



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

PSoC를 이용한 태양 추적 시스템의
집광 편차 보정 장치에 관한 연구



2011年 2月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

金河娜

工學碩士 學位論文

PSoC를 이용한 태양 추적 시스템의
집광 편차 보정 장치에 관한 연구



2011年 2月

釜慶大學校 大學院

制御計測工學科

金河娜

金河娜의 工學碩士 學位論文을 認准함

2010年 12月



主 審 工學博士 崔 然 旭

委 員 工學博士 李 炯 基

委 員 工學博士 安 永 珠

목 차

목차	i
Abstract	iii
I. 서론	1
II. 태양광 집광 시스템	3
2.1 천문학적 태양 궤적 추적 시스템의 구조	3
2.2 반사경을 가진 태양광 추적 시스템	11
III. 태양광 추적 제어시스템 설계	14
3.1 제어대상 모델링	14
3.2 PID 제어기 설계	17
IV. 실험 및 결과	23
4.1 PSoC의 개요	23
4.2 PSoC를 이용한 디지털 PID 제어기 설계	25
4.3 태양광 추적 장치의 구성	28
4.4 실험 결과	30
4.5 제작 결과	33
V. 결론	36
참고문헌	37

부록 39
감사의 글 45



A Study on the Error Correction system for Light Collection and Tracking using PSoC

Ha-Na Kim

*Department of Control & Instrument Engineering Graduate
School of Pukyong National University*



Abstract

Recently, environmental regulations are strengthened because of troubles by the exhaustion of fossil fuel, the increase of oil price and the global warming. So renewable energy's development and using has increased.

Among several renewable energy, most financial and safe energy is the sun light system. The general method for using is to convert the light energy to electric energy using solar cell. But this method's efficiency is not good and power converter for electric energy is required.

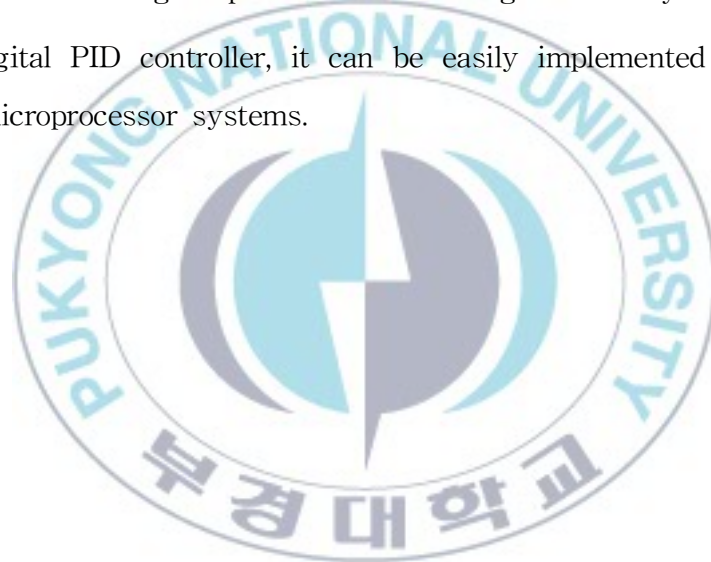
This thesis show how to use the sun light energy directly rather than convert it to the electric energy. In this study, we proposes a new method to use the sun light directly which called direct illumination system.

This system is composed two steps. First, collect the sun light using a

concave mirror. Second, transmit the collected light through an optical fiber to a lighting installation.

To do so, we adopted a solar tracking system based on an astronomical tracking method. Because there are some errors due to the disturbance, in this study, the error corrector located on solar tracker is proposed.

In this thesis, an easy to implement error correction system for light collection and tracking is presented. The design of the system is based on the digital PID controller, it can be easily implemented on general purpose microprocessor systems.



I. 서론

최근 화석에너지의 고갈과 그로 인한 유가 상승 및 세계적인 지구 온난화 현상에 의한 여러 문제점이 대두되면서 국제적으로 환경 규제 강화가 심화되고, 신재생 에너지의 개발 및 사용에도 관심이 높아지고 있다. 신재생에너지의 개발은 기존의 에너지원에 비해 초기에 과다 투자가 요구되는 큰 장애요인에도 불구하고 점점 증가추세에 있으며 21세기 주요한 에너지로 고려되고 있다.

현재 여러 신재생에너지 중 경제적이고 안전하며 친환경적인 대체 에너지원인 태양광 에너지 시스템은 위치가 고정된 태양전지를 이용하여 빛에너지를 전기에너지로 변환 방식이 일반적이다.[1],[2] 하지만 이러한 방식은 에너지 변환에서 효율이 낮고, 전기에너지 시스템을 다시 사용하기 위해서는 전력변환 장치가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 태양광을 오목거울 형태의 반사경을 이용하여 광을 집광한 뒤 광섬유를 통해 전송된 빛에너지를 직접 조명에 활용하는 태양광 조명시스템을 제안한다.[3],[4]

이 시스템은 기본적으로 천문학적 태양궤적 추적방식을 적용하며 반사경의 각도를 설정하여 집광량을 최대가 되도록 한다. 천문학적 태양궤적 추적은 년, 월, 일, 시간을 이용해 방위각 및 고도각을 계산하는 방식이다.[5],[6],[7],[8] 그러나 실시간으로 계산되어진 방위각과 고도각은 실제 태양의 위치와 비교하면 오차를 가지고 있다.

따라서 태양광을 직접 집광하여 조명에 사용하는 방식은 기본적으로 태양의 궤적 추적 장치이며 천문학적인 추적방식을 사용하였으며 정확한 태양위치를 구하기 위하여 천문학적 태양궤적 추적 장치 내에 별도의 태양

추적 시스템을 두어 태양위치의 오차를 줄이는 방식을 구현하였다.

이 장치는 반사경을 이용한 태양광 집광시스템이며 PSoC(Programmable System on Chip)를 이용한 디지털 PID 제어기를 이용한 제어시스템을 적용한다.[9]

그러므로 본 연구에서는 반사경을 이용하여 태양광을 집광하는 시스템의 제어기의 하드웨어 및 소프트웨어를 연구하였으며, 실험을 통하여 이 시스템의 효율적인 집광이 가능함을 고찰하였다.

1장은 서론으로 본 논문의 연구배경과 최종 목표에 대하여 적었다. 2장에서는 천문학적인 방식을 이용한 태양궤적 추적 시스템 및 PSoC를 이용한 PID 제어기를 가진 반사경을 가진 태양광 집광 시스템에 대하여 서술하였다. 3장은 본 연구에서 설계·제작한 천문학적 태양궤적 추적 시스템 및 반사경을 이용한 태양광 집광 시스템에 대하여 서술하였으며 4장은 실험 및 고찰 부분으로 실험을 통한 태양광 집광장치의 성능을 고찰하였다. 마지막으로 5장에서는 연구 결과에 대한 결론을 맺었다.

II. 태양광 집광 시스템

태양광 집광 시스템은 년, 월, 일 및 시간을 이용하여 고도각 및 방위각을 천문학적 계산식을 통하여 시스템을 제어하는 천문학적 태양궤적 추적 시스템과 그 세부적인 보정 및 외란 보상을 위한 반사경을 가진 태양광 추적 시스템으로 구성되어 있다.

2.1 천문학적 태양 궤적 추적 시스템의 구조

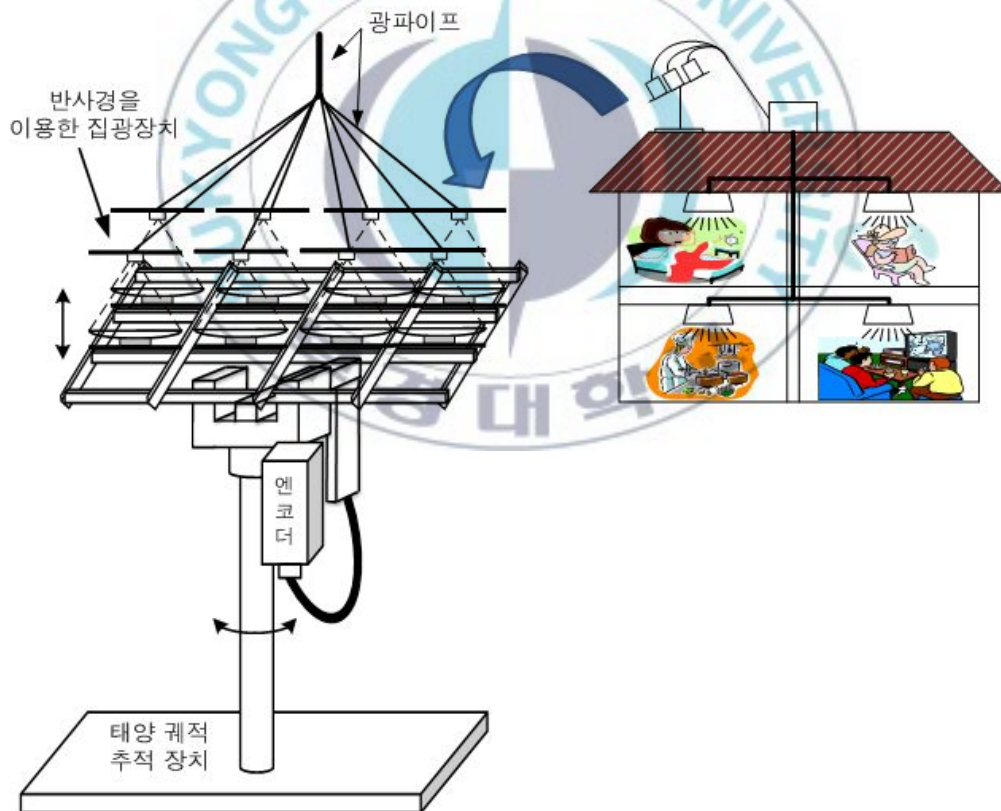


그림 2.1 태양광 집광 시스템의 구성

그림 2.1은 태양 궤적 추적 장치와 집광 편차 보정 장치를 이용한 태양광 집광 시스템을 나타내었으며 이렇게 집광된 태양광은 실내조명시스템으로 사용이 가능하다.

우선, 태양 궤적 시스템은 태양의 고도각과 방위각에 따라 집광장치의 프레임을 이동하기 위한 두 개의 모터와 여러 개의 태양집광장치를 설치할 수 있는 구조이며 태양 궤적 시스템을 제어하기 위한 구성은 그림 2.2와 같다.

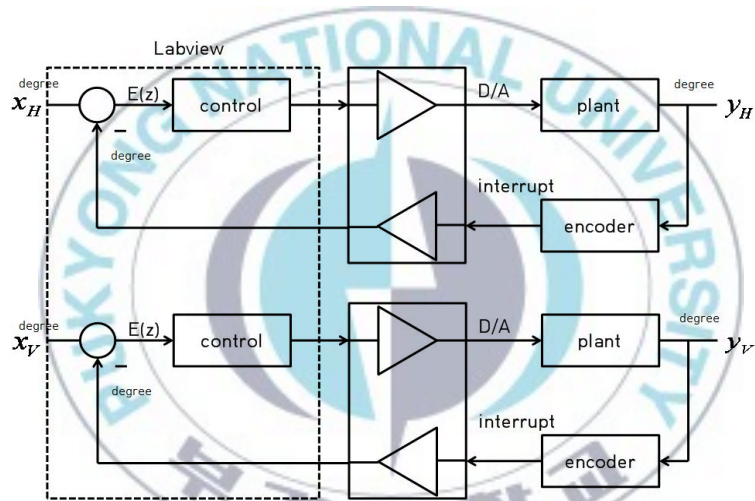


그림 2.2 태양 궤적 추적 시스템의 구성

이 태양 궤적 추적 장치의 입력신호로 사용되는 데이터는 방위각과 고도각이며, 지평좌표계에서의 태양 고도각(elevation) 및 방위각(azimuth)을 사용하여 표시한다.

국제 표준 기구의 지침에 따라 물리학에서는 (r, θ, ϕ) 의 문자를 사용하여 원점에서의 거리, 천정과 이루는 각도(고도 또는 양각), 방위각 등을 표시하고, 수학에서는 고도와 방위각이 바뀌어 ' ϕ '와 ' θ '로 표시된다. 좌표 (r, θ, ϕ) 는 주어진 점을 P라고 할 때, 그림 2.3과 같이 정의된다.

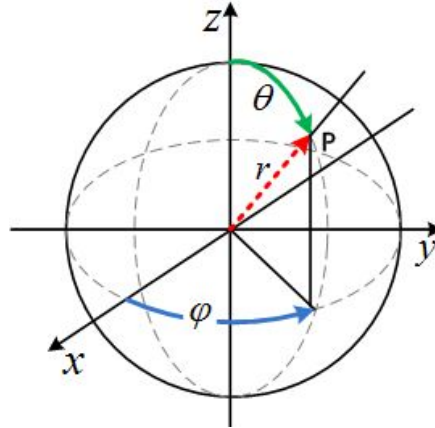


그림 2.3 태양 고도각 및 방위각

방위각과 고도각은 LabView에서 년, 월, 일, 시간을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 태양 위치를 계산하기 위하여 우선 태양위치 계산식에서 사용되는 시간(time)의 정의가 필요하다. 여기서 일수를 d 라고 정의한다면 이것은 율리우스 일(JD : Julian Day Number)로 정할 수 있다.

$$d = JD - 2451543.5 \quad (2.1)$$

여기서 각도는 라디안(radian)이 아닌 도(degree)값으로 표현하며 태양의 위치를 계산하는데 필요한 태양궤도요소들은 아래 식과 같다.

$$w = 282.9404^\circ + 4.70935E-5 \times d \quad (\text{근일점의 경도}) \quad (2.2)$$

$$a = 1.000000 \quad (\text{평균거리 단위 } AU) \quad (2.3)$$

$$e = 0.016709 - 1.151E-9 \times d \quad (\text{이심율}) \quad (2.4)$$

$$M = 356.0470^\circ + 0.9856002585^\circ \times d \quad (\text{평균근점이각}) \quad (2.5)$$

황도좌표계에서 적도좌표계로 변환시 황도의 기울기 *oblect*(the obliquity of the ecliptic)이 필요하며 평균 환경 *L*은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$oblect = 23.4393^\circ - 3.563E - 7^\circ \times d \quad (2.6)$$

$$L = w + M$$

다음으로 보조각인 이심근점이각 *E*를 계산한다. 이것은 계속적인 급수형태로 계산되어지는데 태양궤도의 이심율은 0.017로 매우 작고 *E*의 첫 번째 어림치는 충분히 정확하다고 할 수 있다.

$$E = M + (180/\pi) \times e \times \sin(M) \times (1 + e \times \cos(M)) \quad (2.7)$$

근일점 방향으로 X축의 황도좌표평면에 대한 직각좌표값은 아래의 식을 이용하여 계산 할 수 있다.

$$x = r \times \cos(v) = \cos(E) - e \quad (2.8)$$

$$y = r \times \sin(v) = \sin(E) \times \sqrt{1 - e \times e} \quad (2.9)$$

이것을 거리 *r*과 진근점이각 *v*로 변환하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(2.10)$$

$$r = \sqrt{x \times x + y \times y} \quad (2.11)$$

$$v = \arctan2(y, x)$$

이렇게 구해진 값을 아래의 식 2.12에 대입하면 태양의 황경을 구할 수 있다.

$$lon = v + w \quad (2.12)$$

여기서 태양의 황경 오차값은 20초이다. 이 오차값은 우리가 목표로 설정한 값인 1분 이내이므로 정확성을 가진다. 거리를 따지면 지구 지름의 약 1/3정도가 되므로 나쁘지 않은 계산 결과이다.

마지막으로 황도직각좌표계를 계산하고 이 값을 적도좌표계로 돌린 뒤 태양의 적경(RA)과 적위(Decl)를 구하는 식은 아래와 같다.

$$x = r \times \cos(lon) \quad (2.13)$$

$$y = r \times \sin(lon) \quad (2.14)$$

$$z = 0.0 \quad (2.15)$$

식2.6 을 이용하여 obsec1 만큼 황도좌표를 적도 좌표로 돌린다. 그리고 이 값을 이용하여 적경과 적위로 변환하면 RA와 Decl을 얻을 수 있다.

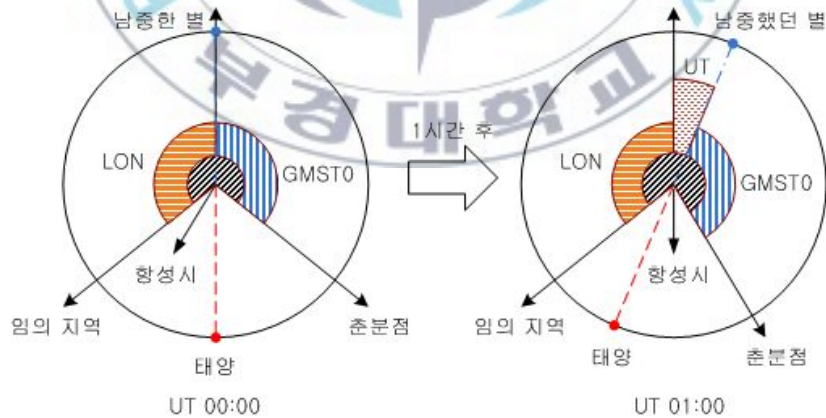


그림2.4 임의 지역의 항성시 유도

다음으로 아래의 식을 이용해 항성시와 시간각, 고도각과 방위각을 유도

할 수 있다. 항성시(Sidereal time : SIDTIME)는 정확히 남쪽하늘 부분의 자오선(meridian)의 적격을 말한다.

$$SIDTIME = GMST0 + UT + LON/15 \quad (2.16)$$

여기에서 SIDTIME, GMST0, UT 값은 모두 시간단위로 주어지며 소수점으로 표현한다. GMST0은 영국의 그리니치 자오선상에서 00:00 자정의 항성시를 말한다. UT는 그리니치 시간이며 LON은 지구상에서 관측자의 경도를 말한다. 이 경도는 서쪽을 -, 동쪽을 +로 나타내며 이 경도를 도(degree)로 표현하기 위해 15로 나눈다. 만약 항성시가 음수가 되면 24시간을 더하고, 24시를 초과하면 24시를 뺀다. GMST0은 그림 2.5를 참고로 하였으며 식 2.17과 같이 정의된다.

$$GMST0 = (L + 180 \text{도}) / 15 = L / 15 + 12h \quad (2.17)$$



그림2.5 GMST0(그리니치 항성시)

다음으로 1990년 4월 19일 UT 00:00시의 유럽중심의 자오선(동경15도)

상에서의 지방항성시를 계산한다.

$$\begin{aligned}
 SIDTIME &= GMST0 + UT + LON/15 \\
 &= 13378925h + 0 + 15\text{도}/15 = 14.78925\text{ hours} \\
 &= 14h\ 47m\ 21.3s
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

방위각과 고도를 구하기 위해 시간각(Hour Angle)을 알 필요가 있다. 시간각은 자오선 상에서 0이며, 이때 천체가 지평선에서 가장 높이 있다. 시간각은 시간이 지남에 따라 증가하며 시간각은 식2.19와 같이 계산된다.

$$HA = SIDTIME - RA \tag{2.19}$$

여기서 SIDTIME과 RA는 반드시 같은 단위로 표시되어야하며 본 논문에서는 시간 단위를 선택하였다.

이제 태양의 HA와 Decl을 이용해 적도의 남쪽을 X축으로 하고 지평선의 서쪽을 Y축, 천구의 북극을 Z축으로 하는 직각좌표값 x, y, z 를 구하였다. 여기서 거리 r 이 불명확하다면 1로 둔다.

$$x = \cos(HA) \times \cos(Decl) \tag{2.20}$$

$$y = \sin(HA) \times \cos(Decl) \tag{2.21}$$

$$z = \sin(Decl) \tag{2.22}$$

이제 동서축 즉, Y축을 기준으로 위에서 구한 직각좌표계를 Z축이 천정에 위치하도록 돌린다. 여기에서 북극은 이미 천정이 천구의 북극을 가리키고 있으므로 북극에서의 회전각도는 0이다.

$$x_{hor} = x \times \cos(90^\circ - lat) - z \times \sin(90^\circ - lat) \quad (2.23)$$

$$y_{hor} = y \quad (2.24)$$

$$z_{hor} = x \times \sin(90^\circ - lat) - z \times \cos(90^\circ - lat) \quad (2.25)$$

$$\sin(90^\circ - lat) = \cos(lat) \quad (2.26)$$

$$x_{hor} = x \times \sin(lat) - z \times \cos(lat) \quad (2.27)$$

$$y_{hor} = y \quad (2.28)$$

$$z_{hor} = x \times \cos(lat) + z \times \sin(lat) \quad (2.29)$$

식 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29로 지평직각좌표계(the horizontal coordinates in rectangular form)를 구한 후, 지평구면좌표계(the horizontal coordinates in spherical form), 식 2.30과 2.31을 이용해 방위각과 고도각을 구할 수 있다.

$$\sin\theta_a = \text{atan2}(y_{hor}, x_{hor}) + 180^\circ \quad (2.30)$$

$$\sin\theta_e = \text{asin}(z_{hor}) = \text{atan2}(z_{hor}, \sqrt{(x_{hor} \times x_{hor} + y_{hor} \times y_{hor})}) \quad (2.31)$$

$$\ast \theta_a = \theta, \theta_e = \Phi$$

위의 식 2.30에서 방위각 $\sin\theta_a$ 에 180° 를 더한 것을 확인 할 수 있다. 이것은 방위각을 북점(0도)에서 시계방향(동쪽, 남쪽, 서쪽 순)으로 측정하기 때문에 필요하기 때문이며, 만약 180° 를 더하지 않으면 남점이 0° 가 되어 서쪽, 북쪽, 동쪽 순으로 측정하는 것과 같아지게 될 것이다.

앞에서 설명한 시간에 따른 방위각, 고도각을 구하는 과정은 Labview를 이용하여 구현하였다.

2.2 반사경을 가진 태양광 추적 시스템

앞에서 설명한 천문학적 태양 궤적 추적 시스템은 계산을 통해 방위각과 고도각을 구하는 방식으로 실제 태양의 위치와 비교하면 오차를 가지고 있을 뿐만 아니라, 외란(바람, 충격, 진동 등)에 대한 대책이 없는 단점을 가지고 있다. 따라서 천문학적 태양 궤적 추적 시스템의 오차를 보정, 집광하기 위한 반사경을 가진 태양광 추적 시스템이 요구되며 그 구성은 그림 2.6과 같다.

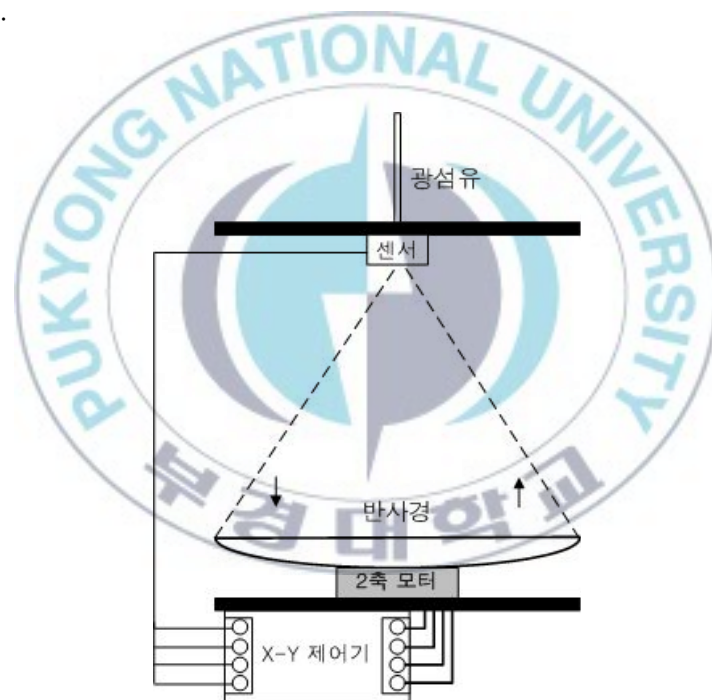


그림 2.6 반사경을 가진 태양광 추적 시스템의 구성

먼저 오목거울 형태의 반사경과 X-Y 액츄에이터, 4개의 수광부 및 X-Y 광원 검출부, X-Y 액츄에이터 제어기로 구성되어 있다. 이 때, 센서부 중심에 광섬유를 넣어 반사경에 의해 모아진 태양광이 광섬유에 전달되도록

구성하였다.

그림 2.6의 센서부의 구성은 그림 2.7과 같이 가로축 2개(Horizon1, Horizon2), 세로축 2개(Vertical1, Vertical2) 총 4개의 수광 센서로 이루어져 있으며, X-Y 제어기의 입력으로 사용한다.

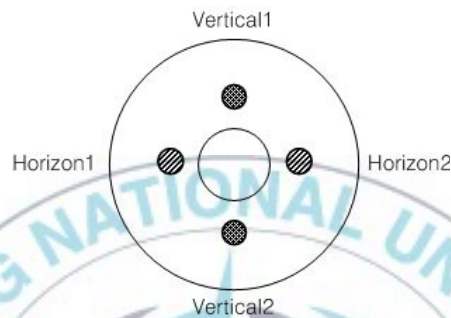


그림 2.7 센서부의 구성

또한, X-Y 액츄에이터는 그림 2.8과 같이 가로(X), 세로(Y)축 2개의 모터로 구성되어 있으며 이 모터를 각각 제어함으로써 반사경에 의해 집광된 빛을 광검유에 전달한다.



그림 2.8 X-Y액츄에이터의 구성

X-Y 제어기는 그림 2.7과 같이 2개의 PSoC로 구성되어 있다. 각 PSoC 하나에 한 개의 광원편차 검출 회로와 액츄에이터에 하나의 모터가 연결되어 있으며, 두 개의 센서 값의 차를 이용하여 X-Y 액츄에이터를 각각 하나씩 제어한다. 즉, 그림 2.7과 같이 X축의 센서(Horizon1, Horizon2)가 연결된 PSoC는 X(가로)축의 모터를 제어하고 Y축의 센서(Vertical1, Vertical2)가 연결된 PSoC는 Y(세로)축의 모터를 제어한다. 이와 같은 시스템에 적용된 제어기는 PID 제어기를 이용하였다.

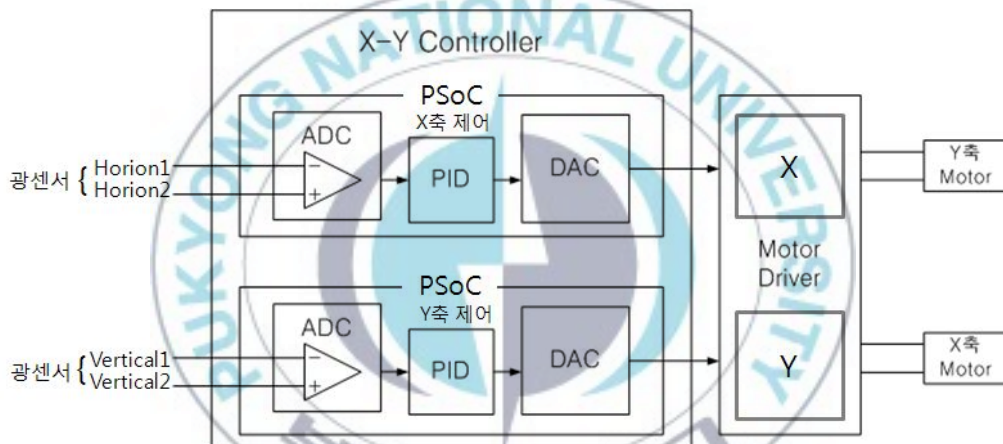


그림 2.7 X-Y 제어기의 구성

III. 태양광 추적 제어 시스템 설계

이 장에서는 2장에 보여진 태양광 추적 시스템을 제어하기 위해 제어기를 설계하고 시뮬레이션을 통해 제어 성능을 증명한다.

3.1 제어 대상 모델링

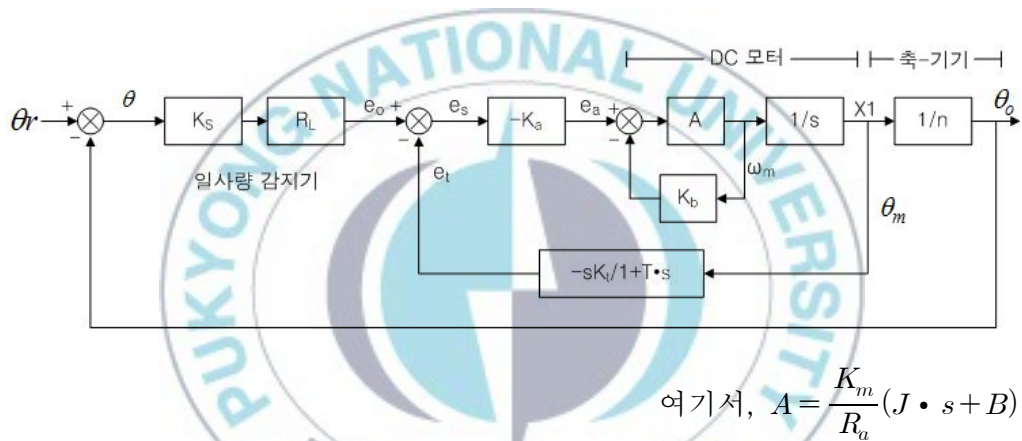


그림 3.2 태양 집광 장치의 블록선도

태양 집광 장치는 그림 3.1과 같이 태양 위치를 감지하는 감지기, 감지기의 미소 전류원을 증폭하여 주는 연산증폭기, DC모터를 구동하기 위한 제어기, DC모터의 위치를 결정하는 회전계, 축-기기(機器) 장치를 구동하는 DC 모터로 구성된다. 그리고 태양의 위치와 추적 장치와의 위치를 결정하여 추적 장치 본체를 움직이는 축-기기 장치 등으로 구성된다.

시스템 해석을 위해 그림 3.2의 태양 집광 장치의 전달함수를 표시하면 다음과 같다.[11]

태양의 각도, 즉 기준각인 θ_r 과 집광장치의 실제 각도인 θ_o 와의 오차 θ 는

$$\theta = \theta_r - \theta_o \quad (3.1)$$

광센서 Vertical1과 Vertical2에 의해서 발생하는 전류원의 일사량 감지기는 미소전류 I_a 와 I_b 가 $I_a = I_b = 1$ 이면

$$\theta = 0 \quad (3.2)$$

이다. 연산증폭기는 다음과 같이 표현된다.

$$e_o = R_L(I_a - I_b) \quad (3.3)$$

속도 제어용 제어기의 전력증폭기 이득이 $-K_a$ 이면 이의 출력은

$$e_a = K_a(e_o + e_t) = K_a \cdot e_s \quad (3.4)$$

회전계 출력 전압, e_t 는 상수가 K_t , 지연시간을 T라면

$$e_t = sK_t/(1 + T \cdot s) = K_t \cdot \omega_n + K_t/T \quad (3.5)$$

e_o 와 실제 전동기 위치, θ_m 간에는 다음이 성립된다.

$$\theta_o = 1/n \cdot \theta_m \quad (3.6)$$

전기자제어형 직류전동기의 관련 식은 아래와 같다.

$$e_a = R_a \cdot I_a + e_b \quad (3.7)$$

$$e_b = K_b \cdot \omega_m \quad (3.8)$$

$$T_m = K_m \cdot I_a \quad (3.9)$$

$$T_m = J \cdot d\omega_m/dt + b\omega_m \quad (3.10)$$

여기서 T_m , K_m , J 와 B 는 전동기의 각종 계수이다.

앞서 설명한 대로 집광을 위한 반사경은 2개의 DC모터로 구동되며 그 구조는 아래의 그림 3.2와 같다.



그림 3.2의 파라미터는 다음과 같다.

$$J = 0.00000039 [kgm^2/s^2] \quad B = 0.000038 [Nms]$$

$$K = 0.01 [Nm/A] \quad R_a = 29.268 [\Omega]$$

위의 식 3.1~3.10을 이용하여 DC모터의 전달함수를 구한 결과는 식 3.11과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m}{s(L_a J \cdot s + (R_a J + BL_a)s + (K_b K_m + R_a B)s)} \quad (3.11)$$

이 모터의 전달 함수는 식 3.12와 같으며 이 전달함수에 스텝 입력을 인가하였을 경우 시간 출력 응답 특성은 그림 3.3과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{0.01}{s(3.9 \times 10^{-8} s^2 + 1.521 \times 10^{-5} s + 0.001212)} \quad (3.12)$$

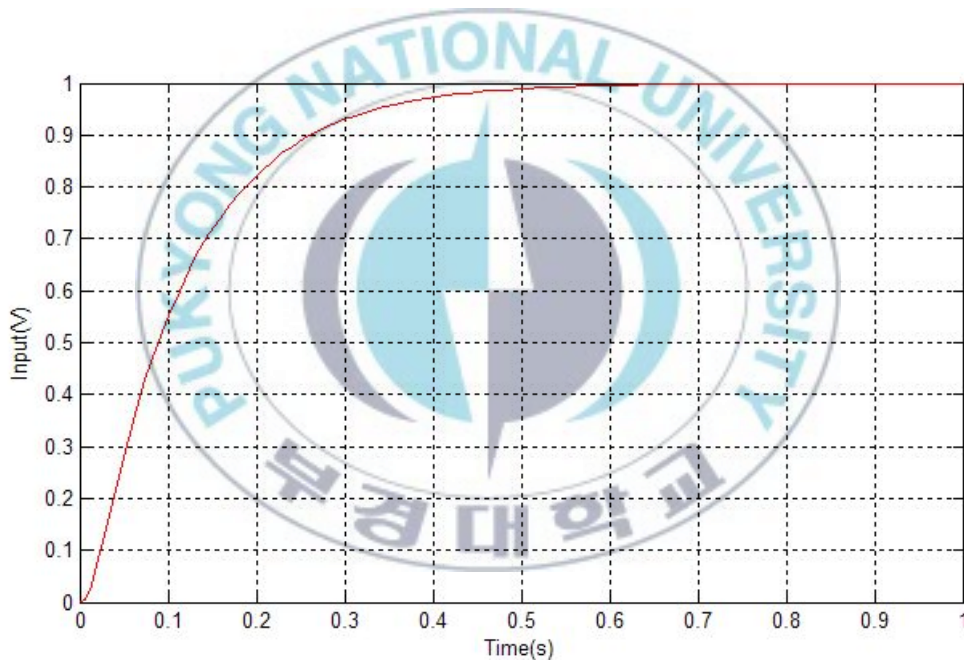


그림 3.3 Step 입력에 대한 전달 함수 출력 응답 특성

3.2 PID 제어기 설계

3.1장의 제어대상에 대하여 보상 시스템이 10%의 오버슈트를 가지면서 최고값 시간이 비보상 시스템의 2/3이 되도록 하고, 입력에 대하여 정상

상태 오차가 0이 되도록 하는 PID를 설계하였다.

먼저 비보상 시스템이 10%의 오버슈트를 가질 때 시스템 성능을 평가해 보자. 그림 3.4와 같이 10%의 오버슈트에 해당하는 선 $\zeta=0.59$ 과 근궤적이 만나는 점에서의 이득이 5.88이고, 위치 $-40.4 \pm j55.2$ 이 지배 극점이 됨을 알 수 있다.

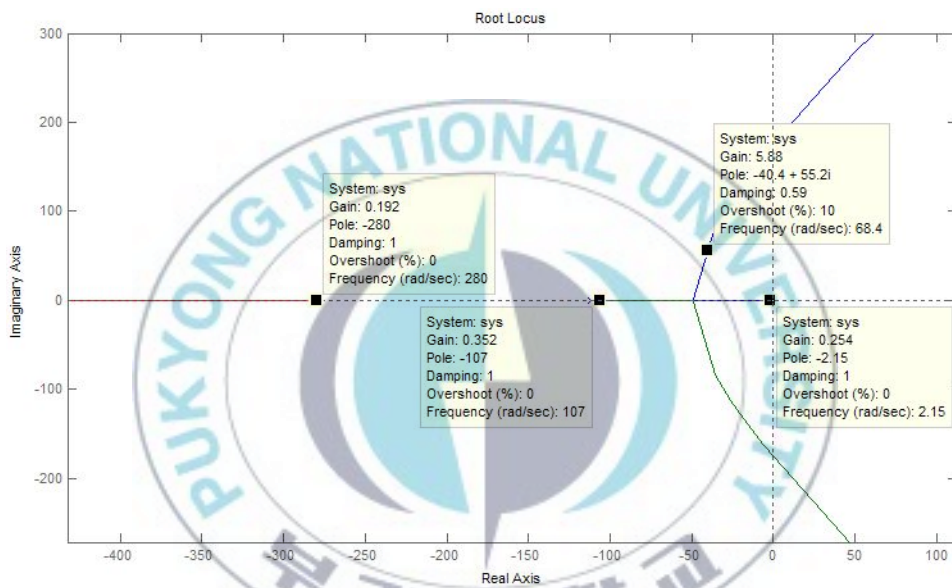


그림 3.4 비보상 시스템의 근궤적

비보상 시스템의 최고값을 1/2로 줄이기 위하여, 먼저 보상 시스템의 지배 극점의 위치를 찾아야 한다. 보상 시스템에 대한 지배 극점의 허수부는 82.67이고 실수부는 -60.42 이며 P보상된 시스템에 대한 Step 입력에 대한 전달 함수 출력 응답 특성은 그림 3.5와 같다.[10]

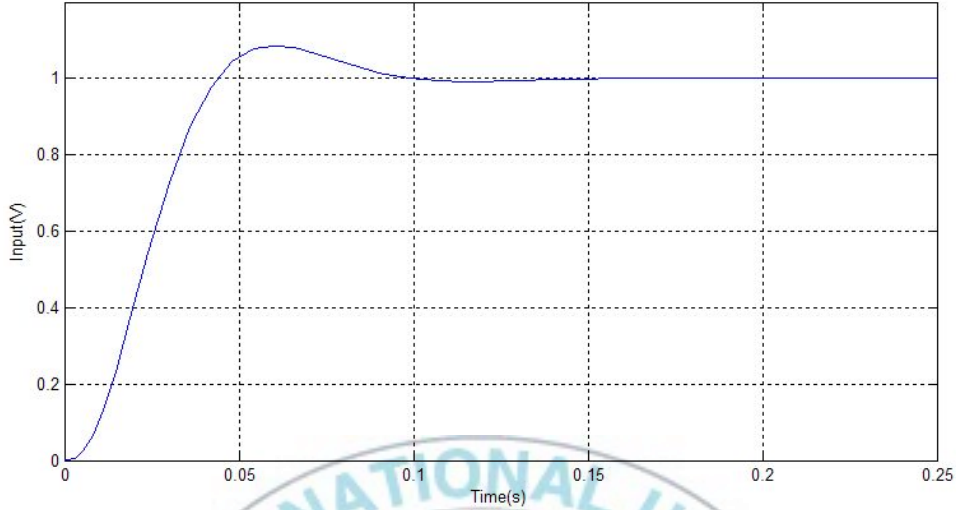


그림 3.5 P보상 시스템의 스텝 응답 특성

다음으로 비보상 시스템의 모든 극점과 영점에서 보상 시스템의 지배 극점까지에 대한 각도의 합을 이용해 보상기 영점의 각도를 구한 결과 27.39° 이며 보상기의 영점은 220 이 된다. 따라서 PD-보상기가 추가된 결과는 식 3.13과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{0.0541*(0.01s+2.2)}{s(3.9 \times 10^{-8}s^2 + 1.521 \times 10^{-5}s + 0.001212)} \quad (3.13)$$

PD 보상 시스템의 완전한 근궤적은 그림 3.6과 같다.

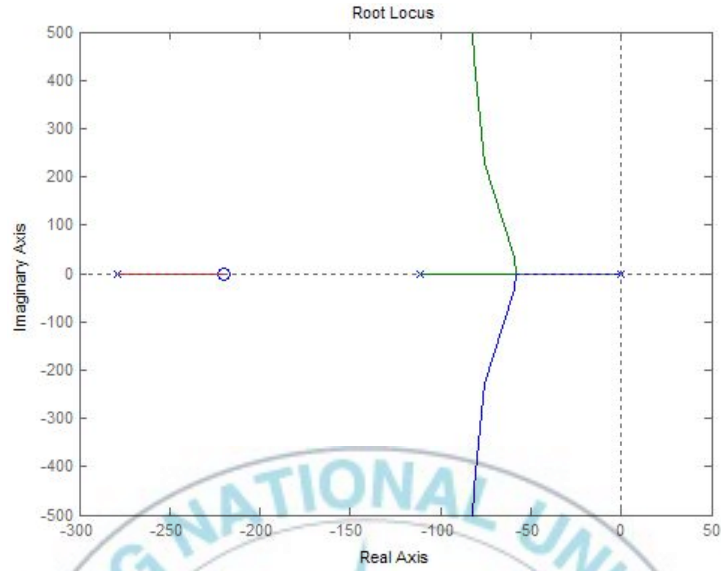


그림 3.6 식 PD-보상 시스템의 근궤적

이 때 이득은 0.0541이고 PD 보상 시스템을 시뮬레이션 한 결과는 그림 3.7과 같다.

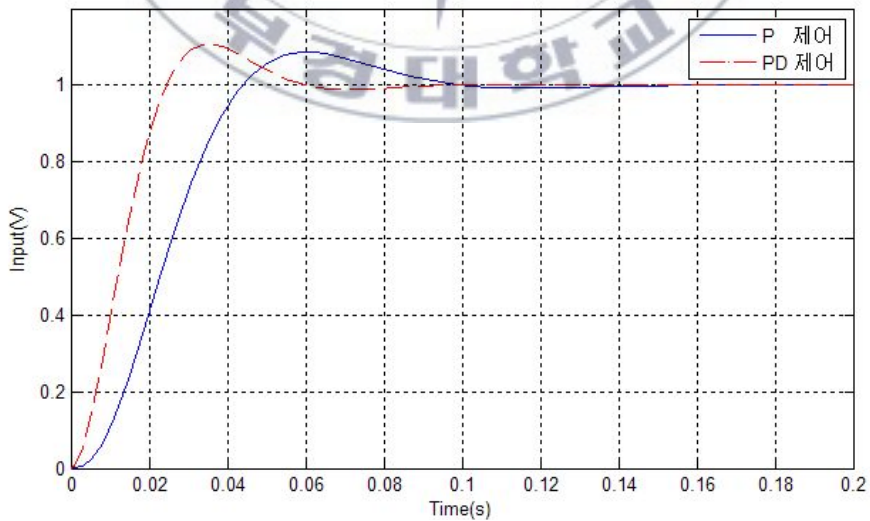


그림 3.7식 PD-보상 시스템의 스텝 응답 특성

그림에서 확인 할 수 있듯이 시뮬레이션 결과 P-보상 시스템보다 최고 값 시간이 개선되었음을 알 수 있다.

PD 제어를 설계한 후 계단 입력에 대하여 정상 상태 오차가 0인 적분 보상기를 설계해야 한다. 이상 적분 보상기의 영점을 원점 가까이에 배치시켜야만 이상 적분 보상기로 동작한다. 따라서 이상 PI 보상기는 식 3.14 와 같이 선정한다.

$$G_{PI} = \frac{s+0.5}{s} \quad (3.14)$$

이상 적분 보상기가 추가된 결과는 식 3.15와 같으며 PID 보상 시스템에 대한 근궤적은 그림 3.8과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{0.01(s+204.23)(s+0.5)}{s^2(3.9 \times 10^{-8}s^2 + 1.521 \times 10^{-5}s + 0.001212)} \quad (3.15)$$

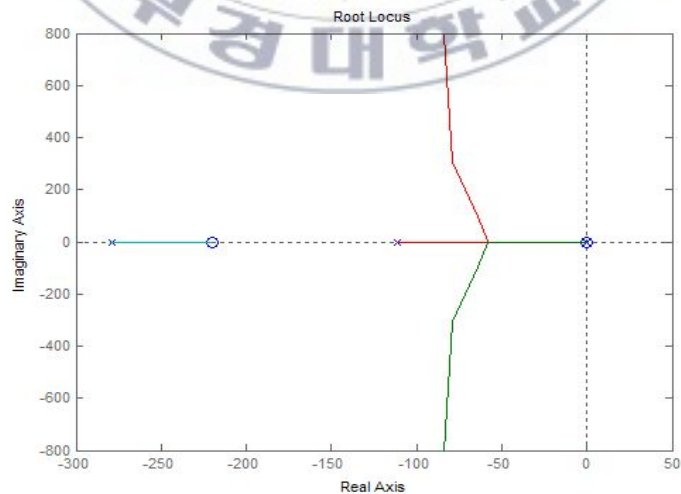


그림 3.8 PID-보상 시스템의 근궤적

이 때, 이득은 0.539이고 PID 보상 시스템을 시뮬레이션 하고 각 보상 시스템의 Step 입력에 대한 전달 함수 출력 응답 특성을 비교한 결과는 그림 3.9와 같다.

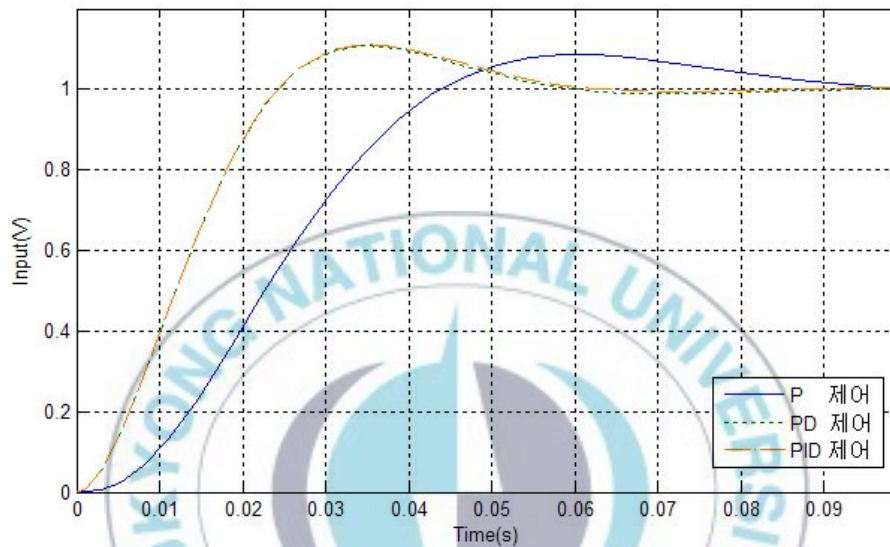


그림 3.9 P, PD, PID 보상 시스템의 스텝 응답 특성

시뮬레이션 결과 PD 보상은 처음 최고값에 도달할 때까지의 시간을 줄임으로써 과도 응답을 개선 시켰으며, 정상 상태 오차에 있어서도 약간의 개선을 하였다. 완전한 PID 제어기는 PD 제어기로 설계된 과도응답을 크게 손상시키지 않고 미세하지만 정상상태 오차를 더 개선하였다.

IV. 실험 및 결과

이 장에서는 태양광 추적 시스템 장치를 제작하고, PSoC를 기반의 PID 제어기를 구현 및 실험하였다.

4.1 PSoC의 개요

PSoC(Programmable System on Chip)는 임베디드 시스템에서 일반적으로 사용되는 다양한 기능을 한 개의 칩에 집약한 디바이스로 그림 4.1에서 표현된 바와 같이 8bit MCU에 다양한 기능을 설정하여 사용 가능한 혼합 시그널 어레이(Mixed-signal array)로서 FPGA의 구성능력 및 ASIC의 집적화를 조합한 마이크로 컨트롤러이다.

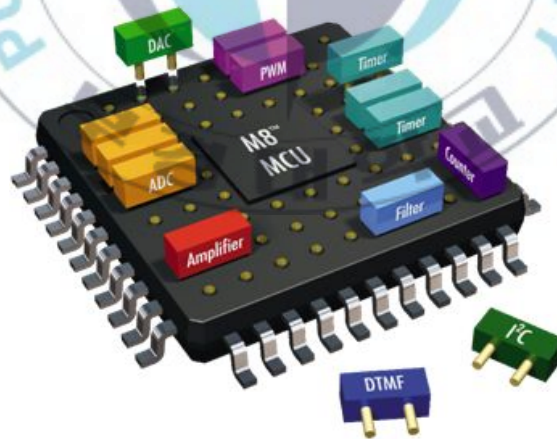


그림 4.1 PSoC의 개념도

PSoC는 마이크로 컨트롤러의 기존 요소에 많은 주변 장치들을 구현할 수 있는 프로그램 가능한 디지털 블록과 아날로그 블록을 내장하고 있는

것이 특징이다. 여기서 디지털 블록이란 카운터, 타이머 및 PWM등의 디지털 모듈을 구현할 수 있는 공간이며 A/D, D/A, 증폭기, 아날로그 필터 등의 아날로그 모듈을 구현할 수 있는 공간이 아날로그 블록이다.

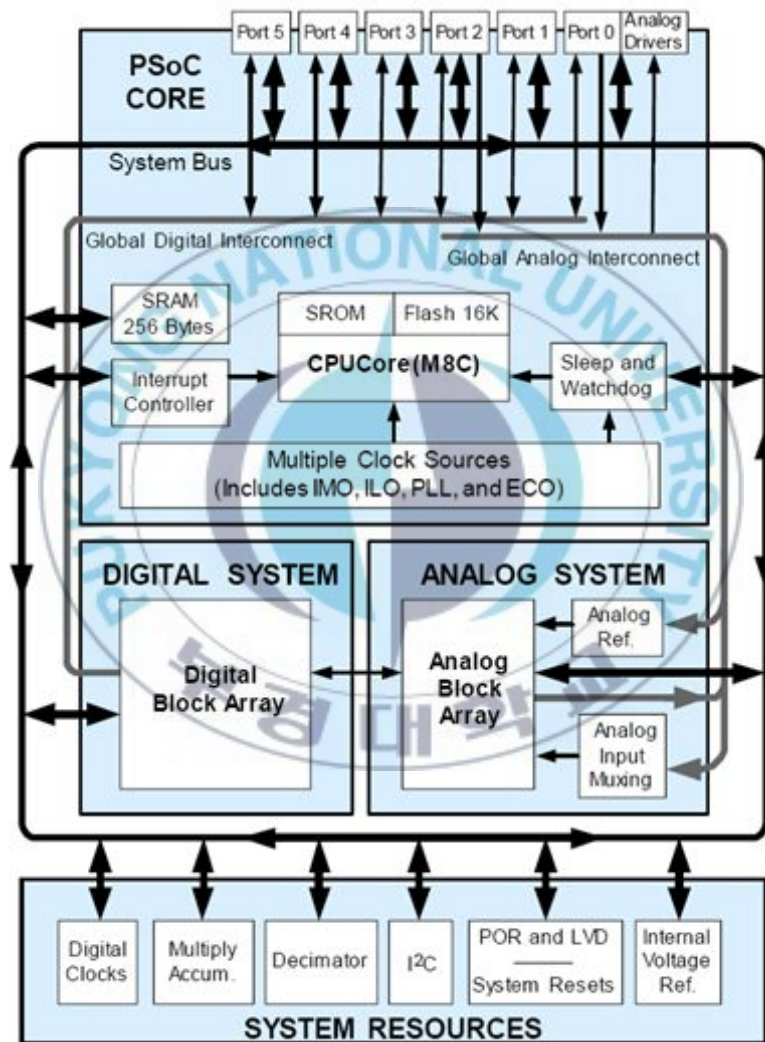


그림 4.2 PSoC 내부 블록도

따라서 내부구성을 설계사양에 따라 자유자재로 설계 가능한 ASIC이며,

사용자가 내부구성을 변경 할 수 있는 마이크로컨트롤러로써 대기 시간 없이 ASIC의 장점을 제공하며, 개발자의 개발 시간과 제품 사이즈, 전력 소모 및 시스템 비용을 줄여주며 MCU를 포함해 다양한 주변기기 기능을 통합 할 수 있다.

이러한 PSoC의 통합 임베디드 시스템 환경을 이용하여 센서 출력 드라이버 및 DC 모터 드라이버를 설계하여 X-Y 제어기의 공간 및 부품 효율성을 높이고 빠른 신호 처리로 신뢰성과 응답성을 확보하였다.

4.2 PSoC를 이용한 디지털 PID 제어기 설계

본 논문에서 제안하는 디지털 PID 제어기의 입력으로는 앞에서 설명한 것과 같이 한 쌍의 센서 입력이며, PSoC를 이용하여 센서 입력을 받기 위해 그림 4.3과 같이 2개의 증폭기, 2개의 ADC를 사용하였으며 PID 계산 후 모터 드라이버로 출력될 DAC 1개를 사용하였다.

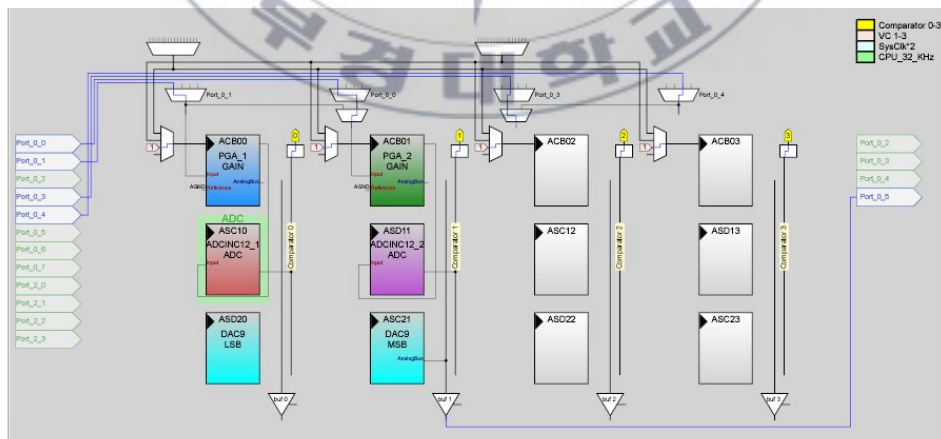


그림 4.3 PSoC 내부 블록도

PSoC를 이용하여 디지털 PID 제어기를 설계하는 방법은 그림 4.4와 같으며 실제 프로그램은 아래와 같다.[12]

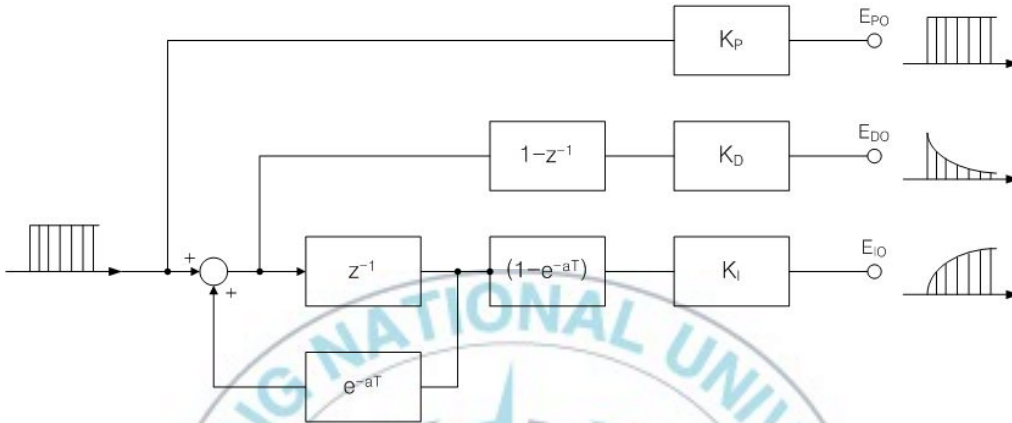


그림 4.4 디지털형 PID 동작

```

X=volt_sub; //PID 입력신호, 센서 1과 센서 2의 차
Y=X+(X1*e_at);
OUT=(X*Kp)+(Y*X1*(1-e_at)*Ki)+((Y*(1-X1))*Kd);
OUT_hex=OUT/0.009765625;
DAC9_WriteStall(OUT_hex);
X1=X;
    
```

이 때 제어기의 입력으로 사용되는 센서의 민감도를 조절하기 위하여 그림 4.5와 같이 아날로그 스위치를 설계하였다. 이것은 빛에 의한 센서의 포화에 따른 오작동을 예방하며, 더욱 정밀한 제어가 가능하다.

이렇게 입력된 두 개의 센서 값의 차 X를 이용하여 PID 제어기를 통과한 출력값 OUT은 DAC를 통해 모터로 전달된다.

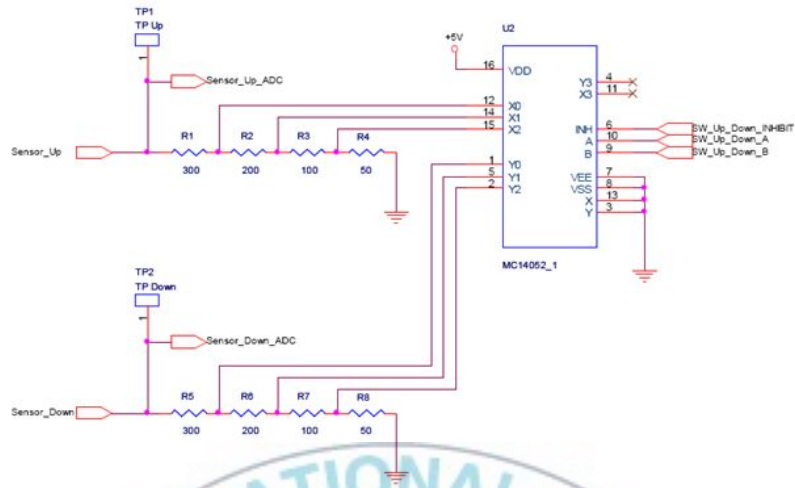


그림 4.5 아날로그 스위치 회로

DAC 모듈을 통해 출력된 신호는 H-Bridge 형태의 모터 드라이버에 전달되며 모터 드라이버 회로는 그림 4.6과 같다. 이 드라이버는 각 각의 두 센서에서 나오는 두 개의 신호를 입력받고 두 개의 DC모터를 제어 한다.

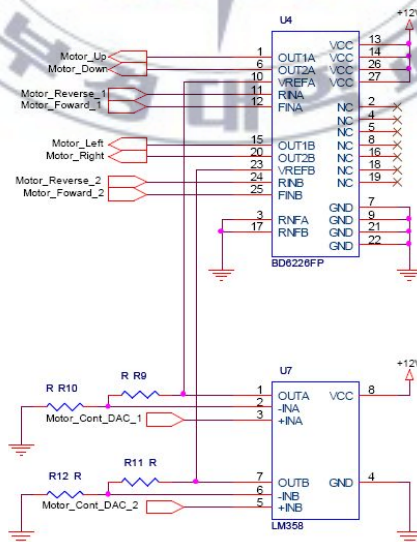


그림 4.6 모터 드라이버 회로

이렇게 4개의 센서 입력부, 2개의 PSoC, 아날로그 스위치 회로와 모터 드라이버로 구성된 X-Y 제어기는 그림 4.7과 같다.

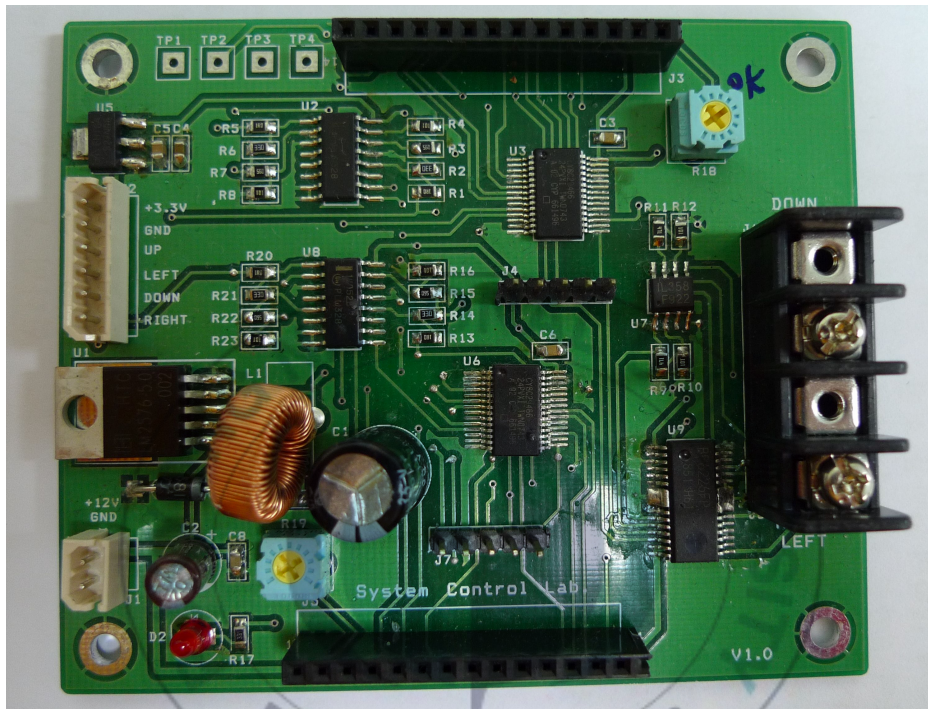


그림 4.7 디지털 PID 제어가 포함된 X-Y 제어기

4.3 태양광 추적 장치의 구성

본 논문에서 제안하는 태양광 추적 시스템을 구현하기 위해 그림 4.8과 같은 태양광 추적 장치를 제작하였다.



그림 4.8 태양광 추적 장치

X-Y 액츄에이터의 구조는 그림 4.9와 같으며 2개의 DC 모터로 구성되어 있다. 또한 태양광 추적 장치 상단의 수광부는 그림 4.10과 같다.



그림 4.9 X-Y 액츄에이터 구조

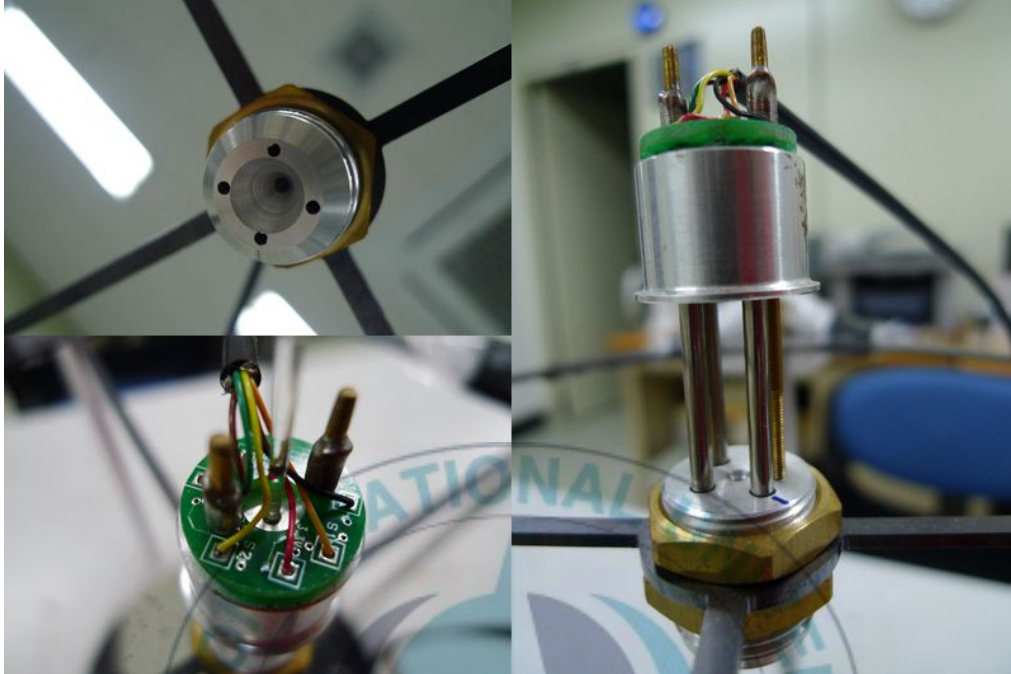


그림 4.10 수광부 구조

수광부는 4개의 센서로 구성되어 있으며 센서의 출력은 전류이다. 그림 2.6에서 확인 할 수 있듯이 수광부 중심에 광섬유를 넣고 그 주변에 빛이 들어가는 구멍을 내 수광부 상단에 위치한 각각의 센서에 빛이 전달되도록 구성하였다.

4.4 실험 결과

실제 태양광 아래에서 LabView의 DAQ 보드를 이용하여 실시간으로 Y 축 센서 2개의 신호와 PSoC에서 출력되는 DAC 신호를 검출하여 데이터를 저장 및 비교 하였다.

먼저 DAQ 보드를 이용하여 센서의 출력과 DAC 출력을 저장하기 위해

그림 4.11, 4.12와 같이 LabView를 이용하여 설계하였다.

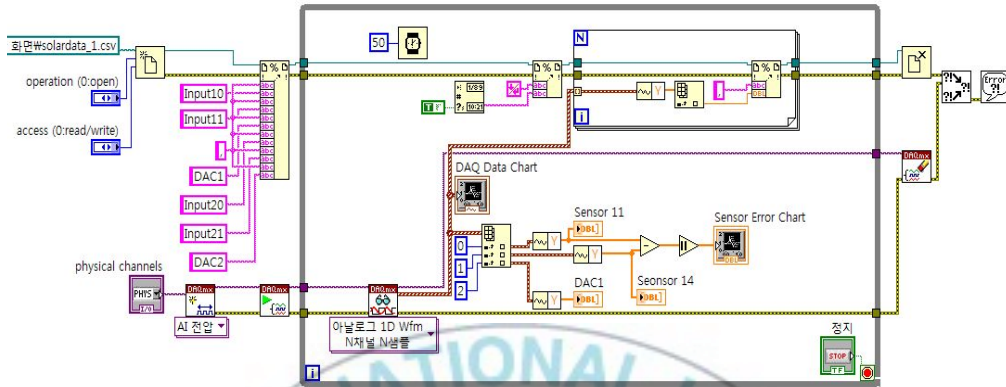


그림 4.11 센서 전압 출력을 위한 LabView 블록 다이어그램

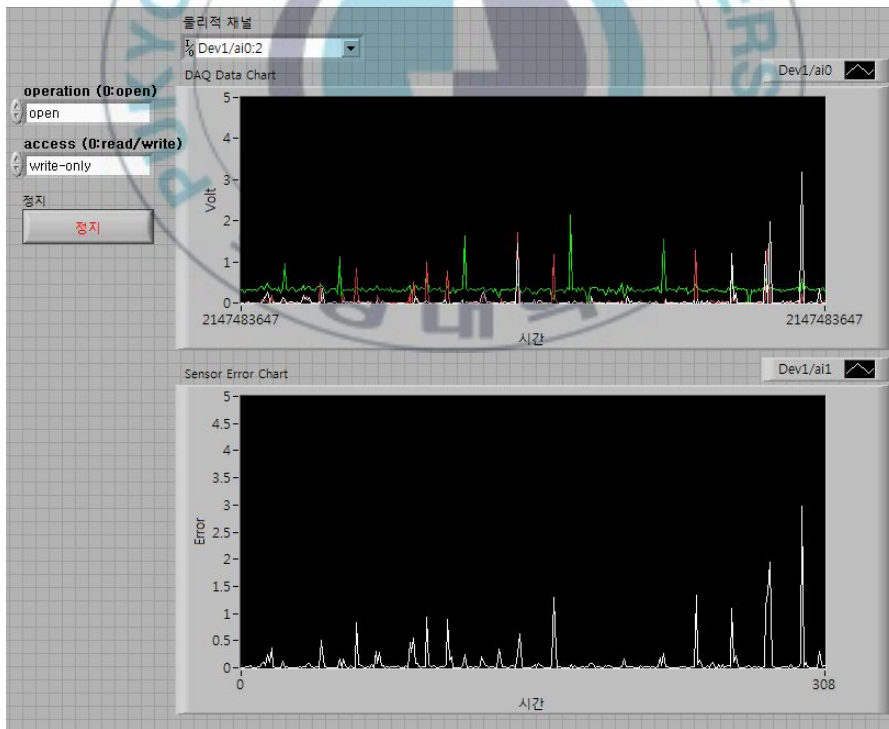


그림 4.12 센서 전압 출력을 위한 LabView 프론트 패널

태양광 아래에서 약 1분 동안 거울에 힘을 가해 외란을 주는 방식으로 센서 데이터를 얻었으며 그 결과는 그림 4.13과 같다.

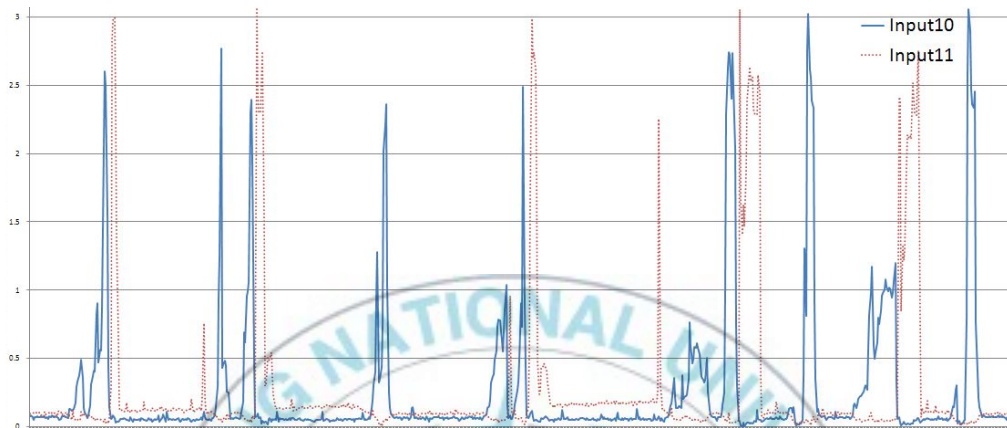


그림 4.13 LabView를 통해 측정된 센서 출력

PID 제어를 위해 센서 2개의 차 즉, Error를 입력으로 사용하고, DAC가 그 출력이므로 그 데이터는 그림 4.14를 통해 확인 할 수 있다.

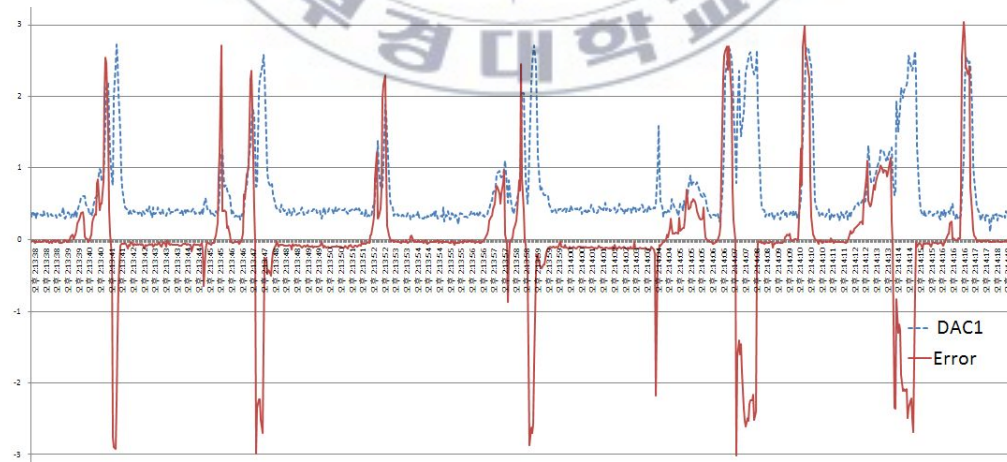


그림 4.14 Error(센서간의 차)와 DAC 출력

실험 결과 집광된 빛이 센서부의 중심에 있을 때는 Error가 0V 근처의 값을 가지고, 태양의 이동 및 외란으로 인해 집광된 빛이 수광부의 중심을 벗어나는 경우에 Error가 발생하며 최대 3V의 값을 가진다.

전체 데이터 중 2초 동안의 데이터를 분리, 확대하여 에러 발생 및 수렴까지의 시간을 확인한 결과는 그림 4.15와 같다.



그림 4.15 Error(센서간의 차)와 DAC 출력(부분확대)

태양의 이동 및 외란으로 인해 수광부의 중심에서 벗어난 빛을 보정하는데 약 1초 이내의 시간이 걸리는 것을 실험을 통해 확인 할 수 있다.

4.5 제작 결과

본 논문에서는 설계한 태양광 추적 장치를 이용해 태양의 궤적을 따라가며 태양광을 직접 조명으로 사용하기 위한 디지털 PID제어를 제작하였으며 그 결과는 그림 4.11과 같다.

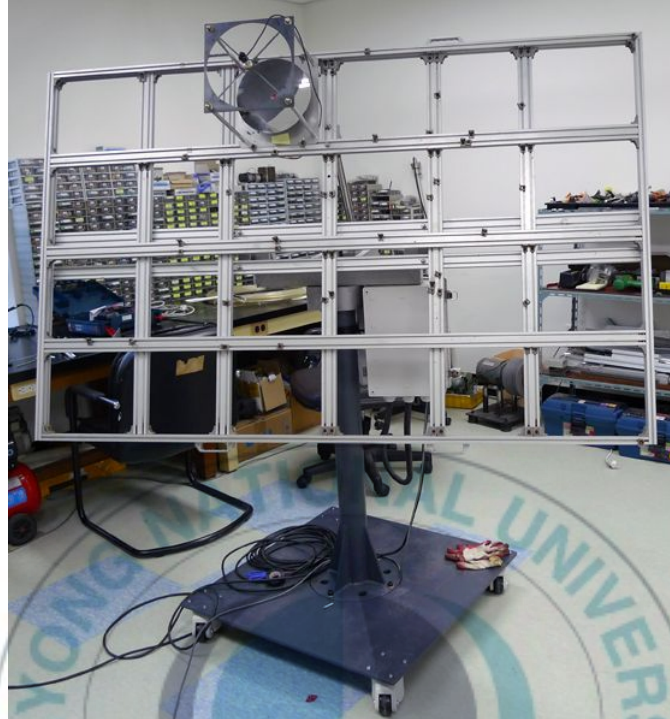


그림 4.11 태양 궤적 추적 장치

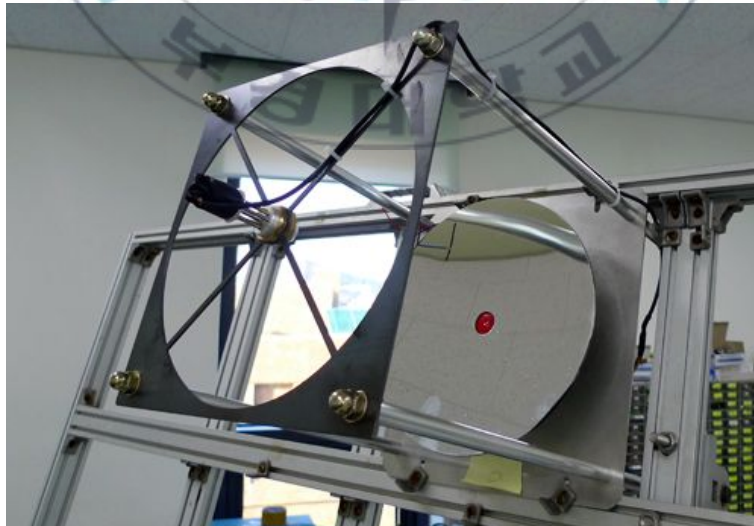


그림 4.12 태양광 추적 장치

그림에서 확인 할 수 있는 것과 같이 그림 4.11의 태양 궤적 추적 장치가 년, 월, 일, 시간을 이용하여 태양의 궤적을 따라가면 그림 4.12의 태양광 추적 장치가 태양 궤적 추적 장치의 오차를 보정하여 효율적인 집광이 가능하도록 하였다.

실험 도중 반사경에 의해 집광된 빛의 온도로 인해 수광부의 금속 부분에 높은 열(최대 110℃)이 발생하여 센서의 오동작이 발생하였으나 센서를 수광부의 빛이 닿는 곳에서 5cm를 띄워 열에 의한 오동작을 방지하였다.

실험 결과 태양 궤적 추적 장치는 태양 궤적을 추적하였으며, 태양광 추적 장치는 정밀한 결과를 보였다.



V. 결론

본 연구는 태양 집광 장치를 이용하여 조명시스템을 연구한 것이다. 태양 집광 장치의 제어기는 PSoC 마이크로 컨트롤러를 이용하여 구현하였으며 PSoC를 이용한 PID 제어기는 구조가 간단하고 프로그래밍하기가 쉽다는 장점을 가지고 있다.

태양광 추적 장치를 이용해 태양의 궤적을 따라가며 집광된 태양광을 직접 조명으로 사용하는 시스템은 천문학적 태양궤적 추적 시스템과 천문학적 태양궤적 추적 시스템에 탑재된 반사경을 이용한 태양광 추적 장치로 구성된다. 먼저, 천문학적 태양 추적 시스템에 의하여 태양의 고도각 및 방위각이 계산되어 제어된다. 그러나 정확한 태양의 위치를 추적하기 위하여 반사경을 이용한 태양 집광 장치에 의해 정밀한 태양 위치를 검출할 수 있다.

시뮬레이션과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, PSoC 컨트롤러를 이용하여 제어를 간단하게 구현하였다.

둘째, PID 제어를 이용하여 태양추적에 대한 응답 즉, 정착시간이 1초 이내로 양호하였다.

셋째, 반사경 220mm를 이용한 태양 집광 장치에 의하여 집광된 광의 효율이 높았다.

넷째, 1.5 ϕ 의 광섬유를 이용하여 집광된 광을 실내조명으로 사용이 가능하였다.

그러나 집광된 광에너지에 의한 방열이 발생하기 때문에 방열에 대한 대책이 필요하며 방열 및 구조에 대한 연구와 집광된 광에너지를 조명으로 사용하기 위한 빛의 확산 및 일정한 빛으로 유지하기 위한 보정에 대한 연구가 요구된다.

참고 문헌

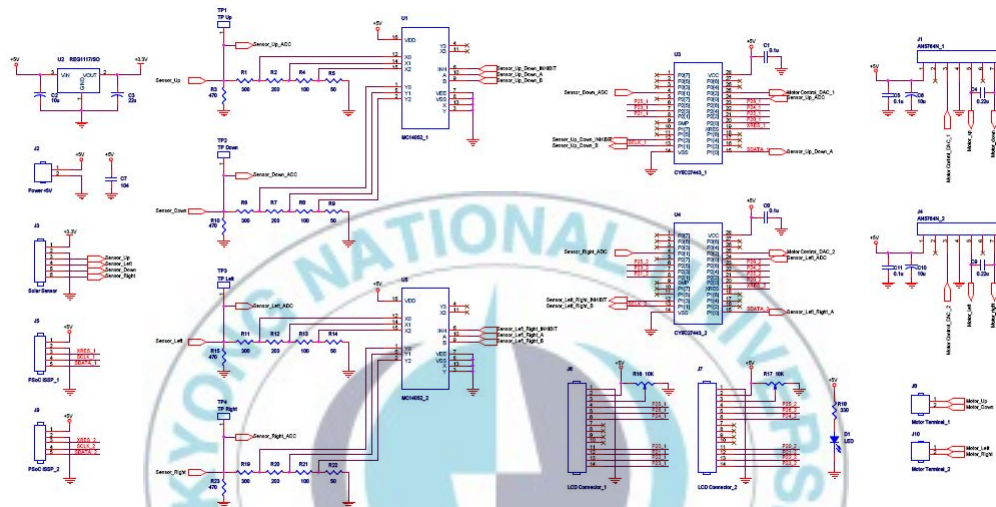
- [1] Z.G.Piao, J.M.Park, J. H. Kim, G. B. Cho, H. L. Baek, "A Study on the Tracking Photovoltaic System by Program Type", IEEE ICS,(2009), pp 971~973
- [2] ELLIOT LARARD, "Sun Tracking Solar Array System", University of Queensland. 1998
- [3] Jeff Muhs, "Design and Analysis of Hybrid Solar Lighting and Full-Spectrum Solar Energy Systems", American Solar Energy Society's SOLAR 2000 Conference,2000, pp 1~9
- [4] G.O.Schlegel, F.W.Burkholder, S.A. Klein, W.A.Beckman, B.D. Wood, J.D.Muhs, "Analysis of a full spectrum hybrid lighting system",solar energy 76, 2004, pp 359~368
- [5] 박영칠, 김기용, "태양 추적 시스템을 위한 태양위치 계산", 서울産業大學校 論文集 第47輯, 1998, pp 265~273
- [6] 박영칠, 강용혁, "집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치계산", 서울산업대학교,태양에너지 Vol 18 No 4 1998, pp 87~94
- [7] 윤환기, 오병주, "태양 추적장치에 대한 적응제어 알고리즘 적용 연구", 2005, pp 41~45.
- [8] Bill Lane, "Solar Tracker", Cleveland State University, 2008, pp 1~25
- [9] 桑野雅彦, "はじめてのPSoCマイコン", 2004, pp 11~16
- [10] Norman S. Nise, "제어시스템공학 5판", 홍릉과학출판사, 2010, pp 477~481
- [11] 양운섭, 유상진, 주문창, "태양추적장치의 동적특성에 관하여", 대한건축학회학술발표논문집, 제 11권 제 2호

[12] 本田昭, 菅野和宏, “オートメーション”, 第 32卷 第 4号



부록

1. 태양광 추적 장치 회로도



2. PSoC 내부 코딩 소스

```
include <m8c.h>
#include "PSoCAPI.h"
#include "stdlib.h"

const float e_at=0.55;
const float Kp=2.05;//비례
const float Ki=0.8;//적분
const float Kd=0.5;//미분

int adc_AS=0; //Sensor A
```

```

int adc_BS=0; //Sensor B
float volt_A=0;
float volt_B=0;
char status;

int flag=0;
int cnt=0;
BYTE read_port=0x00;

void ADC(){
    while(ADCINC12_1_flgDataAvailable() == 0);
    ADCINC12_1_ClearFlag();
    adc_AS=ADCINC12_1_iGetData()+2048;
    volt_A=adc_AS*0.001220703125;
    LCD_Position(0,0);
    LCD_PrString(ftoa(volt_A,&status));

    while(ADCINC12_2_flgDataAvailable() == 0);
    ADCINC12_2_ClearFlag();
    adc_BS=ADCINC12_2_iGetData()+2048;
    volt_B=adc_BS*0.001220703125;
    //volt_B=adc_BS*0;
    LCD_Position(1,0);
    LCD_PrString(ftoa(volt_B,&status));
}

void CHANGE(int swt){
    if(swt==0){

```

```

if(cnt==0){
    PRT1DR=0x10;
    ADC();
    if(volt_A>2||volt_B>2)
        PRT1DR=0x00;
    else
        cnt=1;
}
else if(cnt==1){
    PRT1DR=0x20;
    if(volt_A>2||volt_B>2)
        PRT1DR=0x10;
    else
        cnt=2;
}
else if(cnt==2){
    PRT1DR=0x80;
    if(volt_A>2||volt_B>2)
        PRT1DR=0x20;
    else
        cnt=3;
}
}
else if(swt==1){
    read_port=PRT1DR;
    if((read_port&0x80)==0x80){
        PRT1DR=0x20;
        if(cnt==0);
    }
}

```



```

        else
            cnt--;
    }
    else if((read_port&0x20)==0x20){
        PRT1DR=0x10;
        if(cnt==0);
        else
            cnt--;
    }
    else if((read_port&0x10)==0x10){
        PRT1DR=0x00;
        if(cnt==0);
        else
            cnt--;
    }
}
}

```

```

void main()
{

```

```

    float volt_sub=0;
    float X=0;
    float Y=0;
    float Y_1=0;
    float X1=0;
    float OUT=0;
    float OUT_hex=0;

```

```
PGA_1_Start(PGA_1_HIGHPower);
PGA_2_Start(PGA_2_HIGHPower);
LCD_Start();
```

```
M8C_EnableGInt;
ADCINC12_1_Start(ADCINC12_1_HIGHPower);
ADCINC12_1_GetSamples(0);
ADCINC12_2_Start(ADCINC12_2_HIGHPower);
ADCINC12_2_GetSamples(0);
DAC9_Start(DAC9_FULLPower);
```

```
PRT1DR=0x00;
```

```
while(1){
    ADC();
    if(volt_A>2 | volt_B>2)
        CHANGE(1);
```

```
ADC();
```

```
if(volt_A>volt_B)
    volt_sub=(volt_A-volt_B);
else if(volt_A<volt_B)
    volt_sub=(volt_B-volt_A);
else if(volt_A==volt_B)
    volt_sub=0;
if(volt_sub<1.0){
```

```

        if(volt_A<2&&volt_B<2)
            CHANGE(0);
    }

    LCD_Position(0,10);
    LCD_PrHexByte(cnt);

    X=volt_sub;
    Y=X+(X1*e_at);
    OUT=(X*Kp)+(Y*X1*(1-e_at)*Ki)+((Y*(1-X1))*Kd);
    OUT_hex=OUT/0.009765625;
    DAC9_WriteStall(OUT_hex);
    X1=X;

    if(volt_A>volt_B){
        PRT1DR&=~0x02;
        PRT1DR|=0x01;
    }
    else if(volt_A<volt_B){
        PRT1DR&=~0x01;
        PRT1DR|=0x02;
    }
    else if(volt_A==volt_B)
        PRT1DR&=~0x03;
    DAC9_WriteStall(OUT_hex);
}
}

```

감사의 글

지난 대학원 2년 동안 무한한 가르침을 나누어 주시고 제가 더욱 더 성장할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해 주신 이형기 교수님께 진심으로 감사드립니다.

아무것도 모르는 저의 부족한 부분을 지적해 주시고 격려해 주시고 많은 가르침을 주신 안영주 교수님, 최연욱 교수님, 황용연 교수님, 변기식 교수님, 김남호 교수님, 김만고 교수님, 이경창 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

아무것도 모르던 제가 지금의 이 자리까지 올 수 있도록 기회와 가르침을 주신 김관형 교수님, 강성인 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 지난 2년 동안 모난 동생을 늘 받아주고 이해해주는 마음 넓은 동기 이도현형에게 진심으로 감사드립니다. 또한 늘 곁에서 지켜봐주시고 응원해 주시는 김현수 선배님, 김혜란 선배님, 김준수 교수님, 정희성 선배님, 박재현 선배님, 류나이 선배님, 이덕 선배님 그리고 언급하지 못한 선배님들께 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 지금의 제가 있도록 늘 응원해주는 어머니, 아버지, 유나에게 진심으로 감사드립니다. 또한 늘 곁을 지키며 모든 일을 함께 해주는 나의 소울메이트 이준희에게 감사와 응원을 전합니다.

2010년 12월

김하나 올림