

퍼지 PI 제어를 이용한 태양광 발전시스템의 MPPT 제어

(The MPPT Control of Photovoltaic System using the Fuzzy PI Controller)

고재섭* · 정동화**

(Jae-Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

Abstract

This paper proposes the fuzzy PI controller for maximum power point tracking(MPPT) control of photovoltaic system. The output characteristics of the solar cell are a nonlinear and affected by a temperature, the solar radiation. The MPPT control is a very important technique in order to increase an output and efficiency of the photovoltaic system. The conventional perturbation and observation(PO) and incremental conductance(IC) are the method which finding maximum power point(MPP) by the continued self-excitation vibration, and uses the fixed step size. If the fixed step size is a large, the tracking speed of maximum power point is faster, but the tracking accuracy in the steady state is decreased. On the contrary, when the fixed step size is a small, the tracking accuracy is increased and the tracking speed is slower. Therefore, this paper proposes the MPPT control using the fuzzy PI controller that can be improve a MPPT control performance. The fuzzy PI controller is adjusted a input of PI controller by fuzzy control and compensated a cumulative error of fuzzy control by PI controller. The fuzzy PI MPPT control is compared to conventional PO and IC MPPT method for various temperature and radiation condition. This paper proves the validity of the fuzzy PI controller using these results.

Key Words : Lighting Simulation Software, Mock-Up Experiment, Daylight, Evaluation of Daylight

1. 서 론

오늘날 대부분의 에너지는 석탄, 원유, 천연가스 등의 에너지원에 많이 의존 하고 있다. 그러나 화석연료는 사용량이 한정적이기 때문에 가격이 상승하고 있으며 환경오염을 일으키는 원인이 된다. 따라서 전 세계적으로 새로운 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고 환경오염의 주원인인 화석연료 대신하여 친환경 에너지원인 태양광 발전시스템에 대한 관심이

* 주저자 : 순천대학교 공학박사
** 교신저자 : 순천대학교 전기제어공학과
* Main author : Suncheon National Univ. Doctor of Engineering
** Corresponding author : Suncheon National Univ. Department of Electric Control Engineering
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-750-3540
E-mail : hwa777@suncheon.ac.kr
접수일자 : 2012년 12월 31일
1차심사 : 2013년 9월 30일, 2차심사 : 2013년 10월 4일
심사완료 : 2014년 1월 2일

급증하고 있다.

태양광 발전시스템의 최대전력점은 일사량과 온도에 따라 변하기 때문에 출력 효율을 증가시키기 위해 항상 최대전력점에서 동작하도록 최대전력점을 추적하는 기술은 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다. 따라서 이러한 최대전력점을 추적하기 위하여 CV, PO 및 IC 방법들이 연구되었다[1-3]. CV 방법은 개방전압에 따른 기준 전압을 이용하여 최대전력점을 추적하는 방법이기에 때문에 정확한 최대전력점을 추적할 수 없는 단점이 있으며 PO 및 IC 방법은 태양광 발전의 동작점에 따라서 기준전압을 증·감시키는 방법이다. 그러나 일반적인 PO 및 IC 방법은 기준전압을 제어하기 위해 적절한 스텝 크기를 선택해야 한다. 고정된 스텝 크기는 값이 클 경우 최대전력점 주변에서 큰 진동 때문에 정상상태에서 오차가 크게 발생하고 스텝 크기의 값이 작을 경우에는 부하 또는 일사량 조건에 급격하게 변화할 경우에 동적 응답 성능이 낮아지는 단점이 있다[4-6].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 산업현장에서 가장 많이 사용하는 PI 제어와 퍼지제어를 이용한 MPPT 제어를 제시한다. 일반적인 PI 제어기는 고정된 이득값을 가지기 때문에 과도상태 또는 정상상태 모두를 만족시키기 어렵다. 또한 퍼지제어는 정량적으로 표현하기 힘든 전문가의 경험적 지식을 소속함수와 퍼지 규칙 베이스의 형태로 구성하여 복잡한 수학적 모델링을 정확하게 알지 못해도 접근이 용이하며, 다른 비선형 시스템에 비해 쉽게 다룰 수 있는 장점을 가진다. 그러나 퍼지제어는 지속적인 적분연산으로 인하여 누적오차가 발생하며 이러한 누적오차는 제어시스템의 성능을 악화시키는 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 퍼지제어와 PI 제어기를 혼합하여 PI 제어기의 입력값을 퍼지제어기를 통해 조절함으로써 PI 제어기가 고정된 이득값으로 인하여 가지는 문제점을 보완한다. 그리고 PI 제어기는 퍼지제어의 누적오차로 인한 성능저하를 보상하여 태양광 발전시스템의 MPPT 제어성능을 개선시킬 수 있는 퍼지 PI 제어기를 이용한 MPPT 제어를 제시한다. 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 제어기를 이용한 MPPT 제어는 종래의 PO 및 IC 방법과 다양한 일사량 및 온도 조건에 대해 성능을 비교하여 타당성을 입증한다.

2. 종래의 MPPT 알고리즘

2.1 PO 방법

PO(Perturbation and Observation) MPPT의 제어 원리는 태양전지의 동작점을 규정하는 태양전지 출력 단 전압(V_{PV}) 제어 시에 전압을 일정한 폭으로 변동시킨 후 태양전지 출력전력($P_{PV}[n]$)을 관측하고, 이를 이전 출력전력($P_{PV}[n-1]$)과 비교하여 출력이 증가하는 방향으로 전압(V_{PV}^*)을 상승 또는 하강시킴으로써 최대전력점을 추종하는 방식이다. 이 방식을 간단히 요약하면 표 1과 같다.

표 1. PO MPPT의 동작상태
Table 1. Operating state of PO MPPT

Case	Perturbation [$\Delta V_{ref}(k)$]	Change in Power [$\Delta P(k)$]	Next Perturbation [C_p]
1	Positive	Positive	Positive
2	Positive	Negative	Negative
3	Negative	Positive	Negative
4	Negative	Negative	Positive

이와 같이 ΔV_{PV} 와 ΔP_{PV} 의 극성에 따라 다음 기준 전압을 결정하는 방법이 PO 방식이며, 위의 동작 특성에 따라 PO MPPT를 순서도로 나타내면 다음 그림 1과 같다.

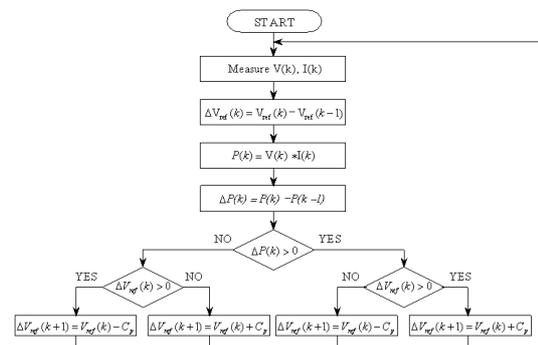


그림 1. PO MPPT의 순서도
Fig. 1. Flowchart of PO MPPT

2.2 IC 방법

IC(Incremental Conductance) MPPT 방식은 태양 전지의 $P-V$ 출력곡선의 기울기를 이용하는 방식으로 그 특성이 안정적이고, 구현방법이 간단하여 PO 방식과 함께 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 방법 중 하나이다. 그림 2는 IC MPPT의 제어 원리를 나타내고 있다. IC MPPT는 그림 8의 $P-V$ 특성곡선에서 보는 바와 같이 MPP에서 $P-V$ 특성곡선의 기울기가 0(Zero)라는 것을 이용하여 최대전력점을 찾는 방식이다. 태양전지의 $P-V$ 출력곡선의 기울기는 dP_{PV}/dV_{PV} 로 나타낼 수 있다. 그림 2에서 최대전력점은 B점에 위치하고 있으며, 이때의 기울기는 0이다. 최대전력점을 기준으로 왼쪽은 양의 기울기를 가지고, 오른쪽은 음의 기울기를 가지고 있음을 알 수 있다.

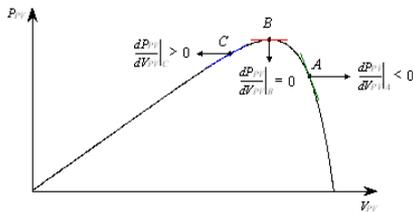


그림 2. IC MPPT의 제어 원리
Fig. 2. Control theory of IC MPPT

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

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \frac{d(V_{PV}I_{PV})}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (1)$$

식 (1)을 위의 그림 2에 적용하면 A점, B점, 그리고 C점에서 다음 식 (2)~식 (4)와 같이 나타난다.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad (\text{at Point A}) \quad (2)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (\text{at Point B}) \quad (3)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \quad (\text{at Point C}) \quad (4)$$

IC MPPT의 동작을 순서도로 나타내면 그림 3과 같다.

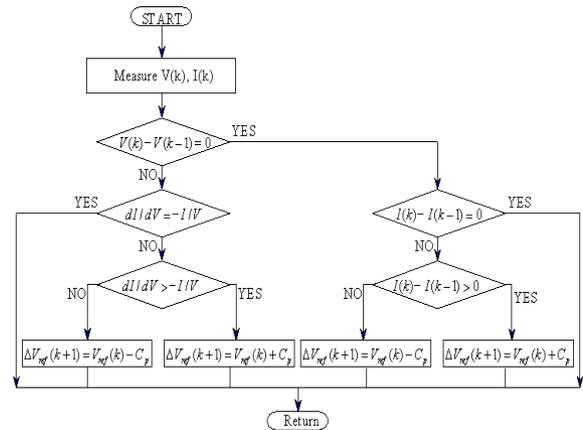


그림 3. IC MPPT 제어의 순서도
Fig. 3. Flowchart of IC MPPT control

그림 3에서 알 수 있듯이 IC 제어방식은 전압 기준치 (V_{PV}^*)를 ΔV 만큼 변동시켜서 최대전력점을 추종하는 방식에 있어 PO 방식과 같이 ΔV 의 크기에 따라 그 추종속도 및 자려 진동의 폭이 결정된다. 또한 전압센서와 전류센서가 모두 요구된다는 단점 역시 존재한다.

3. 퍼지 PI MPPT 제어 알고리즘

본 논문에서는 다양한 동작조건에 대하여 우수한 MPPT 제어 성능을 나타낼 수 있는 새로운 제어기법을 제시한다. 퍼지제어는 비선형 시스템을 처리하는 능력은 우수하지만 지속적인 적분연산으로 인하여 누적오차가 발생하는 문제점을 가진다. PI 제어기는 제어와 응답 사이에 관계가 명확하여 산업현장에서 많이 사용되는 제어기법이지만 고정된 이득값으로 인하여 동작상태가 변동하였을 경우에 성능이 악화되는 문제점을 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 퍼지제어와 PI 제어기를 결합하여 퍼지제어와 PI 제어기의 단점을 상호 보완하는 퍼지 PI를 제시한다.

퍼지 PI 제어기를 이용한 태양광 발전시스템의 MPPT 제어

그림 4는 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 제어기의 구성도를 나타낸다.

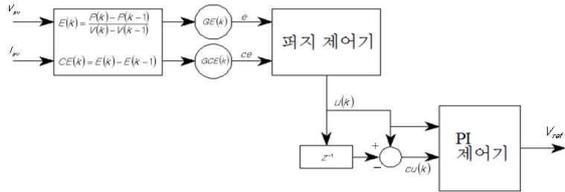


그림 4. 퍼지 PI 제어기의 구성도
Fig. 4. Block diagram of Fuzzy PI controller

퍼지 PI 제어기에서 퍼지제어는 PV 시스템의 오차 (E)와 오차변화값(CE)을 입력받아 출력으로 PI 제어기의 입력값을 출력하고 PI 제어기는 퍼지제어를 통해 조절된 입력값으로 PV 시스템의 최대전력점을 추적하게 된다. 이때 사용된 오차(E)와 오차변화값(CE)는 다음식과 같다.

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (5)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (6)$$

PI 제어기의 입력값을 조절하기 위해 사용된 퍼지 제어기의 룰베이스는 표 2와 같고 오차와 오차변화에 대한 퍼지 멤버십 함수는 그림 5, 6과 같다.

표 2. 퍼지 제어기에 사용된 룰베이스
Table 2. A rule base used fuzzy controller

e \ ce	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	NVL	NVL	NVL	NL	NML	NS	ZE
NM	NVL	NVL	NVL	NM	NS	ZE	PVS
NS	NVL	NML	NML	NS	ZE	PS	PML
ZE	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
PS	NML	NS	ZE	PS	PML	PVL	PVL
PM	NVS	ZE	PS	PM	PVL	PVL	PVL
PL	ZE	PS	PML	PL	PVL	PVL	PVL

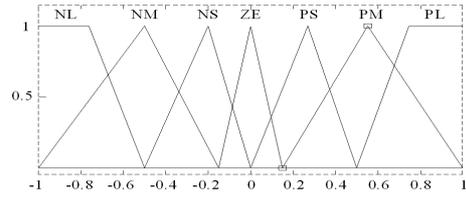


그림 5. 오차에 대한 멤버십 함수(E)
Fig. 5. Membership function for error (E)

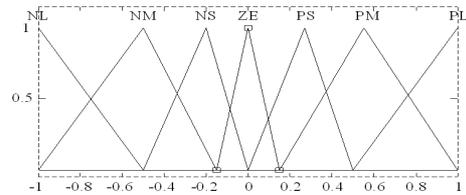


그림 6. 오차변화에 대한 멤버십 함수(CE)
Fig. 6. Membership function for error changing (CE)

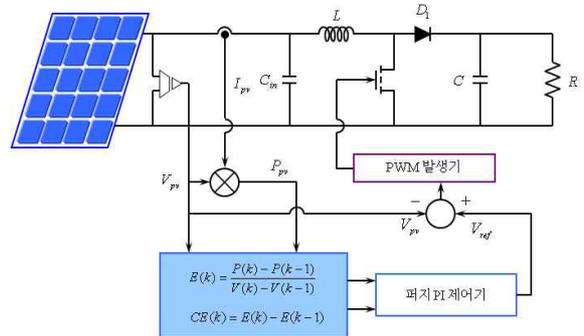


그림 7. 퍼지 PI 제어에 의한 PV 시스템의 MPPT 제어
Fig. 7. MPPT control of PV system by Fuzzy PI Control

그림 7은 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법에 의한 PV 시스템의 MPPT 제어시스템을 나타낸다.

4. 성능 시험 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능 검증을 위한 회로도는 그림 9와 같다. 여기서 일사량과 온도를 변화시키는 C_Block(Radiation_Changing, Temperature_Changing)과 본 논문에서 제시한 퍼지 PI를 이용하여 MPPT를 제어하는 C_Block(Fuzzy_PI_Controller)로 제어부가 구성되어 있다. 표 3은 본 논문에서 사용된 PV 모듈의

파라미터를 나타낸다. PV 모듈의 파라미터는 AM 1.5, 온도 25°C 및 일사량 1,000W/m²의 실험조건에서 측정된 값을 나타낸다.

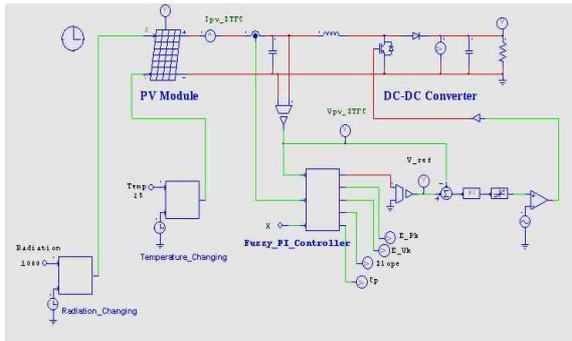


그림 8. MPPT 제어를 위한 회로도
Fig. 8. Circuit for MPPT control

표 3. PV 모듈의 파라미터
Table 3. Parameter PV module

파라미터	전기적 특성
Maximum Power [P_{mpp}]	200W
Optimum Operating Voltage [V_{mp}]	34.4V
Optimum Operating Current [I_{mp}]	5.81A
Open-Circuit Voltage [V_{oc}]	43.2V
Short-Circuit Current [I_{sc}]	6.5A

그림 9는 일사량이 600W/m²에서 1,000W/m²까지 단계적으로 상승하였을 때 일사량 조건을 나타낸다.

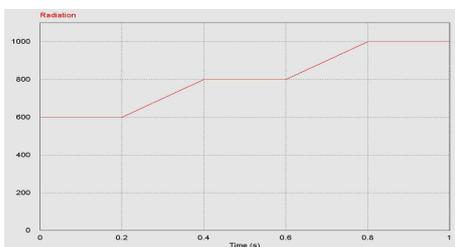
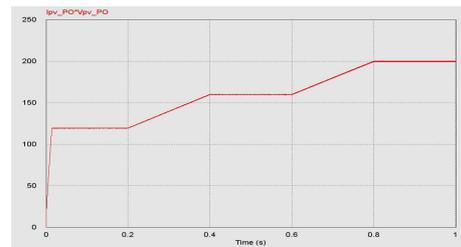


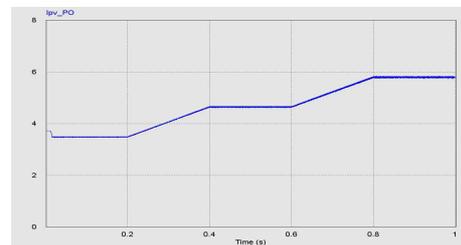
그림 9. 일사량 변화 조건
Fig. 9. Condition of radiation changing

그림 10~그림 12은 종래의 PO, IC 및 본 논문에서

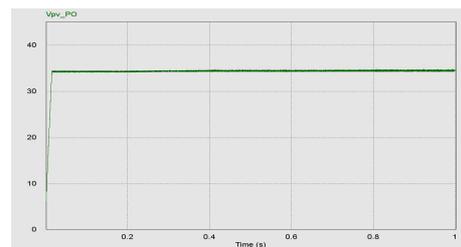
제시한 퍼지 PI 방법의 MPPT 제어 응답특성을 각각 나타내며 그림 (a)는 출력전력, 그림 (b)는 전류, 그림 (c)는 전압을 나타낸다. 일사량의 변화는 PV 모듈의 전류를 크게 변화시키기 때문에 전류가 일사량에 따라서 변화하고 있다.



(a) Output Power

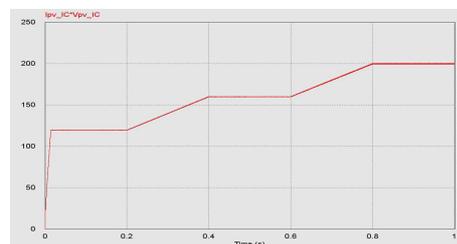


(b) Current



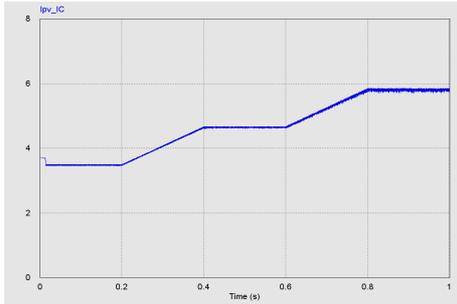
(c) Voltage

그림 10. 일사량 변동에 따른 MPPT 응답특성(PO)
Fig. 10. Response characteristics with radiation changing(PO)

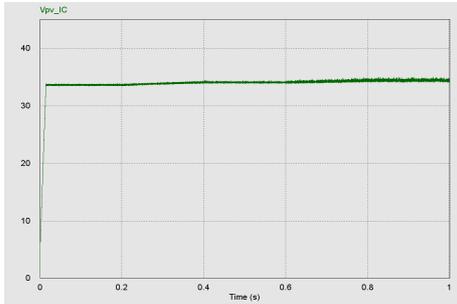


(a) Output Power

퍼지 PI 제어기를 이용한 태양광 발전시스템의 MPPT 제어

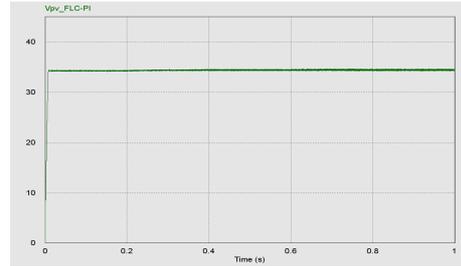


(b) Current



(c) Voltage

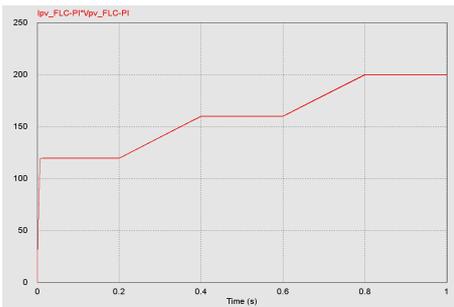
그림 11. 일사량 변동에 따른 MPPT 응답특성(IC)
Fig. 11. Response characteristics with radiation changing(IC)



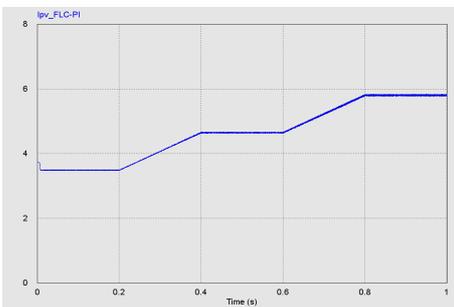
(c) Voltage

그림 12. 일사량 변동에 따른 MPPT 응답특성(퍼지 PI)
Fig. 12. Response characteristics with radiation changing(퍼지 PI)

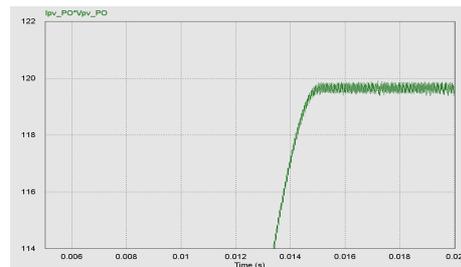
그림 13은 그림 10~그림 12의 출력전력의 응답특성에서 MPPT 제어 추적속도 비교를 나타낸다. PO 및 IC 방법의 추적속도는 거의 유사하게 나타났으며 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 추적속도는 종래의 PO 및 IC에 비해 매우 빠르게 나타났다. 표 4는 그림 13의 추적속도 비교를 나타낸다. 그림 15는 MPPT 제어 방법에 따라 일사량이 변화하는 과도상태 부분의 응답특성 비교를 나타낸다. 그림 14 (a)는 PO, 그림 15 (b)는 IC, 그림 14 (c)는 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 출력전력을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 출력전력의 진동이 가장 적게 나타난다.



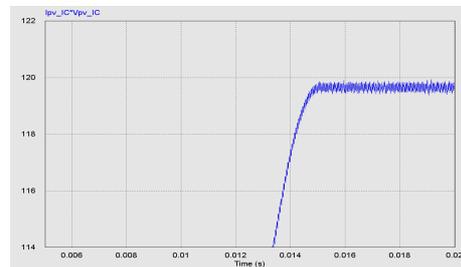
(a) Output Power



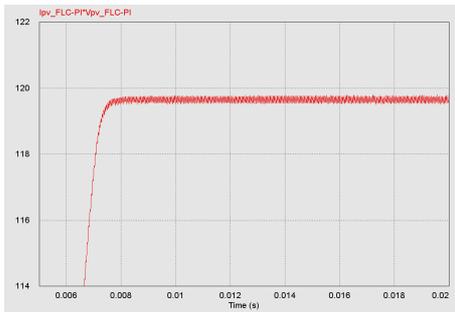
(b) Current



(a) PO Method



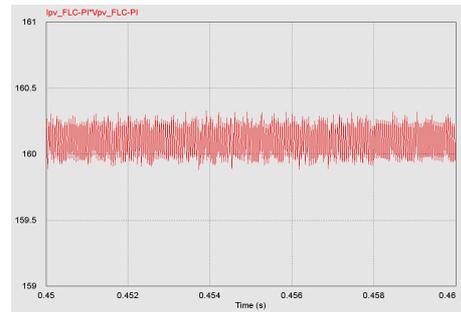
(b) IC Method



(c) 퍼지 PI Method

그림 13. MPPT 추적속도 응답특성

Fig. 13. Response characteristics of MPPT tracking speed



(c) 퍼지 PI Method

그림 14. MPPT 제어의 정상상태 응답특성

Fig. 14. Response characteristics of MPPT control in steady-state

표 4. MPPT 추적속도 비교

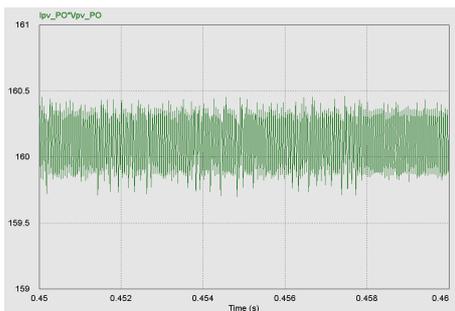
Table 4. Tracking speed comparison of MPPT

구 분	PO	IC	퍼지 PI
시간 msec	14.5	14.4	7.5

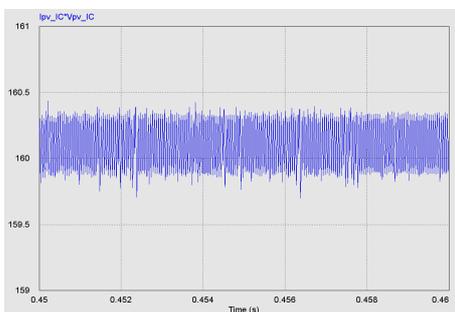
표 5. 정상상태에서의 MPPT 전력오차 비교

Table 5. Power error comparison of MPPT in steady-state

구 분	PO	IC	퍼지 PI
Peak to Peak W (Error W)	159.7~160.5 (0.8)	159.7~160.4 (0.7)	159.9~160.3 (0.4)



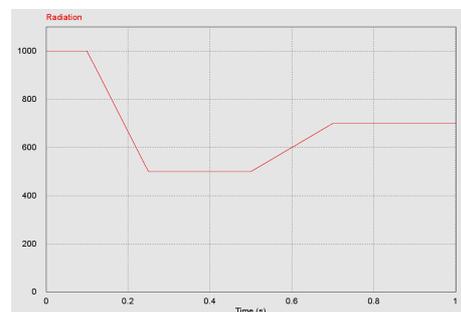
(a) PO Method



(b) IC Method

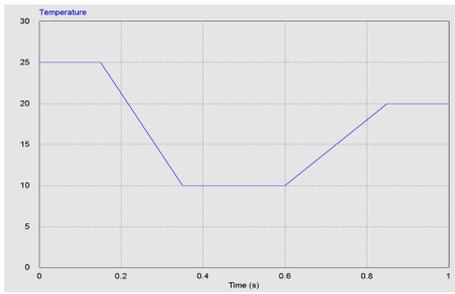
그림 15은 일사량과 온도가 변화하는 조건을 나타내며 그림 15 (a)는 일사량, 그림 15 (b)는 온도를 나타낸다. 일사량은 $1,000\text{W}/\text{m}^2 \rightarrow 500\text{W}/\text{m}^2 \rightarrow 700\text{W}/\text{m}^2$ 로 변화하고 온도는 $25^\circ\text{C} \rightarrow 10^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$ 로 변화한다.

그림 16~그림 18는 그림 15의 조건에 대한 PO, IC 및 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 응답특성을 각각 나타내며 그림 (a)는 출력전력, 그림 (b)는 전류, 그림 (c)는 전압을 나타낸다.

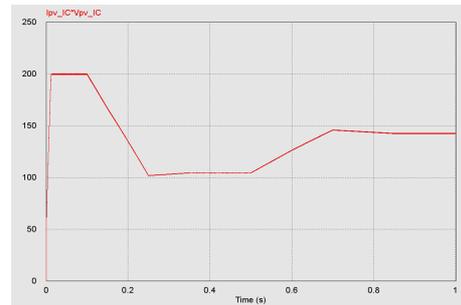


(a) Radiation Condition

퍼지 PI 제어를 이용한 태양광 발전시스템의 MPPT 제어

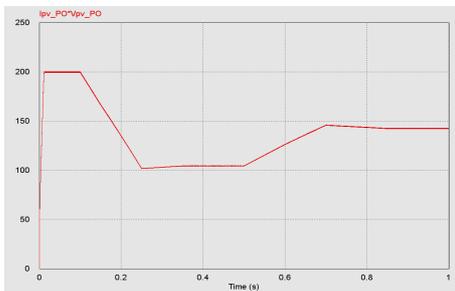


(b) Temperature Condition

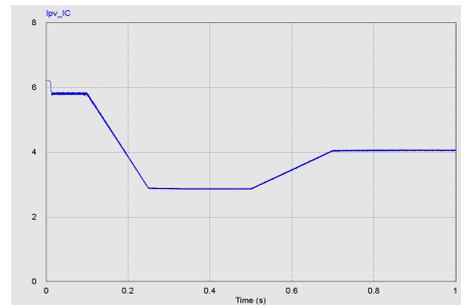


(a) Output Power

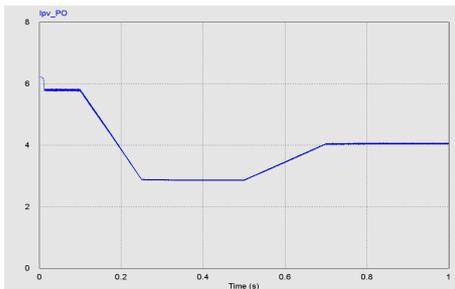
그림 15. 온도와 일사량 변화 조건
Fig. 15. Conditions of radiation and temperature



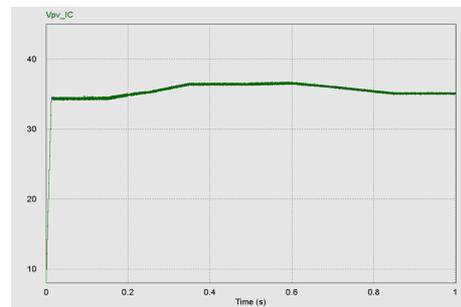
(a) Output Power



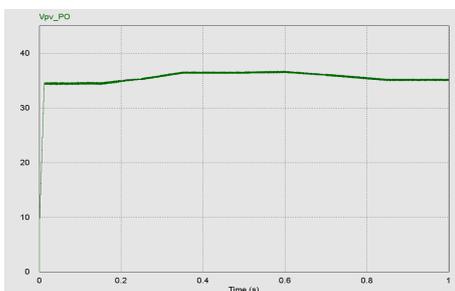
(b) Current



(b) Current



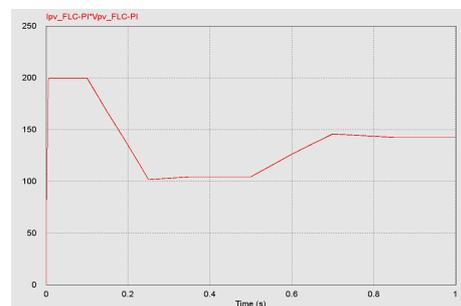
(c) Voltage



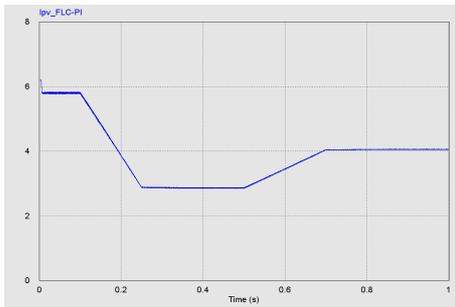
(c) Voltage

그림 17. 일사량과 온도 변화에 따른 MPPT 응답특성(IC)
Fig. 17. Response characteristics with radiation and temperature changing(IC)

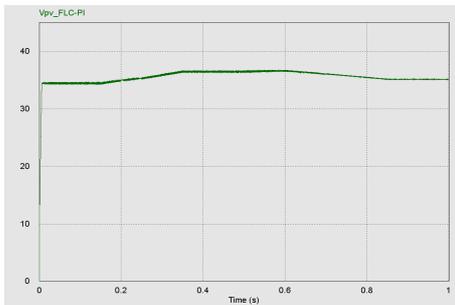
그림 16. 일사량과 온도 변화에 따른 MPPT 응답특성(PO)
Fig. 16. Response characteristics with radiation and temperature changing(PO)



(a) Output Power



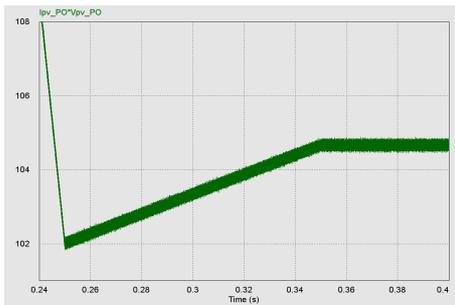
(b) Current



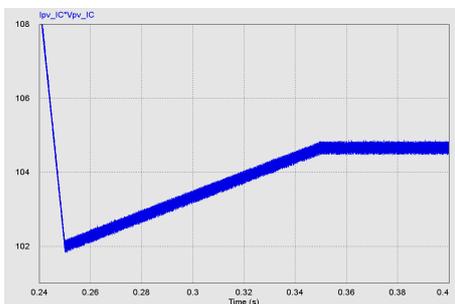
(c) Voltage

그림 18. 일사량과 온도 변화에 따른 MPPT 응답특성 (퍼지 PI)

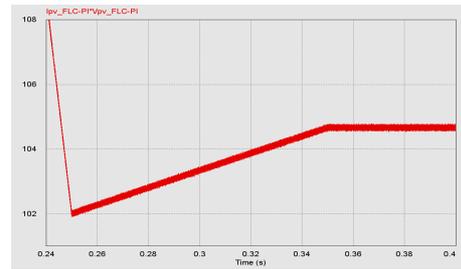
Fig. 18. Response characteristics with radiation and temperature changing(퍼지 PI)



(a) PO Method



(b) IC Method

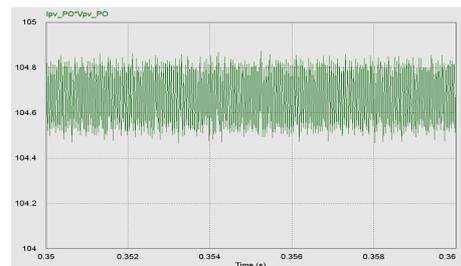


(c) 퍼지 PI Method

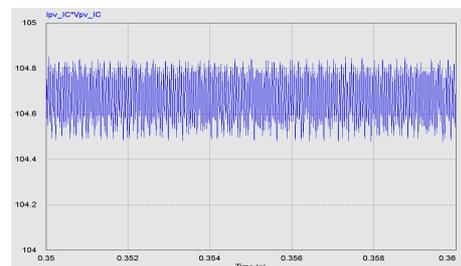
그림 19. 온도와 일사량 변화에 따른 MPPT 응답특성 비교
Fig. 19. Response characteristics comparison with radiation and temperature changing

그림 19은 일사량과 온도가 변화하는 과도상태와 온도와 일사량이 일정한 정상상태에서 출력전력의 응답특성을 나타낸다. 그림 19 (a)는 PO, 그림 19 (b)는 IC, 그림 19 (c)는 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 출력전력을 나타내며 본 논문에서 제시한 퍼지 PI의 출력전력이 리플이 가장 적게 나타나고 있어 우수한 응답특성을 나타낸다.

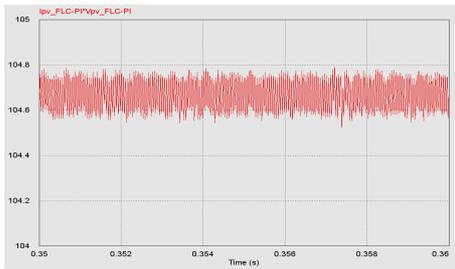
그림 20은 온도와 일사량이 변화하는 조건에 대한 정상상태 응답특성을 나타낸다. 그림 20 (a)는 PO, 그림 20 (b)는 IC를 나타내며 그림 20 (c)는 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 방법의 응답특성을 나타낸다. 표 6은 그림 20에 대한 응답특성 비교를 나타낸다.



(a) PO Method



(b) IC Method



(c) 퍼지 PI Method

그림 20. 온도와 일사량 변화에 따른 정상상태 MPPT 응답특성 비교

Fig. 20. Response characteristics comparison with radiation and temperature changing in steady-state

표 6. MPPT 전력오차 비교

Table 6. Power error comparison of MPPT

구 분	PO	IC	퍼지 PI
Peak to Peak W (Error W)	104.4-104.9 (0.5)	104.4-104.8 (0.4)	104.5-104.7 (0.2)

5. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 성능향상을 위한 MPPT 방법을 제시하였다. 태양광 발전의 MPPT 제어는 제어의 정확도와 빠르기에 따라 그 성능이 좌우된다. 종래의 MPPT 제어를 위해 사용되었던 PO 및 IC 방법은 스텝 크기에 따라서 전압 또는 전류를 증·감하여 최대전력점을 추적한다. 따라서 스텝 크기에 따라 MPPT 성능이 좌우되는 특성을 가진다. 따라서 본 논문에서는 스텝 크기를 사용하지 않고 일사량 및 온도조건에 따라 퍼지제어와 PI 제어기를 이용하여 태양광 발전시스템의 최대전력점을 추적하는 퍼지 PI 제어기를 제시한다. 퍼지 PI 제어기는 퍼지제어와 PI 제어를 연결하여 구성하고 퍼지제어기는 PI 제어기의 입력값을 조절함으로써 PI 제어기가 고정된 이득값으로 인하여 나타나는 문제점을 해결하였다. 그리고 PI 제어기는 퍼지제어가 지속적인 적분연산으로 인한 누적오차로 성능이 저하되는 문제점을 보상하여 MPPT 제어 성능을 개선하였다. 본 논문에서 제시한 퍼지 PI 제어기는 종래의 PO 및 IC 방법과 온도 및 일사량 변화에 대하여 응답특성을 비교 분석하였으며 제시한 퍼지 PI 제어기는 종래의 방법에 비하여

과도상태에서 추적속도가 빠르고 정상상태에서 오차가 현저하게 감소되었음을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 제어기를 통해 MPPT 제어의 추적속도 및 정확도를 개선함으로써 태양광 발전시스템의 발전효율을 향상시킬 수 있다.

References

- [1] Z. Ye, X. Wu, Compensation Loop Design of a Photovoltaic System Based on Constant Voltage MPPT, Power and Energy Engineering Conference, pp. 1-4, 2009.
- [2] J. S. Choi, D. H. Chung, MPPT Control of Photovoltaic Generation Using MLPO Method, Trans. KIEE, vol. 60, no. 11, pp. 2064-2075, 2011.
- [3] A. Safari, S. Mekhilef, Incremental conductance MPPT method for PV system, 2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 345-347, 2011.
- [4] N. Femia, G. Petron, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 20, no. 4, pp. 963-973, Jul. 2005.
- [5] J. A. Abu-Qahouq, H. Mao, H. J. Al-Atrash, and I. Batarseh, Maximum efficiency point tracking (MEPT) method and digital dead time control implementation, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 21, no. 5, pp. 1273-1281, Sep. 2006.
- [6] R. Kiranmayi, K. Vijaya Kumar Reddy and M. Vijaya Kumar Modeling and a MPPT method for solar cells, J. Eng. Applied Sci., 3(1) pp. 128-133, 2008.

◇ 저자소개 ◇



고재섭 (高在涉)

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업. 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)750-3540

E-mail : kokos22@scnu.ac.kr



정동화 (鄭東和)

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 전기제어공학과 교수.

Tel : (061)750-3543

Fax : (061)750-3540

E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr