

퍼지 제어를 이용한 PV 시스템의 ANN 기반 최대전력점 추적

(ANN-based Maximum Power Point Tracking of PV System using Fuzzy Controller)

고재섭* · 정동화**

(Jae-Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

Abstract

A maximum power point tracking (MPPT) algorithm using fuzzy controller was considered. MPPT method was implemented based on the voltage and reference PV voltage value was obtained from Artificial Neural Network (ANN)-model of PV modules. Therefore, measuring only the PV module voltage is adequate for MPPT operation. Fuzzy controller is used to directly control dc-dc buck converter. The simulation results have been used to verify the effectiveness of the algorithm. The proposed method is compared with conventional PO(perturbation & observation), IC(Incremental Conductance) method. The nonlinearity and adaptiveness of fuzzy controller provided good performance under parameter variations such as solar irradiation.

Key Words : MPPT, ANN, Fuzzy Controller, PV System

1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지 자원이 고갈되어 유가가 상승하고 지구의 온난화가 지속되는 등 환경문제가 심각하게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 태양, 지열, 풍력 및 조력 등 대체 에너지인 신재생 에너지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. PV 모듈에서 발생하는 전력은 일사량, 온도 및 그림

자 조건에 의해 좌우된다. 최대전력점은 일사량과 셀 온도에 의해 결정되며 이는 시시각각으로 변한다. 따라서 급변하는 파라미터를 추적하여 최대전력점을 얻기 위한 연구가 필요하며 이를 해결하기 위하여 다양한 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 제어가 제시되었다[2]. 태양전지의 특성은 변하지 않지만 최대 출력동작점이 변하기 때문에 최대출력을 얻도록 동작시키는 MPPT 제어 방법은 PO(Perturbation and Observation) 제어방법, IC(Incremental Conductance) 제어방법, CV(Constant Voltage) 제어방법 등이 대표적이다. 이러한 방법은 일사량이 급변하는 경우에 MPP를 추적하지 못하고, 계산량이 많아 고성능 CPU가 요구되며 추적효율이 낮다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 방법은 PV 시스템에서 고효율 전력 조절기를 사용하고 모든 환경 조건에 대한 최대 전력

* Main author : Dept. of Electrical Control Engineering, Suncheon National University, Korea
** Corresponding author : Dept. of Electrical Control Engineering, Suncheon National University, Korea
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-750-3540
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr
Received : 2014. 8. 13
Accepted : 2014. 12. 12

점을 추적할 수 있도록 설계하는 것이다.

FLC(Fuzzy Logic Control) 방법은 최대 전력을 예측하는 다양한 파라미터를 사용한다[3]. 본 논문에서는 퍼지 제어를 사용하여 MPPT 알고리즘을 고려하였는데 기존 전압은 ANN 기반 모델에서 얻어진 실제 값과 비교하였다. 듀티 비는 퍼지 제어기 및 PV 모듈에 의해 생성된 해당 기준점에서 동작하도록 하여 추적 성능을 향상시켜 본 논문의 타당성을 입증하였다.

2. 태양광 시스템의 모델링

태양전지는 p-n 접합으로 이루어지며 빛이 조사될 때 광기전력 효과를 이용하여 태양에너지를 직접 전기 에너지로 변환시키는 반도체 소자이다. 여기서 광기전력 효과란 p-n 접합에 빛을 조사시킬 때 빛에 의하여 전자-정공이 발생하면 공핍층 내에 전계 때문에 전자는 n형 영역으로 이동하고 정공은 p형 영역으로 이동한다. 이동된 전자-정공 때문에 열평형 상태에 비해 캐리어 농도가 상승하여 p형 반도체와 n형 반도체 사이의 농도 차이에 따라 기전력이 발생하는 효과이다.

태양전지의 등가회로는 그림 1과 같이 나타내며, 태양전지의 출력전류에 대한 식은 다음 등가회로를 기반으로 식 (1)~(2)와 같이 나타낼 수 있다[4].

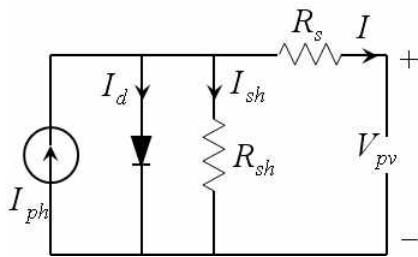


그림 1. 태양전지의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{(V_{pv} + R_s I)}{R_{sh}} \quad (2)$$

여기에서 I_{ph} 는 광전류, I_d 는 다이오드전류이다.

광전류 I_{ph} 는 일사량과 온도에 따라 변화되며 다음 식과 같다.

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

여기에서 I_{sc} 는 단락전류, I_t 는 온도계수, T_c 는 셀온도, T_r 는 기준온도, S 는 현재 일사량, S_{ref} 는 기준일사량을 나타낸다.

I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만 실제로는 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트저항 등을 표시하는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 을 고려해야 한다.

다이오드 전류를 쇼클리 방정식에 의해서 정리하면 다음 식과 같다.

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V_{pv} + IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] \approx I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V_{pv} + IR_s)}{kT}\right) \right] \quad (4)$$

여기에서 I_0 는 다이오드 역포화 전류, q 는 전하량 ($1.6 \times 10^{-19} [C]$), k 는 볼츠만 상수 ($1.3805 \times 10^{-23} [J/K]$)를 나타낸다.

식 (4)를 식 (2)에 대입하여 정리한 부하전류는 다음 식과 같다[5].

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp\left[\frac{q}{nkT}(V + IR_s)\right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

이러한 식을 이용하면 그림 2와 같은 태양전지 어레이의 출력 특성을 얻을 수 있다. 태양전지의 특성곡선은 일사량과 셀의 온도 등 여러 가지 환경적인 요소에 크게 영향을 받는다. 이는 일사량과 태양전지 단락전류와의 관계에 기인하게 되며 태양전지의 모델링으로 나타낼 수 있다. 또한 온도가 상승할수록 개방전압이 하강하여 P-V 곡선이 온도상승에 따라 왼쪽으로 이동한다. 개방전압은 전류가 0일 때 태양전지 양단에 나타나는 전압으로 태양전지로부터 얻을 수 있는 최

대 전압에 해당한다.

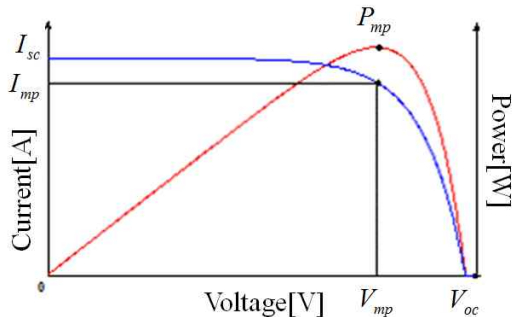


그림 2. 태양전지의 I-V와 P-V 특성곡선
Fig. 2. I-V and P-V characteristics waveform of a solar cell

그림 3은 일사량을 400W/m²에서 1,000W/m²까지 200W/m²씩 증가시켰을 때 일사량에 따른 태양전지의 출력특성을 낸다. 그리고 일사량의 변화 시 태양전지의 개방전압은 큰 변화가 없는 반면 출력전류가 크게 변화하고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 25℃에서 85℃까지 20℃씩 증가하였을 때 온도 변화에 따른 태양전지의 출력특성을 나타낸다. 그리고 일사량이 변화한 경우에 비해 온도가 변화한 경우에는 전류의 변화보다 전압 변화가 큰 것을 알 수 있다. 그림 4에서 셀 표면의 온도가 증가할 때 출력이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다. 따라서 태양전지의 출력은 일사량과 온도에 의해서 영향을 받으며 특성분석을 위해서는 일사량과 온도를 반드시 고려해야 한다.

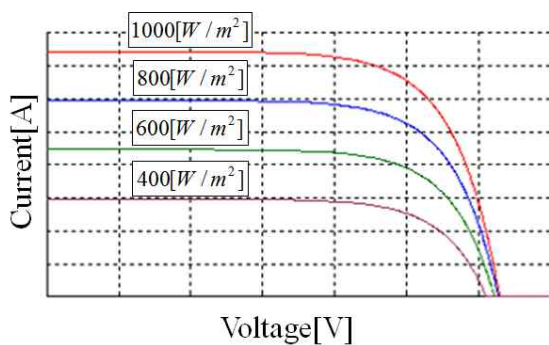


그림 3. 일사량 변화에 대한 I-V 특성곡선
Fig. 3. I-V characteristic curve with radiation changing

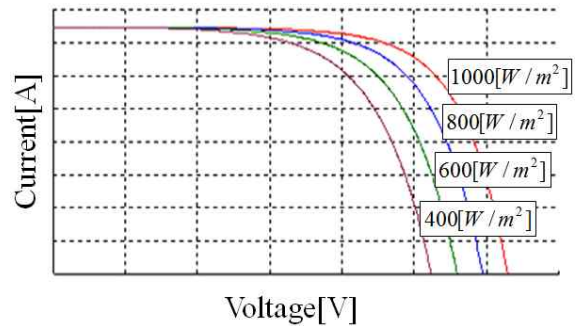


그림 4. 온도 변화에 따른 I-V 특성 곡선
Fig. 4. I-V characteristic curve with temperature changing

3. MPPT 제어 알고리즘

3.1 P&O 알고리즘

PO MPPT 제어 방법은 간단한 피드백 구조를 가지며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지 전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력 전력과 함께 현재 어레이의 출력 전력을 비교하여 MPP를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 그림 5와 같은 제어 알고리즘에 의해 동작한다.

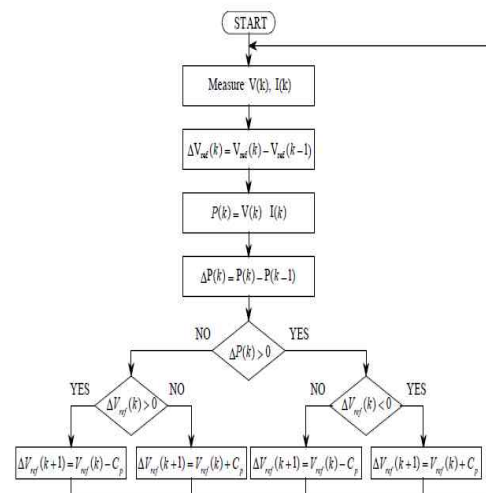


그림 5. P&O MPPT 제어 알고리즘
Fig. 5. MPPT control algorithm of P&O method

그림 5의 제어 방법은 다음과 같이 설명한다. 전력이 증가하면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 MPP에 이르렀을 때 PO 제어 방법은 급변하는 환경조건에서 자려진동 할 것이며, 그 결과 태양전지 어레이에서 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 PO 제어 방법의 개선으로 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 스텝의 감소가 있다. 그러나 이 방법은 환경 조건이 급하게 변할 경우 MPP 추적 속도가 늦어지게 되므로 스텝의 결정이 중요하게 된다[6].

3.2 Fuzzy 제어

퍼지제어 시스템의 기본 구조는 그림 6과 같이 나타낸다. 제어신호 U 는 상태변수 오차 e 와 오차의 변화 ce 로부터 추론된다. e 와 ce 는 실제 E 와 CE 신호를 각 이득으로 나누어 유도한 pu(per unit)이다.

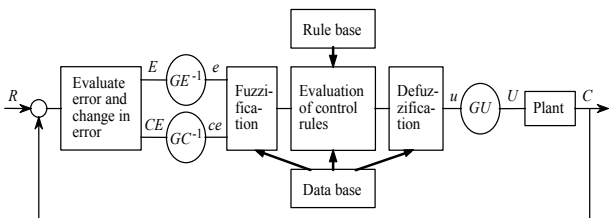


그림 6. 퍼지 제어 시스템의 기본 구조
Fig. 6. Reference structure of Fuzzy-Logic control system

3.3 FLC를 이용한 ANN 기반 MPPT 알고리즘

DC-DC Buck-converter로 구현하여 제안된 MPPT 알고리즘은 배터리 충전을 위해 사용된다. 일사량과 온도는 MPP의 기준 전압 값을 결정하기 위해 사용된 ANN 구성과 관련하여 그림 7과 같이 나타내게 된다.

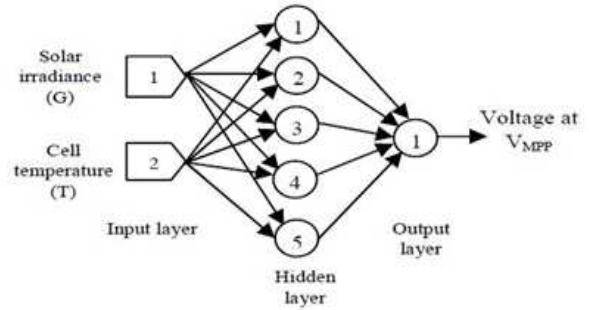


그림 7. MPP의 기준값을 결정하기 위해 사용된 ANN 구성
Fig. 7. The ANN configuration used to determine the reference voltage value at MPP

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시한 MPPT 제어의 성능검증을 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 8은 일사량과 이에 따라 변화하는 PV 모듈의 온도조건을 나타낸다.

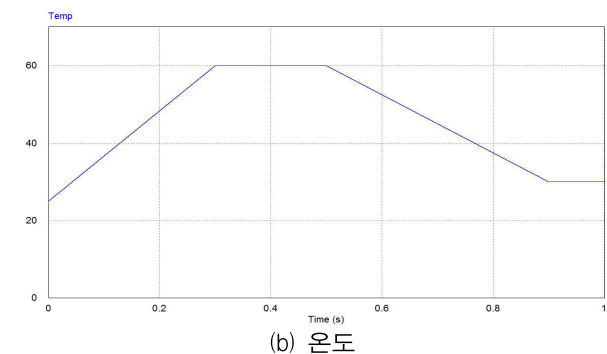
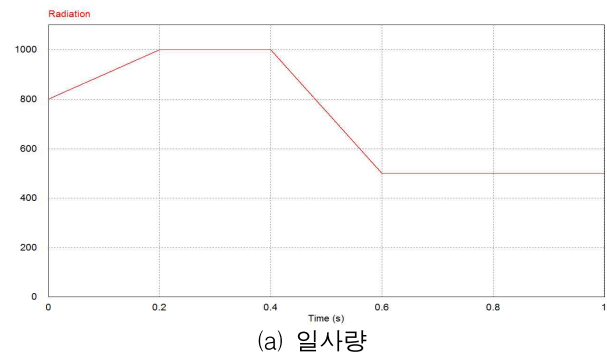
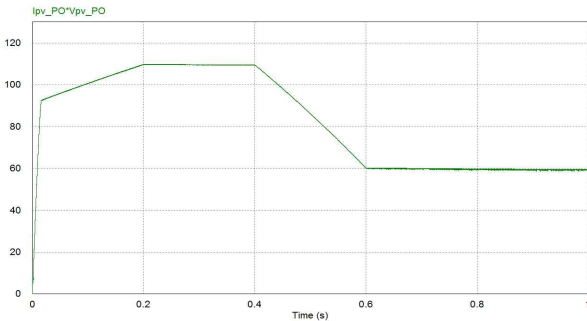
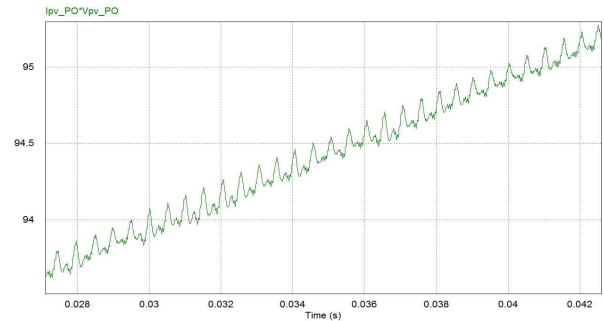


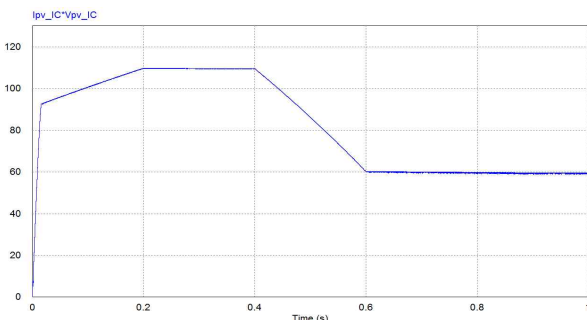
그림 8. 일사량과 온도 조건
Fig. 8. Condition of radiation and temperature



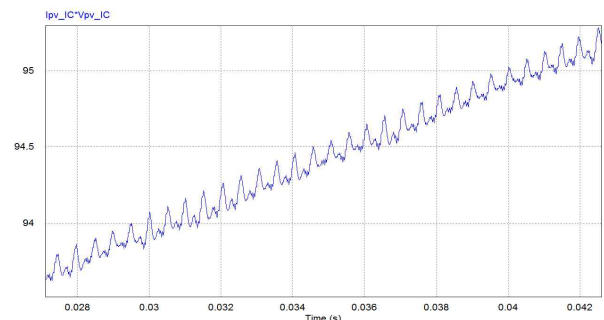
(a) PO MPPT



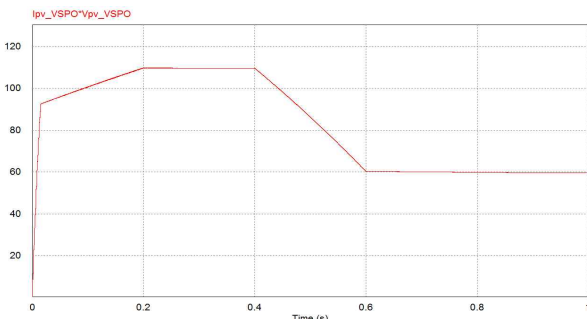
(a) PO MPPT



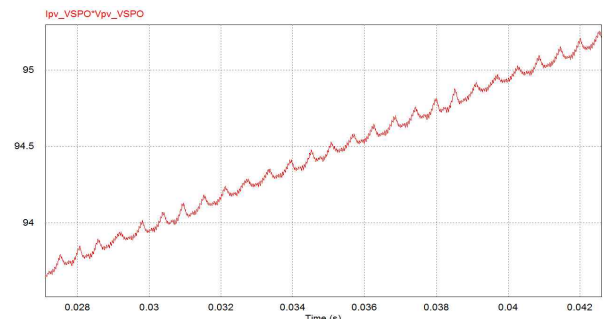
(b) IC MPPT



(b) IC MPPT



(c) Proposed MPPT



(c) Proposed MPPT

그림 9. 일사량 및 온도 변화에 따른 출력전력 응답특성
Fig. 9. Response characteristics of output power with changing of radiation and temperature

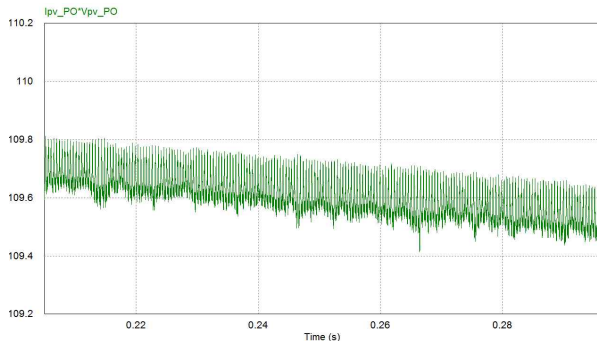
그림 10. 일사량 및 온도 변화에 따른 출력전력 응답특성(과도상태1)
Fig. 10. Response characteristics of output power with changing of radiation and temperature(Transient condition1)

그림 9는 그림 8 조건에서 PO, IC 및 본 논문에서 제시한 MPPT방법의 출력전력 응답특성을 나타낸다.

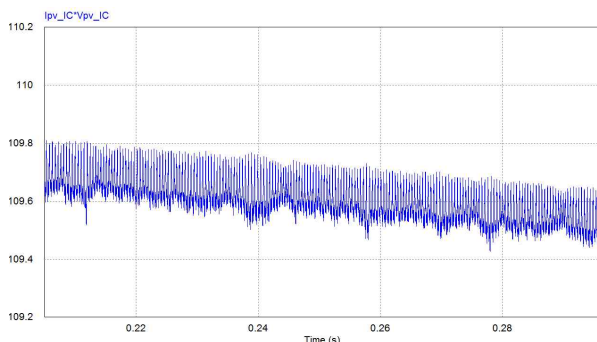
5. 결 론

본 논문에서는 PV 시스템의 퍼지 제어를 이용한

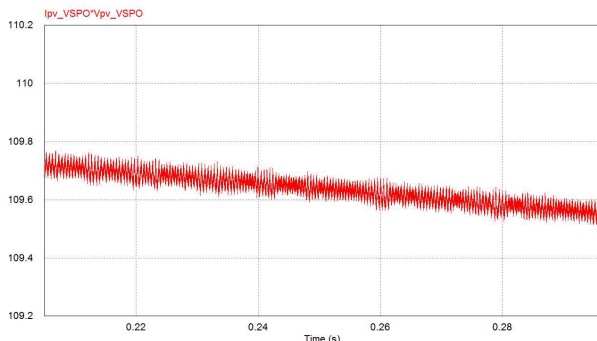
ANN 기반 MPPT 방법을 제안하였다. MPPT 시뮬레이션 한 내용 및 결과는 종래의 PO 및 IC 알고리즘에 비해 우수성을 확인할 수 있었다. 최대 전력점 주변의 과도 특성과 리플이 개선되었고, 시스템 응답 특성 또한 일사량의 급격한 변화가 있을 시 종래의 방법보다 성능이 향상되는 것을 볼 수 있었다.



(a) PO MPPT



(b) IC MPPT



(c) Proposed MPPT

그림 11. 일사량 및 온도 변화에 따른 출력전력 응답특성(과도상태2)

Fig. 11. Response characteristics of output power with changing of radiation and temperature(Transient condition2)

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2014년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

이 논문은 2012년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2012R1A1A2006877)

References

- [1] J. S. Ko, "Intelligent MPPT Control and PV module Configuration Considering Environment Conditions of Photovoltaic System" Suncheon university, 2012.
- [2] J. S. Choi, J. S. Ko, D. H. Chung, "Development of VPO MPPT of PV System Considering Shadow Influence" KIPE, vol. 16, no. 5, 2011.
- [3] M.Veerachary, T. Senjyu and K. Uezato, "Neural-network-based maximum-power-point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system using fuzzy controller", IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 50(4), pp. 749-758, 2003.
- [4] E. Lorenzo, G.Araujo, A.Cuevas, M. Egido, J. Mifiano and R. Zilles, Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems, Earthscan Publications Ltd., Madrid, Spain, 1994.
- [5] Lixia Sun, Zheng dan dan, Fengling Han, "Study on MPPT Approach in Photovoltaic System Based on Fuzzy Control" ICEA, 2013.
- [6] D. K. Sharma, G. Purohit, "Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) of a Solar Photo-Voltaic System" IICPE, 2012.

◇ 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)752-1103

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