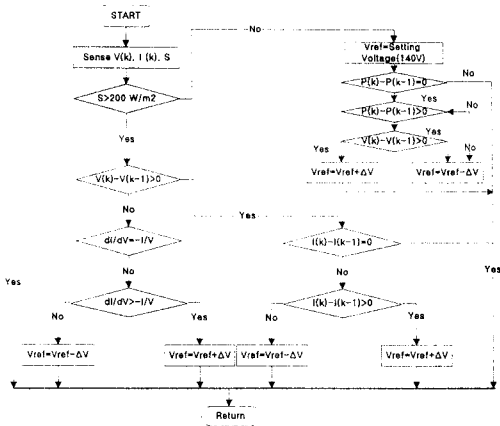


그림 6 수정된 MPPT 알고리즘 순서도

3. 시뮬레이션 및 실험결과

일사량이 $200 \sim 100 \text{ W/m}^2$ 으로 감소시의 시뮬레이션 결과를 그림 7,8,9에 각각 나타내었다. 그림 7은 P&O MPPT 제어의 파형이고 그림 8은 IncCond MPPT 제어의 파형이다. 그림 9는 저일사량에서 최대의 전력을 얻기 위하여 2.3.4절에서 언급한 알고리즘을 적용했을 때의 파형이다. 이 파형들의 결과를 살펴보면 그림 9의 수정된 일정전압 MPPT 알고리즘의 결과가 가장 좋음을 알 수 있다.

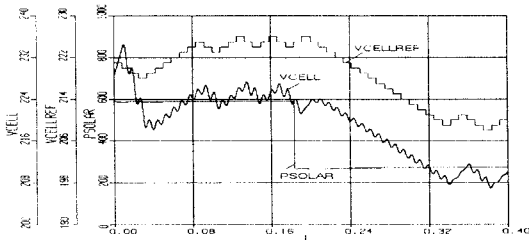


그림 7 저일사량시 P&O MPPT 동작파형

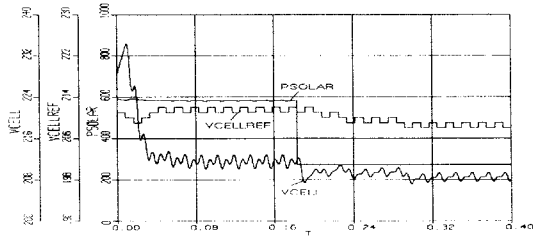


그림 8 저일사량시 IncCond MPPT 동작파형

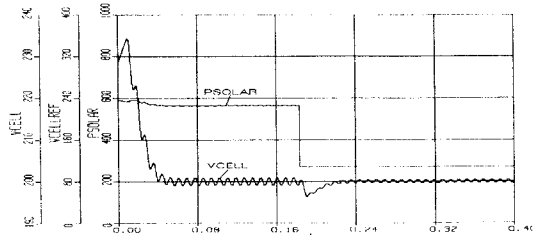


그림 9 저일사량시 수정된 MPPT 동작파형