

# 태양광 집적을 위한 태양위치 추적장치

백현규<sup>\*</sup> · 곽만섭<sup>\*\*</sup> · 현웅근<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>호남대학교 전자공학과

## An Accurate Sun Tracking System

Hyun Kyu Back<sup>\*</sup> · Man Seob Kwak<sup>\*\*</sup> · Woong Keun Hyun<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Electronics Engineering, Honam University, KOREA

E-mail : wkhyun@mail.honam.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 태양광을 이용한 조명시스템이 설계되었다. 개발되고 있는 시스템은 태양추적을 위한 제어부와 Cds센서 모듈 그리고 태양광 전송부로 이루어져있다.  $\pm 2^\circ$ 의 허용오차 범위내에서 집광판이 태양에 수직으로 추적하기 위하여 Cds센서를 이용한 on-line 알고리즘이 설계되었다. 개발되고 있는 시스템의 효율성을 입증하기 위하여 몇가지의 야외 실험이 진행 중에 있다.

### ABSTRACT

An illumination system by using sun light is optimally designed. The developing system consists of main controller for sun tracking, Cds sensor module, and light translation system based on optical fiber. A sun tracking algorithm is designed in such way that the illumination system stand with straight angle to the direction of sun within  $\pm 2^\circ$  as permissible tolerance. To show the validity of the developed system, several experiments will be illustrated.

### 키워드

illumination system ,Cds sensor module, Sun light, light translation system

### 1. 서 론

태양광은 인공적으로 조성되는 빛보다 인간에게 심리적인 안정감을 주며 에너지 절약과 환경측면에서도 무한정, 무공해의 에너지원인 장점을 가지고 있으며, 또한 인간의 생활과 동식물의 성장에 많은 영향을 미쳐온 태양에너지에 대한 인식이 달라져 이용에 대한 관심이 높아지고 있다. 그리고 현대인은 하루의 대부분을 실내에서 생활을 하며 전기를 이용한 조명을 하고 있어 태양광을 실내의 조명에 이용한다면 에너지 비용 절감과 환경오염을 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 태양의 이동 경로를 미리 프로그램된 방식과 센서의 조합으로 추적하여 태양광을 집광하는데 효율을 높이고 하였고, 집적된 태

양광을 光Fiber cable을 이용하여 태양 빛이 들어오지 않는 건물내부의 복층이나 지하실 등 햇빛이 직접 닿지 않는 곳에 전송하는 태양광 조명장치를 개발 중에 있다.

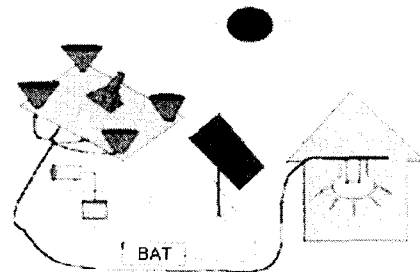


그림 1. 시스템의 활용

시스템에 사용된 Solar Cell은 태양광을 전기 에너지로 변환하여 축전지에 저장되며 태양광이 비효율적일 경우 조명전원으로 사용되며 평상시는 태양추적 시스템의 구동전원으로 사용된다. 본 시스템은 태양의 수직에 대하여  $\pm 2^\circ$  범위내에서 추적을 하며 이를 위하여 8개의 CDS센서를 이용한 센서모듈, 주제어 MPU, 스테핑모터 및 기구부 등을 개발하였다.

II. 조명으로 활용할 태양광의 분석

태양광은 우리가 가장 쉽게 접할 수 있는 무한정인 자원으로 태양에서 방출된 복사는 지구대기를 지나는 동안 태양의 고도에 따라 대기층에서 산란되거나 흡수되어 지표면에는 그 양이 변화되어 비추어진다. 인간의 눈에 밝기를 느끼게 하는 가시광선은 파장 380nm ~ 760nm의 전자파이다. 파장 380nm이하인 자외선과 파장 760nm이상인 적외선은 인간의 생활에 영향을 미치지만 밝기를 느끼지는 못한다. 인간의 눈은 서로 파장이 다른 경우 다른 색으로 표출되며 동일 에너지를 가진 빛이라도 파장에 따라 밝기를 느끼는 정도에는 차이가 있다. 이와 같은 파장의 분포를 가지고 있는 태양광은 인간에게 최상의 환경조건을 제공한다. 즉 가시광 영역에 의한 시각효과, 적외선 영역의 온열효과, 자외선 영역의 살균, 건강효과 등의 복합적인 효과를 들 수 있으며 인간이 행동하는 생활공간에서 느끼는 기본적인 욕구를 느낄 수 있게 해준다.

태양빛 집광 및 전송

태양광을 집광시 볼록(fresnel)렌즈를 사용하여 집광의 효율을 높이고 있으며, 렌즈에 의해 집광점의 위치를 구하고자 할 경우 렌즈의 각 표면마다 일어나는 굴절률을 고려하여 집광점 거리, 렌즈 굴절률, 렌즈 각 표면의 곡률 반경과 관련시키면 된다.

s를 무한대에 위치한 태양의 거리라고 하고, 상거리를 f라 하면 렌즈제작자의 공식(lens maker's equation)을 이용하여 집광점 거리를 구할 수 있다.

$$1/f = (n-1) ( 1/r1 - 1/r2 )$$

여기서, f : 집광점 거리, n : 렌즈 굴절률  
r1, r2 : 렌즈 각 표면의 곡률반경

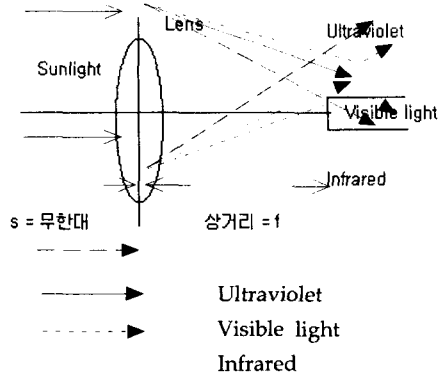


그림 2. 렌즈 굴절 및 색수차를 이용 태양광 분리

렌즈의 초점거리는 굴절률에 따라 변하고 또한 파장에 따라 변하므로 그림 2에서처럼 적외선 보다 자외선의 경우 약간 더 크므로 적외선 보다 자외선의 경우 초점 거리가 더 짧다. 즉 태양광이 파장에 따라 굴절률이 다른 점을 이용 380 ~ 760nm 범위의 가시광만을 분리를 할 수가 있다.

태양광 전송에 있어서 공중전송방식과 매질중 전송 방식이 있으며 공중 전송방식은 채광한 태양광을 직접 또는 거울, 렌즈등을 조절하여 거울 Duct, 굴절 Prism 등을 경유하여 목적하는 장소에 전송하는 것이다. 매질 중 전송방법은 집광장치에서 집광된 고밀도 광속을 주로 Glass-Fiber나 Plastic-Fiber 또는 석영Rod 등의 매질을 통하여 전송한다.

빛의 전송원리를 보면 광파이버에 있어서 빛의 유도는 굴절력 있는 다른 굴절률 n1의 매질이 두 번째 매질보다 더 작은 값을 가지면 굴절이 이루어 스텔의 법칙을 이용한다.

n2 < n1 인 경우

$$i_{lim} = \sin^{-1} ( n_2 / n_1 )$$

아래의 그림 3처럼 n2 < n1인 경우 첫 번째 매질에서 입사각과 반사를 한다. 만일, 두 개의 매질이 완전히 투명하고 표면이 평평하다면 어떤 손실도 없이 반사가 이루어진다.

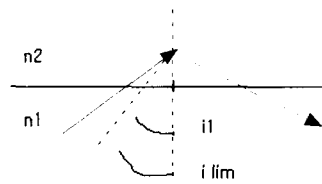


그림 3. 전 반사

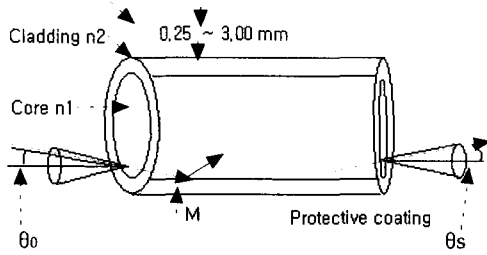


그림 4. 광파이버의 구조

광파이버 구조는 그림 4와 같이 높은 굴절률  $n_1$ 을 갖는 중심부분과 낮은 굴절률  $n_2$ 을 갖는 외장부분과 보호막부분으로 이루어져 있다. 보호막은 외부의 충격이나 운전 중 표면의 품질 저하를 피하기 위해서 사용된다.  $n_1$ 과  $n_2$ 의 물질은 투명하고 유기적인 매체로 되어 있으며 특별한 경우를 제외하고, 그 중심 직경은 0.25 ~ 3.00mm 정도이다. 빛의 유도 방법은 광원의 방향이 그림 4와 같이 M이라고 표시된 한 점에서 만나면 굴절률  $n_2 < n_1$ 에 의해서 광원은 전반사가 되어 다시 코어 부분으로 돌아간다. 이와 같은, 반사는 광선의 초기 기울기 값이 다음 부등식을 만족해야 한다.

$\theta < \theta_{lim}$  경우

$$\theta_{lim} = \cos^{-1}(n_2/n_1)$$

이 경우 광선은 기울기  $\theta$ 를 유지하면서 내부 전반사를 계속해 나아간다. 이와 같이 광파이버 내에서 충분히 작은 각도로 기울어진 광선은 같은 평면에서 지그재그 경로를 따라 전반사를 이룬다. 빛의 입사와 방사는 광원과 광파이버 중간에는 매개체는 주로 공기가 있다고 할 때,  $\theta_0$ 를 갖는 광선은 거의 손실 없이 전송된다.

$\theta_0 < \theta_{max}$  경우

$$\theta_{lim} = \sin^{-1}(1/n_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2})$$

여기서,  $\theta_0$  : 수광각

$n_1$  : 중심부분

$n_2$  : 외장부분

만약, 중간 매질이 공기이면  $n_0=1$ 이고,  $\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$ 은 광섬유의 개구수로 광파이버의 고유특성을 나타내며 광파이버 매질의 굴절률이 동일하다면 입사각  $\theta_0$ 의 각도와 같은 축에 있어서 각도  $\theta_s$ 로 방사된다. 일반적으로  $n_1$ 을 1.465, 그리고  $n_2$ 는 1.455이므로 전송관의 무손실 각은  $5.5^\circ$ 가 된다. 즉 광파이버의 입사각이  $5.5^\circ$  이내면 태양광의 손실을 무시할만큼 적게 된다.

### III. 시스템의 구현

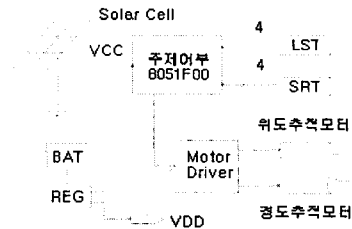


그림 5. 태양광 추적 장치 블록도

태양광 추적장치 블록도는 그림 5와 같이 제어부, 센서부, 모터 구동부, Solar Cell을 이용한 전원부로 구성되어 있다.

제어부는 Flash rom이 내장된 8051F00을 사용하였으며, 태양의 위치를 찾기 위해 Cds Sensor module을 그림6처럼 광역탐지 센서(Large Range Sensor)와 소역탐지 센서(Small Range Sensor)로 분할해서 추적의 효율을 높이도록 했다.

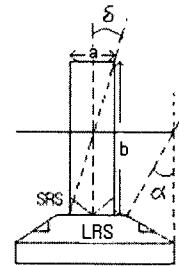


그림 6. 센서부의 구성

또한 모터 구동부는 바이폴러 방식을 사용하였으며, Solar Cell은 시스템 구동전원 및 기상조건이 좋지 않은 경우에 이용하고 있다.

#### 시스템의 동작

지상에서 본 태양의 위치는 지구의 자전, 공전 등으로 변화하며 그에 의한 빛 에너지는 저밀도 분산형이므로 태양광을 집광 및 효율을 높이기 위해서는 태양과 집광부를 항상 수직이게 하는 기구부가 필요하게 되므로 스텝모터 두 개를 사용한 2축으로 기구부를 구성하였다.

시스템은 태양의 움직임을 미리 프로그램화하여

구동되는 추적 방식과 Cds센서를 조합한 센서부로 추적장치 상판의 위치를 보정하는 방식으로 구성된다. 이중 프로그램화한 추적방식은 MPU에 내장된 Timer를 이용하게 되며, 하루 24시간과 1년 365일을 표현하도록 하여 계절과 하루의 태양의 위치를 알 수 있도록 하였다.

하루중 태양의 위치가 계속 변화하고, 계절에 따른 태양의 일몰과 일출의 시간이 다르므로 이를 알 수 있도록 Timer가 사용되며 센서부는 프로그램에 의해 이동된 추적장치의 상판이 태양과 수직에 차이가 있을 수 있으므로 위치를 보정하여 태양과 추적장치의 상판이 항상 수직면상에 놓일 수 있도록 하고 있다.

본 추적장치에서는 Timer를 사용하여 365일의 날짜를 체크함으로써 계절에 따른 태양의 고도와 일출 시간 등을 알 수 있도록 프로그램을 하여 그날의 일출과 일몰의 시간을 알아서 설정할 수 있다. 그 날의 일출과 일몰의 시간을 알게 되면 Timer0 값을 이용 일/출몰 각각 2시간을 전후에서 동작과 정지를 하여 불필요한 전원 소비를 하지 않도록 한다.

동작이 개시되면 추적 장치는 시작 위치로부터 10분 단위로 정해진 경로로 이동을 개시하게 된 후 센서부로 태양과 추적장치의 상판이 수직이 되도록 위치를 조절하게 된다. 또한 추적 시간은 30초 이내로 하고 있으며 나머지 시간은 배터리에 충전하는 시간으로 하며 태양과 추적장치의

지역	광주	광주
날짜	2001. 01. 01	2001. 08. 01
일출	07시 41분	05시 41분
일몰	17시 31분	19시 36분

수직 오차를  $\pm 2^\circ$  이내로 하고 있다.

표 1. 광주지역 일/출몰 시간

만약 시스템이 동작중에 주간에 날씨가 좋지 않은 경우가 생긴다면 태양광이 감소되므로 이를 센서부에서 감지 후 추적장치의 동작을 정지하게 된다. 그 후 센서부에 입력된 태양광이 증가할 경우 배터리에 충전된 전원으로 다시 태양추적을 계속하게 된다.

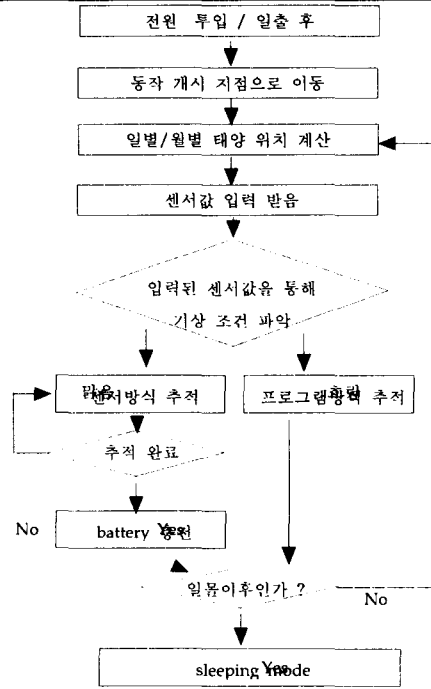


그림 7. 시스템의 동작 flow-chart

#### IV. 시스템의 실험

실험을 위하여 주제어부는 8bit MPU인 8051F00을 사용하여 구성하였다. 이는 12bit ADC 8채널 및 Flash Rom, 32K byte를 내장하고 있다. 그림 8에서는 실험을 위해 제작된 main board를 보여 주고 있다. main board에서는 LRS와 SRS의 Cds 센서 8개의 값을 read하며 이를 활용하여 태양을 LRS  $\pm 7^\circ$  범위내 SRS는  $\pm 2^\circ$  범위내에서 추적할 수 있다.



그림 8. 주제어부



그림 9. 기구부

태양과의 수직 추적 오차  $2^{\circ}$  에서  $7^{\circ}$  범위사이의 을 Fuzzy 등의 지능 알고리즘으로 구현할 예정이다. 그림 9는 제작된 기구부이며 경도 및 위도를 추적하기 위해 stepping motor가 두 개 부착이 되어 있으며, 기어비는 8:1을 사용하였다.

LRS는 빛의 산란 및 반사등의 영향으로  $\pm 7^{\circ}$  정도 범위까지 태양의 수직 추적이 가능하다. 따라서 99%이상의 태양광의 이용을 위해서는  $\pm 2^{\circ}$  오차까지 수직 추적을 해야하는바 이러한 부분을 SRS가 담당한다. SRS센서는 그림 6에서처럼 a, b에 따라 추적 정밀도가 달라지므로  $\pm 2.0^{\circ}$  내에 오차는 a:b가 1:10 정도의 길이 비가 된다.

## V. 결 론

대낮에 사용하기 위한 태양광을 이용한 조명장치를 개발중에 있으며 그 중간 결과로써 본 연구를 발표하게 되었다. 본 장치의 구성은 주제어부, 센서부, 모터 구동부, Solar Cell을 이용한 전원부로 구성되었으며 신속하고 정밀한 추적을 위하여 센서를 LRS, SRS 두분으로 구분하여 추적한다. 허용오차는  $\pm 2.0^{\circ}$  내로 예상되며 이때의 광손실은 1%이내에 될 것으로 사료된다. 본 연구의 결과는 태양에너지를 사용한다는 면에서 향후 발생하는 에너지의 부족현상에 매우 크게 기여하리라 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 태양광 채광시스템의 스펙트럼 분석, 어익수, 한국조명·전기설비학회 논문집. (1999)
- [2] Lamp & Lighting, J.R.Coaton & A.M Marsden, ARNOLD. (1997)
- [3] Lighting Handbook, Mark S.REA, Ph.D. FIES, IESNA. (1995)
- [4] 태양광 조명과 지하공간, 한국광통신