

온도측정 기반의 최적전압을 이용한 PV 시스템의 TMOV MPPT 제어

(TMOV MPPT Control of PV System with Temperature Measurement based Optimal Voltage)

고재섭* · 정동화**

(Jae-Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

Abstract

The characteristics of I-V and P-V of solar cell nonlinearly changes according to irradiation, temperature and load. Therefore, to use efficiently PV system, operating point must be always operating at maximum power point. Also, PV system is semiconductor, so it generates loss by temperature. But because of conventional MPPT methods are not considering temperature, it has problem which decrease efficiency. This paper proposes temperature measurement based optimal voltage(TMOV) MPPT algorithm using temperature measurement based optimal voltage. It analyzes characteristics of solar cell according to irradiation and temperature and conventional MPPT methods. The TMOV control algorithm proposed in this paper is compared and analyzed conventional MPPT methods. The validity of this paper proves using this result.

Key Words : Photovoltaic, MPPT, Temperature, Optimal Voltage

1. 서 론

현재 기존의 화석연료 고갈 위험이 가시화되면서 연료 가격이 폭등하고 화석연료의 사용으로 인해 대기 오염과 산성비, 석유 유출 사고로 인한 환경 훼손, 지구 온난화 등의 환경 문제가 발생하고 있다. 이로 인해 기후변화협약의 규제가 강화되어 친환경 에너지원

인 신·재생 에너지에 대한 관심이 급증하고 있다. 신·재생 에너지원 중 차세대 발전 시스템으로 각광 받고 있는 태양광 에너지는 실용적이고 경제적이며 모듈화되어 있어 언제든지 추가로 설치가 가능하다. 또한 연료전지에 비해 시스템 구성비용이 저가이다. 이러한 태양광 발전시스템은 전체 효율을 높이기 위해 환경 변화를 고려하여 항상 최대 전력점에서 운전할 수 있는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

종래의 대표적인 MPPT 제어 방법으로는 CV(Constant Voltage), PO(Perturbation and Observation), IC(Incremental Conductance)방법 등이 있다[1-9]. 그러나 이러한 방식들은 자려 진동이 크고, 일사량이 급변했을 때 최대 전력점을 벗어나고, 고성능 CPU가 필

* 주저자 : 순천대학교 전기제어공학과
** 교신저자 : 순천대학교 전기제어공학과
* Main author : Suncheon National Univ, Ph.D.
** Corresponding author : Suncheon National Univ,
Department of Electric Control Engineering
Tel : 061-750-3540, Fax : 061-725-1103
E-mail : hwa777@suncheon.ac.kr
접수일자 : 2012년 3월 2일
1차심사 : 2012년 3월 6일
심사완료 : 2012년 10월 24일

요하다는 단점이 있다. 따라서 알고리즘이 간단하고 자려 진동이 적으며 환경변화에 강인한 MPPT 기법에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 태양전지의 원리와 태양전지의 $I-V$, $P-V$ 곡선의 비선형 특성을 분석하여 온도 측정 기반의 최적 전압을 이용한 PV 시스템의 TMOV MPPT 제어를 제시한다. 본 논문에서는 온도 측정 기반의 최적 전압을 이용한 새로운 TMOV MPPT 알고리즘을 PV 시스템에 적용하고 종래의 알고리즘과 비교·분석을 통해 본 논문의 타당성을 입증한다.

2. 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로를 나타내며, 태양전지의 출력전류에 대한 식은 다음 등가회로를 기반으로 식 (1)~(3)과 같이 나타낼 수 있다.

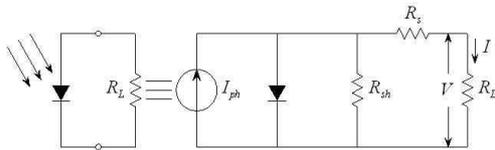


그림 1. 태양전지의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

$$I = I_{ph} - I_o \left\{ \exp \left[\frac{q}{AkT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_o = I_{or} \left[\frac{T_c}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qE_g}{Bk} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2)$$

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I(T_c - T_r)] \frac{S}{S_{ref}} \quad (3)$$

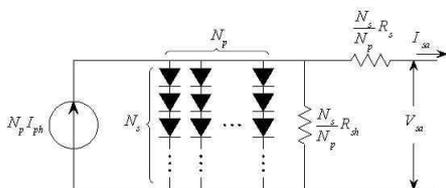


그림 2. 태양전지 어레이의 등가회로
Fig. 2. The equivalent circuit of PV array

전류와 전압을 얻기 위해서 태양전지들을 그림 2와 같이 직·병렬 조합하여 사용하게 된다.

이 경우 N_p 개의 병렬연결과 N_s 개의 직렬연결을 가진 태양전지 어레이의 출력 전류 식은 다음과 같다 [10].

$$I_{sa} = N_p I_{ph} - N_p I_o \left\{ \exp \left[\frac{q}{AKT} \left(\frac{V_{sa} + I_{sa} R_s}{N_s} \right) \right] - 1 \right\} - \frac{1}{R_{sh}} \left(\frac{V_{sa} + I_{sa} R_s}{N_s} \right) \quad (4)$$

표 1. 태양전지 모델링의 파라미터
Table 1. Parameter of solar cell modeling

I	셀 출력 전류 [A]
V	셀 출력 전압 [V]
I_{ph}	광 전류 [A]
I_o	셀 역 포화 전류 [A]
I_{or}	기준온도 T_r 에서 셀 포화 전류 [A]
T_c	셀 온도 [K]
T_r	기준 온도 [K]
q	전하량 (1.6×10^{-19} [C])
E_g	에너지 밴드 갭
A, B	이상적인 factor
k	볼츠만 상수 (1.3805×10^{-23} [J/K])
R_s	직렬 저항 [Ω]
R_{sh}	병렬 저항 [Ω]
K_I	단락전류 I_{sc} 에서 온도 계수
S	일사량 [W/m^2]
S_{ref}	기준 일사량 ($1000[W/m^2]$)
N_s	직렬로 연결된 태양전지 수
N_p	병렬로 연결된 태양전지 수
I_{sa}	태양전지 어레이 출력 전류 [A]
V_{sa}	태양전지 어레이 출력 전압 [V]

3. 종래의 MPPT 제어 알고리즘

CV MPPT 방식은 일정한 PV 출력 전압을 공급하

기 위하여 DC-DC 컨버터 듀티비 D 를 제어한다. 태양전지의 출력 전압은 일사량의 변화에 대해서 거의 변화하지 않는 정전압 특성을 가지고 있으므로 V_{ref} 을 V_{oc} 의 76%배로 설정하고 V_{PV} 과 비교하여 듀티비 D 를 제어하는 방법이다. 그림 3은 CV 방식의 제어 알고리즘을 나타내고 있다.

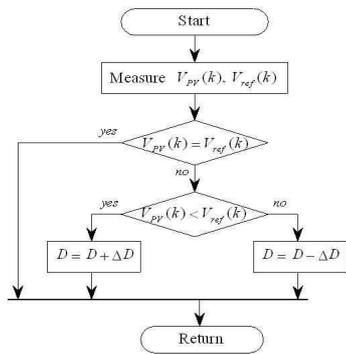


그림 3. CV 방법의 제어 알고리즘
Fig. 3. Control algorithm of CV method

이러한 CV 방식은 전력을 계산하지 않으므로 전류 센서가 필요하지 않아 알고리즘이 간단하고 환경 변화에 즉각적인 대응이 가능하지만 정상상태에서 자려 진동이 크게 발생하고 성능이 매우 낮다.

PO MPPT 방식은 태양전지의 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 최대 전력점을 추적하는 방법으로 가장 많이 이용되고 있다. PO 방식의 동작 상태는 그림 4와 같이 4가지로 구분할 수 있다. 그림 4 (a)은 $\Delta P_{PV} > 0$ 고 $\Delta V_{PV} > 0$ 인 경우이고, 그림 4 (b)은 $\Delta P_{PV} > 0$ 고 $\Delta V_{PV} < 0$ 인 경우이고, 그림 4 (c)은 $\Delta P_{PV} < 0$ 고 $\Delta V_{PV} > 0$ 인 경우이며, 그림 4 (d)은 $\Delta P_{PV} < 0$ 고 $\Delta V_{PV} < 0$ 인 경우이다.

그러나 PO 방식은 최대 전력점에 도달하였을 때를 고려하지 않기 때문에 정상상태에서 자려 진동한다. 그 결과 PV 시스템에 손실이 발생하게 된다.

IC MPPT 방식은 태양전지의 $P-V$ 출력곡선의 기울기를 이용하는 방식으로 그 특성이 안정적이고, 구현방식이 간단하다. 그림 5는 IC MPPT의 제어 원리를 나타낸다. IC MPPT는 그림 5의 $P-V$ 특성곡선에

서 MPP에서 $P-V$ 특성곡선의 기울기가 0이라는 것을 이용하여 최대전력점을 찾는 방식이다.

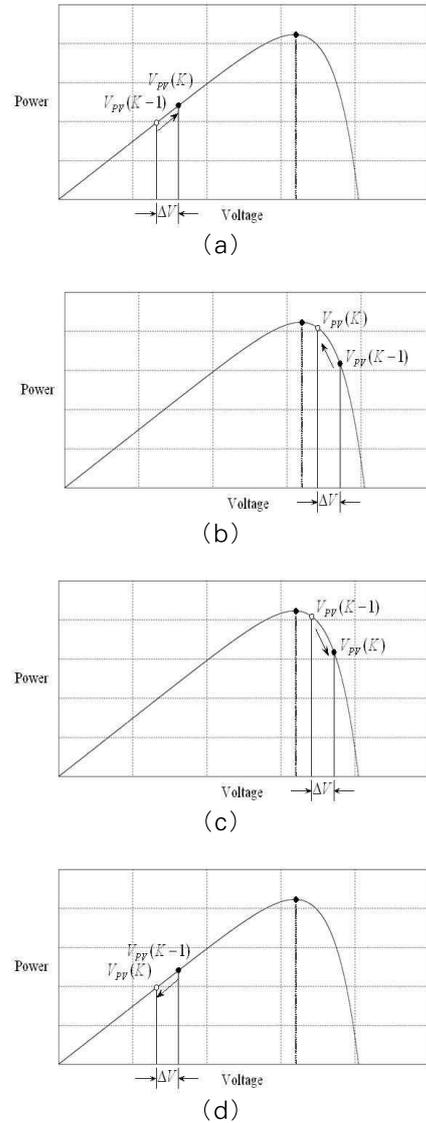


그림 4. 동작점 변위의 다양한 경우
Fig. 4. Various cases of displacement of operating point

태양전지의 $P-V$ 출력곡선의 기울기는 dP_{PV}/dV_{PV} 로 나타낼 수 있다. 그림 5에서 최대전력점은 B점에 위치하고 있으며, 이때의 기울기는 0이다. 최대전력점을 기준으로 왼쪽은 양의 기울기를 가지고, 오른쪽은 음의 기울기를 가지고 있음을 알 수 있다.

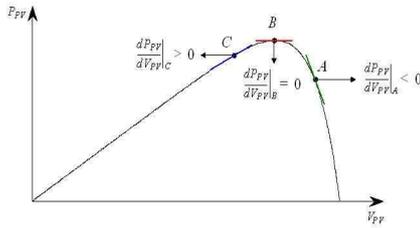


그림 5. IC MPPT의 제어 원리
Fig. 5. Control theory of IC MPPT

IC의 기울기인 dP_{PV}/dV_{PV} 를 전압과 전류의 식으로 변환하면 다음과 같다.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \frac{d(V_{PV}I_{PV})}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (5)$$

식 (5)을 위의 그림 2에 적용하면 A점, B점, 그리고 C점에서 다음 식 (6)~(11)과 같이 나타난다.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad (\text{at Point A}) \quad (6)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (\text{at Point B}) \quad (7)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \quad (\text{at Point C}) \quad (8)$$

위의 식 (6)~(8)을 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{I_{PV}}{V_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (\text{at MPP}) \quad (9)$$

$$\frac{I_{PV}}{V_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \quad (\text{left of MPP}) \quad (10)$$

$$\frac{I_{PV}}{V_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad (\text{right of MPP}) \quad (11)$$

즉 식 (9)~(11)의 부호에 의해서 현재 동작점의 위치를 판별할 수 있다.

4. 제시한 MPPT 제어 알고리즘

본 논문에서 제시한 TMOV 방식은 온도 측정 기반의 최적 전압을 이용하여 최대 전력점을 추적하는 방식이다. TMOV 방식의 주목적은 IC 방식의 최대 전력점 추적속도와 정확성의 장점과 CV 방식의 구현이 용이한 장점을 혼합한 방식이다.

그림 6은 본 논문에서 사용된 MPPT 시스템으로 기존의 전류센서 대신 태양전지 모듈의 뒷 표면에 고정된 온도 센서로 대체된다.

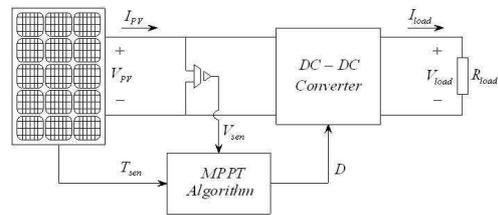


그림 6. 전압과 온도 센서를 이용한 MPPT 시스템
Fig. 6. MPPT system using voltage and temperature sensors

본 논문에서 사용된 MPPT 방식의 출력 전압 식은 식 (12)와 같고 태양전지 표면의 온도와 직접적으로 비례한다.

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp}(T_{ref}) + u_{Vmpp}(T - T_{ref}) \quad (12)$$

여기서, $V_{mpp}(T)$ 는 현재 최대 전력점 전압이고 $V_{mpp}(T_{ref})$ 는 기준 온도에서의 최대 전력점 전압이고 u_{Vmpp} 는 V_{mpp} 의 온도 계수이고 T 는 PV 시스템의 온도이며 T_{ref} 는 기준 온도이다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식은 PV 시스템의 출력 전압 V_{PV} 과 온도 T 를 측정하여 현재 온도에서의 최적 전압 값 $V_{mpp}(T)$ 을 계산하고 이 값을 이용하여 듀티비 ΔD 를 구한다.

$$\Delta D = [V_{PV} - V_{mpp}(T)]k_{\Delta D} \quad (13)$$

여기서 상수 $K_{\Delta D}$ 는 듀티비 ΔD 의 크기를 정의하는

데 사용된다.

그림 7은 본 논문에서 제시한 TMOV 방식의 제어 알고리즘이다.

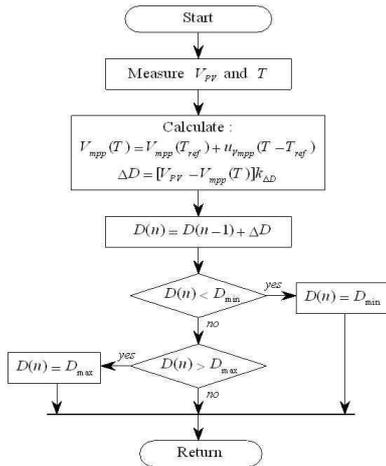


그림 7. TMOV 방식의 제어 알고리즘
Fig. 7. Control algorithm of TMOV method

5. 성능시험 및 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능 검증을 위한 회로도는 그림 8과 같다. 여기서 PV_modeling.dll은

일사량과 온도를 고려한 PV 시스템을 나타낸 DLL이고, temp.dll은 시간에 따른 온도를 변화시키기 위한 DLL(Dynamic Link Library)이며, solar.dll은 시간에 따른 일사량을 변화시키기 위한 DLL이다. 본 논문에서 제시한 MPPT 제어는 Proposed_MPPT.dll에서 수행한다. PV 모듈의 파라미터는 AM 1.5, 온도 25°C 및 일사량 1,000W/m²의 실험조건에서 측정된 값을 나타낸다.

그림 9는 PV 시스템의 MPPT 제어 응답특성을 나타낸다. 그림 9 (a)은 CV 방식, 그림 9 (b)은 PO 방식, 그림 9 (c)은 IC 방식, 그림 9 (d)는 본 논문에서 제시한 TMOV 방식에 의한 출력 전력을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 CV 방식만큼 추적 속도가 빠르고 자려 진동이 거의 없으므로 종래의 방식보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 온도가 25°C로 일정하고 일사량이 0.5초에 1000W/m²에서 500W/m²으로 급변했을 때 조건에 대한 PV 시스템의 MPPT 제어 응답특성을 나타낸다. 그림 10 (a)은 CV 방식, 그림 10 (b)은 PO 방식, 그림 10 (c)은 IC 방식, 그림 10 (d)은 본 논문에서 제시한 TMOV 방식에 의한 출력 전력을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 오버슈트가 가장 작고 자려

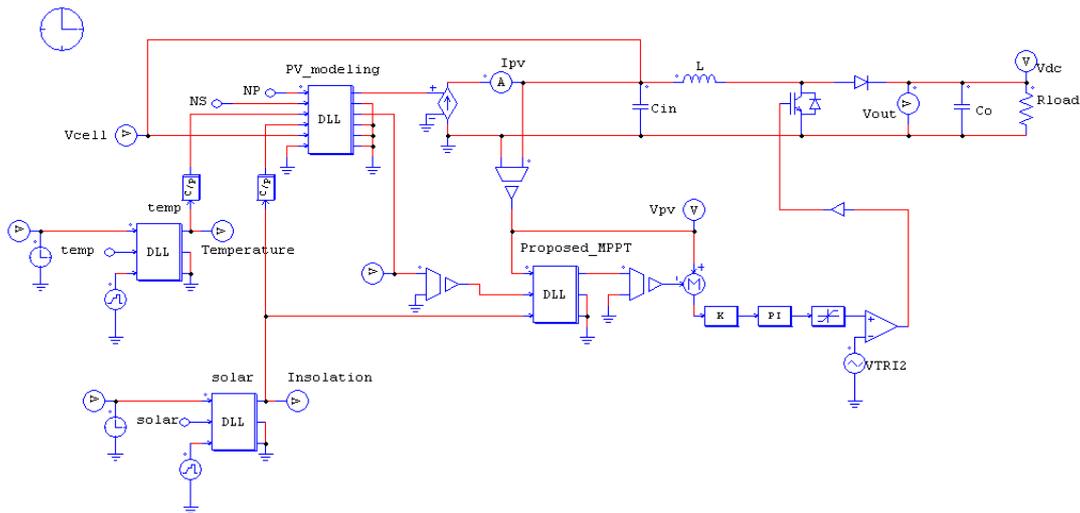
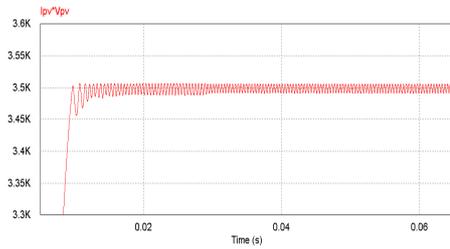
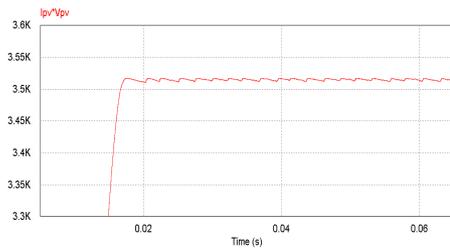


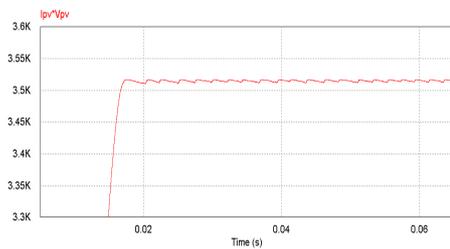
그림 8. MPPT 제어를 위한 회로도
Fig. 8. Circuit for MPPT control



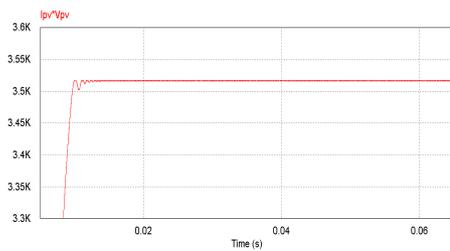
(a) CV 방식



(b) PO 방식



(c) IC 방식

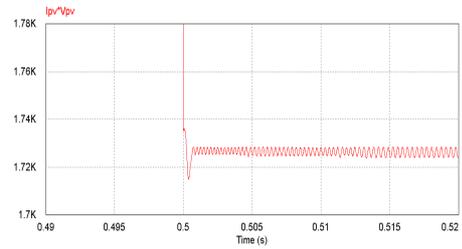


(d) 제시한 TMOV 방식

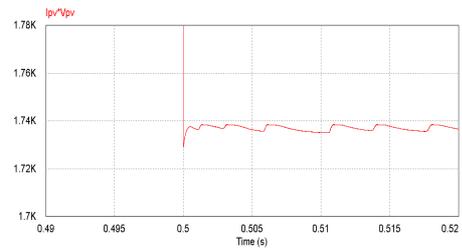
그림 9. MPPT 제어 응답특성 비교
Fig. 9. Comparison of MPPT control response characteristic

진동이 거의 없으므로 종래의 방식에 비해 더욱 우수한 응답특성을 나타낸다.

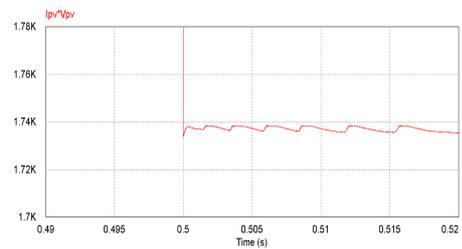
그림 11은 일사량이 1000W/m²으로 일정하고 온도



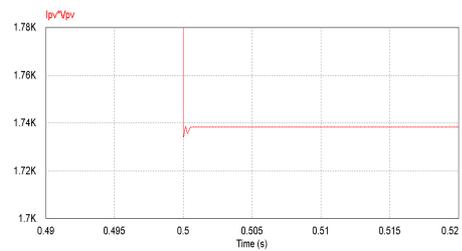
(a) CV 방식



(b) PO 방식



(c) IC 방식



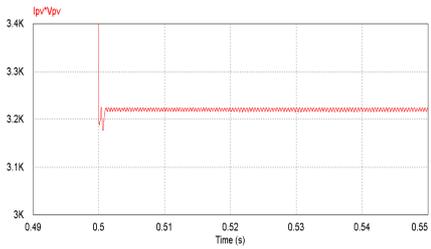
(d) 제시한 TMOV 방식

그림 10. MPPT 제어 응답특성 비교
Fig. 10. Comparison of MPPT control response characteristic

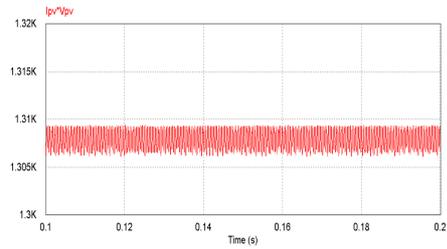
가 0.5초에 25℃에서 45℃로 급변하였을 때 조건에 대한 PV 시스템의 MPPT 제어 응답특성을 나타낸다.

그림 11 (a)는 CV 방식, 그림 11 (b)는 PO 방식, 그림

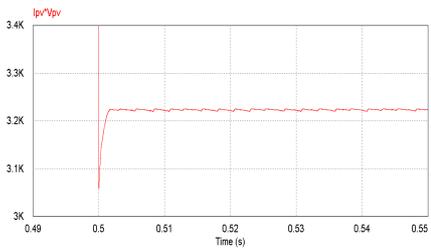
온도측정 기반의 최적전압을 이용한 PV 시스템의 TMOV MPPT 제어



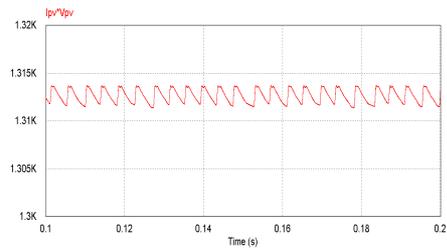
(a) CV 방식



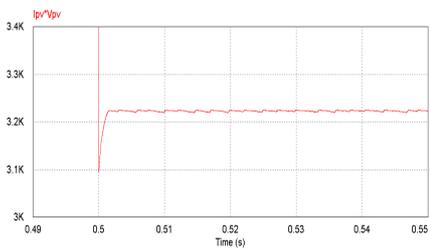
(a) CV 방식



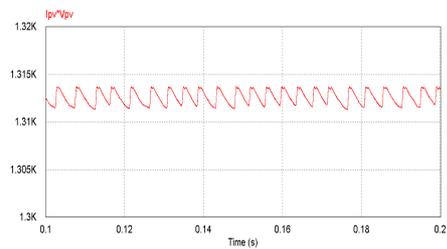
(b) PO 방식



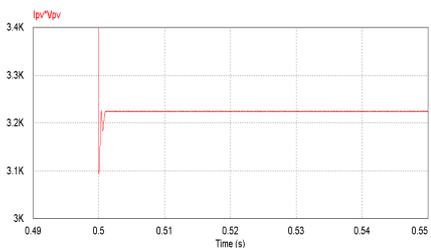
(b) PO 방식



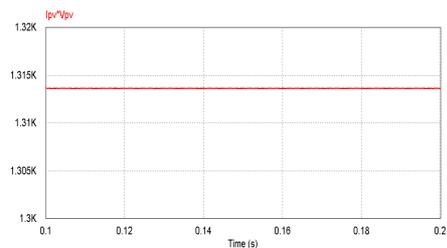
(c) IC 방식



(c) IC 방식



(d) 제시한 TMOV 방식



(d) 제시한 TMOV 방식

그림 11. MPPT 제어 응답특성 비교
Fig. 11. Comparison of MPPT control response characteristic

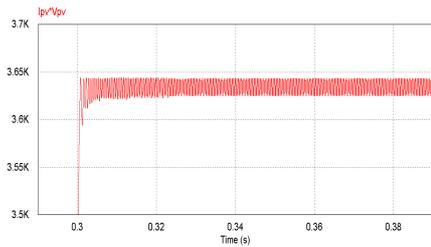
그림 12. MPPT 제어 응답특성 비교
Fig. 12. Comparison of MPPT control response characteristic

11 (c)는 IC 방식, 그림 11 (d)는 본 논문에서 제시한 TMOV 방식에 의한 출력 전력을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 CV 방식에 비해 오버슈트

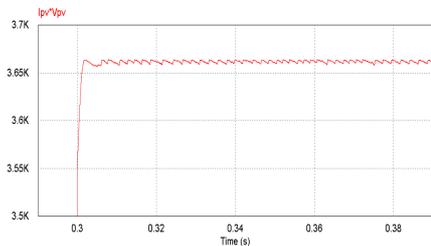
는 크나 자려 진동이 현저하게 작으므로 전체적인 효율은 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 가장 우수함을 알 수 있다.

그림 12는 0.3초와 0.7초에 일사량은 $400\text{W/m}^2 \rightarrow 1000\text{W/m}^2 \rightarrow 700\text{W/m}^2$ 으로 급변하고 온도는 $35^\circ\text{C} \rightarrow 15^\circ\text{C} \rightarrow 45^\circ\text{C}$ 로 급변하였을 때 조건에 대한 PV 시스

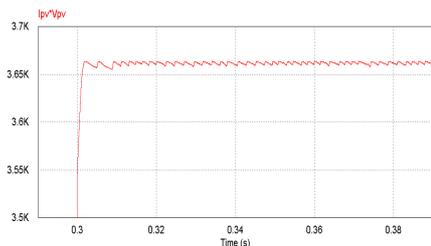
템의 MPPT 제어 응답특성을 나타낸다. 그림 12 (a)는 CV 방식, 그림 12 (b)는 PO 방식, 그림 12 (c)는 IC 방식, 그림 12 (d)는 본 논문에서 제시한 TMOV 방식에



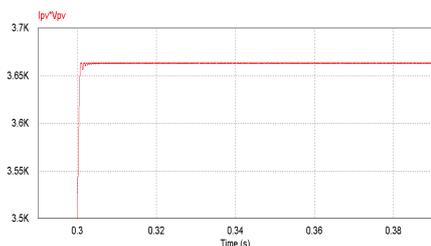
(a) CV 방식



(b) PO 방식

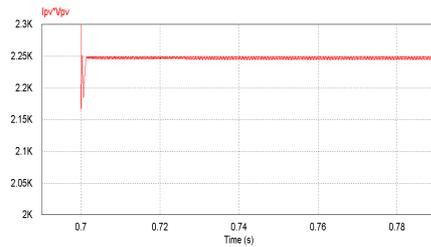


(c) IC 방식

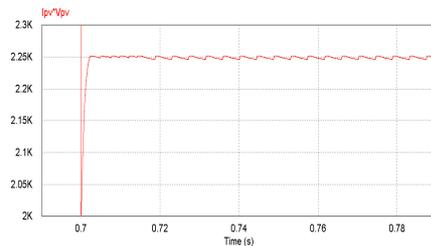


(d) 제시한 TMOV 방식

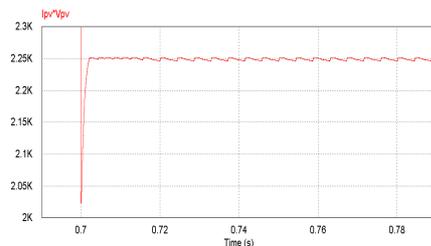
그림 13. MPPT 제어 응답특성비교
Fig. 13. Comparison of MPPT control response characteristic



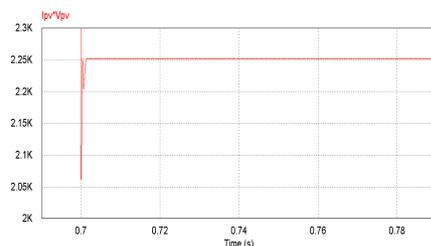
(a) CV 방식



(b) PO 방식



(c) IC 방식



(d) 제시한 TMOV 방식

그림 14. MPPT 제어 응답특성
Fig. 14. Comparison of MPPT control response characteristic

의한 출력 전력을 나타낸다. 종래의 방식에 비해 본 논문에서 제시한 TMOV 방식의 자려 진동이 거의 없다는 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 0.3초에서 0.7초 구간(일사량 $1000\text{W}/\text{m}^2$, 온도 15°C)에서의 출력 특성을 비교하기 위한 그림이다. 그림 13 (a)는 CV 방식, 그림 13 (b)는 PO 방식, 그림 13 (c)는 IC 방식, 그림 13 (d)는 본 논문에서 제시한 TMOV 방식을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 종래의 방식보다 자려 진동이 현저하게 작다는 것을 알 수 있다.

그림 14는 0.7초에서 1초 구간(일사량 $700\text{W}/\text{m}^2$, 온도 45°C)에서의 출력 특성을 비교하기 위해 확대한 그림이다. 그림 14 (a)는 CV 방식, 그림 14 (b)는 PO 방식, 그림 14 (c)는 IC 방식, 그림 14 (d)는 본 논문에서 제시한 TMOV 방식을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 CV 방식에 비해 오버슈트는 크나 자려 진동이 현저하게 작으므로 전체적인 효율은 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 가장 우수하다.

6. 결 론

본 논문에서는 PV 시스템의 온도 측정을 기반으로 최적 전압을 구하여 최대 전력점을 추적하는 TMOV MPPT 방식을 제시하였다. 태양전지는 반도체이므로 온도 상승에 따라 시스템의 효율이 크게 떨어지는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 PV 시스템의 온도에 따른 영향을 최소화하기 위해 전압과 온도 센서를 이용하여 최대 전력점을 추적하였다.

본 논문에서는 PSIM 프로그램을 이용하여 제시한 TMOV 방식의 성능을 검증하였고, 일사량 및 온도 변화에 대해 종래의 MPPT 방식과 응답성능을 비교·분석하였다. 본 논문에서 제시한 온도 측정 기반의 최적 전압을 이용한 TMOV 방식은 종래의 CV, PO 및 IC 방식과 응답성능을 비교·분석하였고, 본 논문에서 제시한 TMOV 방식이 종래의 MPPT 제어 방식보다 더욱 우수한 응답특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며 본 논문에서

얻은 결과는 다음과 같다. 본 논문에서 제시한 TMOV 방식은 일사량과 온도가 일정할 때, 자려 진동이 거의 없을 뿐만 아니라 빠른 속도로 정상상태에 도달하였다. 또한 온도 및 일사량과 같은 파라미터가 급변하였을 때 종래의 CV 방식보다 오버슈트는 다소 높게 나타났으나 정상상태에서 오차가 현저하게 감소하여 전체적인 효율이 더욱 높게 나타났으며, PO 및 IC 방식에 비해 추적속도 및 정확도도 우수하게 나타났다. 따라서 본 논문에서 제시한 온도 측정 기반의 최적 전압을 이용한 TMOV MPPT 방식이 종래의 MPPT 방식에 비해 양호한 응답성능을 나타내었으므로 본 논문의 타당성을 입증할 수 있었다.

References

- [1] Sera D., Kerekes T., Teodorescu R. and Blaabjerg F., "Improved MPPT Algorithms for Rapidly Changing Environmental Conditions", IEEE Power Electronics and Motion Control Conference, pp. 1614-1619, 2006.
- [2] Hohm D.P. and Ropp M.E., "Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1699-1702, 2000.
- [3] V. Salas, E. Olas, A. Barrado, A. Lzaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, Issue 11, pp. 1555-1578, 2006.
- [4] Chee Wei Tan, Green T.C. and Hernandez-Aramburo C.A., "Analysis of perturb and observe maximum power point tracking algorithm for photovoltaic applications", IEEE 2nd International Power and Energy Conference, pp. 237-242, 2008.
- [5] Boico F. and Lahman B. "Study of Different Implementation Approaches for a Maximum Power Point Tracker", IEEE Computers in Power Electronics, pp. 15-21, 2006.
- [6] T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Doumbia, A. Chriti, "An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems", Renewable Energy, Vol. 33, Issue 7, pp. 1508-1516, 2008.
- [7] Bangyin Liu, Shanxu Duan, Fei Liu, Pengwei Xu, "Analysis and Improvement of a Maximum Power Point Tracking Algorithm Based on Incremental Conductance Method for Photovoltaic Array", IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp. 637-641, 2007.
- [8] N. Kasa, T. Iida and L. Chen, "Flyback inverter controlled by sensorless Current MPPT for photovoltaic power

system," IEEE Transactions on IE, vol. 52, no. 4, pp. 1145-1152, 2005.

- [9] Hussein K.H., Muta I., Hoshino T., Osakada M., "Maximum photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings, Vol. 142, Issue 1, pp. 59-64, 1995.
- [10] T. J. Liang, Y. C. Kuo, and J. F. Chen, "Single-stage photovoltaic energy conversion system," Proc. Inst. Electr. Eng. - Electr. Power Appl., vol. 148, no. 4, pp. 339 - 344, Jul. 2001.



정동화 (鄭東和)

1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수.

Tel : (061)750-3543,

Fax : (061)752-9841

E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr

◇ 저자소개 ◇



고재섭 (高在涉)

1980년 2월 2일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업. 2007년 3월~동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (061)750-3540

Fax : (061)752-1103

E-mail : kokos22@scnu.ac.kr