

퍼지제어를 이용한 태양광 추적시스템의 고효율 제어

정병진, 고재섭, 최정식, 김도연, 정동화  
 순천대학교 정보통신공학부

High Efficiency Control of Solar Tracking System using Fuzzy Control

Byung-Jin Jung, Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Do-Yeon Kim, Dong-Hwa Chung  
 School of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

**Abstract** - In this paper proposed the solar tracking system to use a fuzzy based on PC in order to increase an output of the PV array. The solar tracking system operated two DC motors driving by signal of photo sensor. The control of dual axes is not an easy task due to nonlinear dynamics and unavailability of the parameters. The fuzzy control made a nonlinear dynamics to well perform and had a robust and highly efficient characteristic about a parameter variable as well as a nonlinear characteristic. In this paper designed a fuzzy controller for improving output of PV array and evaluated comparison with efficient of conventional PI controller. The data which were obtained by experiment were able to show a validity of the proposed controller.

1. 서 론

태양광 발전 시스템의 출력 효율을 높이기 위하여 일반적으로 태양전지 셀 자체의 효율을 높이거나 태양광 발전 제어용 전력변환 시스템의 변환 효율 및 MPPT 제어를 하여 높이는 방법, 태양이 항상 법선을 이루면서 태양 전지 모듈에 입사되게 하는 추적식 방법 등을 이용하고 있다.[1][2]

태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법으로 태양광 발전 시스템의 발전 효율을 향상하기 위해서는 매우 정확하게 태양을 추적하기 위한 시스템이 필요하다. 지난 20년 동안, 퍼지 제어는 광범위한 산업에 적용이 입증되어 왔다.[3] 퍼지 로직 기반 제어기 설계는 수학적 모델링의 유효성보다는 시스템 동작에 대한 축적된 경험을 사용하여 설계되어 질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 태양광 추적 시스템에 적용할 수 있는 PC 기반의 퍼지제어기 설계를 제시한다. PC 기반 퍼지제어기의 설계는 태양광 센서의 오차 변화에 따라 추적 시스템의 전동기 구동에 사용되며, 종래의 PI제어기에 의한 PV 어레이 출력을 비교하여 분석한다. 이로서 본 논문에서 제시한 제어기의 타당성을 입증한다.

2. 태양위치 센서 모델링

본 논문에서는 5개의 포토다이오드를 사용하여 태양유무, 태양의 방위각 및 고도각 변화에 따른 태양의 위치를 판별한다. 그림 1은 태양위치 센서의 구조를 도식적으로 나타낸다. 센서 하우징 외부에 설치된 포토다이오드 A는 태양이 일시적으로 구름에 가려있거나 또는 흐린 날씨를 판별하기 위한 것이며, 포토다이오드 B 및 D는 태양의 방위각 변화에 따른 태양추적을 위한 것이며, 포토다이오드 C 및 E는 태양의 고도각 변화에 따른 태양추적을 수행하기 위한 것이다.

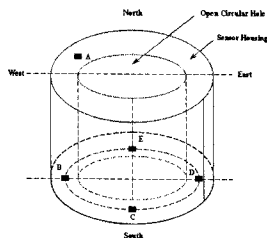


그림1. 태양위치 센서의 구조  
 Fig. 1 Structure of the sun position sensor

그림 2는 태양위치 센서의 동작원리를 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서와 같이 태양위치 센서가 태양을 향하고 있을 때, 태양광선은 태양위치 센서의 법선방향으로 입사되며, 이와 같은 경우, 태양 위치 추적용 포토다이오드 B와 D로부터 발생하는 전압은 같게 된다. 따라서 태양추적 장치는 방위각에서의 추적 동작을 중지한다. 그러나 그림2(b)와 같이 태양센서로 입사되는 태양광선이 센서의 법선방향과 경사각을 가지고 있으면 태양 추적용 포토다이오드 B로부터 발생하는 전압과 D로부터 발생하는 전압 사이에 오차가 발생되며, 이와 같은 경우 태양위치 추적장치는 방위각 추적을 위한 모터를 구동시켜 그림2(a)와 같이 포토다이오드 B와 D사이의 발생하는 전압 오차가 Zero가 되도록 태양위치 추적을 수행한다.

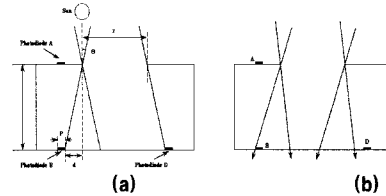


그림 2. 태양위치 센서의 동작원리  
 Fig. 2 Operating principle of the sun position sensor

빛이  $\theta$ 만큼 기울어져서 비추면  $d$  크기의 그림자가 생기고, 이 때,  $d$ 의 크기는 포토 다이오드의 위치가 되며 식 (1)을 통하여 구할 수 있다.

$$d = \tan \theta \times h \tag{1}$$

또한, 센서 상부의 개방 원지를  $r$ 은 높이와 추적 가능 실장각, 포토다이오드 크기 및 위치의 함수를 통하여 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$r = [\tan(\alpha) \times h] - (p + d) \tag{2}$$

3. 퍼지제어기의 설계

3.1 퍼지화기

제어기의 입력 변수들은 다음과 같이 정의되어 진다.

$$e(EW) = e(B) - e(D) \tag{3}$$

$$e(SN) = e(C) - e(E) \tag{4}$$

여기서,  $e(EW)$ 과  $e(SN)$ 는 각각 동-서(방위각)와 남-북(고도각) 방향의 전압 오차이고  $e(B)$ ,  $e(C)$ ,  $e(D)$ ,  $e(E)$ 는 센서 출력 전압을 나타낸다.

3.2 퍼지 룰 베이스

퍼지 제어 룰은 수학적 모델링 보다는 감각적이고 태양 위치 추적 시스템의 동작에 대해 얻어진 경험으로 이루어진다. 퍼지 제어의 룰 베이스는 언어학상의 규칙을 통해 다음과 같은 간단한 구조를 나타낸다.

$$\text{if } e(k) \text{ is } A, \text{ Then } u(k) \text{ is } B \tag{5}$$

여기서  $e(k)$ 는 식(3)과 식(4)에서 정의된 센서 출력간의 오차이며,  $u(k)$ 는 퍼지제어기의 출력인 제어 입력을 나타낸다. 제어입력은 남-북(고도각) 제어를 위한 전동기 전압  $v_1$ 과 동-서(방위각)제어를 위한  $v_2$ 를 고려한다. 언어학의 변수들과  $v_1$ 과  $v_2$  양 축에 대한 멤버십 함수들은 입력변수와 같이 선택되어 진다. 다음과 같은 퍼지 규칙들은 양 축의 전동기에 대해 사용되어 지며 표 1은 전동기 전압에 대한 퍼지 규칙을 나타낸다.

표 1. 전동기 전압에 대한 퍼지 규칙  
 Table 1. Fuzzy rule about motor voltage

입력 ( $e_{xy}$ )	출력 ( $v_i$ )
NB	NB
NM	NM
NS	NS
ZE	ZE
PS	PS
PM	PM
PB	PB

여기서,  $xy = \begin{cases} SN & \rightarrow i = 1 \\ EW & \rightarrow i = 2 \end{cases}$  가 된다.

위의 규칙은 다음의 측정 결과를 바탕으로 이루어졌다.

- 센서 전압  $e_{xy}$  값의 오차가 0 이면 양 축의 전동기는 정지한다.
- 센서 전압  $e_{xy}$  값의 오차가 양(+)이면, 양(+)의  $v_i$ 가 사라지도록 전동기는 정(+)회전한다.
- 센서 전압  $e_{xy}$  값의 오차가 부(-)이면, 부(-)의  $v_i$ 가 사라지도록 전동기는 역(-)회전한다.

### 3.3 비 퍼지화

본 논문에서는 무계 중심법(Center of Gravity method)을 적용하였으며, 일반적으로 무게 중심법이 다른 방법들에 비해서 우월한 성능을 갖는다. 멤버십의 모든 요소들의 값을 모두 취하는 방법으로 다음 식(6)으로부터 계산할 수 있다.

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot \mu_0(v_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_0(v_i)} \quad (6)$$

여기서,  $\mu_0(v_i)$ 는 출력변수  $v_i$ 의 멤버십 함수의 값이고,  $n$ 은 퍼지 집합의 개수를 나타낸다.

### 4. 시스템의 구성

본 논문의 제어 시스템 구성은 그림 3과 같고, 데이터 수집과 구동회로 및 PC와의 통신 등의 3개의 큰 부분으로 이루어졌다.

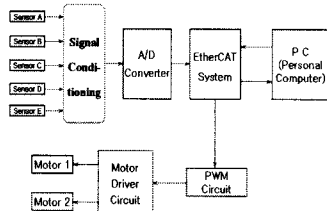


그림 3. 제어 시스템 구성도  
Fig. 3 Diagram of control system

태양위치 추적을 위한 센서부는 포토 다이오드 5개로 구성된 태양 위치 센서로서 광량을 입력받는다. 입력받은 광량은 Signal Conditioning 회로를 이용하여 전압으로 변환되고 A/D 컨버터는 입력받은 아날로그 전압을 디지털로 변환하여 전압레벨을 갖는다. 센서 신호의 전압레벨 정보는 산업용 펌드버스인 EtherCAT을 통해 PC로 입력되며, PC에서 퍼지 알고리즘에 의한 제어량은 다시 통신을 통해 전동기 구동회로로 입력되어 최종적으로 두축의 전동기를 구동하게 된다. 그림 4는 센서에 의한 태양광 추적 시스템의 제어 순서도를 나타낸다.

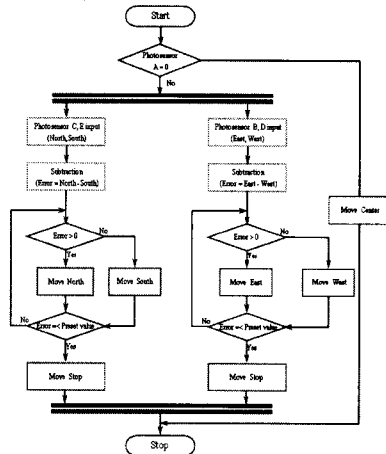


그림 4. 센서에 의한 태양광 추적 시스템의 제어 순서도.  
Fig. 4 Block diagram of control of solar tracking system

### 5. 실험 및 결과

그림 5는 종래의 PI 제어를 통한 동, 서 센서 및 전동기 동작특성을 나타내고, 그림 6은 퍼지제어를 통한 동, 서 센서 및 전동기 동작특성을 나타낸다. 퍼지제어는 종래의 PI제어와는 다르게 순간적인 전압오차, 즉 구름이 지나가거나 센서부에 일시적으로 먼지가 있을 경우에는 전동기가 동작하지 않았다.

그림 7은 종래의 PI제어를 통한 남, 북 센서 및 전동기 동작 특성을 나타내고, 그림 8은 퍼지제어에 의한 남, 북 센서 및 전동기 동작 특성을 나타낸다. 동, 서(방위각)제어와 마찬가지로 남, 북(고도각)제어에서도 퍼지제어는 순간적 전압 오차에 전동기는 구동하지 않았으며, 이는 구름이나 센서부의 이물질 등에 의한 일시적인 전압 오차 신호에 대해 전동기를 구동하지 않으므로 불필요한 전력소모를 줄일 수 있어 최종적으로 인버터의 출력을 증가할 수 있다.

그림 9는 일사량이 크게 변하지 않은 환경에서의 PI제어 및 퍼지제어에 의한 인버터 출력을 나타내고, 그림 10은 일사량의 변화가 클 경우에 PI제어 및 퍼지제어에 의한 인버터 출력을 나타낸다. 구름의 이동이 빈번하여 일사량 변화가 클 경우에는 퍼지제어에 의한 발전량이 종래의 PI제어에 의한 발전량에 비해 크게 나타나고 있다.

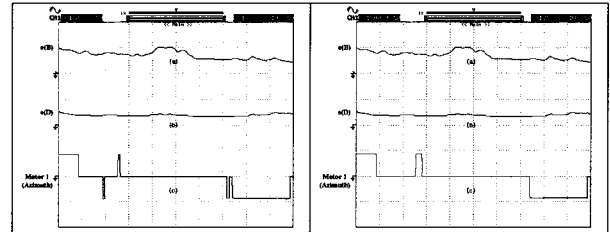


그림 5. PI제어에 의한 동작특성(동-서)  
Fig. 5 Response characteristics of PI control (east-west)

그림 6. 퍼지제어에 의한 동작특성(동-서)  
Fig. 6 Response characteristics of fuzzy control (east-west)

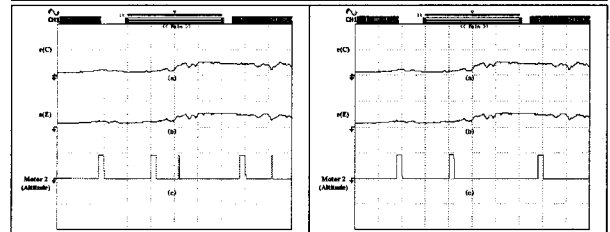


그림 7. PI제어에 의한 동작특성(남-북)  
Fig. 7 Response characteristics of PI control (south-north)

그림 8. 퍼지제어에 의한 동작특성(남-북)  
Fig. 8 Response characteristics of fuzzy control (south-north)

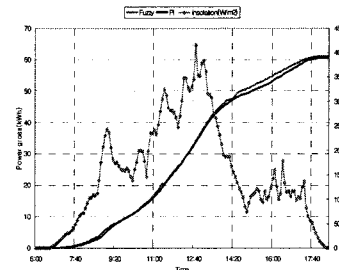


그림 9. PI제어 및 퍼지제어에 의한 발전량(일사량 변화가 적은 환경)  
Fig. 9 Power gross with PI and fuzzy control (In little changing solar radiation)

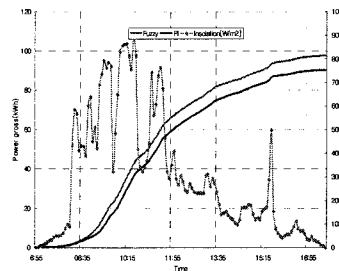


그림 10. PI제어 및 퍼지제어에 의한 발전량(일사량 변화가 많은 환경)  
Fig. 10 Power gross with PI and fuzzy control (In much changing solar radiation)

### 6. 결론

본 논문에서는 추적식 태양광 발전 시스템의 효율을 높이기 위해 PC 기반 퍼지제어 알고리즘을 제안하였다. 종래의 PI제어에 의한 시스템은 일사량 변화에 관계없이 센서에 의한 전압오차가 발생될 때마다 전동기를 구동시켰다. 본 논문에서 제시된 퍼지제어 알고리즘은 일반적으로 센서의 전압 오차에 따라 전동기를 구동시키며 특히, 일사량이 급변하는 경우 즉, 구름이나 먼지에 의해 순간적인 센서 전압 오차가 발생하는 경우, 전동기(역유레이터)를 구동하지 않는다. 이로써 전동기의 불필요한 전력소모를 줄이며 인버터의 최종 출력인 발전량이 증가 되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 퍼지제어 알고리즘의 태양 위치 추적의 우수성을 입증하였고, 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

### [참고 문헌]

- [1] H. J. Noh, D. Y. LEE, D. S. Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications", IE EE IES, Vol.2 (2002), pp. 1113-1118.
- [2] R. Andoubi, A. Mami, G. Dauphin, M. Annabi, "Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter", IEEE ICS, Vol. 3(2002), pp. 200-205.
- [3] M. Sugeno, editor, Industrial Applications of Fuzzy Control, North Holland, 1985.