

## MPPT Control of Photovoltaic by FNN

최정식\* · 고재섭\* · 정동화†  
(Jung Sik Choi · Jae Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

**Abstract** - The paper proposes a novel control algorithm for tracking maximum power of PV generation system. The maximum power of PV array is determined by a insolation and temperature. Prior considered the term in PV generation system is how maximum power point(MPP) is accurately tracked. The paper proposes a fuzzy neural network(FNN) control algorithm so as to accurately track those maximum power points. The proposed control algorithm comprises the antecedence part of fuzzy rule and clustering method, multi-layer neural network in the consequent part. FNN has the advantages which are depicted both high performance and robustness in fuzzy control and high adaptive control in neural network. Specially, it can show the outstanding control performance for parameter variations applying to non-linear character of PV array. In this paper, the tracking speed and the accuracy prove the validity through comparing a proposed algorithm with a conventional one.

**Key Words** : Photovoltaic, Maximum Power Point Tracking(MPPT), Fuzzy, Neural-Network, Fuzzy Neural Network(FNN)

### 1. 서론

최근 에너지 요구에 대한 문제점은 더욱 더 증가하고 화석연료의 한정된 공급은 대체에너지를 찾게 만들었다. 이러한 가운데 태양에너지는 태양광의 밀집도가 높은 지역이나 나라에서 연구가 활발히 진행되어왔다. 태양광발전은 깨끗하고 안전하며, 연료의 수송, 운전 및 보수가 불필요한 에너지원으로써 무한정으로 전기를 얻을 수 있는 미래의 에너지원이다. 그러나 기존 발전 방식에 비하여 발전 단가가 높고 기상조건에 절대적인 영향을 받고 부하 추종능력이 거의 없으며 발전량에 비하여 많은 면적을 차지하는 단점들을 가지고 있다. 그래서 현재 인공위성, 산간벽지, 등대 그리고 군사용 등에 한정되어 있으나 앞으로 태양광발전은 소규모의 가정용으로부터 대규모의 발전 시스템에 이르기까지 PV 모듈의 가격저하와 높은 효율로 발전할 수 있도록 선진국을 중심으로 연구개발이 활발히 추진되고 있다.

태양광 발전시스템에서 태양전지의 에너지변환 효율이 매우 낮기 때문에 전체 발전시스템에서 효율을 최대화시켜야 한다. 경제성이 있는 시스템을 만들기 위해서는 시스템의 효율을 극대화시켜야 할 뿐만 아니라 태양전지에서 얻은 에

너지를 최대한으로 활용할 수 있어야 한다.

태양전지에서 최대 출력을 얻기 위해서는 태양전지의 동작점이 최대 전력점에 위치하도록 제어해야 한다. 그러나 최대 전력점은 복사에너지와 온도에 따라 변동하고 태양전지 제조업체마다 특성이 다르므로 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어를 해야 한다.[1]-[6]

태양전지 어레이는 비선형적 특성 때문에 파라미터 변동 등에 대한 강인성 제어가 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 퍼지제어를 이용한 MPPT 기술이 제시되고 있다.[7]-[10] 퍼지 추론의 장점은 불충분한 센서정보의 시스템을 다루기 위한 계산을 할 수 있다. 그러나 퍼지기반 시스템은 일사량과 온도 등의 다양하게 변하는 파라미터들에 대한 적응제어는 여전히 부족하다. 따라서 퍼지제어에 적응성을 혼합한 제어기법은 시스템의 동작을 더욱 향상시킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 퍼지제어와 신경회로망을 혼합한 FNN(Fuzzy Neural Network) 제어 알고리즘을 제시한다. 제시한 알고리즘은 퍼지제어에서 나타나는 장점인 강인성 제어를 얻을 수 있으며 신경회로망에서 나타나는 적응제어의 능력을 얻을 수 있다. 본 제어 알고리즘은 비선형특성을 갖는 태양광 발전시스템에 적용하여 성능을 분석하였으며, 종래의 MPPT 알고리즘과 추적속도 및 정확도를 비교한다. 또한 제시한 알고리즘의 우수한 성능을 통해 본 논문의 타당성을 입증한다.

\* 정 회 원 : 순천대 공대 전기공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 순천대 공대 전기공학과 정교수 · 공박

E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr

접수일자 : 2009년 6월 4일

최종완료 : 2009년 9월 2일

## 2. PV 시스템의 모델링

### 2.1 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로를 나타내며 단락전류  $I_{sc}$ 는 이상적으로 광전류  $I_c$ 과 일치하고, 다이오드 포화전류  $I_o$ 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다.[11]-[17]

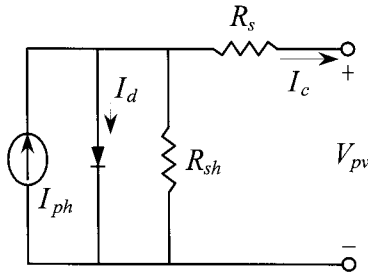


그림 1 태양전지 등가회로.

Fig. 1 Equivalent circuit of PV array.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_c}{I_o} + 1 \right] \quad (1)$$

여기서,  $V_{oc}$ 는 개방전압,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $q$ 는 전하,  $I_o$ 는 포화전류,  $T$ 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다. 또한, 온도의 변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음 식과 같다.

$$I_{sc} = I_o \left[ e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} \right] \quad (2)$$

태양전지 모듈은 원하는 전압과 전류를 얻기 위하여 다수의 태양전지 셀을 직·병렬로 연결하여 구성하고, 또한 태양전지 어레이는 이러한 모듈을 다시 직·병렬로 연결하여 제작한다. 태양전지의 전류-전압 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음 식과 같이 표현된다.

$$I_{ph} = I_{sc} S_N + I_t (T_c - T_r) \quad (3)$$

$$I_d = I_o \left[ e^{\frac{q(V_{pv} + I_c R_s)}{AKT}} - 1 \right] \quad (4)$$

$$I_o = I_{or} \left[ \frac{T_c}{T_r} \right]^{-3} e^{\frac{qE_g}{BK} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right)} \quad (5)$$

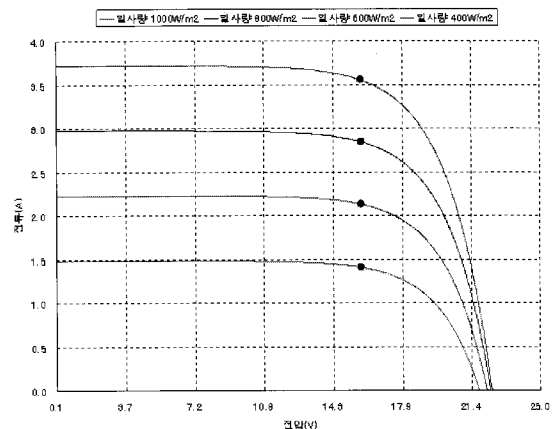
$$I_c = I_{ph} - I_d - \frac{V_{pv} + I_c R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

여기서,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $S_N$ 은 단위 일사량,  $I_t$ 는 단락전류 온도계수[A/K],  $I_d$ 는 다이오드 전류,  $R_s$ 는 직렬저항,  $R_{sh}$ 는 병렬저항,  $T_c$ 는 태양전지 온도[K],  $T_r$ 은 태양전지 기준온도

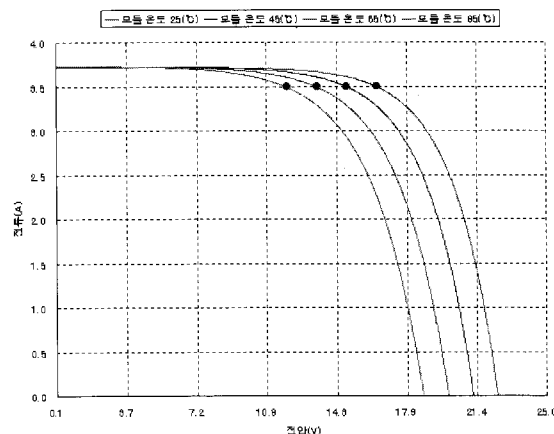
[K],  $A, B$ 는 제조상수,  $I_{or}$ 은 역포화 전류,  $E_g$ 는 에너지 밴드갭을 의미한다.

### 2.2 태양전지의 최대전력점

태양전지셀의 특성은 V-I 특성곡선의 동작에 따라 이해할 수 있다. 이러한 특성 곡선은 태양전지 셀의 현재 동작에 따라 생성된다. 그림 2의 (a)는 다양한 일사량에 대한 V-I 관계를 나타내고 (b)는 온도변화에 따른 V-I 특성곡선을 나타낸다. 그림 2에서와 같이 특정 일사량과 온도에서 V-I 곡선의 하강 지점에 특징적인 점 즉, 최대전력점이 나타난다. 최대전력점 추적 알고리즘은 이러한 점들을 추적하여 얻어지므로 전체 시스템의 최적 동작점을 얻을 수 있다.



(a) 일사량 변화



(b) 온도 변화

그림 2 태양전지의 V-I 특성곡선.

Fig. 2 V-I characteristic curve of solar cell.

## 3. FNN 제어기 설계

일반적으로 퍼지 논리제어기의 동적 동작은 전문가의 지식에 기초한 언어제어 룰의 집합에 의해 특성화된다. 언어제어룰을 다음과 같이 가정한다.

$$\text{If } E \text{ is } A_{11} \text{ and } CE \text{ is } A_{12}, \text{ then } U \text{ is } B_1 \quad (7)$$

여기서  $E, CE$  및  $U$ 는 각각 오차, 오차의 변화 및 제어 변수를 나타낸다.  $A_{1n}$ 은 퍼지의 멤버십 함수  $\mu_{A_n}(x_j)$ 에 의해 특성화된 퍼지변수를 나타낸다.  $B_1$ 은 실제 일정한 값을 나타낸다.  $E, CE$  및  $U$ 의 퍼지집합은 {PB, PM, PS, ZR, NS, NM, NB}이다. 여기서 P, N, B, M, S, 및 ZR는 각각 Positive, Negative, Big, Medium, Small 및 Zero를 나타낸다.

퍼지의 멤버십 함수는  $\mu_{A_n}(x_j) = \exp\left\{-\left[\frac{(x_j - a)}{b}\right]^2\right\}$ , ( $b > 0$ )이다. 요구되는 제어출력을 추론하기 위하여 다음과 같은 간단한 추론방법을 이용한다.

$$U^* = \frac{\sum_{i=0}^m \alpha_i B_i}{\sum_{i=0}^m \alpha_i} \quad (8)$$

$$\alpha_i = \prod_{j=0}^n \mu_{A_n}(x_j) \quad (9)$$

여기서  $\alpha_i$ 는 퍼지 동작과 일치하는  $i$ 번째 룰의 조건의 진리값을 포함한다.  $B_i$ 는 퍼지 집합이 아니고 실수이다.

위 추론과정은 연산 NN 구조에 의해 구체화할 수 있다. 또한 If-then 룰의 조건부와 결과부는 비선형성과 학습함수에 의한 다층 NN에 의해 설계된다. 그림 3은 제시한 FNN의 구조를 나타낸다. 여기서 두 개의 입력변수는 오차  $e$ 와 오차의 변화  $ce$ 를 나타내고 하나의 출력은 제어변수  $u$ 이다.

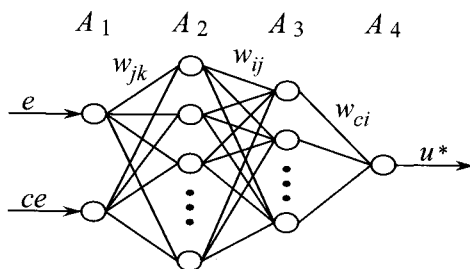


그림 3 FNN 제어기의 구조.  
Fig. 3 The construction of FNN controller.

### 3.1 FNN 제어기의 조건부의 구현

그림 3에서 층  $A_1$ 과  $A_3$  사이에 NN은 퍼지룰의 조건부의 구현을 나타낸다. 조건부의 멤버십 함수를 효과적으로 설계하기 위하여 NN 구조를 간단하게 하고 수렴속도를 개선하기 위하여 클러스터링(clustering) 방법을 적용한다. 표 1은 이와 일치하는 퍼지 제어룰의 집합을 나타낸다. 퍼지룰 베이스에서 입력공간은 49개의 퍼지 부공간으로 나뉜다. 룰이 동일한 제어동작을 나타내면 동일한 입력공간으로 군

집할 수 있다. 그런 다음 새로운 클러스트(cluster)와 일치하는 룰은 전문가에 의해 재설계하고 NN에 의해 구현한다. 퍼지 제어룰의 수는 클러스터링 방법에 의해 매우 감소시킬 수 있다. 그리고 이러한 구현은 비선형 멤버십 함수를 설계할 수 있으며 신경세포의 sigmoid 특성에 의해 퍼지에 의해 입력공간을 분할할 수 있다.

표 1 퍼지룰 표  
Table 1 Fuzzy rule table

CE \ E	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PM	PB	PM	PM	PM
PM	PB	PM	PS	PM	PM	PM	PS
PS	PM	PS	PS	PS	ZR	NS	NM
ZR	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB
NS	PM	PS	ZR	NS	NS	NS	NM
NM	NS	NM	NM	NM	NS	NM	NB
NB	NM	NM	NM	NB	NM	NB	NB

$A$ 층에서 각 신경세포의 출력은 각 부공간에서 퍼지룰의 진리값이며 식(9)에서 룰 조건부의 진리값  $\alpha_i$ 와 일치한다. 퍼지 클러스터링을 실현하고 첫 오차함수에서 이전 49 룰과 같은 효과를 얻기 위한 FNN 제어기의 훈련이 필요하다. 오차함수는 다음 식과 같이 정의한다. 이 함수는 입력 데이터의 유무에 대하여 요구되는 분할을 얻을 수 있는 FNN 제어기를 결정할 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^r (T_i - O_i)^2 \quad (10)$$

$$T_i = \begin{cases} 1, & (x_1, x_2) \in R' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

여기서  $r$ 는 클러스터의 수이며 ( $r=7$ )  $T_i$ 는 어떠한 입력 데이터가 요구되는 클러스트에 속하는지 여부를 결정하는 함수이고  $O_i$ 는  $A$ 층에서 신경세포의 출력이다.

오차함수를 정의한 후, 다음 단계에서 오차를 최소화하기 위하여 오차 BP를 이용하여  $A_1$ 과  $A_3$ 층 사이에 가중치  $W_{jk}$ 와  $W_{ij}$ 를 조절한다. 가중치 조절을 통하여 NN은 클러스터된 퍼지의 조건부를 완전하게 구현할 수 있다.

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\eta \delta_i O_j \quad (12)$$

$$\Delta W_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{jk}} = -\eta \delta_j X_k \quad (13)$$

여기서,  $\delta_i = (T_i - O_i) f'(U_i)$

$$\delta_j = f'(U_j) \sum \delta_i W_{ij}$$

$O_j$ 는  $A_2$ 층에서 신경세포의 출력이고  $\eta$ 는 학습률이며  $f'(\cdot)$ 는 sigmoid 함수의 미분이다. 그리고  $U_i$ 와  $U_j$ 는 각각  $A_2$ 와  $A_3$ 층에서 각 신경세포의 전 입력을 나타낸다.

마지막으로 학습과정 동안 진동을 방지하고 수렴속도를 개선하기 위하여 모멘텀 항에 의한 새로운 조절은 다음과 같이 가정한다.

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij} + \alpha[W_{ij}(t) - W_{ij}(t-1)] \quad (14)$$

$$W_{jk}(t+1) = W_{jk}(t) + \Delta W_{jk} + \alpha[W_{jk}(t) - W_{jk}(t-1)] \quad (15)$$

여기서  $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 는 모멘텀 항이다.

### 3.2 FNN 제어기의 결과부 구현

그림 3에서  $A_3$ 와  $A_4$  사이에 NN은 퍼지룰의 결과부 구현을 나타내며 가중치  $W_{ci}$ 는 식(8)의  $B_1$ 과 일치한다. 학습 동안 가중치  $W_{ci}$ 는 다음 오차함수를 최소화하기 위하여 조절한다.

$$E^* = \frac{1}{2} \sum (U^* - U)^2 \quad (16)$$

여기서  $U^*$ 와  $U$ 는 FNN 제어기의 요구출력과 실제출력을 나타낸다.

일반화 델타룰을 이용하여 가중치  $W_{ci}$ 의 변화분  $\Delta W_{ci}$ 는 오차함수의 식(16)을 최소화할 수 있으며 퍼지룰의 결과 부를 재 정의하여 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\Delta W_{ci} = -\eta \frac{\partial E^*}{\partial W_{ci}} = -\eta \delta_c O_i \quad (17)$$

$$W_{ci}(t+1) = W_{ci}(t) + \Delta W_{ci} + \alpha[W_{ci}(t) - W_{ci}(t-1)] \quad (18)$$

여기서  $\delta_c$ 는 FNN 제어기의 출력에 대한 오차신호이다.

### 4. 시스템 설계

그림 4는 본 논문에서 제시한 FNN 제어에 의한 태양광 발전의 MPPT 제어기를 나타낸다. TMS320C31 DSP에 의한 제어 블록선도에서 출력전압 및 전류를 검출하여 A/D 컨버터를 통해 DSP로 입력되면 FNN 제어기를 통해 기준값을 D/A 컨버터로 출력한다. D/A 컨버터를 통해 출력되는 아날로그 신호는 스위치를 제어하기 위해 PWM 제너레이터 회로의 입력으로 사용된다. PWM 신호 발생회로의 출력신호는 Boost 컨버터의 게이트 신호를 인가되도록 제어한다. PWM 제어를 위한 인터럽트는  $100\mu s$ 로 구성하였다.

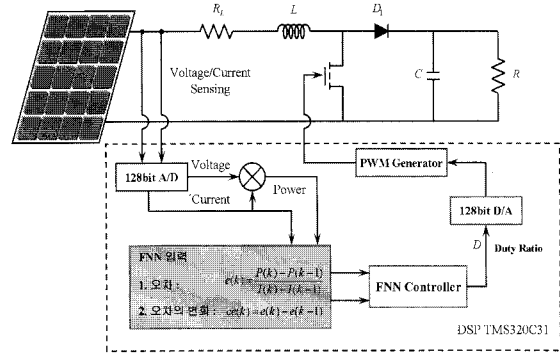


그림 4 FNN제어를 이용한 MPPT 제어기.  
Fig. 4 The MPPT controller using FNN control.

제어기는 태양 전지 어레이의 동작점을 V-I 하강 부분, 즉 최대 전력점에 근접하게 이동하는 것이 주목적이다. 제시한 알고리즘에 의한 설계에서 동작점의 이동은 Boost 컨버터 IGBT의 듀티비를 수정하여 얻을 수 있다. 먼저, 태양 전지 어레이의 전류와 전압은 오차 함수의 형태로 측정되어 FNN 제어의 입력인 오차와 오차 변화분으로 나타낼 수 있다. 오차와 오차 변화분은 다음 식과 같다.

$$e(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{I(k) - I(k-1)} \quad (19)$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (20)$$

이와 같이 수정된 듀티비에 의해 부하 R 양단의 전압을 최적의 값으로 얻을 수 있다.

### 5. 실험 및 결과

그림 5는 본 논문의 제시한 알고리즘 적용을 위한 실험 장치를 나타내고 있다. 160Wp의 태양전지 모듈과 MPPT 알고리즘 적용을 위한 컨버터부로 구성되어 있다. 또한 일사량 측정을 위한 일사량계(LI-200SZ)와 데이터 측정을 위한 오실로 스코프(DL-708E)를 사용하였으며, NI-DAQ보드(.60146U)를 사용하였다. 사용된 태양전지 모듈의 사양은 표 2와 같다.

표 2 태양전지 모듈 사양  
Table 2 Specification of solar cell module

Maximum power( $P_{max}$ )	[W]	160
Max.power voltage( $V_{mp}$ )	[V]	35.0
Max.power current( $I_{mp}$ )	[A]	4.57
Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )	[V]	44.0
Short circuit current( $I_{sc}$ )	[A]	5.1
Maximum system voltage	[V]	DC 600
Standard Test Conditions : Air mass 1.5 Irradiance= $1000 W / m^2$ Cell temperature= $25^\circ C$		

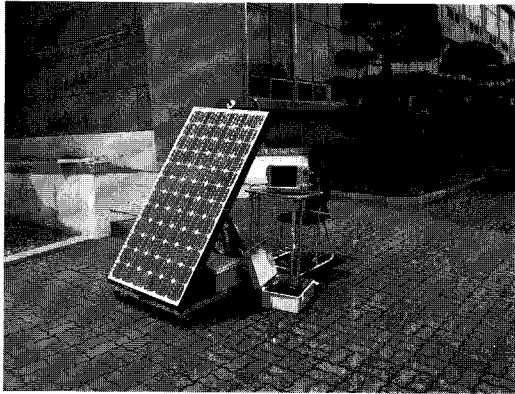


그림 5 알고리즘 적용을 위한 실험장치.

Fig. 5 Experimental device for algorithm application.

그림 6은 일사량과 온도에 변화에 대한 태양전지 어레이의 V-I 특성곡선을 나타낸다. 온도 및 일사량의 변화에 따라 정상상태에서 다양한 최대전력을 출력하고 있다. 본 논문에서는 이러한 최대 전력점에서 동작하도록 하는 추적 성능을 퍼지제어와 FNN제어기를 속도와 안정화 시간을 고려하여 비교하였다.

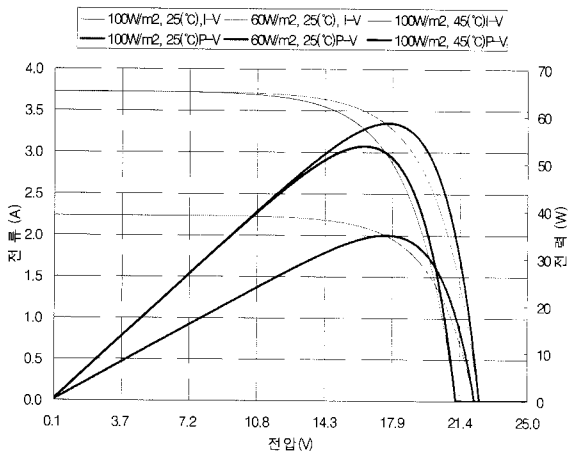


그림 6 다양한 운전조건에서의 태양전지 출력.

Fig. 6 Solar cell power at different operating conditions.

그림 7은 종래의 퍼지제어와 제시한 FNN 제어기의 최대 전력점 추적에 대한 성능 비교를 나타낸다. 0초에서 0.5초 구간에서는 일사량 60W/m<sup>2</sup>, 외기온도 25°C일 경우이고 0.5초에서 1.0초 구간에서는 일사량 100W/m<sup>2</sup>, 외기온도 45°C일 경우이며, 1초에서 1.5초 구간에서는 100W/m<sup>2</sup>, 외기온도 25°C일 경우의 조건에서 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 퍼지제어는 각 조건의 경우 0.16초, 0.58초, 1.05초에 최대전력점에 도달하였으나 논문에서 제시한 FNN 제어기는 각 조건에서 0.12초, 0.5초, 1.02초에 최대전력점에 도달하는 것을 알 수 있다.

그림 8과 그림 9는 태양전지 모듈의 최적 전압 추적 특성과 최대전력 추적에 대한 응답특성의 비교를 나타낸다. 그림 8에서 FNN 제어기는 퍼지제어기에 비해 태양전지 모듈의 최적 전압인 약 28V에 매우 빠르게 추종하고 있다. 또한

그림 9에서는 본 논문에서 제시한 FNN 제어기가 최대 전력인 160W에 더욱 빠르게 도달하고 있다.

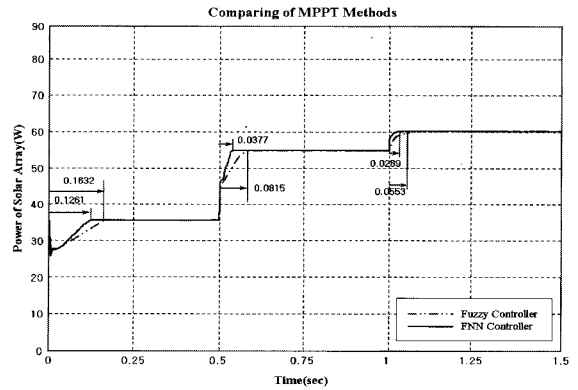


그림 7 퍼지제어와 FNN제어의 최대전력점 추적성능 비교.

Fig. 7 MPPT performance comparison of fuzzy control and FNN control.

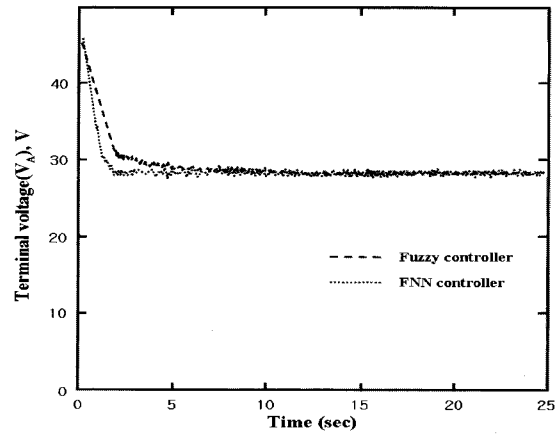


그림 8 태양전지 모듈의 최적 전압 추적특성에 대한 비교.

Fig. 8 Compare with optimal voltage tracking characteristic of solar cell

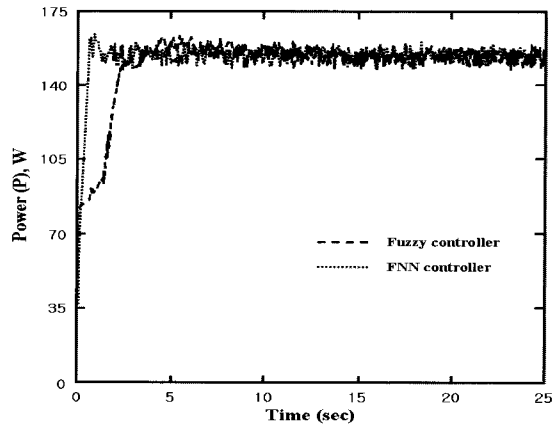


그림 9 태양전지 모듈의 최대 전력 추적특성에 대한 비교.

Fig. 9 Compare with maximum power tracking characteristic of solar cell

그림 10은 본 논문에서 사용된 160Wp를 구성하는 태양 전지 셀 하나의 출력에 대한 최대전력점 추적 성능의 비교를 나타낸다. 셀 하나에 대한 최대전력은 2.25W로 나타나고 있으며 20초 후에 그림자 효과를 50% 인가하였다. 제시한 FNN 제어기가 퍼지제어에 비해 최대전력점에 빠르게 도달하며 안정화 시간이 훨씬 짧게 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 FNN 제어기가 종래의 퍼지제어에 비해 최대전력점 추적 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 11과 12는 일사량이 좋은 경우 FNN제어기와 퍼지 제어기의 컨버터 출력전압, 전류 및 전력을 비교하여 나타낸다. 그림 12의 발전량을 비교하여 볼 때, FNN 제어기는 약 17.8[kW], 퍼지제어기는 약 17.2[kW]를 출력하였으며 FNN 제어기가 약 600[W] 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 FNN 제어기가 퍼지제어기에 비해 최적 전압을 빠르게 추종하여 태양전지 모듈의 전력이 더 높게 출력하였다.

그림 13과 14는 일사량이 매우 낮을 때의 태양광 발전의 발전 성능을 비교하여 나타낸다. 그림 13은 FNN 제어기 및 퍼지제어기의 직류전압과 직류전류를 나타낸다. 그림 14는 두 제어기에 의한 누적 발전량을 나타낸다. 일사량이 낮은 경우 전체 누적 발전량은 FNN 제어기가 1.14[kW], 퍼지제어는 1.08[kW]를 출력하였으며 효율은 약 5[%]정도 상승하였다.

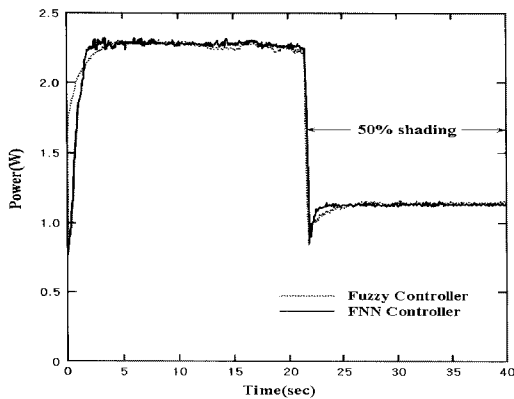


그림 10 한 개의 셀에 대한 실시간 추적 성능 비교.  
Fig. 10 Comparison of real time tracking performance about single cell.

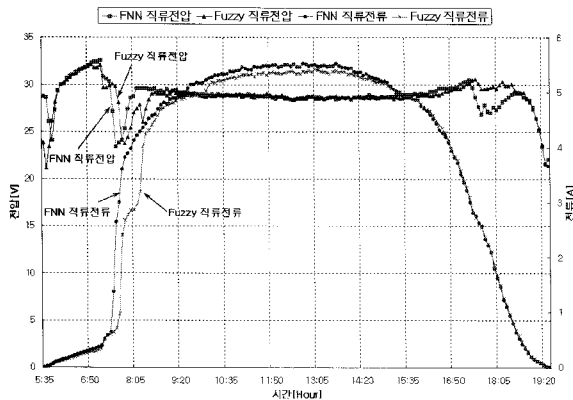


그림 11 직류전압 및 직류전류의 비교. (고 일사량)  
Fig. 11 Comparison of DC voltage and current. (high insolation)

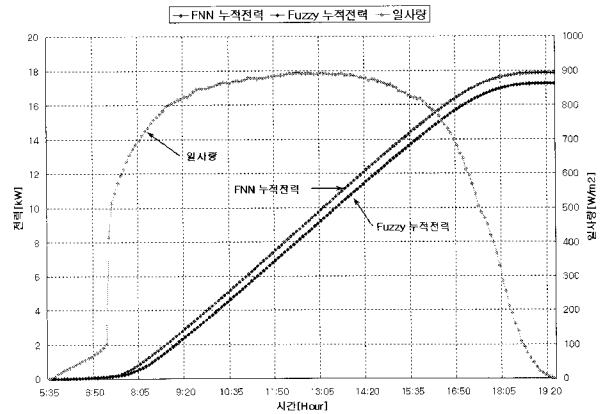


그림 12 누적 발전량의 비교. (고 일사량)  
Fig. 12 Comparison of accumulated generation. (high insolation)

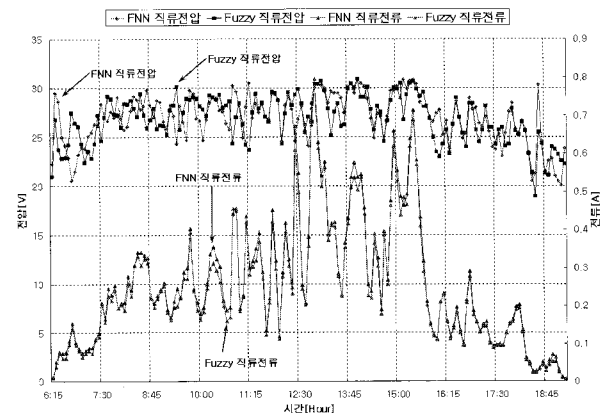


그림 13 직류전압 및 직류전류의 비교. (저 일사량)  
Fig. 13 Comparison of DC voltage and current. (low insolation)

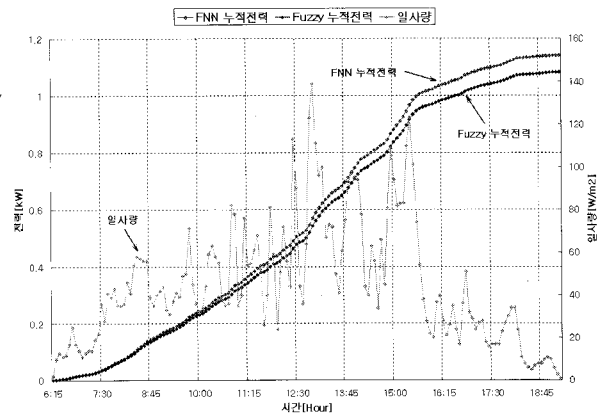


그림 14 누적 발전량의 비교. (저 일사량)  
Fig. 14 Comparison of accumulated generation. (low insolation)

그림 15와 16은 일사량이 급변할 경우의 태양광 발전의 발전 성능을 나타낸다. 그림 16의 전체 누적 전력량에서 FNN 제어기는 11[kWh], 퍼지제어기는 10.5[kWh]를 출력하였었다. 일사량이 급변할 경우에도 본 논문에서 제시한 FNN 제어기는 퍼지제어기에 비해 MPP 추종성능이 양호하게 나타남을 알 수 있다.

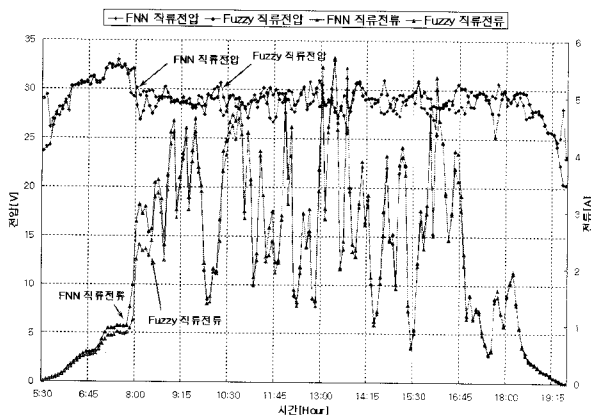


그림 15 직류전압 및 직류전류의 비교. (일사량 급변시)  
 Fig. 15 Comparison of DC voltage and current. (insolation rapidly variation)

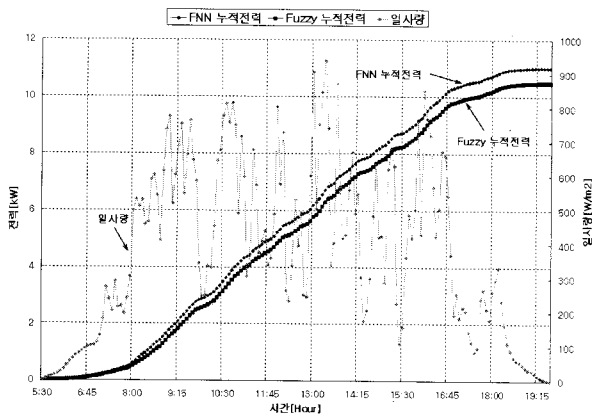


그림 16 누적 발전량의 비교. (일사량 급변시)  
 Fig. 16 Comparison of accumulated generation. (insolation rapidly variation)

### 6. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 MPPT 제어를 위하여 FNN 제어 알고리즘을 제시하였다. 제시한 FNN 제어는 퍼지제어와 신경회로망을 혼합한 알고리즘으로 구성하였다. 이러한 알고리즘은 태양전지 어레이의 비선형적 특성에 적용하여 파라미터 변동에 대한 우수한 제어 성능을 나타낼 수 있다. 특히, 퍼지제어에서 나타나는 장점인 강인성 제어를 얻을 수 있었으며, 신경회로망에서 나타나는 적응제어의 능력을 나타낼 수 있었다.

태양전지 모듈의 출력과 밀접한 관련이 있는 일사량의 변화할 경우의 최대전력점 추적 성능을 종래의 퍼지제어와 제시한 FNN 제어기를 비교하였다. 태양전지의 MPP를 위한

최적 전압의 추적 성능은 종래의 퍼지제어에 비해 제시한 FNN 제어기가 빠르게 추종하였으며 안정화 시간도 매우 짧게 나타났다. 또한 160Wp의 태양전지 모듈에 컨버터를 설치하여 제시한 알고리즘을 적용하여 일사량 조건에 따라 실증실험을 하였다. 실증실험 결과 본 논문에서 제시한 FNN 제어 알고리즘에 의한 발전량은 일사량 조건에 따라 종래의 퍼지제어에 비해 고 일사량일 때 약 600[W], 저 일사량일 때 60[W], 일사량이 급변할 때 약 500[W] 정도 높게 나타남을 알 수 있었으며 제시한 알고리즘에 대한 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제시한 FNN 제어 알고리즘의 타당성을 입증할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] T.Markvart, Solar Electricity, John Wilcy & Sons, 1994
- [2] H. Chihchiang and S. Chihming, "Study of Maximum Power Tracking Techniques and Control of DC/DC Converter for Photovoltaic Power System," in IEEE PES Power Electronics Specialists Conf., Vol.1,1998
- [3] Y. Chen, K. Smedley, "Three-Phase Boost Type Grid Connected Inverter", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 19-23, 2006
- [4] Guo Heng, Xu Zheng, and Li You-Chun, "A Novel Maximum Power Point Tracking Control Method for Stand-alone Photovoltaic Pumping Systems", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific. Dalian P. R. China, 14-18, 2005
- [5] B.G.Braga and B.C.A.Henrique "Boost current multilevel inverter and its application on single-phase grid-connected photovoltaic systems" in Proc.IEEE Trans on Power Electronics, Vol. 21, pp.1116-1124, 2006.
- [6] J. M. Carrasco, L.G. Franquelo, J.T. Bialasiewicz, E.Galván, R. C. Portillo Guisado, M. Á. Martín Prats, et al., "Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey". IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 53, no.4, pp.1002 - 1016, 2006.
- [7] C-Y Won, et. al. "A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller," IEEE-PESC Power Electronics Specialists Conf., Vol.1, pp. 396 -403, 1994.
- [8] M. G. Simocs, N. N. Franceschetti and M. Friedhofer. "A fuzzy logic based photovoltaic peak power tracking control." Proceedings of the ISIE International Symposium on Industrial Electronics , Vol. I, pp. 300 -305. 1998,
- [9] M. G. Simoes and N. N. Franceschetti "Fuzzy optimization based control of a solar array system," Proceedings of the IEE Electric Power Applications Vol. 146, No 5. pp. 552 -558, Sept. 1999

- [10] A. Mahmoud. et. al, "Fuzzy logic implementation for photovoltaic maximum power tracking," Proceedings. 91h JEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 155 -160, 2000.
- [11] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.
- [12] Zhou Dejjia, Zhao Zhengming, Wu Libo, Yuan Liqiang, Sun Xiaoying, "'Analysis characteristics of photovoltaic arrays using simulation'". J Tsinghua Univ (Sci & Tech), v 47, no. 7, pp.1109-1112, 2007.
- [13] A. O. Zue and A. Chandra, "'Simulation and stability analysis of a 100 kW grid-connected LCL photovoltaic inverter for industry'". In power engineering society general, June, 2006, IEEE, pp.1 -6, 2006.
- [14] B. Bletterie, R. Bruendlinger, S. Spielauer, "Quantifying Dynamic MPPT Performance under Realistic Conditions First Test Results - The Way Forward", Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2347, 2006.
- [15] R. Gonzalez, J. Lopez, P. Sanchis and L. Marroyo, "Transformerless Inverter for Single-Phase Photovoltaic Systems," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 22, pp. 693-697, 2007
- [16] N. Femia, D. Granozio, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, " Optimized one-cycle control in photovoltaic grid connected applications," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 42, pp. 954-972, 2006.
- [17] Kiranmai, K. S. Phani and M. Veerachary, " A Single- Stage Power Conversion System for the PV MPPT Application," Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 2125-2130 2006,

## 저 자 소 개



### 최정식 (崔正植)

2005년 순천대학교 공대 전기제어 공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정  
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-752-9841  
E-mail : cjs1108@scnu.ac.kr



### 고재섭 (高在涉)

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정  
Tel : 061-750-3543  
Fax : 061-752-9841  
E-mail : kokos22@naver.com



### 정동화 (鄭東和)

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

Tel : 061-750-3543  
Fax : 061-752-9841  
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr  
WebPage : <http://pelab.sunchon.ac.kr/~hwa777>