

# 태양광 발전시스템을 위한 LCMPPPT제어기에 관한 연구

강 태경<sup>1)</sup>, 고 강훈<sup>2)</sup>, 최 석원<sup>3)</sup>, 한 호동<sup>4)</sup>, 이 현우<sup>5)</sup>

## A Study on LCMPPPT controller for PV system

Taekyung Kang<sup>1)</sup>, Kanghoon Kho<sup>2)</sup>, SeokWon Choi<sup>3)</sup>, HoDong Han<sup>4)</sup>, Hyunwoo Lee<sup>5)</sup>

**Key words** : MPPT(Maximum Power Point Tracking), LCMPPPT(Limit cycle MPPT), IncCond(Incremental Conductance), P&O(perturbation and Observation)

**Abstract** : This paper proposes a simple MPPT control scheme of a Current-Control-Loop Error system Based that can obtains a lot of advantage to compare with another digital control method, P&O and IncCond algorithm, that is applied mostly a PV system. An existent method is needed an expensive processor such as DSP that calculated to change the measure power of a using current and voltage sensor at the once. Therefore, it is applied a small home power generation system that required many expenses. But, a proposed method is easy to solve the cost reduction and power unbalance problems that it is used by control scheme to limit error of a current control of common sensor.

This proposed algorithm had verified through a simulation and an experiment on battery charger using PIC that is the microprocessor of a low price.

## 1. 서 론

태양광 발전시스템은 태양전지의 외부온도, 일사 조건, 부하 상태 등에 따라서 최대전력이 변동하는 비선형적인 특성을 가지고 있다. 그러므로 항상 최대 전력점추미 (MPPT : Maximum Power Point Tracking) 기법을 적용하여야 한다.

또한, 주택용 태양광 발전시스템은 태양전지 출력의 유효활용 측면에서 최대전력점 추미제어는 빼놓을 수 없는 기능이다.

기존 MPPT방법은, 기본적인 전력정보를 취득하기 위하여, 태양전지단자 또는 부하단자에서의 전압·전류를 검출해서, 입·출력전력을 연산·제어하는 방법인 P&O(Perturbation and Observation), IncCond(Incremental Conductance)가 대표적인 방법이다. 또한, 제어기법 단순화와 비용저감을 위하여 아날로그 미분기를 사용한 제어방법도 있으며, 다양한 알고리즘(Fuzzy, Neural Network 등)을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1)-(8)</sup>

이러한 연구의 최종목표는 시스템의 간소화와 다양한 적용이 가능한 시스템 개발에 있다. 시스템의 간소화로는 센서레스 시스템, 저가의 제어기 채용, 다양한 응용을 위하여 대체에너지 전반(풍력, 플라이휠, 연료전지 등)에 적용 가능한 시스템 설계에 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 제안하는 LCMPPPT 제어기

그림1은 제안하는 1단방식의 전류제어 에러루프 MPPT제어기의 회로도들 나타낸 것이다. 태양전지 승압초퍼, 제어를 위한 전류센서, 배터리로 구성되어 있으며 하단의 제어부는 PI제어기와 전류제어 루프 에러부로 구성되어 있다.

기준전류와 배터리 충전전류에 의해 얻어진 에러값  $e_i$ 는 PI제어를 통하여 듀티 지령비  $d^*$ 를 출력한다.  $d^*$ 는 PI제어를 통하여 듀티 지령비  $d^*$ 를 출력한다.  $d^*$ 의 태양전지의 최적동작전류  $I_{mpp}$ 가 되도록 한다.

그 다음 얻어진 에러값은 리미터 사이클 동작회

1)2)5) 경남대학교 전기에너지 절약연구센터

E-mail : lhwoo@kyungnam.ac.kr

Tel : (055)249-2635 Fax : (055)248-2228

3)4) (주)한성엔지니어링

E-mail : chsw@hs100.co.kr

Tel : (055)249-2635 Fax : (055)248-2228

로를 통하여  $I_{bat\ ref}$ 를 증가시키게 되고 천천히 출력전력을 증가시킨 태양전지의 동작점은 단락전류(출력전력=0)상태로 되고 최대전력점에 도달 하게 된다. 여기에서 좀더  $I_{bat\ ref}$ 를 증가시켜 출력전력을 증가시키려고 하면 전력의 공급 평형이 깨지게 되어 초과 출력전류  $I_{chop}$ 는 급격히 저하한다. 이 현상에 의해  $I_{bat}$ 가 저하하도록 듀티비 지령  $d^*$ 는 듀티비 1로서 포화되어 스위치는 항상 온상태가 되어 단락상태로 된다. 따라서 동작점은 급격히 원점 ( $V_{array} = P_{array} = 0$ )에 도달하게 된다. 따라서 동작점이  $I_{mpp}$ 에 가까게 도달한 경우  $I_{chop}$ 가 급격히 저하하도록 하는 것을 막는다면 전력을 최대전력점에서 동작시킬 수 있다.

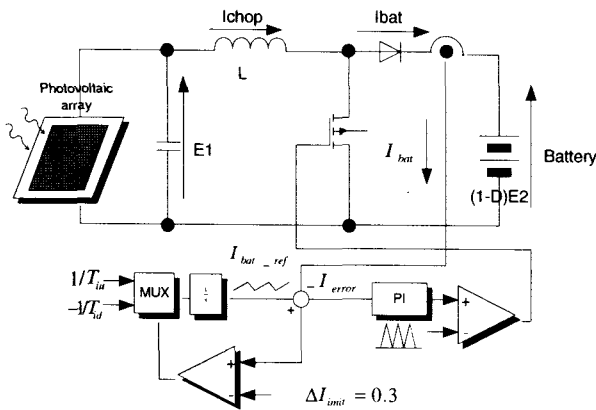


그림 1. LCMPPT 제어기 회로도  
Fig. 1. The circuit of LCMPPT controller

## 2.2 LCMPPT의 동작

그림 1를 보면  $I_{chop}$ 의 전류는 그 제어 오차  $\epsilon_i$ 를 초과 듀티비 지령  $d^*$ 로 하여 피드백 제어하는 것에 의해 일정값으로 제어된다. 본 시스템은 입출력 전력 평형으로 동작된다. 즉,  $P_{out} < P_{array}$ 의 경우에 태양전지의 출력전력  $P_{array}$ 는 여유가 있으므로  $P_{out}$ 의 변화시정수에 의해  $I_{chop}$ 를 일정값으로 유지하는 PI제어 루프의 등가시정수  $\tau_{pi}$ 가 짧게 된다면 초과부의 PI 연산에 의해  $\epsilon_i \cong 0$ 로 유지되는 것이 가능하다.  $I_{bat\ ref}$ 를 단위량 변화시키기 위해 요구되는 시간  $T_{iu}$ 는 적분기에서 정 입력값 ( $1/T_{iu}$ )으로 주어지게 되며 그림 2와 같이 천천히 증가하게 된다.  $\tau_{pi}$ 와 적분정수  $T_{iu}$ 의 사이에는 이하와 같은 조건이 성립되지 않으면 안된다.

$$\tau_{pi} < T_{iu} \quad (1)$$

(1)식이 성립되지 않는 경우  $I_{bat\ ref}$ 의 증가되

는 속도에 비례하여 PI 제어루프의 응답이 느려지게 되고 요구되는 전력을 초과에 공급할 수 없으며  $I_{chop}$ 가 저하된다. 또, 이것을 검출하여 리미터 사이클 동작을 시작하기 위한  $P_{max}$ 에 도달하기 전에 리미터 사이클 동작이 발생하게 된다.

즉,  $T_{iu} > \tau_{pi}$ 가 되는 경우에 정의 최대출력전력  $P_{max}$ 에 도달하게 된다. 이 때  $I_{bat}$ 는 단락전류에 가까게 되며 동작점에서 동작하는 것으로 된다.

한편  $P_{out} > P_{max}$ 으로 되면 공급전력  $P_{array}$ 는 여유가 없기 때문에 공급 평형이 무너지게 되고  $I_{chop}$ 는 급격히 저하여  $\epsilon_i$ 도 역시 급격히 증가한다. 따라서  $\epsilon_i > \Delta I_{link}$ 의 경우  $I_{bat\ ref}$ 를 단위량 변화시키기 위해 요구되는 시간  $T_{id}$ 를 적분기의 부의 값 ( $-1/T_{id}$ )으로 주게 되면 그림 2와 같이 급속히 감소된다. 이때, PI제어 루프의 등가시정수  $\tau_{pi}$ 와 적분정수  $T_{id}$ 의 사이에는

$$T_{id} < \tau_{pi} \quad (2)$$

의 관계식이 성립하도록 적분 시정수  $T_{id}$ 를 선택해야 할 필요가 있다.

수식 (2)이 만족하는 경우  $I_{bat\ ref}$ 가 감소하는 속도에 비례하여 PI제어 루프의 응답속도가 빨라지기 때문에 초과 듀티비가 급속히 1로 포화되어  $I_{chop}$ 는 단락상태로 되고  $P_{array}$ 는 0으로 된다.

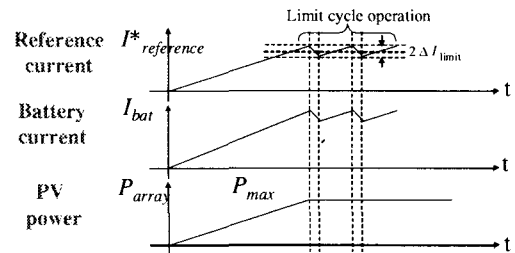


그림 2. LCMPPT의 동작  
Fig. 2. operation of LCMPPT

이와 같이 태양전지의 최대공급전력을 넘는점에서 전력공급의 평형이 무너지기전에  $I_{bat}$ 를 일정하게 유지하는 것이 가능하다면 정상상태를 유지할 수가 있다. 즉 전력평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작시키는 것에 의해 최대전력점 추종할 수 있다. 여기에서 최대전력  $P_{max}$ 를 얻기 위한 리미터 사이클 조건으로서는 (1), (2)식의 조건을 동시에 성립하지 않으면 안된다.

$$\text{발생조건 : } T_{id} < \tau_{pi} < T_{iu} \quad (2)$$

## 2.3 시뮬레이션 및 실험

그림 3은 표1의 조건 A-B-A로 변화한 경우를 PSIM에 의해 시뮬레이션 한 결과이다. 일사조건 변화에 따라서 최대전력점 추종이 정상적으로 이루어지고 있

수 있다. 따라서 최소 15[%]이하일 경우 제어특성이 좋지 못하다는 것을 알 수 있다.

삼각파 또는 사인파 형태로 최대일사량의 100[%]-15[%]까지 변동시켰을 경우 동작특성 파형을 각각 그림 5와 6에 나타내었다. 그림 7은  $V_{array}$ 에 대한  $I_{array}$ ,  $P_{array}$ 의 추적궤적을 나타낸 것으로 앞서 설명한 특성곡선의 궤적과 동일한 특성을 확인할 수 있었다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. simulation parameters

일조조건	A	B
개방전압	21.7[V]	19.7[V]
단락전류	3.45[A]	1.45[A]
최적동작전압	17.4[V]	15.8[V]
최적동작전류	3.15[A]	1.23[A]
최대전력	55W	19.43[W]

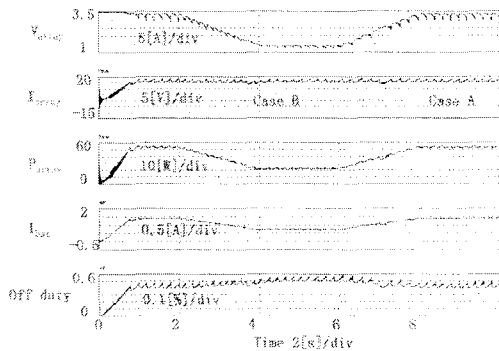


그림 3. 일사조건 변화시 LCMPT 동작 파형  
Fig. 3. LCMPT operating waveform at insolation condition change

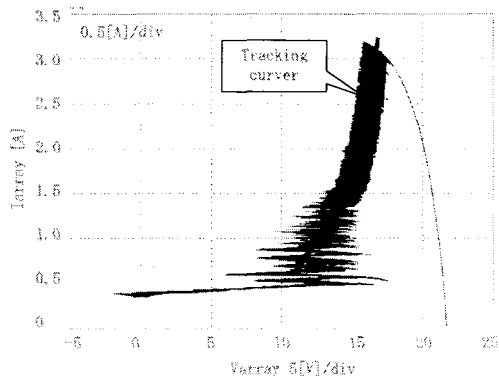


그림 4.  $V_{array}$ - $I_{array}$  특성곡선  
Fig. 4. characteristic curve of  $V_{array}$ - $I_{array}$

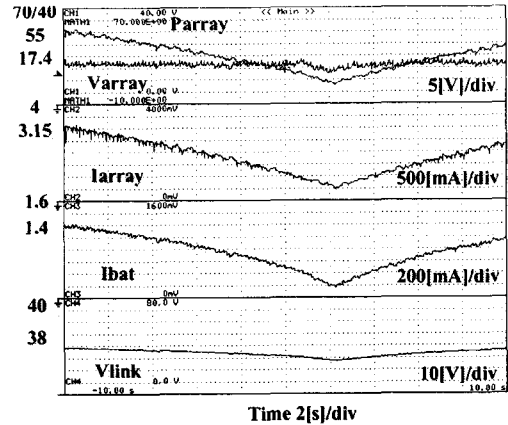


그림 5. 일사량 100%-15%삼각파 변동시 LCMPT 동작파형  
Fig. 5. LCMPT operating waveform of at insolation 100%-15% tri-waveform change

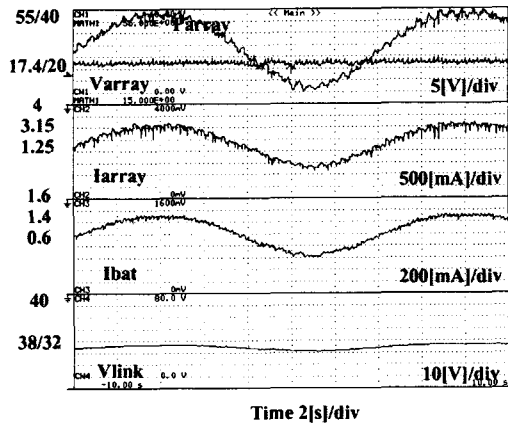


그림 6. 일사량 100[%]-15[%] 사인파 변동시 LCMPT 동작파형  
Fig. 6. LCMPT operating waveform of at insolation 100%-15% sine-wave change

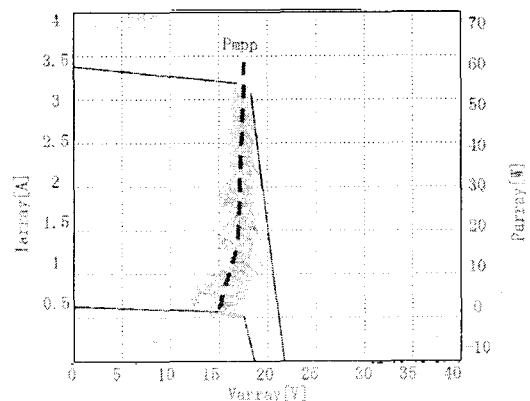


그림 7. 사인파 변동시  $V_{array}$ 에 대한  $I_{array}$ ,  $P_{array}$ 의 변동 궤적  
Fig. 7. Change trajectory of  $I_{array}$ ,  $P_{array}$  about  $V_{array}$  at sine-wave change

### 3. 결론

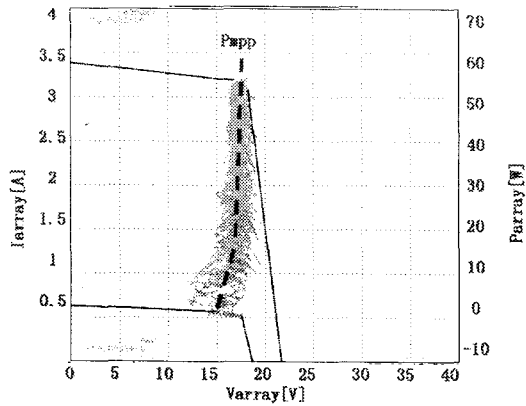


그림 7. 사인파 변동시  $V_{array}$ 에 대한  
 $I_{array}$ ,  $P_{array}$ 의 변동 궤적

Fig. 7. Change trajectory of  $I_{array}$ ,  
 $P_{array}$   
about  $V_{array}$  at sine-wave change

### 3. 결론

본 논문은 새롭게 제안한 LCMPT방식을 리미터사이클 동작시의 과형 분석 결과에 기준하여 제어 파라미터와 회로의 정수를 결정하였다. 시스템은 정상적으로 전력 평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작이 이루어지도록 함으로서 태양전지의 전압과 전류의 검출에 필요한 센서나 연산이 필요하지 않는 간단한 제어회로로 승압조파를 제어함으로써 항상 MPPT동작 한다는 것을 시뮬레이션 및 실험으로써 확인하였다.

본 제어방식의 결점은 저일조 조건하에 태양전지의 발전전력이 작게 되면 듀티 변동 폭이 크게 증가하게 되어 안정적인 최적 동작점 추미 동작을 할 수 없다.

그러나, 기존의 MPPT제어 기법의 안정동작 영역은 최대일사량의 20[%]이상이나 제안한 시스템은 저일사량(15[%])에서도 손색이 없는 추미특성을 얻는 것을 실험적으로 확인하였다.

시스템 제어기로는 저가의 PIC16F877A를 사용하였다. A/D변환(16us, 10bit)과 처리속도(200ns per 1cycle)가 다소 느리기 때문에 대전력용 시스템에 있어서 적합하지 않다. 그러나 소용량의 용도에 대하여서는 다른 방식에 비하여 간단한 제어회로가 실현가능하기 때문에 비용저감의 이점을 살릴 수 있다고 생각된다.

### References

- 1] Hannes Knopf : "ANALYSIS, SIMULATION, AND EVALUATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING(MPPT) METHODS FOR A SOLAR POWERED VEHICLE", MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, Portland state university (1999)
- 2] Jun Youn Ahn, Jong Hoo Park, B.H.Cho, K.J.Yoo, "Analog MPPT for connected single-phase system", KIPE conference, pp. 785-788 (2003.7)
- 3] 小島 知也, 松井 : "出力電流 のみで追従する太陽光発電 システムにおける瞬時最大電力制御"平成 16 年電氣學會産業應用部門大會,pp.1199-1200 (2004.3)
- 4] Sachin Jain, Vivek Agarwal : "A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic Systems", IEEE POWER ELECTRONICS LETTERS, VOL. 2, NO.1, pp. 16-19 (2004.3)
- 5] Mohammad A.S. Masoum, Hooman Dehbonei, and Ewald F.Fuchs : "Theoretical and Experimental Analysis of Photovoltaic Systems With Voltage-and Current-Based Maximum Power-Point Tracking", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 17, NO.4, pp. 514-522, (2002.12)
- 6] M.Matsui, T.Kitano and DH.Xu : "A Simple Maximum Photovoltaic Power Tracking Technique Utilizing System Inherent Limit Cycle Phenomena," IEEE-IAS 2003 Annual Meeting Conf. Rec., pp.2041-2047 (2003.10)
- 7] M.Matsui, D.H.Xu, L.Y.Kang and Z.Q.Yang : "Limit cycle based simple MPPT control scheme for a small sized wind turbine generator system - Principle and experimental verification -." IEEE-IPENC 2004 Conf.Proc eedings, pp.1746-1750 (2004. 8)
- 8] 강태경, 강주성, 고강훈, 권순걸, 서기영, 이현우 : "전류제어신호를 이용한 MPPT제어기에 대한 연구", 대한전기학회 전기기기및 에너지 변환시스템 부분회 춘계학술대회, pp280-282(2005.4.29)