

퍼지 PID와 CdS 센서어레이를 이용한 태양광 추적 반사 시스템의 구현에 관한 연구

안정훈¹⁾, 김종화²⁾, 조석제²⁾, 하윤수²⁾

A Study on the Implementation of Sunlight Tracking and Reflecting System Using CdS Sensor Array and Fuzzy PID

J. H. Ahn , J. H. Kim , S. J. Cho , Y. S. Ha

Abstract

The sunlight tracking and reflecting system is divided into two parts. One is a sunlight tracking system and the other is a sunlight reflecting system. The sunlight tracking system detects an azimuth angle and an elevation angle of the sun using 2-axis sensor-type sun tracker. The sunlight reflecting system controls a reflection mirror to reflect sunlight to the target area after receiving the azimuth angle and the elevation angle of the sun from the sunlight tracking system. A fuzzy PID controller to control the reflecting mirror is applied.

1. 서 론

산업화와 도시화가 가속화되면서 일정지역에 건물들이 밀집하고 고층화되며 지하공간으로까지 생활영역이 확대되면서 자연채광이 불가능한 사각지대가 늘어나고 있다. 이들 대부분의 장소에서는 구조적으로 자연채광이 불가능함으로 인공조명에 의존하여 실내조도를 유지하고 있다. 한 연구조사에 따르면 낮에도 실내조도를 유지하기 위해 인공조명 사용으로 소모되는 전기에너지의 사용량이 전체 건물 전기에너지 사용량의 약 30%를 차지하고 있다는 통계조사가 나와 있다.^[1] 이외에도 일부 야외 대형 경기장의 경우 경기장 관중석에 천장이 설치되어 있어 그것의 영향으로 운동장의 일부분에 하루종일 그늘지는 지역이 형성되어 잔디 생육에 필요한 충분한 자연광을 제공하지 못해 잔디면이 고르게 자라지 못하는 문제가 발생하고 있다. 그리고 건물내부에 정원을 조성 할 경우에도 건물내부 정원에 자연광이 들어올 수 있도록 하는 장치가 필요하게 된다. 이와 같이 구조적으로 자연채광이 불가능한 곳에 정확하게 많은 양의 태양광을 전송하기 위해서는 자연채광을 위한 장치가 필요하게 된다.

이에 본 논문에서는 구조적으로 자연채광이 불가능한 여러 곳에 동시에 많은 양의 태양광 입사가 가능하도록 하기 위해서 하나의 태양 추적 장치와 다수의 태양광 반사 장치를 구현하고자 한다. 태양광 추적 장치에서는 Matrix 형태로 배열된 광 센서를 이용하여 기존의 추적장치^[2]보다 빠르고 정확하게 태양 위치를 추적할 수 있도록 하며 반사경 시스템을 사용하여 최적의 태

1) 한국해양대학교 대학원

2) 한국해양대학교 기계·정보공학부

양광을 목표지역으로 반사할 수 있도록 한다. 반사경의 제어를 위해 퍼지 PID 제어기^[3]를 구현함으로써 두 개의 DC모터를 구동하고 반사경의 각을 제어하여 임의의 목표지역에 지속적으로 태양광 입사가 가능하도록 한다. 이렇게 구성된 태양광 추적 반사 시스템은 대형 건물내부로 태양광을 입사함으로써 에너지 절약과 지하 및 실내에서 주로 생활하는 사람들에게 시각적으로 쾌적한 빛 환경을 제공할 수 있다.

2. 태양광 추적 반사 시스템의 구성

2.1 태양광 추적 반사 시스템의 개요

태양광 추적 반사 시스템의 전체적인 구성은 그림 1과 같이 하나의 태양 추적 시스템과 다수의 반사 시스템으로 구성된다. 태양광 추적 시스템을 통해서 태양의 고도각과 방위각을 검출하고 이 값을 다수의 반사 시스템에서 수신 받아 각각 반사 시스템이 목표로 하는 곳에 태양광을 전송할 수 있도록 각각의 컨트롤러가 두 개의 DC모터를 구동하여 반사경의 각을 제어하게 된다.

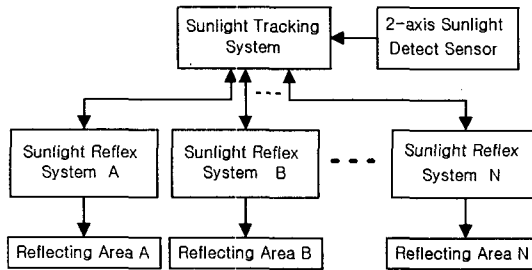


그림 1. 전체 시스템의 구성
Figure 1. Configuration of the system

2.2 태양광 추적 시스템의 구성

2.2.1 태양광 추적 센서 모듈

기존의 태양광 추적 시스템은 4개의 CdS를 사각 배치한 후, 상하, 좌우 두 쌍 각각의 센서값을 비교하여 태양의 위치를 검출하였다. 본 논문에서는 이보다 정확하고 빠르게 태양의 위치를 검출하기 위해 기존의 방식을 응용하여 소형이면서 검출범위가 넓은 새로운 센서 모듈을 개발하였다. 이의 구성을 보면 전방에 복합렌즈를 장착하여 소량의 빛으로도 정확한 태양의 위치를 검출할 수 있게 하였으며, 복합렌즈^{[4][5]} 뒤에 볼록렌즈를 하나 더 장착하여 초점거리를 좁혀서 센서 모듈의 크기를 소형화하였고, 좀 더 넓은 검출 범위를 갖도록 하였다. 센서모듈의 구조는 그림 2와 같다.

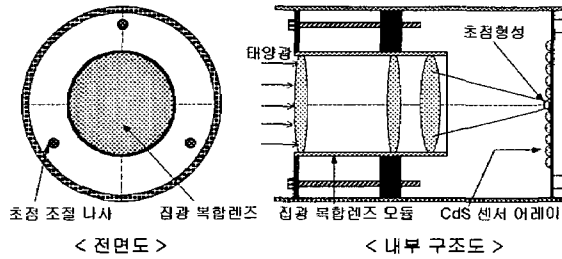


그림 2. 센서 모듈의 구조
Figure 2. Structure of the sensor module

2.2.2 태양광 추적 시스템의 구조

태양광 추적 시스템의 전체적인 구조는 그림 3과 같이 위에는 태양광 추적 센서모듈이 장착되어 있고 아랫부분에는 센서의 초점을 맞추기 위한 두 개의 스텝모터가 장착되어 있다. 이 시스템은 8채널의 10비트 A/D 컨버터와 다수의 특별한 기능을 지닌 I/O 포트를 갖고 있는 마이크로프로세서 Intel 80C196KC를 컨트롤러^{[6][7]}로 사용하고 있다. 그리고 117개의 센서 값을 차례로 프로세서로 읽어 들이기 위해 아날로그 멀티플렉서를 사용하였으며 초기에 설정된 절대 위치를 항상 기억하고 이동한 위치를 알아내기 위해 포텐시오미터를 사용하였다.

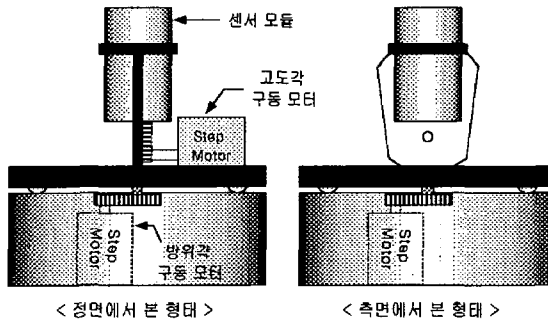


그림 3. 태양광 추적 시스템의 구조
Figure 3. Structure of the sunlight tracking system

2.3 태양광 반사 시스템의 구성

태양광 반사 시스템은 태양광을 반사시키기 위해 중앙에는 직사각형의 평면 반사경이 장착되어 있고, 반사경을 제어하기 위한 두 개의 DC모터와 고정밀의 포텐시오미터를 사용하여 절대 위치에 대한 고도각과 방위각의 오차를 측정할 수 있도록 하였다. 그림 4는 태양광 반사 시스템의 구조이다.

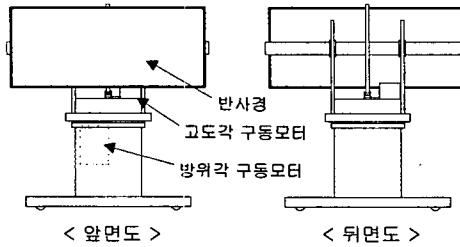


그림 4. 태양광 반사 시스템의 구조

Figure 4. Structure of the sunlight reflecting system

3. 태양광 추적 반사 시스템의 구동 알고리즘

3.1 태양광 추적 알고리즘

태양의 위치를 추적하여 태양의 방위각과 고도각을 검출하는 것은 태양광 추적 시스템이 맡게된다. 태양광 추적 시스템은 외부에 설치된 CdS센서의 정보를 받아서 자연 채광의 가능성 유무를 판단한다. 만약 CdS센서의 값이 어떤 레벨 이하라면 날씨가 흐리거나 일몰 후 또는 비가 오는 날로써 자연 채광이 불가능함을 알리고 자연채광이 가능하다고 판단되면 태양의 위치를 탐색하게 된다. 그리고 CdS센서의 값으로써 어레이 위에 초점이 형성되어 있는지를 판단한다. 이때 만약 초점이 어레이 위에 존재하면 초점이 중앙에 위치하도록 두 개의 스텝모터를 구동하게 된다. 반대로 초점이 위치하지 않으면 어레이 위에 초점이 형성될 수 있도록 탐색모드를 실행하여 빠르게 각 구동축을 동작시킨다. 이렇게 센서모듈이 태양과 정면으로 향하기 위한 센서모듈의 중심좌표와 센서모듈상의 초점 좌표사이의 오차는 그림 5와 같이 방위각 성분과 고도각 성분으로 분해함으로써 각 축의 정량적인 모터 구동 펄스를 생성하게 된다.

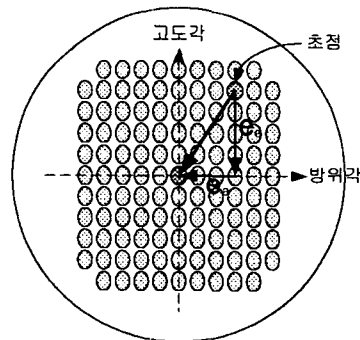


그림 5. CdS센서의 배열 구조

Figure 5. Array structure of CdS sensors

태양을 정확하게 추적하여 센서모듈의 중앙에 초점이 맺히면 홀딩 모드로 들어가는데, 고정된 장소의 경우 시간 경과에 따른 태양의 위치변화는 그렇게 급격히 변하는 것이 아니므로 서서히 변한다. 따라서 홀딩모드에서는 중앙을 중심으로 25개의 센서 값만을 읽어들이어서 태양의 위치를 추적하여 고도각과 방위각을 검출한다. 다음의 그림 6은 태양광 추적 시스템의 기능선도이다.

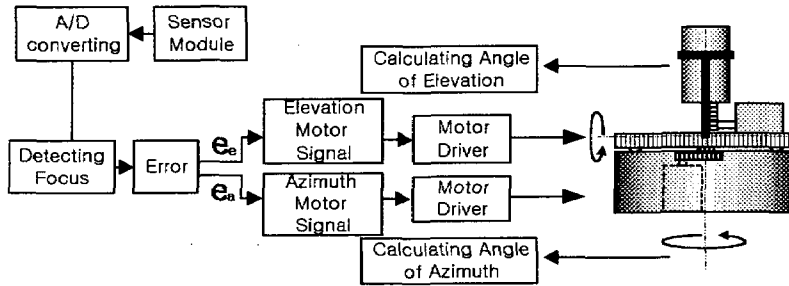


그림 6. 태양광 추적 시스템의 블록 선도

Figure 6. Block diagram of the sunlight tracing system

3.2 태양광 반사 시스템의 구동 알고리즘

태양광 반사 시스템은 태양광 추적 시스템으로부터 태양의 고도각과 방위각을 받아서 목표지역에 지속적으로 자연채광이 가능하도록 반사경의 각을 제어하게 된다. 방위각과 고도각을 얻으면 반사경에서 빛의 입사각과 반사각이 같다는 원리를 이용하여 목표지역에 태양광을 전송하기 위한 반사경의 구동각을 계산하여 두 개의 DC모터를 구동하게 된다. 그림 7은 태양광 반사 시스템의 전체적인 블록선도이며 반사경을 제어하기 위해서 퍼지 PID 제어를 사용 하였다. r_e 와 r_a 는 각각 퍼지 PID 제어기의 기준 고도각과 방위각의 입력이 되고, p_e 와 p_a 는 제어된 시스템에서 측정된 고도각과 방위각이 된다. e_e 와 e_a 는 각각에 대한 오차가 된다.

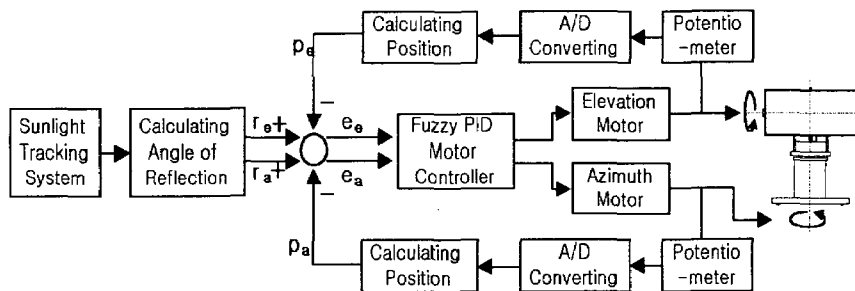


그림 7. 태양광 반사 시스템의 블록선도

Figure 7. Block diagram of the sunlight reflecting system

4. 반사경 제어를 위한 퍼지 PID 제어기 구성과 태양광 추적 반사 시스템의 응답실험

4.1 퍼지 PID 제어기 구성^[3]

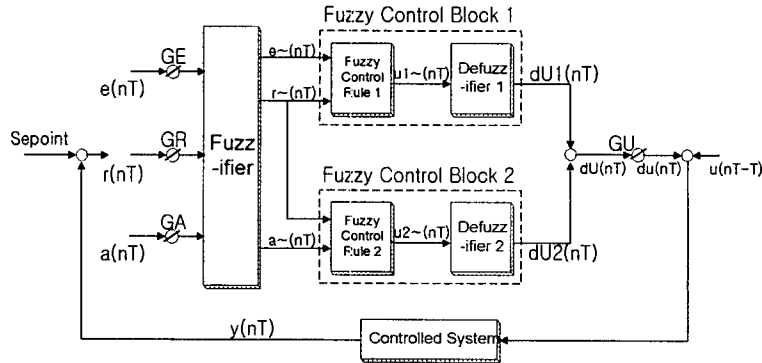


그림 8. 퍼지 PID 제어기의 구조
Figure 8. Structure of the fuzzy PID controller

본 논문에서는 고도각과 방위각 모터를 이용하여 반사경을 제어하기 위해 퍼지 PID 제어기를 설계하였다. 퍼지 PID 제어기의 구조는 그림 8과 같다.

4.1.1 입력 변수의 퍼지화

그림 9는 퍼지 제어기에서의 입력 파라미터들의 멤버십 함수이며, 그림 10은 그림 8에서의 퍼지 제어블록1, 2의 출력 멤버십 함수들이다.

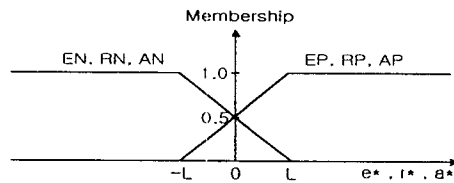


그림 9. 퍼지 제어기의 입력 멤버십 함수
Figure 9. Input membership function of the fuzzy controller

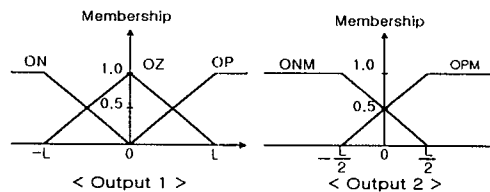


그림 10. 퍼지 제어기의 Output1, Output2 멤버십 함수
Figure 10. Output1 and Output2 membership function of the fuzzy controller

4.1.2 퍼지 제어규칙 (Fuzzy control rules)

퍼지 제어기의 Control Rule은 다음과 같다.

퍼지 제어블록 1에서

(R1)₁ : if error = EP and rate = RP then output = OP

(R2)₁ : if error = EP and rate = RN then output = OZ

(R3)₁ : if error = EN and rate = RP then output = OZ

(R4)₁ : if error = EN and rate = RN then output = ON

퍼지 제어블록 2에서

(R1)₂ : if rate = RP and acc = AP then output = OPM

(R2)₂ : if rate = RP and acc = AN then output = ONM

(R3)₂ : if rate = RN and acc = AP then output = OPM

(R4)₂ : if rate = RN and acc = AN then output = ONM

4.1.3 비 퍼지화 (Defuzzification)

비 퍼지화는 center of area method를 사용하였고 비 퍼지화된 출력은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$dU = \frac{\sum(\text{membership of member}) * (\text{value of member})}{\sum(\text{memberships})} \quad (1)$$

퍼지 제어블록1, 2에서 출력 퍼지집합을 비 퍼지화 하게되면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{If } GR * |\dot{r}(nT)| \leq GE * |e(nT)| \leq L, \quad (2)$$

$$dU_1(nT) = \frac{0.5 * L}{2L - GE * |e(nT)|} [GE * e(nT) + GR * \dot{r}(nT)]$$

$$\text{If } GE * |e(nT)| \leq GR * |\dot{r}(nT)| \leq L, \quad (3)$$

$$dU_1(nT) = \frac{0.5 * L}{2L - GR * |\dot{r}(nT)|} [GE * e(nT) + GR * \dot{r}(nT)]$$

$$\text{If } GA * |a(nT)| \leq GR * |\dot{r}(nT)| \leq L, \quad (4)$$

$$dU_2(nT) = \frac{0.25 * L}{2L - GR * |\dot{r}(nT)|} [GA * a(nT)]$$

$$\text{If } GR * |\dot{r}(nT)| \leq GA * |a(nT)| \leq L, \quad (5)$$

$$dU_2(nT) = \frac{0.25 * L}{2L - GA * |a(nT)|} [GA * a(nT)]$$

따라서 FLC의 출력 $dU(nT)$ 는 퍼지 제어블록1의 출력 $dU_1(nT)$ 와 퍼지 제어블록2의 출력 $dU_2(nT)$ 를 합하여 여기에 출력 스케일러 GU 를 곱하면 플랜트에 인가 할 수 있는 보통의 제어신호가 된다

결과적으로 FLC의 출력 $dU(nT)$ 는

$$dU(nT) = dU_1(nT) + dU_2(nT) \quad (6)$$

이고 출력 $dU(nT)$ 의 제어입력 $du(nT)$ 는

$$du(nT) = GU*dU(nT) \quad (7)$$

이다.

따라서 FLC 구조를 사용한 속도형 퍼지 PID 제어기의 출력은 다음의 조건에 따라 네 개의 형태로 구분된다.

1) If $GR*|r(nT)| \leq GE*|e(nT)| \leq L$ and $GA*|a(nT)| \leq GR*|r(nT)| \leq L$,

$$du(nT) = \frac{0.5*L*GU}{2L - GE*|e(nT)|} [GE*e(nT) + GR*r(nT)] + \frac{0.25*L*GU}{2L - GR*|r(nT)|} [GA*a(nT)] \quad (8)$$

2) If $GR*|r(nT)| \leq GE*|e(nT)| \leq L$ and $GR*|r(nT)| \leq GA*|a(nT)| \leq L$,

$$du(nT) = \frac{0.5*L*GU}{2L - GE*|e(nT)|} [GE*e(nT) + GR*r(nT)] + \frac{0.25*L*GU}{2L - GA*|a(nT)|} [GA*a(nT)] \quad (9)$$

3) If $GE*|e(nT)| \leq GR*|r(nT)| \leq L$ and $GA*|a(nT)| \leq GR*|r(nT)| \leq L$,

$$du(nT) = \frac{0.5*L*GU}{2L - GR*|r(nT)|} [GE*e(nT) + GR*r(nT)] + \frac{0.25*L*GU}{2L - GR*|r(nT)|} [GA*a(nT)] \quad (10)$$

4) If $GE*|e(nT)| \leq GR*|r(nT)| \leq L$ and $GR*|r(nT)| \leq GA*|a(nT)| \leq L$,

$$du(nT) = \frac{0.5*L*GU}{2L - GR*|r(nT)|} [GE*e(nT) + GR*r(nT)] + \frac{0.25*L*GU}{2L - GA*|a(nT)|} [GA*a(nT)] \quad (11)$$

4.2 태양광 추적 시스템의 성능 실험

태양광 추적 시스템의 추적성능을 확인하여 보면, 태양광 추적 센서모듈에서 한번에 검출할 수 있는 탐색 범위는 방위각과 고도각에 대해서 각각 55도이다. 태양광의 방위각과 고도각 검출을 위해서 두 개의 포토시미터로부터 읽어들인 값을 사용하였다. 각각의 포토시미터에 대한 A/D변환값은 1도당 3의 디지털 변환 값이다 먼저 센서모듈 위 임의의 위치에 초점이 형성된 경우 추적 시스템의 응답 성능을 확인하여 보면, 이때의 기준 위치 값은 현재 초점의 위치에 대하여 초점이 중앙으로 이동하기 위한 상대적인 값으로 초점이 센서모듈 (1, 1)에 형성되어 있으면, 이때 현 위치 값은 azimuth 00545, elevation 00661이고 초점을 중앙으로 이동시키기 위한 기준 위치 값은 각각 azimuth 00611, elevation 00649으로 계산되

어져 나왔다. 여기에서 사용된 위치 값은 각도(degree)값이 아닌 포텐시오미터의 A/D변환값을 그대로 사용하였다. 예를 들어 초점이 (1, 1)에 형성된 경우를 보면,

현 위치 : (azimuth, elevation) = (00545, 00661)

기준 위치 : (azimuth, elevation) = (00611, 00649)

그림 11과 그림 12는 초점이 (1, 1)에 형성된 경우의 추적 성능을 보인 것이다.

		Azimuth										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E l e v a t i o n	0	002	002	005	002	004	011	009	003	000	002	000
	1	014	291	025	014	014	022	008	010	008	005	001
	2	000	008	021	016	008	004	006	006	009	001	001
	3	007	025	015	007	023	008	010	005	009	003	000
	4	007	014	015	015	009	021	012	009	006	004	000
	5	000	004	009	015	019	006	006	005	007	003	005
	6	010	005	007	000	012	006	013	016	003	007	004
	7	000	009	007	012	010	013	014	008	004	006	000
	8	001	005	023	008	011	013	010	009	008	001	000
	9	002	005	006	009	003	014	003	003	008	003	001
	10	000	001	001	002	008	003	007	005	001	000	000

그림 11. 초점이 (1, 1)에 형성된 경우의 센서값의 예

Figure 11. Example of sensor module value when a focus is made on (1, 1)

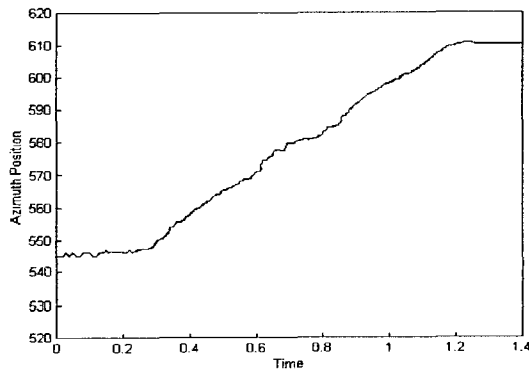


그림 12. 초점이 (1, 1)에 형성된 경우 방위각에서의 추종성 응답

Figure 12. Tracking response of azimuth angle when a focus is made on (1, 1)

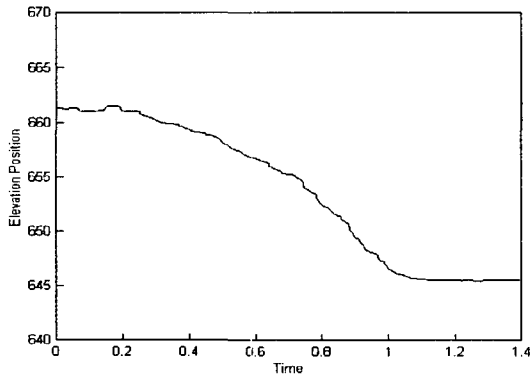


그림 13. 초점이 (1, 1)에 형성된 경우 고도각에서의 추종성 응답
 Figure 13. Tracking response of elevation angle when a focus is made on (1, 1)

4.3 태양광 반사 시스템의 성능 실험

태양광 반사 시스템의 성능 실험을 위해서 태양광 추적 시스템으로부터 태양광의 방위각, 고도각을 RS-232 시리얼 통신을 통해 각각 전송 받고 전송 받은 방위각, 고도각과 목표지역에 대한 방위각, 고도각으로 앞에서 제시한 알고리즘을 이용하여 반사경의 구동각을 구한다. 그리고 반사경은 퍼지 PID 제어기에 의해 제어된다. 이때 계산된 반사경의 구동각이 방위각 방향으로 90도 고도각 방향으로 60도 일 때 두 축에 대한 태양광 반사 시스템의 응답이 각각 그림 14, 그림 15와 같다.

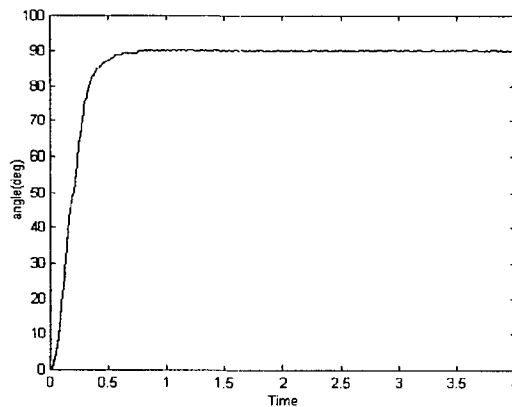


그림 14. 방위각 90도에 대한 시스템 응답
 Figure 14. System response of azimuth 90 degree

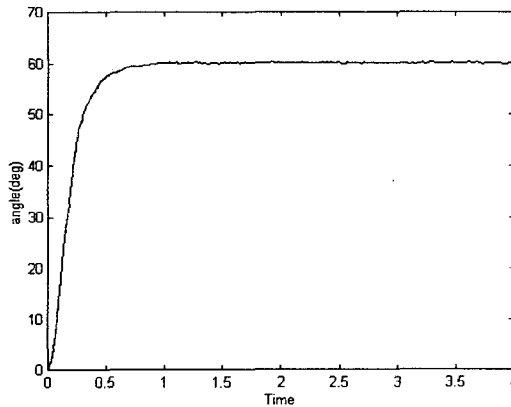


그림 15. 고도각 60도에 대한 시스템 응답
Figure 15. System response of elevation 60 degree

5. 결 론

본 논문에서는 태양광 추적 시스템과 반사 시스템을 결합하여 고정된 장소 및 이동하는 구조물에서도 효율적으로 이용할 수 있는 태양광 추적 반사시스템을 구현하였다. CdS를 사용한 새로운 태양광 추적 센서모듈을 개발하여 검색범위를 넓혔고 크기를 소형화하였다. 그리고 태양광 초점의 오차에 따라 추적 시스템이 신속하고 정확한 성능을 갖도록 태양광 추적 알고리즘을 제안하였다.

태양광 추적 장치에서는 이레이 형태로 배열된 CdS 센서를 이용하여 빠르고 정확하게 태양 위치를 추적할 수 있도록 하였으며, 태양광 반사 시스템의 반사경의 위치 제어에 있어서는 반사 시스템이 갖고 있는 비선형성과 외란에 의한 요소들을 감안하여 비선형 퍼지 PID 제어를 설계하였다. 퍼지 PID 제어기는 비선형성과 강하고 외란의 영향을 많이 받는 태양광 반사 시스템의 경우에 양호한 제어성능을 발휘함을 알 수 있었다.

그러나 80C196KC를 이용하여 제어를 구성하였기 때문에 소수점 연산이 원만히 이루어지지 않는 등 구현상에 많은 어려움이 있었다. 차후에는 이를 개선하면서 실시간 제어가 가능할 수 있는 고성능의 마이크로 프로세서를 이용하는 바람직할 것으로 사료된다.

우리 나라와 같이 자원이 부족한 나라에서는 영구적인 태양광 에너지를 개발하여 유용하게 사용할 수 있는 방법에 관한 연구가 지금보다 더 활발히 이루어져야 할 것이며, 본 논문에서 개발한 태양광 추적 반사시스템의 경우도 기능과 효율성 측면에서 보완할 수 있는 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 원중수, “태양광 조명시스템 집광장치의 성능예측을 위한 수치 모델 개발,” 한양대학교 碩士論文, 1999.
- [2] 서승원, “센서이레이 방식을 채용한 태양광 집광시스템의 개발에 관한 연구,” 한국해양대학교 碩士論文, 2000.
- [3] Jong Hwa Kim, “A Suggestion of Nonlinear Fuzzy PID Controller to Improve Transient Responses of Nonlinear or Uncertain Systems,” 한국퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, Vol. 5, No. 4, pp. 87-100, 1995.
- [4] 김종오 역, 물리학총론 II부, 교학사, 서울, 1997.
- [5] 장수 외 17인 공역, 응용 광학, 대웅출판사, 서울, 1998.
- [6] 윤덕용, 80C196KC 마스터 II, Ohm사, 서울, 2000.
- [7] 차영배, Microcontroller 80C196KC, 다다미디어, 서울, 1997.