

# 퍼지제어기를 이용한 반사경의 초점 위치제어에 관한 연구

## A Study on Focus Position Control of Reflector Using Fuzzy Controller

정희성\* · 김준수\* · 김혜란\* · 김관형\*\* · 이형기\*

Hoi-Seong Jeong\* · Jun-Su Kim\* · Hye-Ran Kim\* · Gwan-Hyung Kim\*\* · Hyung-Ki Lee\*

\* 부경대학교 제어계측공학과  
\*\* 동명대학교 컴퓨터공학과

### 요 약

본 논문은 태양과 반사경의 법선 벡터와 태양의 위치를 일치시키기 위하여 태양 궤적 추적 장치와 반사경의 오차 보정 장치를 설계하여 반사경의 법선 벡터와 태양의 위치를 일치시키도록 시스템을 설계하였다. 이렇게 설계된 시스템은 태양의 빛을 한 점으로 모을 수 있으며, 모여진 태양광을 광섬유를 통하여 원거리로 자연광을 보내어 유용한 광원으로 활용할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 이중화된 시스템의 제어기를 설계하기 위해서는 태양 궤적 추적 장치의 2축과 반사경 오차 보정 장치의 2축으로 구성되어 반사경의 법선 벡터에 대한 복잡한 상관관계가 존재하게 된다. 때문에 이러한 복잡한 방정식이 존재하므로 제어기 설계가 매우 복잡하게 된다. 그러나 본 논문에서는 복잡한 수학적 해석을 필요로 하지 않고 인간의 제어 해석 능력을 언어적 기법으로 표현할 수 있는 퍼지제어 기법을 활용하여 태양광을 하나의 정점으로 집광할 수 있는 시스템을 제시하고자 한다.

**키워드** : 태양 추적, 광섬유, 퍼지제어, 반사경, 언어적 변수

### Abstract

The present study investigated the tracking system of a reflector to trace the movement of sun. The system was designed to minimize the error between the vertical vector of reflector and the position of sun. The proposed system was able to collect the sun lights at a point as a useful source of light energy and transmit the collected light to a remote area through optical fibers. Also the study successfully solved the controller design problem due to the complexity of modeling of the sun tracking system using a fuzzy logic controller which mimics human reasoning.

**Key Words** : Solar tracking, Optical fiber, Fuzzy control, Reflector, Linguistic variable

## 1. 서 론

최근 몇 년간 경제적이고 친환경적인 무한의 에너지원인 태양광에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 그 응용분야도 점점 넓어지고 있다. 지금 대부분의 응용 사례는 태양광 발전 시스템으로 태양의 일사량을 전기에너지로 바꾸어주는 집광판(PV:Photovoltaic)을 이용하는 것이 대부분이다. 추가적으로 태양광 발전시스템의 고효율을 위해서는 2축 자유도를 가지는 트래커(tracker)라는 기구부를 이용하여 태양을 추적할 수 있도록 시스템을 구성하고 있다.

본 논문에서는 태양의 자연광을 실내 및 기타 장소에 조명용으로 활용하기 위하여 태양광을 한곳으로 집광할 수 있도록 오목거울형 반사경(reflector)을 부착하여 태양광을 한곳으로 집광하도록 하였다. 집광된 태양광을 다시 광섬유(optical fiber) 다발을 통하여 원거리로 자연광을 전송할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 이러한 시스템은 태양광을 조명용으로 활용할 수 있는 태양광 조명시스템을 제시하고자 한다. 특히, 이러한 태양광을 이용한 조명

시스템의 제어는 반사경의 정밀한 위치 제어 기술과 시간에 대한 태양의 고도각(elevation) 및 방위각(azimuth)을 계산하여 태양의 궤도를 추적할 수 있는 제어 기술이 필수적이다.

실제 상부 모듈의 제어는 오목거울형 반사경의 법선방향과 정확한 태양의 위치 사이에 작은 오차가 발생하여도 집광된 초점으로부터 광섬유로 투과되는 빛의 양이 현저하게 저하되므로 반사경에 의한 초점 위치를 정밀하고 정확하게 제어되어야 한다. 이러한 정밀제어를 위하여 초점을 검출할 수 있는 4개의 센서회로를 통하여 정확한 초점에 대한 오차를 보정과 외란을 제거하도록 퍼지제어기를 설계하여 시스템을 안정화 하였다.

본 논문에서 제시한 시스템은 태양광을 한 점으로 집광하는 오목거울형 반사경을 포함하는 상부의 모듈은 정밀한 위치 제어를 위하여 기어를 포함한 2축 DC 모터를 이용하여 집광되는 초점을 정밀하게 제어 하도록 설계하였으며, 태양의 위치를 실시간으로 추적해 나가는 하부의 트래커 모듈은 실시간으로 변하는 태양의 위치를 추적하기 위하여 친문학적 알고리즘 방식을 활용하여 현재 태양의 방위각과 고도각을 실시간으로 계산하여 본 시스템을 제어하도록 하였다. 이러한 지능형 퍼지제어기(intelligent fuzzy controller)는 태양광 집광 시스템과 같은 정밀도를

요구하는 시스템과 다양한 외란이 존재하는 비선형적인 환경에서의 외란 제어에 대한 퍼지제어기의 장점을 실험 결과로 제시하고자 한다.

## 2. 태양광 집광시스템

### 2.1 태양광 추적시스템

태양광 추적시스템의 구현 방식은 광량센서를 이용하는 센서 방식과 천문학적 알고리즘을 이용하는 두 가지 방식이 사용된다. 센서 방식은 광량센서를 이용하여 태양광의 오차를 측정하여 계산하는 방식이며, 천문학적 알고리즘을 이용하는 방식은 연재의 시간 정보와 율리우스 일(JD:Julian Day Number)을 사용하여 태양의 위치를 계산하는 방식이다.

본 논문에서 제시한 태양광 추적 및 태양광 집광 시스템의 구성은 그림 1과 같이 구성하였다. 그림 1은 크게 두 부분으로 상부와 하부 구조로 분리할 수 있으며, 상부 구조는 반사경을 이용하여 태양광을 하나의 초점(focus)으로 집광하는 부분으로 정밀한 제어를 요구한다. 하부 구조는 GPS 기반의 시간, 경도, 위도 정보를 이용하여 복잡한 천문학적 알고리즘을 LabView 기반으로 계산하여 RS-485 통신을 이용하여 원격으로 방위각( $\rho$ )과 고도각( $\theta$ )을 전송하도록 시스템을 설계하였다.

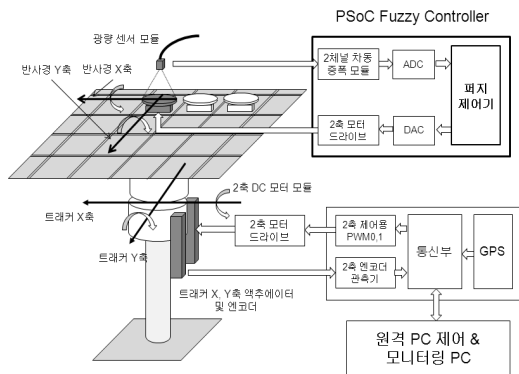


그림 1. 태양광 추적시스템 및 집광장치의 구조

Fig. 1. The Structure of a sunlight tracking and Light collecting device system.

### 2.2 태양광 집광시스템

한 점으로 태양광을 집광하기 위하여 그림 2와 같이 태양 집광시스템을 구성하였다. 태양의 빛을 오목거울형 반사경을 이용하여 한 지점으로 빛을 모았으며, 모아진 빛을 다시 광섬유를 통하여 광원을 외부로 유도하여 광원이 필요한 곳으로 유도할 수 있도록 하였다. 특히, 한 지점으로 모아진 광원의 초점 주위에 4개의 센서를 배치하여 태양의 움직임에 따라 광원의 초점이 시간에 따라 변화하는 현상을 보정하도록 설계하였다.

본 논문에서 구현한 태양광 추적시스템의 하부구조의 제어는 계산을 통한 방위각과 고도각을 구하였으므로 실제 태양의 위치와는 약간의 오차가 발생할 수 있다. 때

문에 이러한 오차를 정밀하게 보상하고 기타 비선형적인 외란에 강한 제어를 설계하기 위하여 상부구조에서는 다시 2-자유도의 2축 모터 제어시스템을 설계하여 하부 구조에서 발생하는 오차의 보정과 비선형적인 외란을 보상하도록 설계하였다. 본 논문에 적용한 상부구조의 제어 알고리즘은 비선형제어에 강인한 퍼지제어기를 설계하여 본 시스템에 적용하였다.

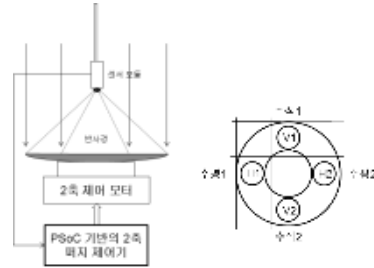


그림 2. 반사경을 이용한 태양광 집광 시스템 및 태양광 센서 구조  
Fig. 2. The Structure of a sunlight collecting system using reflector and sunlight detecting sensor.

그림 2와 같이 설계된 하나의 모듈을 그림 1과 같이 복수개의 모듈을 설치하여 보다 강하고 자연광에 가까운 빛을 집광할 수 있도록 설계하였다. 또한, 태양광 센서 부분의 배치는 수직부분과 수평부분으로 각각 오차를 나누어 계산하여 상하, 좌우에 대한 보상량을 퍼지제어기의 추론을 통하여 보상하였다.

## 3. 태양광 반사경 제어 알고리즘

### 3.1 반사경 제어를 위한 퍼지제어 알고리즘

퍼지제어기의 특징은 미분방정식으로 풀이되는 플랜트의 동역학 방정식에 의존하지 않다는 것이다. 퍼지제어기의 중요한 특징은 인간의 판단능력과 의사 결정 능력을 언어적 변수로 수식화 할 수 있다는 것이다. 때문에 태양광 집광장치의 초점 제어에 대한 제어 전략을 쉽게 수립할 수 있고 간편하게 적용할 수 있다. 특히, 본 논문에서는 그림 2에서 제시한 바와 같이 4개의 센서가 각각 수평축 2개와 수직축 2개로 각각 짝을 이루고 있어 수평축에 대한 오차와 수직축에 대한 오차를 쉽게 판단할 수 있어 보상량을 쉽게 추론해 낼 수 있다.

그림 3은 본 논문의 태양광 집광 제어장치의 블록 다이어그램을 제시하였다. PSoC(Programmable System on Chip) 기반으로 설계한 퍼지제어기는 수평축과 수직축의 ADC(Analog Digital Converter) 값을 통하여 퍼지제어기의 입력으로 사용하였으며, 퍼지제어기의 출력은 비퍼지화(defuzzification) 과정을 거쳐 PSoC 내부에 있는 DAC(Digital Analog Converter) 값과 모터 드라이버를 통하여 DC 모터를 제어할 수 있도록 설계하였다.

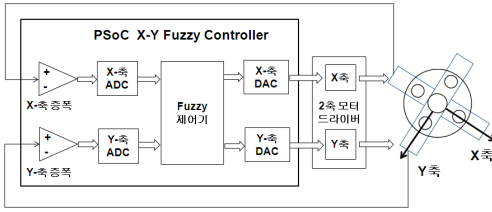


그림 3. 태양광 집광제어장치의 블록선도

Fig. 3. The block diagram of sunlight collecting device control system.

그림 4는 본 논문의 퍼지제어 알고리즘을 그림으로 표현한 것으로 x축 입력과 y축 입력은 그림 2의 센서 구조를 바탕으로 수평차동입력( $H_{input}$ )과 수직차동입력( $V_{input}$ )을 퍼지제어기의 입력으로 사용하였다. 출력의 경우는 PSoC 내부에 DAC(Digital Analog Convertor)를 활용하여 쉽게 시스템을 설계할 수 있어 본 논문의 제어 프로세서로 PSoC 사용하였다. 식 (1)에서 센서 입력에 대한 퍼지 크리스프 입력으로 표현하였다.

$$\begin{aligned} H_{input} &= H_1 - H_2 \\ V_{input} &= V_1 - V_2 \end{aligned} \quad (1)$$

- $H_{input}$  : 퍼지제어기의 수평입력
- $V_{input}$  : 퍼지제어기의 수직입력
- $H_1, H_2$  : 수평 센서의 입력
- $V_1, V_2$  : 수직 센서의 입력

식 (1)의 수평/수직 크리스프 입력을 그림 4의 퍼지 규칙 기반에 토대로 수평 모터와 수직 모터를 제어하는 퍼지제어기의 출력을 결정하도록 하였다. 참고로 본 논문의 퍼지제어기의 입력, 출력 구조는 [-1~+1]까지로 정규화하여 사용하였다.

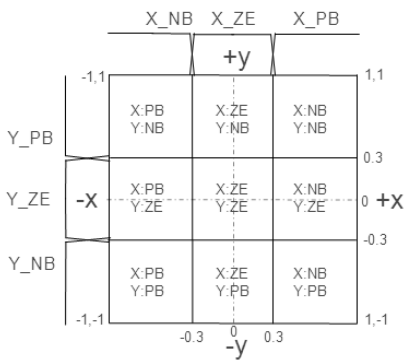


그림 4. 퍼지 입력에 대한 퍼지 룰 베이스  
Fig. 4. Fuzzy rule base for fuzzy input.

그림 4에 대한 퍼지제어규칙을 표 1과 같이 간단하게 표를 사용하여 표현하였다.

표 1. 퍼지 입력과 퍼지 출력에 대한 규칙 집합  
Table 1. The set of rules base for fuzzy input and fuzzy output.

편차 입력에 대한 언어변수		x축 모터 출력 언어변수	y축 모터 출력 언어변수
x축	y축		
PB	PB	NB	NB
PB	ZE	NB	ZE
PB	NB	NB	PB
ZE	PB	ZE	NB
ZE	ZE	ZE	ZE
ZE	NB	ZE	PB
NB	PB	PB	NB
NB	ZE	PB	ZE
NB	NB	PB	PB

그림 5와 그림 6는 본 논문에 적용한 퍼지 입력 변수에 대한 멤버십 함수를 MatLab Fuzzy Tool Box를 이용하여 표현하였다. 특히, 그림 5의 퍼지 멤버십 함수는 퍼지 입력 공간을 그림 4에서 제시한 바와 같이 수평축과 수직축을 각각 3개의 퍼지 영역으로 분리하여 구성하였다. 퍼지 입력은 퍼지 입력에 대한 스케일 팩터(scale factor)를 통하여 내부적으로 [-1~+1] 영역으로 사상시켜 퍼지 크리스프 입력으로 사용하였다.

스케일 팩터의 주요한 기능은 입력 공간에 대한 정밀도와 향상시켜 태양광 초점에 대한 오차를 정확하게 계속할 수 있도록 하는 기능을 제공한다.

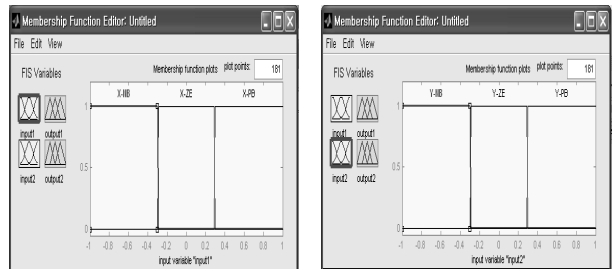


그림 5. 퍼지제어기의 입력 멤버십 함수.

Fig. 5. The input membership function of fuzzy controller.

그림 6은 퍼지제어기의 출력 변수의 나타낸 것으로 제어의 연산과 편리성을 위하여 제어기의 출력 공간을 수평축과 수직축에 해당하는 출력 멤버십 함수로 퍼지 영역을 쉽게 표현할 수 있는 사다리꼴 멤버십 함수를 사용하였다. 본 논문에서는 퍼지제어기의 출력 공간을 [-10~+10]으로 정의하여 PSoC의 정수연산을 수행하도록 하였다.

퍼지제어기의 출력 영역을 그림 6과 같이 정의하였으며, 퍼지제어기의 출력은 그림 4를 통하여 정의된 언어적 변수를 각각 출력 영역에 대한 3가지 영역으로 정의하여 적용하였다. 뿐만 아니라 시스템의 응답 성능을 고려하기 위하여 비퍼지화 과정을 통한 제어기의 출력을 다시 PSoC 내부의 스케일 팩터(factor)를 거쳐 PSoC 내부의 유저블록인 DAC를 통하여 2축 제어 모터 드라이브의 입력으로 사용하였다.

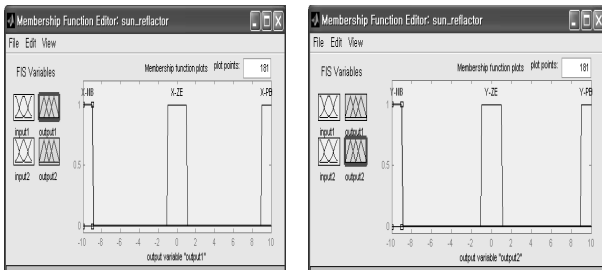


그림 6. 퍼지제어기의 출력 멤버십 함수.

Fig. 6. The output membership function of fuzzy controller.

표 2는 본 논문에 사용된 퍼지규칙 집합 9개를 제시하였다. 이러한 퍼지규칙 집합은 2-입력, 2-출력으로 구성되는 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 시스템의 제어 알고리즘이다. 이러한 퍼지제어규칙은 제어 전문가가 제어할 수 있는 제어 전략을 언어적 변수로 표현된 제어 전략을 표현한 것이다. 즉, 반사판인 오목거울에 의해 모아진 초점에 대하여 외란이나 태양의 이동에 의해 발생하는 초점의 오차를 4개의 센서를 통하여 동서남북에 해당하는 수평/수직의 편차에 대한 오차의 방향을 판단할 수 있어 주어진 방향에 대하여 적절한 수평 구동모터와 수직 구동모터의 구동을 지능적으로 제어할 수 있다.

표 2의 규칙은 그림 4와 표 1을 바탕으로 태양광 초점에 대한 x축 오차와 y축 오차에 대한 두 개의 퍼지입력과 수평축 모터와 수직축 모터에 해당하는 두 개의 퍼지제어 출력에 대한 퍼지제어규칙을 제시하였다.

표 2 퍼지 규칙 집합

Table 2. Fuzzy Rule Base.

No.	수평축 오차 입력	수직축 오차 입력	수평축 모터 출력	수직축 모터 출력
1	X_PB	Y_PB	X_NB	Y_NB
2	X_PB	Y_ZE	X_NB	Y_ZE
3	X_PB	Y_NB	X_NB	Y_PB
4	X_ZE	Y_PB	X_ZE	Y_NB
5	X_ZE	Y_ZE	X_ZE	Y_ZE
6	X_ZE	Y_NB	X_ZE	Y_PB
7	X_NB	Y_PB	X_PB	Y_NB
8	X_NB	Y_ZE	X_PB	Y_ZE
9	X_NB	Y_NB	X_PB	Y_PB

그림 7은 수평축과 수직축의 입력에 대한 퍼지제어기의 크리스프 입력을 볼 수 있으며, 입력된 크리스프 입력에 대하여 퍼지제어기의 제어규칙을 통한 퍼지제어기의 출력을 볼 수 있다. 퍼지제어기의 추론방식은 일반적인 제어에 우수한 성능을 보이는 맘다니(Mamdani) 추론 방식을 “Max-min” 추론 방식을 사용하였으며, 비퍼지화(defuzzify) 방법은 속도와 프로그램의 편리성을 위하여 최대값 선택 방법(maximum select method)을 사용하였다.

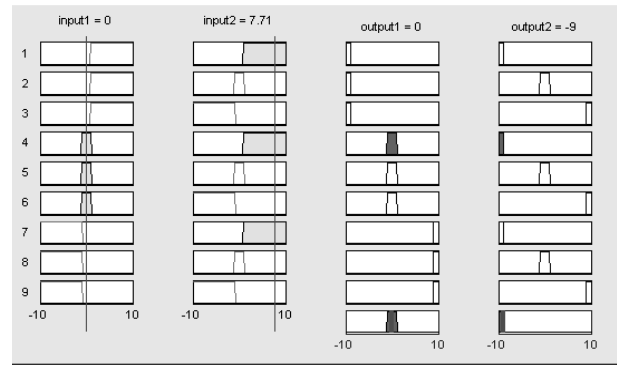


그림 7. 퍼지제어기의 추론 과정.

Fig. 7. Reasoning processing of fuzzy controller

그림 7의 input1=0로 수평축 오차에 대한 크리스프 입력과 input2=7.71의 수직축 크리스프 입력을 인가하였다. 이때에 추론해야 할 규칙은 표 1의 4인 “IF input1 is X\_ZF and input2 is Y\_PB THEN X 모터 출력 is Z\_ZE and X모터출력 is Z\_ZE and Y모터출력 is Y\_NB” 제어규칙을 통하여 X축 보상량은 없지만 Y축 보상에 대한 제어량을 퍼지제어기가 추론해 낸 것을 확인할 수 있다.

## 4. 태양광 집광시스템 설계 및 결과 고찰

### 4.1 PSoC 기반의 퍼지제어기 설계

퍼지제어기의 설계는 Cypress(사)의 PSoC 기반으로 설계하였으며, 선정된 칩은 CY8C29466-24PXI의 8bit 프로세서 선정하여 설계하였다. 이러한 PSoC은 프로그램 가능한 20개의 디지털 블록과 12개의 아날로그 블록을 내장하고 있어 복잡한 회로의 설계를 칩 내부에서 간단하게 구현할 수 있다.

본 논문에서 사용된 PSoC 내부 유저모듈은 12bit ADC 4개, 4개의 PGA 증폭기, 2개의 DAC로 구성하였으며 구성된 내용은 그림 9에 제시하였다. 이러한 유저모듈의 구성은 크게 수평축 제어에 관한 유저모듈과 수직축 제어에 관한 유저모듈로 구성된다. 수평축 유저모듈의 신호 흐름은 증폭기인 PGA\_1과 PGA\_2를 통하여 좌/우 센서에 대한 미세한 신호를 1차로 증폭시킨 다음 증폭된 신호를 디지털 값으로 만들기 위하여 ADCINC12\_1과 ADCINC12\_2를 통하여 디지털 값으로 입력된다. 다음은 내부적으로 퍼지제어 알고리즘을 적용하여 수평축에 대한 제어량을 계산한다. 계산된 제어량을 실제 모터드라이브로 보내기 위하여 디지털 값을 아날로그로 컨버터 하는 유저모듈인 DAC9\_1을 이용하여 출력한다. 이와 같은 방법으로 수직축의 제어도 이루어진다.

그림 8의 아래 부분인 아날로그 블록은 왼쪽의 6개는 수평축의 제어에 사용되고, 오른쪽의 6개는 수직축의 제어에 사용된다. 특히, 디지털 값을 아날로그로 컨버터 하는 유저모듈인 DAC9 모듈은 2개의 아날로그 블록을 사용되지만 수평축과 수직축을 제어하기 위한 입력부분과 출력부분을 모두 합하여 12개의 유저모듈을 사용하여 CY8C29466-24PXI의 아날로그 블록 12개를 모두 사용하여 설계하였다.

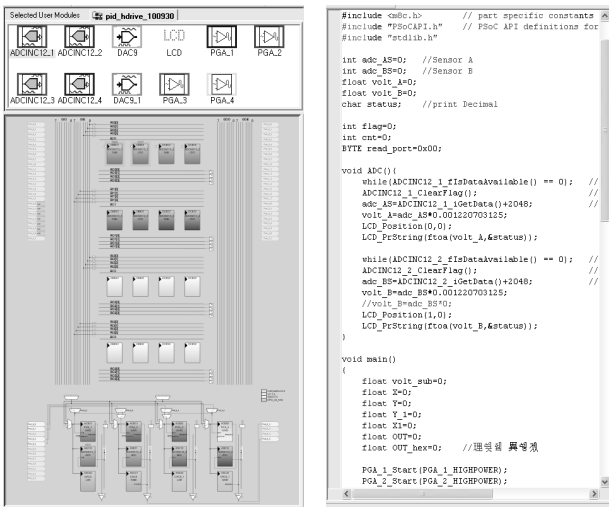


그림 8. PSoc 기반의 퍼지제어기 설계.

Fig. 8. The design of fuzzy controller based PSoC.

그림 8의 왼쪽부분은 PSoc에 사용된 유저모듈을 제시하였으며, 오른쪽은 초점 추적용 퍼지제어기의 C 프로그램 소스를 제시하였다.

그림 9는 PSoc 기반의 퍼지제어기의 C 프로그램의 흐름도를 제시하였다. 퍼지제어기로 진입하기 위한 조건은 아날로그 믹스를 통하여 조정된 태양광 센서의 값이 포화영역 보다 작아야 하고, 수평/수직에 대한 오차 조건 이하이어야 퍼지제어기가 동작하게 된다.

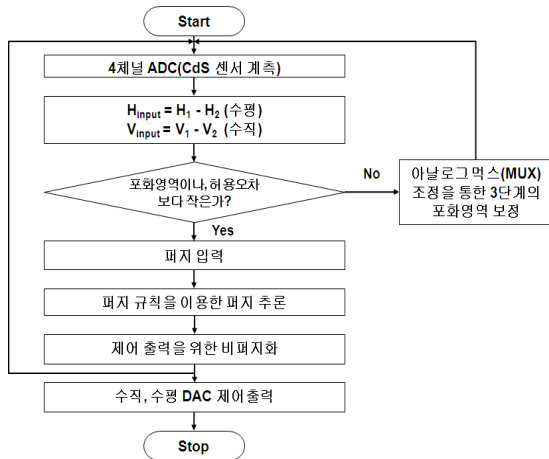


그림 9. PSoc 기반의 퍼지제어 흐름도.

Fig. 9. The control flowchart of fuzzy control based PSoC.

그림 10는 PSoc를 이용하여 태양광 초점을 추적할 수 있는 시스템의 CPU 회로도를 제시하였으며,

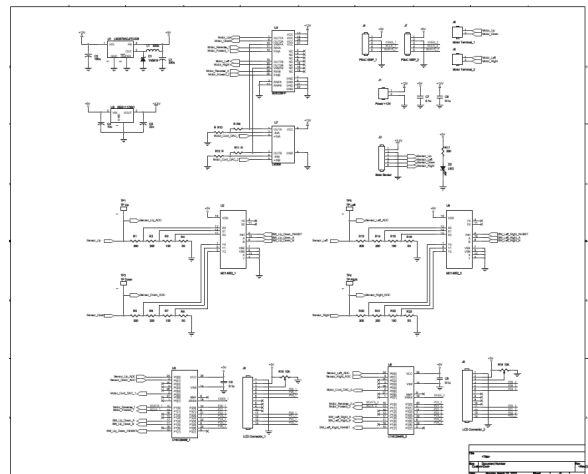


그림 10. 태양광 초점 추적 PSoc 회로도

Fig. 10. Sun light focus tracking PSoC circuits

그림 10의 회로는 보드의 이상과 범용성을 고려하여 하나의 주 제어기와 하나의 보조 제어기로 구성하여 그림 하단의 2개의 CY8C29466-24PXI CPU를 볼 수 있다. 그림 10의 상단 부분은 전원회로와 BD6226FP, LM358 칩을 이용하여 DC모터 드라이브회로를 설계하였다. 그림 11은 제어용 PCB 보드를 제시하였다.

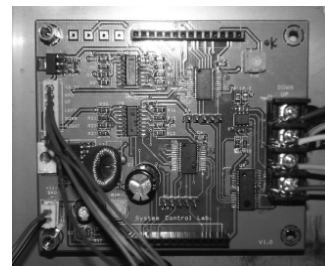


그림 11. 태양광 초점 추적 제어보드

Fig. 11. Sun light focus tracking control board.

그림 12의 회로도는 본 논문에 사용된 센서의 감도를 조절하기 위하여 아날로그 스위치 회로를 첨가하여 약한 밝기의 조도에 대해서도 쉽게 포화되는 민감한 광량 센서를 활용하기 위하여 아날로그 스위칭회로를 첨가하여 쉽게 포화영역으로 들어가는 것을 조절하도록 하였다.

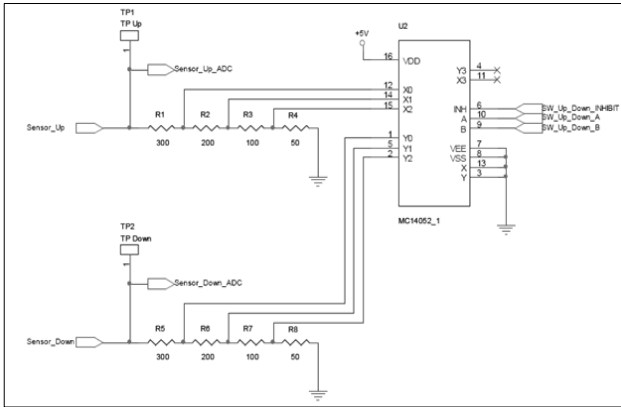


그림 12. 아날로그 스위칭 회로.  
Fig. 12. Analog switching circuits.

그림 13은 본 논문에 사용한 태양광 초점 제어시스템으로 하단의 오목 거울형 반사경과 상부의 광량센서 모듈의 사진을 제시하였다. 상부의 광량센서 모듈은 4개의 작은 구멍을 통하여 태양광 초점의 오차를 계측하도록 하였다. 하부의 반사경을 이용하여 만들어진 태양광의 반사 초점을 상부의 정 중앙에 정확하게 집중되도록 제어하는 하부의 2축 제어 모터의 내부를 제시하였다.

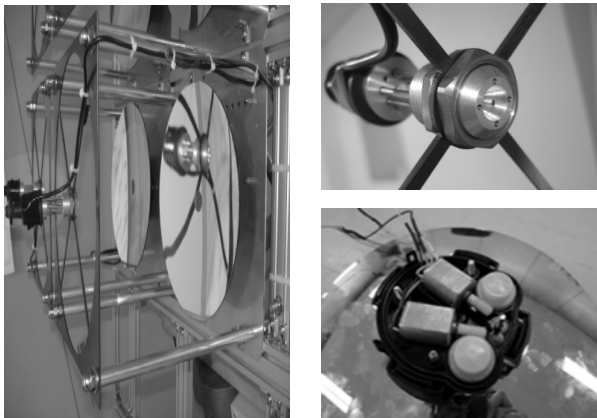


그림 13. 반사경을 이용한 태양광 집광시스템 및 태양광 센서 구조.  
Fig. 13. The Structure of a sunlight collecting system using reflector and sunlight detecting sensor.

그림 14는 본 논문에 사용된 전체 시스템의 전면부와 후면부를 제시하였다. 이러한 하부 시스템은 태양에 대한 방위각과 고도각을 제어하도록 하였다. 방위각 제어는 원형 액추에이터를 사용하였으며, 고도각에 대한 제어는 리니어(linear) 액추에이터를 사용하여 태양의 위치를 추적하도록 하였다.

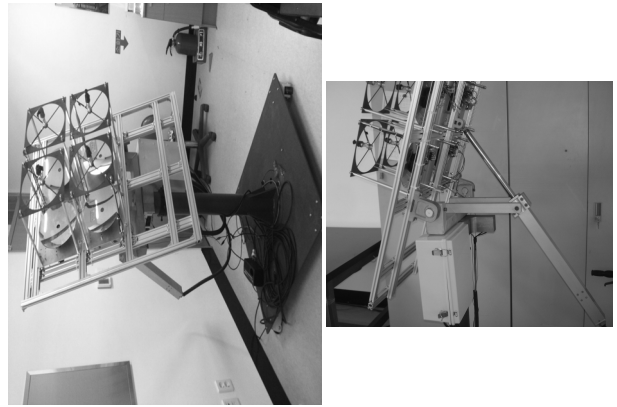


그림 14. 반사경을 이용한 태양광 집광시스템 및 태양광 추적시스템 구조.  
Fig. 14. The Structure of a sunlight collecting system using reflector and sunlight tracking system.

4.3 외란에 대한 퍼지제어기 실험 결과

이상과 같이 설계된 태양 추적 시스템 및 반사경에 의한 태양광 초점 위치 제어에 대한 시스템에 제시하였다. 제시된 시스템의 초점 위치 제어에 대한 성능을 확인하기 위하여 약 2분(오후1:51:13초~오후1:53:13초) 동안 외부에 비주기적인 외란을 가하여 실험을 하였으며, 주어진 외란에 대하여 퍼지제어기의 제어 성능을 실험을 통하여 확인하였다.

특히, 본 실험의 전제 조건은 1차적으로 하부시스템을 통하여 현재의 위치와 시간을 통하여 태양의 위치에 대한 방위각과 고도각을 계산하여 태양의 위치를 우선적으로 계산 한 다음 비주기적인 외란에 대하여 실험을 실시하였다.

그림 15는 플랜트에 비주기적인 외란을 인가하였을 때 인가된 외란에 대하여 계측된 데이터를 제시하였으며, 본 데이터는 수평축과 수직축 중 수평축에 해당하는 데이터를 제시하였다. 실선 input10과 점선 input11은 그림 2의 H1과 H2에 해당된다. 계측된 값은 PSOC의 아날로그 부분을 통하여 계측된 값을 시간대 별로 나타낸 그림이다. 여기에서 인가한 주기적인 외란은 바람과 같은 비주기적인 외란의 인가는 플레임 몸체 아래 부분을 가볍게 밀거나 흔들어서 비주기적인 외란을 인가하였다,

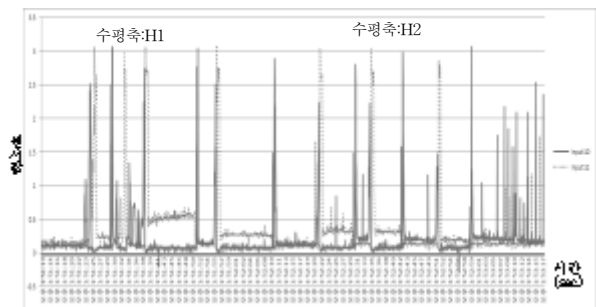


그림 15. 센서 입력 파형.  
Fig. 15. Sensor input waveform.

그림 16는 그림 14를 통하여 계측된 센서 데이터 사이의 오차를 나타낸 그래프로 점선은 input10과 input11의 차이 값으로 나타내었다. 이러한 오차를 바탕으로 퍼지제

여기의 제어출력을 DAC1을 통하여 오차를 보상하도록 하였다. 그림 16에 제시한 그림과 같이 실험의 후반부에는 많은 양의 비주기적인 외란을 첨부하였을 때 많은 양의 제어 신호를 관찰할 수 있었다.

PSoC의 DAC를 통하여 만들어진 아날로그의 출력을 이용하여 비선형적인 외란에 대하여 반사경의 초점 위치를 일정하게 유지되고 있음을 확인 할 수 있었다.

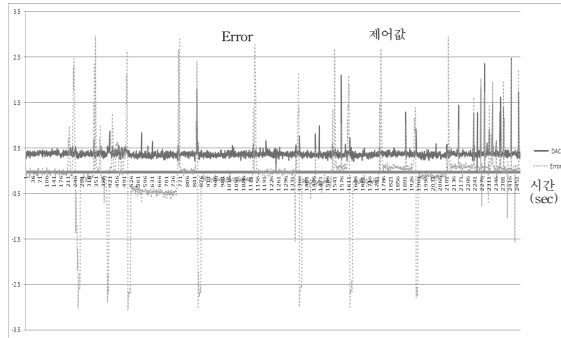


그림 16. DAC 출력 파형.  
Fig. 16. DAC output waveform.

그림 17은 그림 15와 그림 16을 통하여 계측된 센서 데이터 정보에 대하여 시간 축을 확장시켜 1초당 10개의 샘플(10Hz)을 볼 수 있도록 제시하였다. 주어진 예리에 대하여 퍼지제어기의 DAC 출력 파형을 확인할 수 있었으며, +0.5 이상의 오차에 대하여 실시간으로 퍼지제어기가 보상해 나가는 것을 확인할 수 있었다.

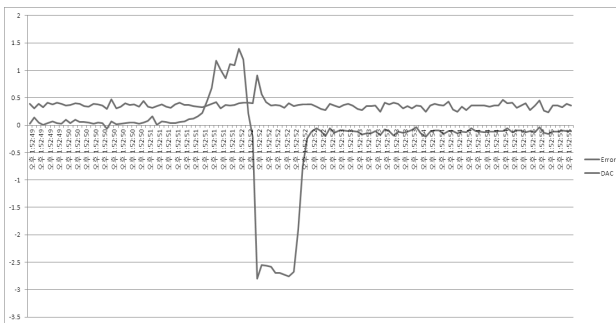


그림 17. 센서 오차 및 DAC 출력 파형.  
Fig. 17. The error of sensors and the DAC output waveform.

## 5. 결론

본 논문은 태양광 추적 시스템과 태양광 집광장치를 이용한 태양광 조명장치 구현에 대한 논문으로 2축 제어가 가능한 옴겨울형 반사광과 집광된 태양광의 초점을 이용하여 광섬유를 통하여 원거리에서 태양광을 활용할 수 있는 시스템을 제한하였다. 또한, 본 논문의 실험은 태양광 집광장치는 외부에 노출되어 있기 때문에 항상 비주기적이고 비선형적인 외란이 존재하는 환경에 있다. 이러한 비주기적이고 비선형적인 외란을 제거하기 위하여 비선형

제어기로 활용도가 높은 퍼지제어기를 설계하여 주어진 비선형적인 외란을 제거할 수 있음을 보였다.

결론으로 본 논문을 통하여 태양광 집광장치 제어기의 설계에 필요한 ADC, 증폭기, DAC 회로와 같은 아날로그 회로와 마이크로프로세서로 구성되는 디지털 회로의 조합으로 구성된 시스템을 아날로그 모듈과 디지털 모듈을 단일 칩으로 구성할 수 있는 PSoC를 이용하여 복잡한 회로를 간단하게 구성할 수 있음을 보였다. 또한, PSoC 내부의 마이크로프로세서를 이용하여 퍼지제어기의 제어 알고리즘을 구현할 수 있었다.

추가적으로 본 논문을 통하여 비선형적인 외란에 대하여 퍼지제어기의 성능을 확인할 수 있었으며, 복잡한 수식을 기반으로 하는 기타 제어기 설계를 대신하여 전문가의 제어 전략을 언어적 변수로 표현할 수 있는 퍼지제어기의 적용가능성을 확인할 수 있었다. 이렇게 설계된 태양광 집광 시스템은 순수한 태양광을 직접 이용할 수 있어 실내의 조명장치와 식물 재배용 조명장치로 충분히 활용할 수 있음을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김관형, 전재환, 강성인, 오암석, 조현철, "Fuzzy 기반의 태양광 추적기 설계", *해양정보통신학회 종합학술대회 논문집*, 춘계 15권 1호, pp.577-578, 2011.5.
- [2] 김하나, "PSoC를 이용한 태양 추적 시스템의 집광 편차 보정 장치에 관한 연구", *부경대학교 석사학위논문*, 2011
- [3] 이도현, "LabView를 이용한 고정도 태양 추적 장치에 관한 연구", *부경대학교 석사학위논문*, 2011
- [4] Paul Schlyter, Stockholm, Sweden, 정확성 1~2분내의 행성 위치 계산법, <http://www.astronote.org>
- [5] 정병진, 고재섭, 최정식, 김도연, 정동화, "퍼지제어를 이용한 태양광 추적시스템의 고효율 제어", *대한전기학회 2008년도 학술대회 논문집 정보 및 제어부문*, 2009. 10., pp.243-244
- [6] 박영철, 김기용, "태양 추적 시스템을 위한 태양위치 계산", *서울산업대학교 논문집*, 第47輯, 1998, pp 265~273
- [7] Z.G.Piao, J.M.Park, J. H. Kim, G. B. Cho, H. L. Baek, "A Study on the Tracking Photovoltaic System by Program Type", *IEEE ICS,(2009)*, pp 971~973
- [8] 위관복, "Portable Sun Tracking System", *광운대학교, 석사학위논문*, 2008.
- [9] 桑野雅彦, "はじめてのPSoCマイコン", 2004, pp 11~16

저 자 소 개



**정 희 성 (Hoi-Seong Jeong)**  
2008년 부경대학교 제어계측공학과 공학석사  
2008년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정  
관심분야 : 유체구조역학, 퍼지시스템, 태양광 퍼지강인 제어기설계

Phone : 070-8233-8377  
E-mail : [hea44442002@naver.com](mailto:hea44442002@naver.com)



**김 준 수 (Jun-Su Kim)**  
2001년 한국교육개발원 전자공학과 졸업(학사)  
2004년 동의대학교 대학원 전기.전자학과 졸업(석사)  
2009년 부경대학교 제어계측공학과 박사 수료  
현 한국폴리텍VII대학 전자과 교수

관심분야 : 디지털회로시스템, 신경회로망  
Phone : 055)279-1753  
E-mail : [kjs250@hanmail.net](mailto:kjs250@hanmail.net)



**김 혜 란 (Hye-Ran Kim)**  
2005년~2008 부경대학교 제어계측공학과 공학석사  
2008년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정  
관심분야 : 최적제어, 영상처리, 퍼지이론, 신경회로망, 유전알고리즘

Phone : 010-2715-3589  
E-mail : [laserhera@naver.com](mailto:laserhera@naver.com)



**김 관 형 (Gwan-Hyung Kim)**  
2001년 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사  
2000년~ 현재 동명대학교 컴퓨터공학과 전임강사  
관심분야 : 최적제어, 인공지능, 임베디드시스템 설계, 신호처리, 영상처리

Phone : 010-4576-8266  
E-mail : [kimgh69@nate.com](mailto:kimgh69@nate.com)



**이 형 기 (Hyung-Ki Lee)**  
1985년 동아대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
1980~현재 부경대학교 제어계측공학과 교수  
관심분야 : 전력전자, 제어공학  
Phone : 011-874-6325  
E-mail : [lhk@pknu.ac.kr](mailto:lhk@pknu.ac.kr)