

전압과 전류에 기초한 최대전력점추적 기술에 대한 비교와 분석에 관한연구

이춘상, 서영수*, 항락훈* *
* 명지대학교, ** 세명대학교

Comparision and Analyses of Photovoltaic System with Voltage-Based and Current-Based Maximum Power-Point Tracking

C.S. Lee, Y.S. Seo*, L.H. Hwang* *
* Myongji University, ** Semyung University

Abstract - 설명되는 비교와 분석은 두개의 간단하고 빠르면서 신뢰성 있는 광기전력 시스템에 대한 최대전력점추적 기술의 비교를 나타낸다 : 즉 전압에 기초한 최대전력점추적과 전류에 기초한 최대전력점추적 방법이다. 온라인으로 전압, 전류 측정이 가능하고 전압에 기초한 최대전력점추적과 전류에 기초한 최대전력점추적 알고리즘으로 프로그램된 마이크로프로세서로 제어되는 추적기가 구성된다. 솔라 시스템의 부하로는 양수펌프 또는 저항으로 한다. 새로운 추적기의 모델링과 모의실험을 위해 시뮬링크 툴을 이용한다. 기존의 추적기와 비교되는 새로운 최대전력점추적기의 장점은 효율적이며 싸고 더 신뢰성 있는 태양광 발전 시스템으로서 dummy 셀의 제거이다.

1. 서 론

pv 시스템은 전력공업기술에 사용이 증가되고 있다. pv 시스템의 주요 결점은 비선형과 온도에 의존하는 V-I와 P-I 특성에 의한 부분적인 원인으로 비싼 제작비와 낮은 에너지 변환 효율이다. 이런 결점을 극복하기 위하여 다음과 같이 세 가지 본질적인 연구를 할 수 있다.

- 1) 솔라 어레이의 제조과정 개선 즉, pv 세트의 재료와 제조에 관한 실험을 해왔다[1].
- 2) pv 세트의 일사입력을 제어하는 것 즉, 입력되는 태양에너지는 태양을 추적하는 태양 집적기를 이용하여 최대화 하거나, 환경조건의 변화에 대하여 pv 세트의 솔라 셀 구성을 재배열 하는 것 이다[2].
- 3) 솔라 어레이의 출력을 이용 즉, 낮은 전기 효율에 대한 주요원인은 복사에너지 수준, 동작온도, 부하전류에 대한 출력 전압과 전류의 비선형변화 때문이다. 이런 문제를 극복하기 위하여 pv 시스템의 최대전력동작점(주어진 조건에서) 온라인 또는 오프라인 알고리즘을 이용하여 추적하거나 시스템 동작점이 이런 최선의 조건을 향하여 강제되는 것이다[3][4].

본 논문에서, 전압에 기초한 VMPPT[3]와 전류에 기초한 CMPPT[4]로 알려진 (based on "Computaional" methods)두개의 간단하고 강력한 최대전력점추적 기술을 모의실험하고 비교 한다.

2. 본론

2.1 방식과 온도에 따른 솔라 셀 특성

솔라 셀의 비선형 V-I와 P-I 특성은 그림1의 등가회로를 이용할 때 N 개의 직렬과 M 개의 병렬 연결한 셀의 V-I특성은,

$$v_{pv} = \frac{N}{\lambda} \ln\left(\frac{I_{sc} - i_{pv} + MI_0}{MI_0}\right) - \frac{N}{M} R_s i_{pv} \quad (1)$$

여기서, I_{sc} 는 일사량에서 셀의 단락전류, I_0 는 역포화전류, R_s 는 셀의 직렬저항, λ 는 재료에 따른 일정 계수 이다.

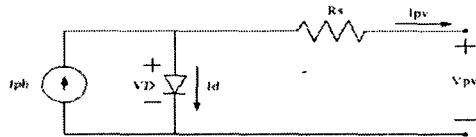


그림 1. 태양전지의 등가회로

표1. 실리콘 솔라 판넬 사양

Current Temp. Coefficient	$\alpha = 0.002086 [A/^{\circ}C]$
Voltage Temp. Coefficient	$\beta = 0.00779 [V/^{\circ}C]$
Reverse Satuation Current	$I_0 = 0.5 \times 10^{-4} [A]$
Short Circuit Cell Current	$I_{ph} = [I_{sc}] = 2.926 [A]$
Cell Resistance	$R_s = 0.0277 [\Omega]$
Cell Material Coefficient	$1/\lambda = 0.049 [1/V]$

본 논문의 비교, 분석을 위하여 사용된 실리콘 솔라 판넬(M=1, N=24) [PSE사에 의해 제조된 PSEM50 셀 사양 이다] 에 대하여 식(1)을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_{pv} = 1.176 \ln\left(\frac{I_{sc} - i_{pv} + 0.00005}{0.00005}\right) - i_{pv} \quad (2)$$

PSE사 판넬에 의해 계산된 식(2)과 측정된 P-I, V-I특성을 그림2에 보여 준다.

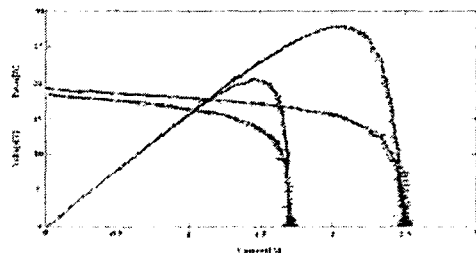


그림 2. 태양전지 어레이의 P-I, V-I 특성곡선

그림 2는 일사량에 관하여 셀의 최대전력점의 변화를 나타낸다. 공급용계도, 온도에 관하여도 V-I특성에 대한

비선형관계가 존재한다. 온도변화의 영향을 고려할 때 식(2)는 같은 일사량에서 다른 온도에 대한 다른 계수를 가질 것이다.

$$v_{pv} = 1.125 \ln\left(\frac{3.005 - i_{pv} + 0.00024}{0.00024}\right) - i_{pv} \quad (3a)$$

$$v_{pv} = 1.211 \ln\left(\frac{2.83 - i_{pv} + 0.00001}{0.00001}\right) - i_{pv} \quad (3b)$$

식(3a) 와 (3b)는 각각 $T=70^{\circ}C$ 와 $T=-20^{\circ}C$ 에서 구한 값이다.

식(2), (3)은 일사량과 온도에 관하여 mpp의 강한 비선형상태를 그림2에 더하여 그리고 매우 효율적인 PV 시스템에 대한 정확한 MPPT의 타당성을 증명한다.

2.2 전압과 전류에 의한 MPPT 기술

다른 일사량에 대한 최대전력에 상응하는 동작점을 결정하기 위하여 식(2)는 셀 전류에 관하여 전력의 2차도 함수를 계산하는데 이용된다. 최대전력에 상응하는 셀 전류와 셀 단락회로 전류 사이에 선형(1차지연) 상태를 보여주기 위하여 수치해석법을 이용한다[4]

$$I_{MP} = M_c I_{SC} \quad (4)$$

이 방정식은 전류에 기초한 최대전력점추적(CMPPT) 기술의 주된 특징을 기술한다.

M_c 는 전류계수라하고 0.86이다. 식(4)는 I_{SC} (“+”신호)에 관하여 계산된(거의선형) I_{MP} 의 상태를 그림3에 좌표로 위치를 결정했다. [3]은 다른 일사량과 온도에 대하여 셀 개방전압에 대한 판넬 배치에 상관없이 선형상태를 나타내는 최대전력에 상응하는 셀전압을 보여준다.

$$V_{MP} = M_v V_{OC} \quad (5)$$

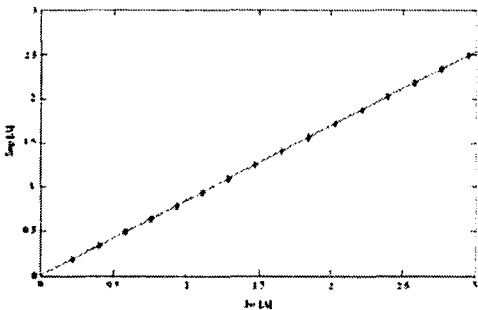


그림 3. I_{SC} (“+”신호)에 관하여 계산된 I_{MP} 의 상태

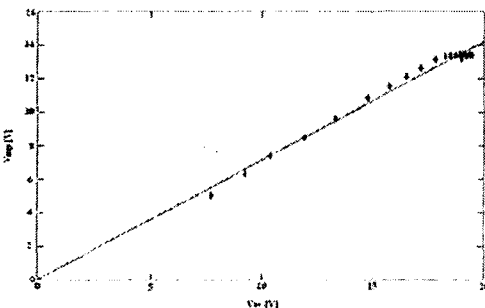


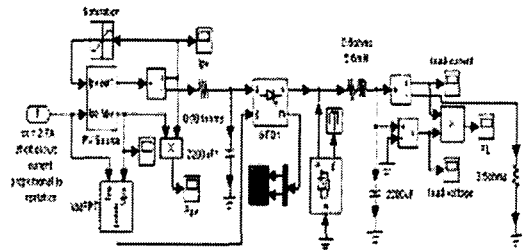
그림 4. V_{OC} (“+”신호)에 관하여 계산된 V_{MP} 의 상태

식 (4)는 전압에 기초한 최대전력점추적(VMPPT)기술 개념을 나타내고 M_v 는 전압계수라하고 0.71이다. 식(5)는 계산된 상태로 그림4에 좌표로 위치를 표시한다. 그림3과 그림4에 준하여 CMPPT와 VMPPT기술은 최대출력점추적을 위한 간단하고 빠른 방법이다.

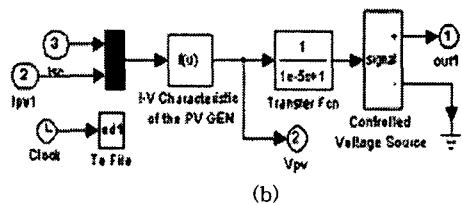
2.3 VMPPT와 CMPPT의 특성

2.3.1기술의 비교

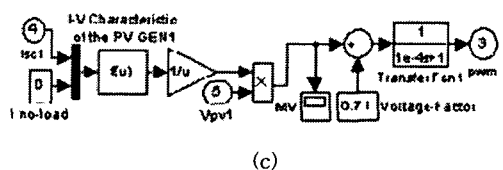
시뮬링크 소프트웨어와 장치는 그림5(a)처럼 VMPPT (buck 모드에서)추적기에 대한 솔라 시스템 저항부하를 설계하는데 사용된다. 솔라셀 등가회로에 대하여, 일사량 측정으로써 셀 단락전류(I_{sc})를 이용하고, 하나의 PSE사 판넬 식(2)의 비선형 V-I특성을 모의실험 하는, 그림5(b)처럼 “PV 전원”으로 부르는 블록을 만든다. 제어된 전압원의 빠른 전류응답을 제한하고 수렴문제를 개선하기 위한 지연 기능을 도입한다. 전압에 기초한 MPPT 등가 회로에 대하여, 그림5(c)처럼 “VMPPT” 블록을 이용한다. 이 블록은 개방전압(단락전류와 식(2)를 이용하고, 식(5)를 이용하여 PV 출력전압과 함께 비교하고 펄스폭 변조 블록에 대하여 점호명령을 연산한다)을 계산한다. 그림5(b)처럼 같은 이유로 지연 함수를 도입한다. 그림6은 “PV전원” 블록에서 그림5의 계산된 전압, 전류, 전력 특성과 3.5[Ω] 저항부하일 때 특성을 나타낸다. VMPPT(buck mode)에 관한 PV시스템 저항부하에 대한 측정결과와 계산된 결과가 양호하게 일치한다. 얻어진 최대전력은 약32W이다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. VMPPT에 대한 저항부하 PV시스템 시뮬레이션 ; (a)회로도 (b)PV 전원 블록 (c)VMPPT 블록

buck/boost의 boost 모드에 대하여 직렬 스위치를 비동작하고 병렬 스위치를 동작하고, 다이오드를 옮겨서, 인덕터 뒤에 놓는다 그리고 부하저항을 $15.5[\Omega]$ 으로 증가한다. 그림7에 VMPPT boost-mode에 대한 결과를 모의실험하여 나타낸다. CMPPT과 저항과 모터부하에 대한 PV 시스템 뿐 만 아니라, VMPPT와 모터 부하에 대한 PV 시스템에 대하여 얻어진 결과는 비슷하다.

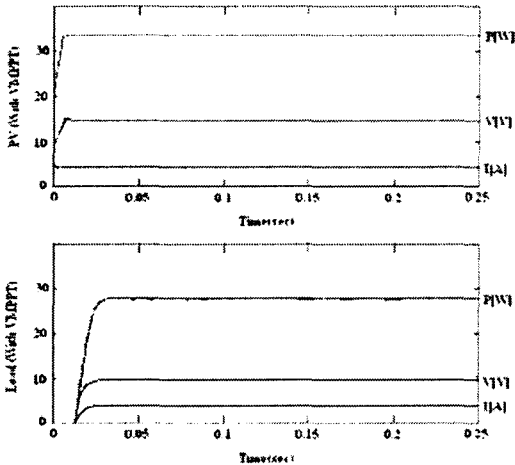


그림 6. VMPPT(buck mode)에 관한 PV 시스템 저항부하에 대한 측정결과 PV전원 블록에서 계산된 전압, 전류, 전력 특성(위)과 $3.5[\Omega]$ 저항부하일 때(아래) 특성

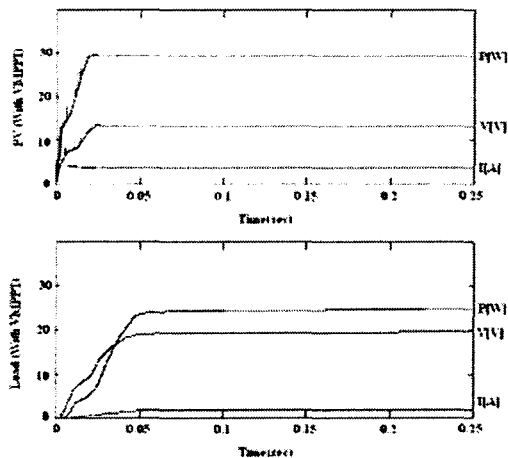


그림 7. VMPPT(buck mode)에 관한 PV 시스템 저항부하에 대한 측정결과 PV전원 블록에서 계산된 전압, 전류, 전력 특성(위)과 $15.5[\Omega]$ 저항부하일 때(아래) 특성

2.3.2. 시뮬레이션 결과 및 고찰

이론에 기초한 (그림3-7) 본 논문의 연구는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다..

(1) VMPPT 와 CMPPT 기술은 모든 일사량과 온도조건하에 PV 발전기의 최대출력점 추정에 대하여 빠르고, 실용적이고, 강력한 방법이다.

(2) 부하특성, 환경요소(일사량, 온도,), 사용된 추적기에 따라 출력전력이 증가한다.

(3) 양 형태의 추적기가 부하특성에 따라 buck 또는 boost 컨버터가 다 사용되는 것은 아니다

(4) PV 단락전류와 출력전류의 온라인 측정은 전압측정만 필요로 하는 VMPPT에 비해 CMPPT는 더 비싸고, 복잡하다

3. 결 론

PV 시스템의 MPPT에 대한 두개의 강력하고 실용적인 방법이 연구되고 비교되었다. 이론적인 해석을 위하여 "Matlab" 과 "Simulink" 장치를 사용했고, VMPPT 와 CMPPT 기술 수행 능력이 있는 마이크로프로세서가 도입된 다목적 추적기를 사용하여 구성하고 이용하였다. 앞에서 나타낸 결과에 의거하여 다음과 같은 결론을 규정할 수 있다.

(1) CMPPT기술로 사용되는 선형 전류 작용은 VMPPT 기술의 선형 전압 작용에 비해서 실질적인 비선형 PV 특성 이 더 정밀하게 근사화 된다.

(2) VMPPT 기술이 물론 더 효과적이고 회로 손실이 적다. (특히 buck 모드 추적기 에서)

위와 같은 결과에 따라서, 최적의 MPPT 방법론은 부하 매칭 과 추적기 특성에 좌우된다. 어떤 전형적인 PV부하에 대하여 자연성질, 이점, CMPPT 와 VMPPT 기술의 한계를 고려할 때, 가격, 효율, 잡음 면에서 저전압, 고전류를 필요로 하는 PV 부하(축전지, 저저항부하)는 VMPPT 시스템에 적합하고, 고전압, 저전류에 대한 PV 부하는(전동기, 높은 저항부하) VMPPT나 CMPPT에 적합할 수 있지만, VMPPT 기술 이 고효율, 저잡음, 저가격과 함께 하드웨어가 간단하다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. S. Rauschenbach, Solar Cell Array Design Handbook; *The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion*. New York; Van Nostrans, 1980.
- [2] K. E. Teager, " Electric vehicles and solar power: Enhancing the advantages of electricity," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 12, Oct. 1992.
- [3] _, "Design, construction and testing of a voltage-based maximum power point tracker(VMPPT) for small satellite power supply," in *13th Annu. AIAA USU Conf. small Satellite*, Aug. 23-26, 1999.
- [4] S. M. Alghuwainem, "Matching of a dc motor to a photovoltaic generator using a step up converter with a current-locked loop," *IEEE Trans. Energy Conversion* , vol. 9,pp. 192-198, Mar. 1994