

센서방식 태양광 추적 시스템의 효율 향상을 위한 퍼지제어기 개발

최정식, 고재섭, 정철호, 정병진, 김도연, 정동화  
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

Fuzzy Controller Development for Efficiency Improvement of Photovoltaic Tracking System using Sensor

Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Chul-Ho Jung, Byung-Jin Jung, 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. Hence the fuzzy control was used to perform the tracking system after comparing with error values of setting-up, nonlinear altitude and azimuth. 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. 서론

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. 태양광 발전 추적 시스템은 지리적인 위치의 위도와 경도를 시간의 변수로 사용하여 태양의 궤적을 추적하는 프로그램 방식과 광센서를 이용하여 광량 차이를 추적하는 센서 방식, 프로그램 방식과 센서 방식을 혼용한 방식 등으로 구성되어 있다. 센서방식의 추적장치 시스템의 경우, 태양광 발전의 효율 극대화를 위하여 태양광 센서간의 오차를 줄이고 최대점 추적을 위한 적당한 진동기 전압을 발생시켜야 한다. 본 논문에서는 태양광 추적 시스템에 적용할 수 있는 센서방식 태양광 추적 시스템의 효율 향상을 위한 퍼지제어기를 제시한다. PC 기반 퍼지 제어기의 설계는 태양광 센서의 오차 변화에 따라 추적 시스템의 진동기 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 가려졌거나 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.

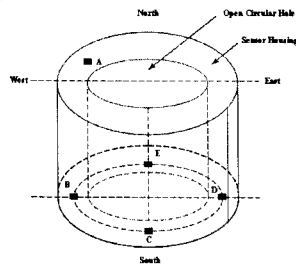


그림1. 태양위치 센서의 구조

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 추적을 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.

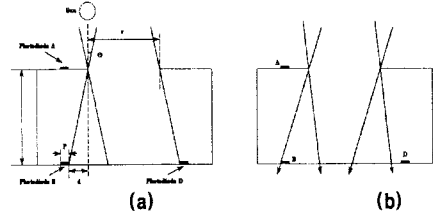


그림 2. 태양위치 센서의 동작원리

본 논문에서 사용된 태양위치 센서는 태양의 추적 가능 각도  $\alpha = \pm 60^\circ$ 로 설정하였고, 포토다이오드 A가 위치한 센서 하우징의 높이는  $h = 30mm$ , 직경 포토다이오드의 크기는  $p = 3mm$ 이다. 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 원지름  $r$ 은 높이와 추적 가능 설정각, 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

이동제어 시스템을 위한 퍼지 제어 알고리즘은 언어학의 제어 규칙들에 따라 시스템 구동의 지식을 표현하고, 이를 제어 대상에 적당한 크리슘(Crisp) 제어량으로 변환한다.[3] 전형적인 퍼지제어기는 퍼지화(Fuzzification), 비 퍼지화(Defuzzification), 퍼지 제어규칙 및 퍼지 룰 베이스를 통한 퍼지 추론의 세부분으로 나눌 수 있으며 그림 3은 기본적인 구조를 나타낸다.

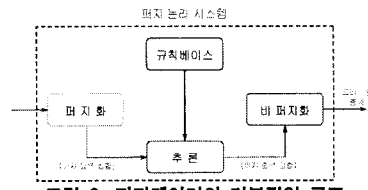


그림 3. 퍼지제어기의 기본적인 구조

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.

퍼지 설정은 논리 영역에서 각 요소에 대한 멤버십 값을 할당함으로써 정의된다. 본 논문에서는 삼각 퍼형의 멤버십 함수를 사용하였으며, 그림 4는 입력변수의 멤버십 함수를 나타낸다.

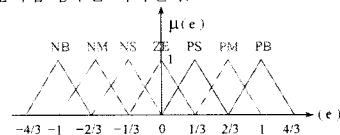


그림 4. 입력변수의 멤버십 함수

3.2 퍼지 룰 베이스

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. 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

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.

### 3.3 비 퍼지화

본 논문에서는 무게 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 5와 같고, 데이터 수집과 구동회로 및 PC와의 통신 등의 3개의 큰 부분으로 이루어졌다.

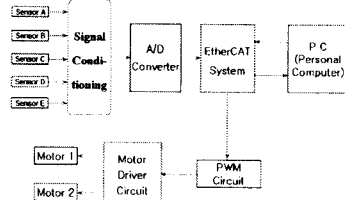


그림 5. 제어 시스템 구성도

그림 6은 센서에 의한 태양광 추적 시스템의 제어 순서도를 나타낸다.

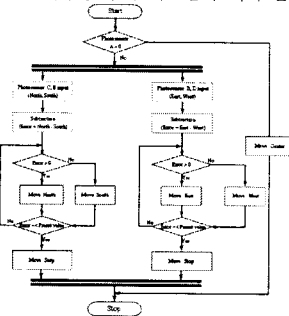


그림 6. 센서에 의한 태양광 추적 시스템의 제어 순서도.

## 5. 실험 및 결과

그림 7은 종래의 PI제어를 통한 동, 서 센서 및 전동기 동작 특성을 나타냈다. 그림 7(a)은 동쪽 포토다이오드의 동작 특성으로서 빛의 감지에 따른 센서의 전압을 나타낸 파형이고, 7(b)은 서쪽 포토다이오드의 동작 특성으로서 센서의 전압을 나타낸 파형이며, 7(c)은 동쪽과 서쪽 센서의 전압 오차에 따른 전동기의 동작 특성을 나타낸 것이다.

그림 8은 그림7과 같은 조건에서 퍼지제어를 통한 동, 서 센서 및 전동기 동작 특성을 나타낸 것이다. 퍼지제어는 종래의 PI제어와는 다르게 순간적인 전압오차, 즉 구름이 지나가거나 센서부에 일시적으로 먼지가 있을 경우에는 전동기가 동작하지 않았다.

그림 9는 종래의 PI제어를 통한 남, 북 센서 및 전동기 동작 특성을 나타냈다. 그림 9(a)은 남쪽 센서의 전압, 9(b)은 북쪽 센서의 전압을 나타내며, 9(c)은 남쪽과 북쪽 센서 전압의 전압 오차에 따른 전동기의 동작 특성을 나타낸 것이다. 그림 10은 그림 9와 같은 조건에서 퍼지제어를 통한 남, 북 센서 및 전동기 동작 특성을 나타낸 것이다. 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.

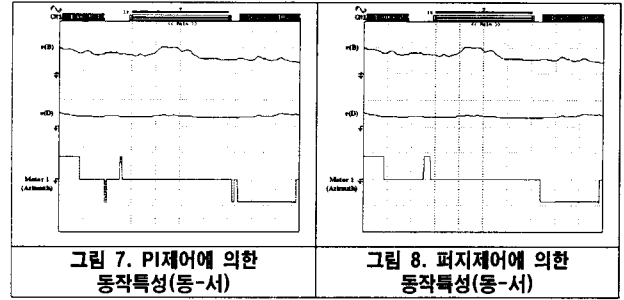


그림 7. PI제어에 의한 동작특성(동-서)

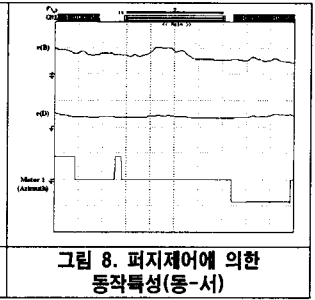


그림 8. 퍼지제어에 의한 동작특성(동-서)

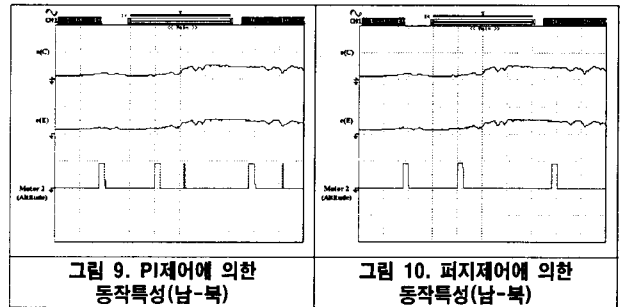


그림 9. PI제어에 의한 동작특성(남-북)

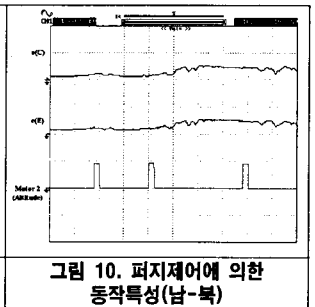


그림 10. 퍼지제어에 의한 동작특성(남-북)

그림 11은 일사량이 크게 변하지 않은 환경에서의 PI제어 및 퍼지제어에 의한 인버터 출력을 나타낸다. 일사량이 변화가 적은 환경에서는 퍼지제어에 의한 발전량이 종래의 PI제어에 의한 발전량에 비해 아주 미세하게 증가함을 알 수 있다.

그림 12는 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 나뉘고 있다.

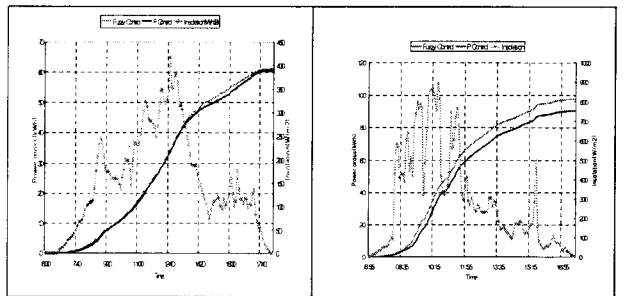


그림 11. PI제어 및 퍼지제어에 의한 발전량(일사량 변화가 적은 환경)

그림 12. PI제어 및 퍼지제어에 의한 발전량(일사량 변화가 많은 환경)

## 6. 결론

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 효율을 높이기 위해 센서방식 태양광 추적 시스템의 효율 향상을 위한 퍼지제어기를 제안하였다. PC 기반 제어의 EtherCAT은 종래의 통신 시스템에 비해 제어 속도가 매우 빠르게 나타났다. 추적식 태양광 발전 시스템의 전동기는 인버터의 출력을 피드백 받아 자체 발전되는 전압을 전원으로 사용한다. 따라서 전동기의 불필요한 전력소모를 줄이는 것은 전체 발전량을 높일 수 있다. 종래의 PI제어에 의한 시스템은 일사량 변화에 관계없이 센서에 의한 전압오차가 발생될 때마다 전동기를 구동시켰다. 그러나 퍼지제어 알고리즘은 일반적으로 센서의 전압오차에 따라 전동기를 구동시키며 특히, 일사량이 급변하는 경우 즉, 구름이나 먼지에 의해 순간적인 센서 전압 오차가 발생되는 경우, 전동기(액츄레이터)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", IEEE 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] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems", IEEE Control system Magazine, Vol. 9, no. 3, 1989, pp. 65-72.