

태양광 인버터 최대 출력점 추적제어의 비교분석

차한주, 위하, 이상희  
충남대학교

Comparison and Analysis of Maximum Power Point Tracking for PCS

Hanju Cha, Xia Wei, Sanghoi Lee  
Chungnam National University

**Abstract** - In order to improve the output efficiency of the PV system, we adopt maximum power point tracking(MPPT) techniques. This paper analyzes a two-mode MPPT method based on the variable step size incremental conductance method and constant voltage MPPT method. Compared with the conventional MPPT method, the proposed method can effectively improve the MPPT speed and maximize the efficiency with the irradiation and temperature changing. In this paper, a theoretical analysis is provided and feasibility of this method is proved by simulation.

1. 서 론

환경오염, 유한한 에너지 고갈 등의 문제로 태양에너지, 풍력에너지 및 지열 에너지 등 신재생에너지의 개발과 이용은 세계적으로 확산되고 있다. 특히 깨끗하고 무한정하며 고능률을 가지고 있는 태양에너지는 각광을 받고 있다. 태양광발전은 안전성, 신뢰성, 소음이 없고 오염이 없고, 제한이 적고 설치 후 관리 및 유지비가 거의 들지 않는 장점에서 일상생활에서 적용하게 된다.

일반적으로 태양광발전 시스템은 태양에너지를 전기 에너지로 바꾸어 주는 태양전지 어레이와 직류 전력을 교류 전력으로 바꾸어 주는 PCS(Power Conditioning System)로 구성되며 최대의 전력을 생산하기 위해 PCS는 항상 최대전력 점에서 온전하도록 제어한다. 최대전력 점에서 온전하게 제어하는 과정은 일반적으로 MPPT라고 하며, 대표적으로 P&O(Perturb and Observation)기법, IncCond(Increment Conductance)기법과 CVT(Constant Voltage)방법이 간단한 알고리즘과 구현의 용이성으로 가장 많이 사용되고 있으며 좀 더 빠르게 추종하기 위해 수정한 VSSIC(Variable Step Size IncCond)기법도 나타났다. 본 논문에서는 기존의 VSSIC기법과 CVT방법을 분석하며, 2-모드 MPPT방법의 추종성능을 분석하였다.

2. 태양전지 특성과 MPPT 기법 분석

2.1 태양전지 특성

태양전지 어레이의 I-V, P-V특성은 일사량  $I_{tra}$  와 온도  $T_a$ 에 따라 변한다. 다이오드 품질계수 A는 1.4로 설정하고 태양전지 어레이는 9직렬 2병렬로 모듈을 조합하여, Matlab을 이용해서 이상적으로 시뮬레이션 하였다. 45°C 조건하 일사량에 따라 태양전지 어레이의 I-V와 P-V특성커브는 그림 1과 같다. 일사량 증가 할 때 전류 증가하므로 전력도 증가하며 개방전압이 올라간다. 같은 모듈을 사용하여, 일사량은 1.0[KW/M<sup>2</sup>] 조건하 온도에 따라 태양전지 어레이의 I-V와 P-V특성커브는 그림2에 나타났다. 온도 증가 시키면 전류 감소하므로 전력도 감소하며 개방전압이 내린다.

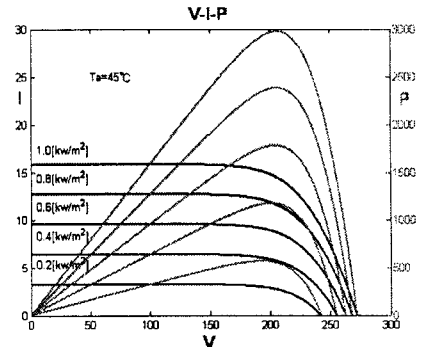


그림 1. 온도45°C 일정 일사량 변화 시 I-V와 P-V특성 커브

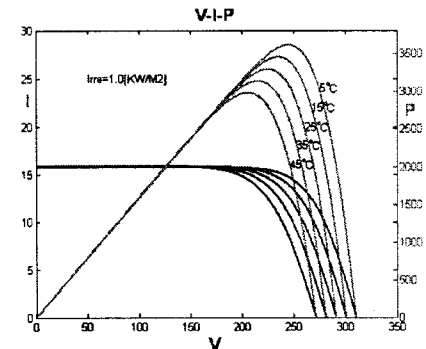


그림 2. 일사량1KW/M2 일정 온도 변화 시 I-V와 P-V특성 커브

2.2 MPPT기법 분석

환경조건에 따라 기존의 P&O, IncCond 와 CVT기법의 추종성능이 다르다. P&O기법은 제어 간단하지만 빠르게 변하는 환경에 추종할 수 없다. IncCond기법은 P&O보다 환경적응성이 좋아지지만 추종속도가 느리다. 빠르게 추종하기 위하여 수정한 VSSIC기법이 나타났다. 저 일사량 일 때 CVT제어는 기존의 MPPT방법 중에서 효율이 가장 높다는 점에서 추종이 정확하지 않아도 저 일사량 일 때 많이 사용한다. 추종 성능을 높이기 위해 2-모드 MPPT방법도 나타났다. MPPT제어 시스템의 회로도도 그림3에 나타났다.

2.2.1 Constant Voltage MPPT method

그림1과2에 나타나바와 같이 태양전지 어레이의 개방전압  $V_{oc}$ 는 일사량과 온도의 변화에 따라 변할 때 최대 출력 점의 전압  $V_{mpp}$ 도 비율적으로 변한다. 그러므

로 태양전지 어레이의 최대 출력 점의 전압  $V_{mpp}$ 와  $V_{oc}$ 의 관계식(1)을 얻을 수 있다[2].

Constant Voltage(CVT)방법의 제어순서도는 그림4에 나타났다.  $V_{mpp} = 0.76 * V_{oc}$  (1)

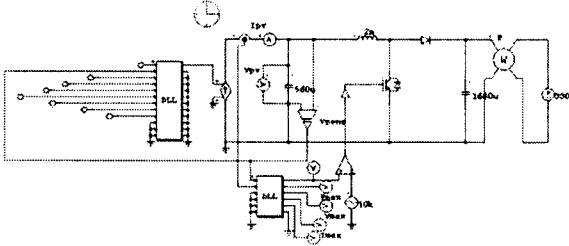


그림 3. MPPT제어 시스템의 회로도

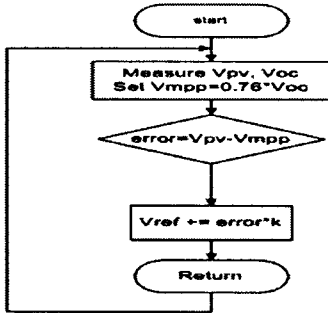


그림 4. CVT방법의 제어순서도

$V_{oc}$ 는 회로 차단해서 측정할 수 있다. CVT방법은 구현이 간단하고 비용이 적고 저 일사량 일 때 효율이 높으므로 추종정확도를 요구하지 않는 경우에 사용한다.

### 2.2.2 Variable Step Size IncCond

Variable Step Size IncCond(VSSIC)기법은 IncCond 기법의 기초로 Variable Step size를 사용해서 IncCond 기법에서 사용한 fixed step를 대신하였다[1]. VSSIC 제어 기법의 순서도는 그림5와 같다.  $V_{pv}$ ,  $I_{pv}$ 는 시스템의 입력전압과 전류이므로 그림3에 표시하였다. 그림5에 나타난 step는 VSSIC기법의 핵심이며 N를 구하는 방법은 논문[1]에 나와 있다.

VSSIC방법의 추종성능이 좋지만 시동할 때는 variable step가 크기 때문에 전류와 전력의 변화도 크며 시동과정의 복잡

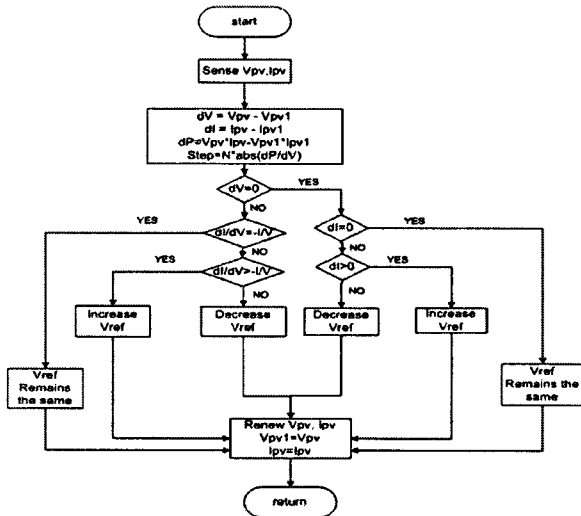


그림 5. VSSIC제어 기법의 순서도

하다. 평활하게 시동하기 위해서는 CVT방법으로 시동하였다. CVT방법에  $V_{mpp}$ 와  $V_{oc}$ 의 비율계수의 범위는 0.71~0.80이므로 CVT방법으로 시동할 때 비율계수는 0.8를 설정하였다.

CVT방법으로 시동한 VSSIC MPPT방법의 장점:

- (1) 평활하게 시동할 수 있으므로 시동과정 단순화한다.
- (2) variable step사용해서 IncCond MPPT method보다 더 빠르게 추종할 수 있다.
- (3) 외부환경 변화 때도 정확하게 추종할 수 있다.

CVT방법으로 시동한 VSSIC MPPT방법의 단점:

IncCond MPPT방법과 같이 저 일사량 일 때 추종효율이 떨어지고 variable step size의 구하기 복잡하다.

### 2.2.3 two-mode MPPT방법

환경 변화 때 태양전지 어레이의 출력전력 극대화하기 위해서 two-mode MPPT방법을 사용하였다.

Two-mode MPPT방법의 순서도는 그림6과 같다.

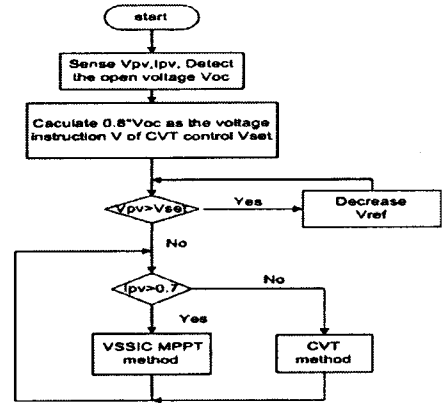


그림 6. Two-mode MPPT방법의 순서도

태양전지 어레이의 특성 방정식에 의해 출력전류는 일사량의 변화에 따라 선형적으로 변한다. 사용한 모듈은 일사량이 50W/M<sup>2</sup> 일 때 출력전류는 0.7A이며 이때부터 VSSIC방법의 추종 효율이 떨어졌다. CVT방법의 효율이 높으므로 전류  $I_{pv}=0.7A$  점을 2-모드의 임계점으로 선정했다.

### 3. MPPT 시뮬레이션 결과

MPPT방법의 추종 성능을 비교하기 위해서 psim 시뮬레이션을 사용해서 MPPT효율, 추종전압과 전류의 확도와 오차를 계산하였다. 계산방법은 다음과 같다.

(1) MPPT효율

MPPT효율은 태양전지 어레이의 I-V특성으로 결정되는 최대출력에 대하여 실제로 전력변환장치에 MPPT 제어기능을 적용하였을 때의 발전된 전력의 비율을 말하며, 다음의 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{MPPT} = \frac{P}{P_{max}} \quad (2)$$

$\eta_{MPPT}$ : MPPT효율

$P_{max}$ : 태양전지 I-V 특성으로 결정되는 최대 전력

P: 인버터가 실제로 발전된 전력

(2) 확도와 오차

$$A_c = \frac{I_{pv}}{I_{max}} \quad A_v = \frac{V_{pv}}{V_{max}} \quad (3)$$

$$E_c = I_{pv} - I_{max} \quad E_v = V_{pv} - V_{max} \quad (4)$$

$A_c, A_v$ : 전류와 전압 확도

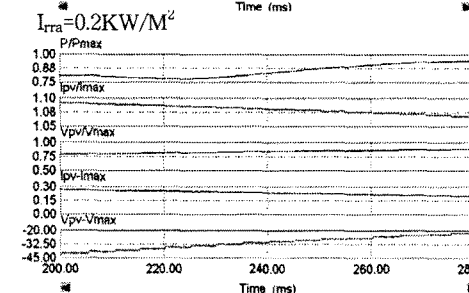
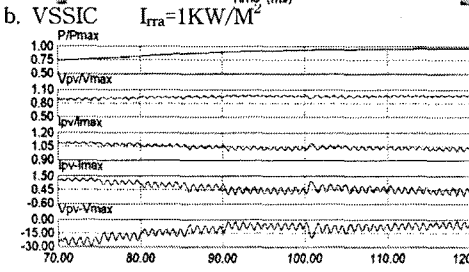
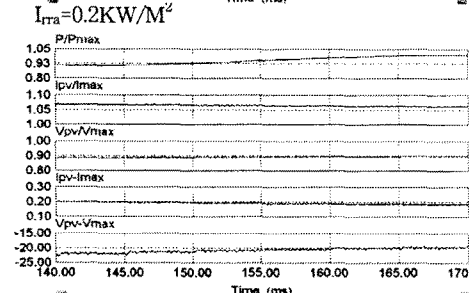
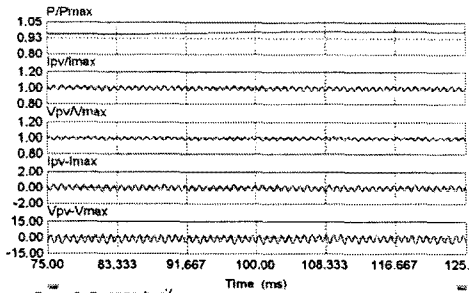
$E_c, E_v$ : 전류와 전압 오

$I_{pv}, V_{pv}$ : 실제 전류와 전압

$I_{max}, V_{max}$ : 최대출력점의 전류와 전압

시뮬레이션 결과(온도는 45°C 인 경우)

a. CVT  $I_{rra}=1KW/M^2$



시뮬레이션 할 때 사용한 파라미터  $P_{max}$ ,  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  와 개방전압  $V_{oc}$ 는 태양전지의 특성 커브를 사용해서 계산하였다. 계산결과는 표 1에 나타났다. 시뮬레이션 결과에 따라 MPPT 효율, 확도 와 오차를 구할 수 있다. 결과는 표 2와 표 3에 나타났다.( $t_{MPPT}$ 는 MPPT시작한 후 첫 번째 최대 출력 점까지 걸리는 시간 이다.)

표1. 최대 출력 점의 파라미터

$I_{rra}(KW/M^2)$	$P_{max}(W)$	$V_{max}(V)$	$I_{max}(A)$	$V_{oc}(V)$
1	2974	206.1	14.14	272.1
0.2	565.2	193.2	2.92	242.3
0.02	53.11	160.1	0.332	160.1

표2. 일사량은  $I_{rra}=1KW/M^2$  이고 온도 $T_a$ 는 45℃일 때

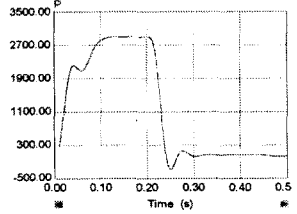
	$\eta_{MPP}$ (%)	$A_c$	$A_v$	$E_c(A)$	$E_v(V)$	$t_{MPPT}(s)$
VSSIC	97.3	1.05	0.95	0.66	-0.10	0.119
CVT	96.8	0.97	1.01	0.45	-1.31	0.104

표3. 일사량은  $I_{rra}=0.2KW/M^2$  이고 온도 $T_a$ 는 45℃일 때

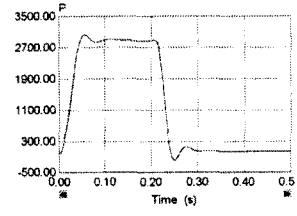
	$\eta_{MPP}$ (%)	$A_c$	$A_v$	$E_c(A)$	$E_v(V)$	$t_{MPPT}(S)$
VSSIC	94.6	1.06	0.90	0.19	-20.1	0.28
CVT	96.2	1.03	0.95	0.17	-19.8	0.17

VSSIC기법 과 CVT제어방법을 서로 결합되어야 추종 성능이 높일 수 있다는 관점을 가지고 만든 two-mode의 추종 성능을 비교하기 위해서 온도는 45℃ 이고 일사량은  $1KW/M^2$ 에서  $0.02KW/M^2$ 로 변화시키고 시뮬레이션을 하였다. 출력 전력의 변화는 다음과 같다.

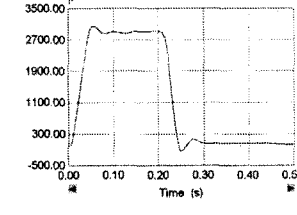
(1) VSSIC (CVT방법시동을 사용하지 않는 경우)



(2) CVT



(3) Two-mode



### 3. 결론

본 논문에서는 환경조건 변화에 따른 태양전지의 동작특성을 극대화시킴으로서 최대전력을 얻어내는 MPPT제어 알고리즘의 추종 및 효율특성을 분석하고 시뮬레이션을 하였다. MPPT성능을 비교하기 위해서 효율, 확도 와 오차를 구하였다. 시뮬레이션 결과에 따라 일사량  $I_{rra}$ 는  $1KW/M^2$  일 때 VSSIC기법 과 CVT방법의 효율은 0.95~0.99정도 된다. CVT제어방법은 정확하지 않기 때문에 일사량이 강할 때 사용하지 않는다. VSSIC 방법은 저 일사량 일 경우 효율이 떨어지거나 추종 실패할 수 있다. 저 일사량 일 때 CVT 방법의 추종 성능이 매우 좋다는 장점을 가지고 만든 Two-mode MPPT방법은 일사량이  $1KW/M^2$ 에서  $0.02KW/M^2$ 로 변할 때 정확도를 보장할 수 있다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

### [참 고 문 헌]

[1] Fangrui Liu, Shanxu Duan, Fei Liu, Bangyin Liu and Yong Kang, "A Variable Step Size INC MPPT Method for P V Systems", IEEE Transactions On Industrial Electronic, vol. 55, no. 7, July 2008.  
 [2] S. Jain and V. Agarwal, "Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid-connected photovoltaic systems", Electric Power Applications, IET, vol 1, pp.753-762, Sept 2007.