工學碩士 學位論文

센서어레이 방식을 채용한 태양광 집광시스템의 개발에 관한 연구

A Study on the Development of a Sunlight Collection System Using a Sensor Array Technique

指導敎授　金 鍾 和

2000년 2월

韓國海洋大學校 大學院

制御計測工學科

徐 勝 源

本 論文을 徐勝源의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 工學博士 趙 爽 濟 印

委 員 工學博士 河 潤 秀 印

委 員 工學博士 金 鍾 和 印

2000년 1월 11일

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

制 御 計 測 工 學 科 徐 勝 源

A Study on the Development of a Sunlight Collection System Using a Sensor Array Technique

Seung-Won Sue

Department of Control & Instrumentation Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University

ABSTRACT

Nowadays, concerns about the discovery and the development of alternative energies are increased day by day, and naturally researches on the development of alternative energies are reported in every country of the world. Moreover, it is very important to find alternative energies in this country which has little resources. There are many types of energies which belong to alternative energy, such as solar energy, wave energy. wind energy, and so forth. Solar energy is one of the most attractive alternative energies for the future because it is clean, consistently supplied, and widely distributed throughout the earth. Especially, it has high potential to be used in this country which has much better daylights a year.

By the way, the density of the solar energy is too low to use the solar energy directly. In order to use it effectively it must be needed to comprise a system to collect the sunlight. To comprise the sunlight collection system, first of all, a solar tracking system is necessary to track the sun during daylighting.

This thesis describes a sunlight collection system during daylighting which comprises a solar tracking element, sunlight collection element, and sunlight transmitting element. The most important element of them is the solar tracking element and this thesis proposes a new type solar tracking system which uses a full sensor method with a two-axis sensor array. And it also develops an algorithm which operates the overall system effectively. Especially, an algorithm called holding mode algorithm is developed to reduce the execution time for the real time tracking.

The developed system has the characteristic that it is applicable the place where the mounted base is moved or where the orientation is changed with time. Because the suggested solar tracking system tracks the sun only using the two-axis sensor array regardless of the information of the position.

목 차

제 1 장 서 론

과학의 발달과 경제 규모의 팽창은 에너지 소비의 급격한 증대를 초래하였다. 현재 사용중인 에너지의 대부분을 차지하고 있는 화석연료는 매장량이 지역적으로 편중되어 있고, 고갈될 수밖에 없는 한계성을 지니고 있다. 또한 화석연료의 연소과정에서 발생되는 CO_2, NOx, SOx 등의 온실가스는 환경의 직접적인 오염뿐만 아니라 지구의 온난화 현상, 산성비 등의 심각한 공해 문제를 야기하고 있다[1-3].

기후변화협약(Framework Convention on Climate Change, FCCC)은 모든 국가의 온실가스 배출 감축을 위한 노력을 촉구하고, 특히 선진국에 대해서는 2000년까지 온실 가스의 배출을 1990년 수준으로 감축할 것을 규정하고 있다[3]. 이에 따라 화석에너지의 사용이 더 이상 쉽지 않게 되어 에너지의 대부분을 수입에 의존(97년도 기준 에너지 수입 의존도 97.5% [4])하는 우리나라에서는 지속적으로 수급 가능한 청정 대체에너지의 개발이 절실히 요구된다[1-3].

재생 가능하고 환경을 오염시키지 않는 대체 에너지의 개발이 꾸준히 진행되어 왔는데, 폐기물을 내지 않는 깨끗한 에너지인 태양열, 태양광, 수력, 지열, 풍력, 해양 에너지 등의 자연에너지가 발전에 미래의 대체에너지로 각광받고 있다. 이러한 대체 에너지원 중에서 태양에너지는 자원이 무한하며, 환경 오염물질의 배출이 없고, 지역적으로 편중되지 않는 등 다른 에너지원에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 또한 기술적인 면에서도 이용가능성이 입증됨으로써 무한한 대체에너지 자원으로 각광을 받고 있다[1].

대기권 밖에서 $1m^2$당 도달하는 태양에너지는 매초 0.33Kcal로, 지구 전체가 태양으로부터 받아들이는 에너지는 1초에 약 4.2×10^{13}Kcal이며, 이 중 30% 가량은 직접 반사되고, 나머지는 매초 약 3×10^{13}Kcal로 지구에 도달한다. 이는 1989년 세계 에너지 총 수요량인 1×10^{17}Kcal와 비교할 때 1시간동안

지구 전체에 내리쬐는 태양에너지의 양은 세계의 연간에너지 소비량과 비슷하다.

그러나 이러한 태양에너지는 에너지 집적효율이 15 20% 정도로 낮아 집적효율을 높이기 위하여 집광 또는 집열을 해야 하는데 그러기 위해서는 태양의 정확한 위치를 추적하는 장치가 필요하다. 태양위치 추적장치의 개발은 이미 미국, 일본, 유럽공동체 등의 선진국을 중심으로 활발히 이루어져 왔고, 태양열 발전, 태양광 발전, 자연채광 등에 적용되어 상용화 되고 있다[1,5]. 그러나 국내의 경우 태양추적 장치에 대한 연구[6,7]가 그다지 만족스럽지 못한 실정이고, 그나마 외국기술의 모방 내지는 초보적인 단계로, 실용화에는 선진국의 자국기술 보호 정책과 특허권 분쟁 등의 문제로 인해 많은 제약이 따르고 있다.

본 논문에서는 기존의 센서방식 태양 추적장치의 단점인 빛의 산란과 장시간 태양 빛에 노출 시 광센서의 특성변화로 인한 오동작 및 기저가 고정되지 않았을 경우 급격한 위치변화에 의한 추종성능 저하 등의 문제점을 개선하여 좀 더 정확하고, 신속하게 태양의 위치를 검출, 추적할 수 있는 장치의 개발에 중점을 두었다. 또한 제안된 방법은 고정 위치에서뿐만 아니라 기저가 움직이거나 방향이 변하는 차량과 선박 등에도 특별히 응용될 수 있도록 고안된 것이 특징이다. 이를 위하여 태양의 위치를 검출하고 정량적인 제어량을 생성하기 위한 11×11의 포토트랜지스터 어레이로 구성된 새로운 방식의 센서모듈을 고안하였다. 태양추적시스템이 태양을 추적하고 있을 때 프로세서의 센서모듈 처리 시간과 계산량을 줄이기 위해 홀딩모드 알고리즘도 제안하였다.

개발한 장치의 효용성을 검증하기 위해, 태양에너지 이용 분야 중 조명분야에 적용하였다. 지하실이나, 실내등과 같은 자연채광이 불가능한 곳에서의 채광이나 인공조명에 의한 탈색이 쉬운 유물을 보존하는 박물관이나 식물원, 연구실

등과 같은 특수한 장소에 활용할 수 있도록 자외선 및 적외선이 제거된 특수 조명을 위한 태양광 집광 시스템을 제작하여 그 가능성을 살펴보았다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 태양광 집광 시스템의 개요 및 구성에 대하여 설명한다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 태양 추적 알고리즘에 대하여 구체적으로 설명한다. 그리고 제 4장에서는 제안한 방법을 실제 제작된 시스템에 적용하여 실험한 결과를 검토하고 그 유용성을 보인다. 마지막으로 제 5장에서는 전체적인 내용에 대하여 결론을 내리며 향후 연구과제에 대하여 논한다.

제 2 장 태양광 집광시스템

2.1 개요

태양광 집광 시스템이란 태양이 있는 주간에도 조명 기구를 점등하고 있는 장소, 즉 공장, 창고 등의 산업분야는 물론, 병원의 복도와 병실, 일반 주택의 북측의 방, 창이 없는 방, 지하실 등 햇빛이 들지 않는 장소에 태양광을 고농도로 집광하여 광섬유를 통해 채광을 원하는 장소로 옮겨 다양한 용도로 사용할 수 있도록 한 장치로써, 집광을 위해 반사경, 프리즘 또는 렌즈를 사용하거나 혼용하여 사용하며, 태양의 방위와 고도를 정확하게 추적하기 위해 태양추적 장치를 갖추고 있는 시스템이다.

태양위치 추적장치는 다양한 형태가 있는데, 구동축의 수에 따라 1축 또는 2축 구동형으로 나뉘어 진다. 태양추적 신호의 생성 방식에 따라서는 크게 자연형(Passive tracking) 방식, 광센서에 의해 태양의 위치를 검출하여 구동축을 제어하는 센서 방식, 설치 장소의 위도 및 경도와 시간정보에 의해 컴퓨터로 태양 위치를 계산하여 구동축을 제어하는 프로그램 방식, 두 가지를 병용한 프로그램/센서 혼합방식 등으로 분류 할 수 있다.

1축 구동방식은 방위각을 연중 평균적으로 가장 잘 채광할 수 있는 각으로 고정시키고 고도각만을 바꾸거나, 반대로 고도각을 이용도가 높은 계절의 각으로 고정시키고 시간에 따라 방위각을 조절하는 방식으로, 시스템의 이용효율이 상대적으로 낮다. 이에 반해 2축 구동방식은 최대 효율을 얻기 위해 방위각과 고도각을 동시에 조절하는 방식으로 좀 더 정확한 태양 추적을 필요로 하는 점집광계인 자연채광 장치나 중앙 집중형 태양열 발전 등에 적합하다.

추적신호의 생성방식 중 프로그램방식은 날짜와 시간에 따른 태양의 고도 및 방위각을 미리 기억시켜 놓거나, 컴퓨터에 의해 계산된 값에 의해 일방적으로 고도와 방위각을 조절하는 개루프 제어방식으로, 구름이나 기상조건의 급격한 변화에 따른 오동작이 없고 비교적 높은 정확도를 가지는 장점이 있다. 하지만 입력해야하는 위도, 경도 및 시간 데이터의 정밀도를 요구하고, 센서가 없어 설치시에 기준 방위각과 수평을 정확히 유지하도록 설치해야하며, 오차 누적에 의한 정확도 저하를 막기 위해서는 정기적으로 데이터를 조정해 주어야 하는 단점이 있다.

이에 반해 센서방식은 센서에 의한 피드백 신호에 따라 태양추적 시스템의 구동축을 제어하는 방식으로 센서로는 주로 광센서가 이용된다. 즉 각 축의 양단에 한 쌍의 광센서를 설치하고, 검출된 신호를 비교하여 오차에 상응하는 출력을 구동부로 전달하는 폐루프 제어방식이다. 이 방식은 프로그램방식에 비해 오차가 작고, 설치시에도 별 문제가 없으나, 구름에 의해 빛이 산란될 때나 태양이 센서의 감지 각도 밖에 있을 때는 오동작을 일으킬 수도 있으며, 구동부의 정량적인 제어량을 구할 수 없는 단점을 가지고 있다. 혼합방식은 앞에서 언급된 두 가지 방식의 장점을 이용한 것이다. 즉 기본적인 동작은 프로그램 방식을 사용하여 구름 등에 의한 빛의 산란으로 인한 오동작을 막고, 센서방식으로 프로그램 방식의 오차를 보정하여 미세 조정을 하는 방식이다.

본 논문에서는 고정된 장소 및 선박이나 해상 부유체 등 고정되지 않은 장소에서의 사용시 신속하게 태양의 위치를 검출하여 추적할 수 있도록 하기 위해 센서방식을 채택하였다. 기존 센서방식의 단점을 해결하기 위해 다수의 광센서로 2차원 어레이를 구성하였으며, 빛의 산란에 의한 오동작을 줄이기 위하여 센서모듈 전방에 센서용 집광렌즈를 장착하여 일시적인 구름이 있는 경우에도 정상적으로 동작하도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 태양광 집광 시스템은 크게 3부분으로 구성되어 있다. 우선 태양의 정확한 위치를 찾기 위해서 기존 방식의 단점을 개선한 2차원 센서어레이 방식의 센서모듈, 센서모듈에서 나온 아날로그 신호를 A/D변환하여 태양의 정확한 상대위치를 계산하여 이에 따른 시스템의 위치 추종을 위한 X축과 Y축의 DC모터 제어신호를 결정하고 구동시키는 제어 시스템 부분, 그리고 센서모듈과 수직으로 배치되어 태양을 정면으로 향하고 있는 8개의 프레넬렌즈(Fresnel lens)와 렌즈의 초점위치에 위치하여 집광된 빛을 전송하기 위한 광섬유로 구성된 집광부로 이루어져 있다. 그림 2.1은 태양광 집광 시스템의 전체 구성도를 나타낸 것이다.

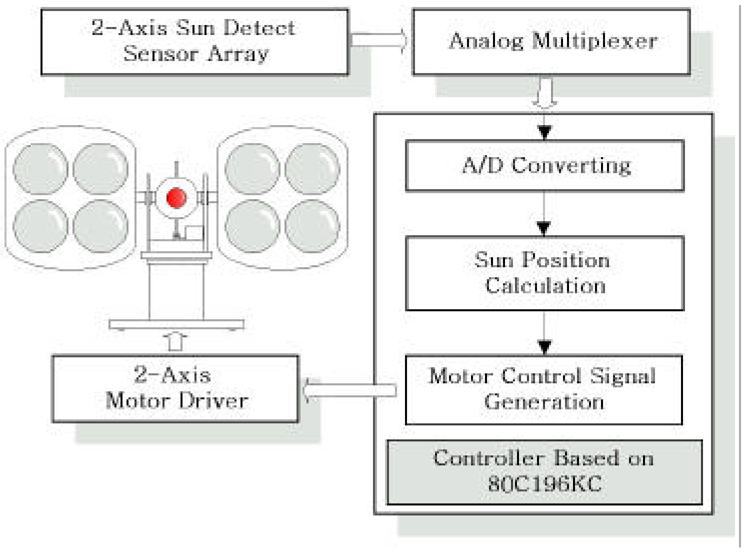


그림 2.1 태양광 집광 시스템의 구성도
Fig 2.1 Block diagram of a sunlight collection system

2.2 태양위치 검출센서

기존의 광센서를 이용한 센서방식 태양추적 시스템들은 대부분 4개 또는 미세 조정용으로 4개를 더 추가한 광센서를 사방으로 배치하고 좌우, 상하 각 쌍의 신호를 비교하여 모터의 구동방향 결정 및 오차 신호를 증폭하여 균형을 이룰 때까지 각 축의 모터 구동신호를 발생시키도록 되어있다. 이 경우 광센서가 장시간 태양에 노출되어 소자의 특성 등이 변하거나 일시적으로 구름 등에 의해 빛이 산란을 일으키면 오동작을 하여 정확한 추적이 불가능할 수 있다. 또한 입사광도에 따라 오차신호가 달라져 시스템을 구동하기 위한 모터 제어량의 정량적인 계산이 불가능할 수 있으며 균형을 이룰 때까지 걸리는 시간이 길어 기저가 움직일 경우 기저 안정화에 대한 제어량을 실시간으로 발생시키지 못함으로써 정확한 태양추적이 불가능해 진다.

본 논문에서는 이러한 기존 센서방식의 단점을 개선하기 위해 새로운 방식의 태양위치 검출 센서모듈을 제안하였다. 그림 2.2는 KODENSHI사에서 나온 ST-7L 포토트랜지스터로 11×11의 어레이를 구성한 센서모듈의 구조를 나타낸 것이다.

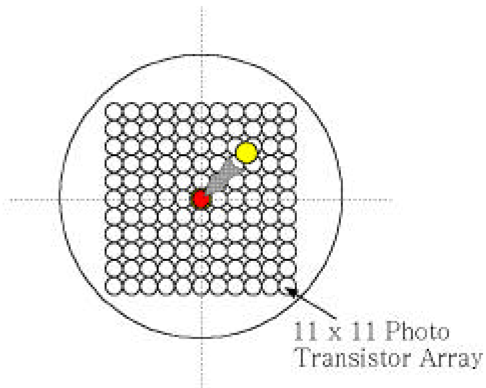


그림 2.2 포토트랜지스터 어레이의 구조
Fig 2.2 Structure of a photo transistor array

이렇게 다수의 광센서로 구성된 2차원 센서어레이 방식을 채택함으로써 센서모듈 상의 임의의 위치에 태양광의 초점이 검출되면, 그 초점을 센서모듈의 중앙 좌표에 위치시키기 위한 각 구동축의 모터 제어량을 정량적으로 바로 계산해 낼 수가 있어, 선박이나 해상에 떠있는 부유체 등과 같은 움직이는 물체 위에 장착되었을 때 더 빠른 추적성능을 낼 수 있고 태양의 위치 변화에 더 민감하게 반응하게 할 수 있다.

또한 소량의 빛에서도 정확한 위치검출이 가능할 뿐만아니라, 광센서와 광센서 사이에 존재하는 물리적인 데드존(Dead zone)을 보상하여 센서모듈의 분해능을 높이기 위해 센서모듈의 전방에 복합렌즈를 장착하였다.

센서모듈에 사용한 렌즈는 부원광학에서 제작한 복사기용 복합렌즈 P9 모델로서 사양은 다음과 같으며, 그림 2.3, 사진 2.2는 제작된 태양위치 검출 센서모듈의 구조와 실물사진이다.

Model No : P9 lens assembly

- Focal length (㎜) : 180.01
- Back focal length (㎜) : 163.49
- Construction component-element : 4-4
- Illumination (%) : more than 72.6
- Barrel size (ø/length)(mm) : ø41/41

사진 2.1 장착된 센서모듈용 렌즈
Photo 2.1 Lens assembly mounted for sensor module

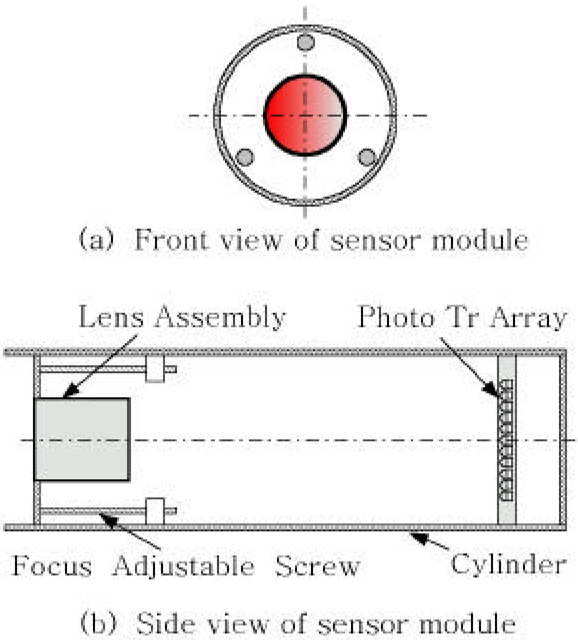


그림 2.3 **센서 모듈의 구조**
Fig 2.3 Structure of sensor module

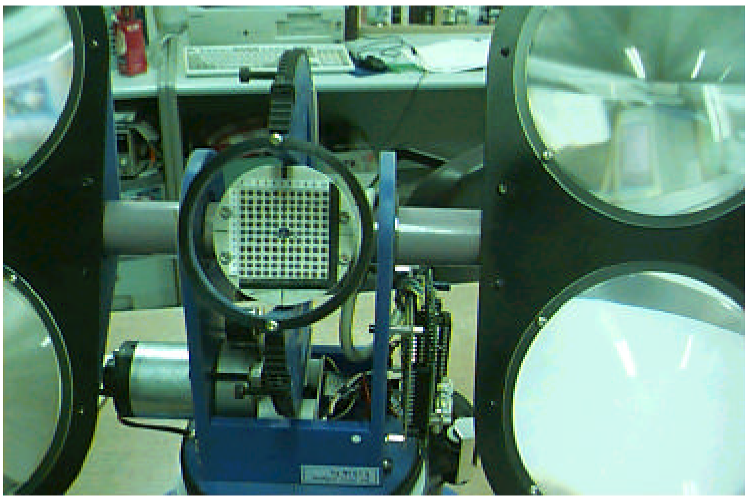


사진 2.2 **센서모듈의 실물사진**
Photo 2.2 Photograph of a physical sensor module

2.3 태양추적 제어 시스템

센서모듈에서 나온 신호를 A/D 변환시킨 후 변환된 값을 이용하여 태양의 위치를 계산하고, 센서모듈 상의 초점을 중앙으로 옮기기 위한 구동모터의 제어량을 계산하고 계산된 제어신호를 출력하기 위해 Intel사의 16비트 마이크로 컨트롤러 80C196KC를 사용하였다. 이는 8개의 A/D 변환채널과 DC모터 구동에 유용하게 사용 할 수 있는 PWM(Pulse Width Modulation) 단자 및 다수의 포트 등 제어에 필요한 거의 모든 소자를 내장하고 있다. 연산속도는 최대 20MHz 까지 사용할 수 있고, 121개의 센서 어레이 전부를 한 번 스캔하는데 15msec정도의 시간이 소요되어 원하는 성능을 충분히 만족시킬 수 있으며, 향후 시스템의 확장 시에도 무리가 없을 것으로 생각된다.

시스템에 사용한 Intel사의 80C196KC 프로세서의 사양은 다음과 같다.

- 다섯 개의 8비트 I/O포트
- 샘플/홀드 기능을 갖는 8/10비트 A/D 컨버터
- 세 개 PWM 출력
- 4개의 16비트 소프트웨어 타이머
- 1.75μs의 16비트×16비트 곱셈(16MHz)
- 동적 구조로 되어있는 8비트/16비트 버스폭
- 캡처 기능이 있는 16비트 업/다운 카운터
- 4개의 고속 출력장치(HSO)
- 4개의 고속 입력장치(HSI)
- 최대 20MHz까지 동작가능
- 28개 인터럽트 소스/16개 벡터

11×11의 포토트랜지스터로 구성되어 있는 센서모듈의 값을 프로세서로 읽어들여 A/D변환하기 위해서는 121개의 A/D 채널이 필요하지만, 매우 비실용적이므로 채널 수를 줄이기 위해 4 to 16 디멀티플렉서(Demultiplexer)인 74HC154와 MAXIM사에서 생산되는 16채널의 아날로그 멀티플렉서(Analog multiplexer) 칩인 MAX396을 사용함으로써, 하나의 A/D 변환 채널로 121개의 센서값에 대한 A/D 변환을 수행 할 수 있도록 스캔 코드 방식을 이용하여 구현하였다.

각각의 구동축에 대한 각위치(Angular position) 정보를 검출하기 위해서 회전축에 Spectrol사의 10KΩ, 10회전 포텐쇼미터(Potentiometer)를 장착하여 측정하고 10bit 분해능으로 위치정보를 피드백 시켜 폐루프를 구성하였다.

구동부로는 소형이면서도 구동토크가 크며, 소비전력이 적은 감속기어가 내장된 DC 모터를 각 축에 사용하였고 타이밍 벨트로 연결하여 구동되도록 하였다. 모터 제어방식으로는 전력 제어 기법중의 하나인 PWM 제어를 사용하여 정밀제어를 가능케 하였으며 전원의 부하를 줄였다.

그림 2.4는 센서모듈에 대한 신호처리 부분과 80C196KC 중심의 메인 컨트롤러와 센서모듈에 대한 구성도를 나타낸 것이다. 사진 2.3은 이 구성도를 바탕으로 제작된 메인 컨트롤러의 실물사진이며, 그림 2.5는 메인 컨트롤러의 회로도이고, 그림 2.6은 제작된 센서모듈의 실제 회로도이다.

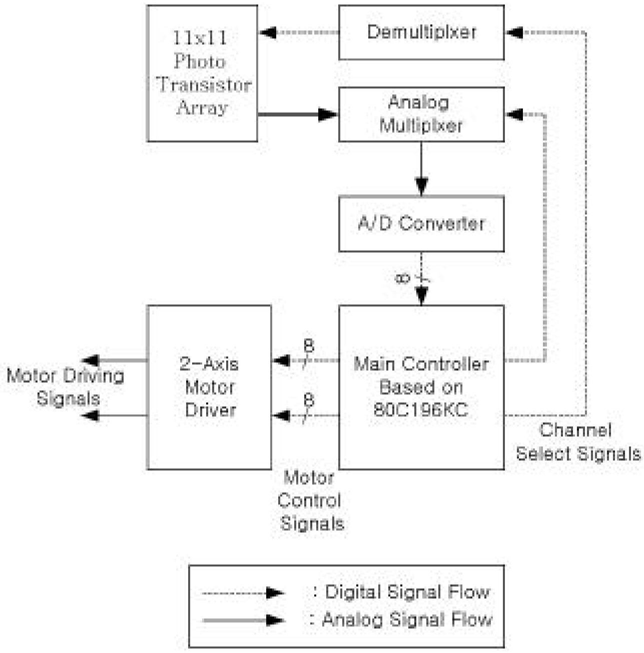


그림 2.4 80C196KC **메인 컨트롤러와 센서모듈에 대한 구성도**

Fig 2.4 Configuration of 80C196KC main controller
and sensor mudule

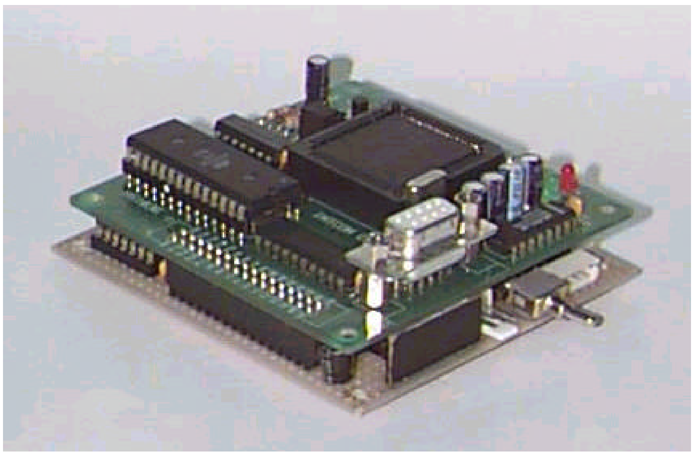


사진 2.3 **제작된 메인 컨트롤러의 실물사진**

Photo 2.3 Photograph of a physical main controler

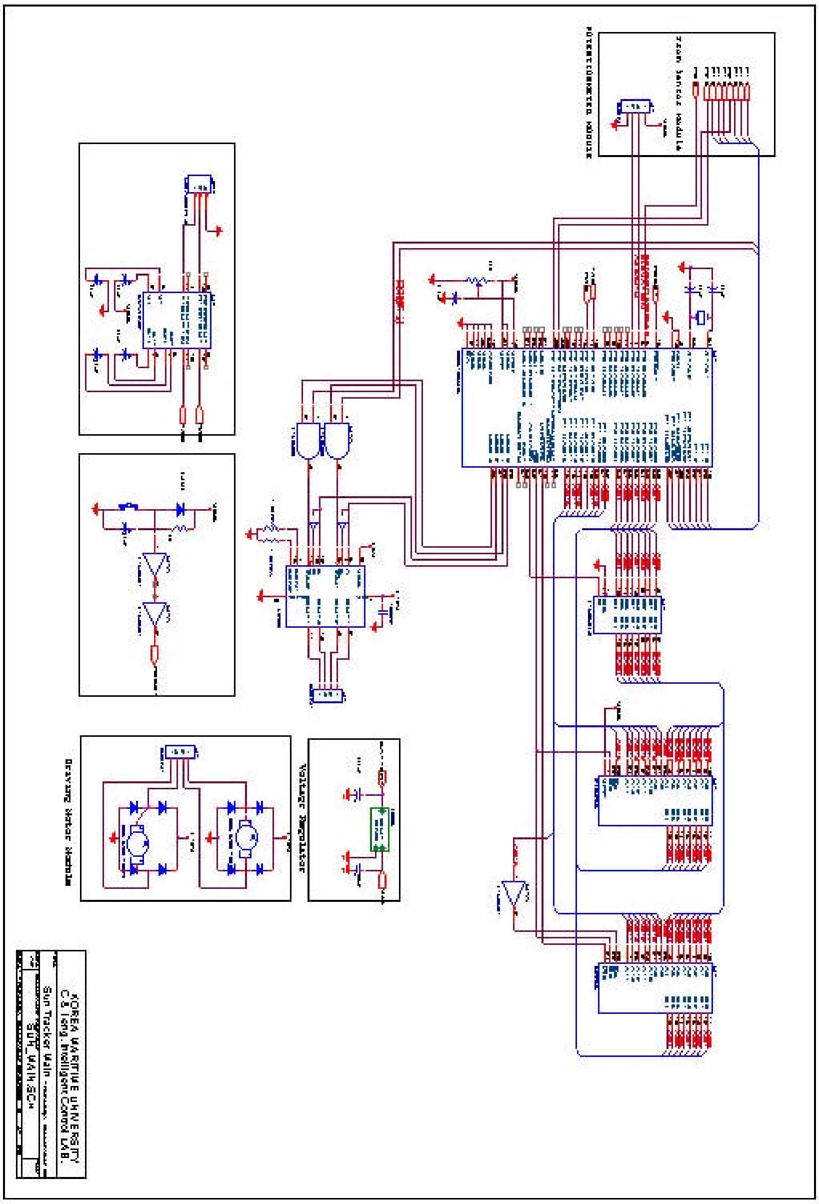


그림 2.5 **메인 컨트롤러의 회로도**

Fig 2.5 Circuit diagram of the main controller

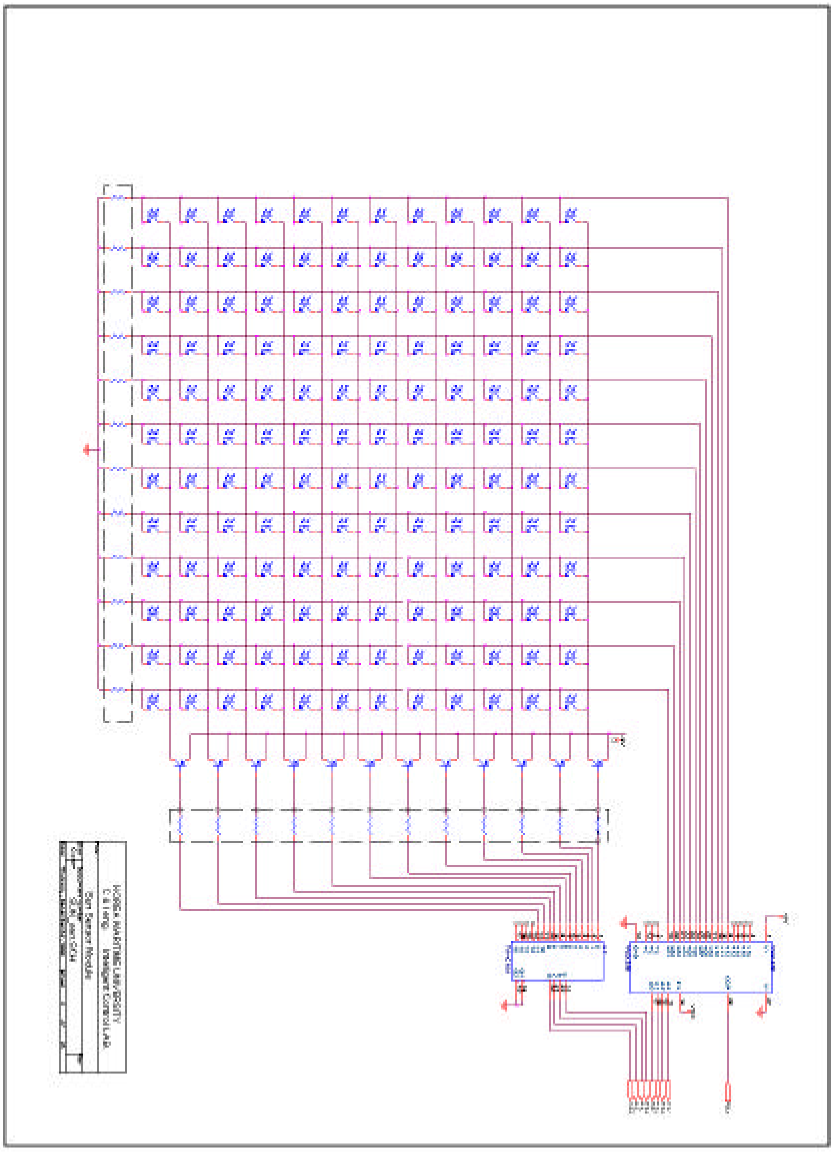


그림 2.6 **센서모듈의 회로도**

Fig 2.6 Circuit diagram of the sensor module

2.4 태양광 집광부

일반적으로 집광을 하기 위해 반사경, 프리즘, 렌즈 등을 이용하거나 혼용하여 사용한다. 반사경 방식의 경우 평면거울과 곡면거울을 이용하여 태양광을 반사하고, 필요에 따라 이차 반사경을 사용하여 원하는 장소에 태양광을 전송한다. 빛의 전송은 공기 중을 통해 직접 전송하며, 비교적 장거리 조사도 가능하지만 30m이내가 바람직하다. 태양고도가 높으면 반사면적이 작게 되어 태양의 고도가 높은 하절기에는 채광량이 저하된다. 프리즘 방식은 반사경 방식에서 태양 고도에 의한 채광량의 변화를 보완하기 위해 2매의 평판 프리즘을 설치하고, 각각을 회전시키는 방법으로 많은 양의 빛을 지붕에 위치한 창을 통해 수직방향으로 실내에 굴절시킨다. 렌즈에 의한 집광은 태양추적 장치에 의해 렌즈가 항상 태양의 정면으로 향하게 제어되어 태양 고도에 의한 집적효율은 거의 변화가 없다. 또한 집광된 빛을 광섬유를 통해 전송함으로써 전송로와 전송거리에 제약이 거의 없고 설계의 자유도가 높은 반면, 광섬유 케이블의 비용을 고려하여 최단거리로 설계하여야 한다. 주로 볼록렌즈를 사용하여 집광하는데 이는 두껍고 무게도 많이 나가며, 원하는 사양의 렌즈를 입수하기도 어려울 뿐만아니라, 제작시에도 비용이 많이 들어 중・소형 시스템에서 사용하기에는 다소 무리가 있다.

본 연구에서는 태양광을 집광하기 위해 중앙의 센서모듈 좌우로 8개의 프레넬 렌즈를 장착하였다. 볼록렌즈를 다수의 세그먼트로 나누어 남는 두께를 제거하여 평판상태로 만든 프레넬 렌즈(Fresnel lens)는 대구경에서도 구면 수차(Spherical aberration)를 작게 할 수 있고, 얇게 제작이 가능하며 흡수손실도 작다.

프레넬 렌즈의 구조는 그림 2.7과 같으며 다음과 같은 특징을 가진다.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{f}\right) = \sin^{-1}(n \sin\alpha) - \alpha \qquad (2.1)$$

여기서 f는 초점거리이고 n은 소재의 굴곡률을 나타낸다. α는 그루브(Groove)의 각이고, β는 초점각이다. 단일 그루브에 대한 집광비(Concentration ratio) C는 다음과 같이 정의된다.

$$C = w_g / w_r \qquad (2.2)$$

단일 그루브의 프레넬 렌즈에서는 $wg = wr$ 이므로 집광비 C = 1이다. 단, 여기서 wg는 단일 그루브의 폭이고 wr은 초점의 폭이다. 따라서 전체 프레넬 렌즈의 집광비는 렌즈상의 그루브 수에 비례한다는 것을 알 수 있다.

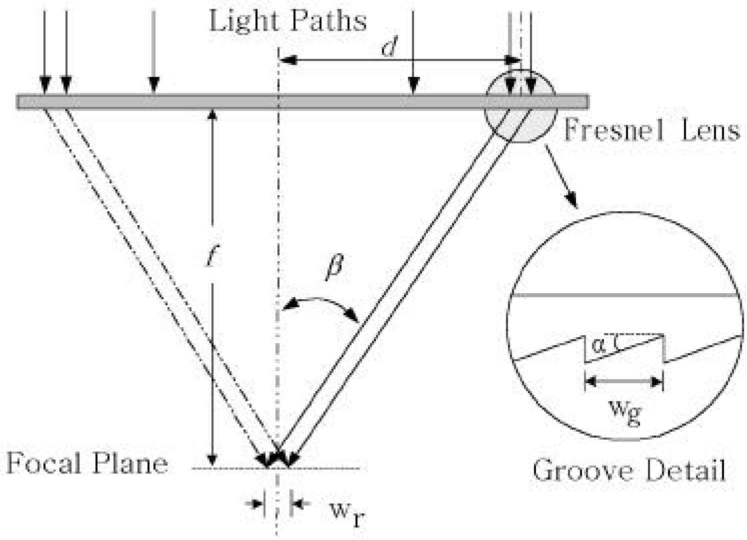


그림 2.7 프레넬 렌즈의 구조
Fig 2.7 Structure of fresnel lens

따라서 손실을 감안하더라도 수백 배의 집광비를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 일반적인 원형 프레넬 렌즈의 실용적인 집광비는 100 1,000 정도이다. 본 시스템에 사용된 렌즈는 Fresnel Technologies사에서 제작된 것으로 직경은 6인치에, 초점거리는 6인치, 렌즈의 두께는 1.5mm, 1인치당 100개의 그루브가 있다. 그림 2.8은 Fresnel Technologies사에서 제공한 파장에 따른 아크릴 프레넬 렌즈에 대한 광전송특성을 나타내고 있다. 프레넬 렌즈는 단일 렌즈(Simple lens)이므로 집광에 의한 색수차(Chromatic aberration)가 발생하는데, 이는 렌즈를 통과하는 빛의 굴절률이 파장에 의존하기 때문에 각 파장에 따른 초점 거리가 변함을 의미한다.

이 점을 이용하여 집광된 빛의 초점을 그림 2.9와 같이 가시광선의 초점이 모이는 곳에 위치한 광섬유의 선단부에 입사시켜 인체에 유해한 자외선과 적외선을 제거시킴으로써 고품질의 가시광선을 임의의 장소로 전송할 수 있다.

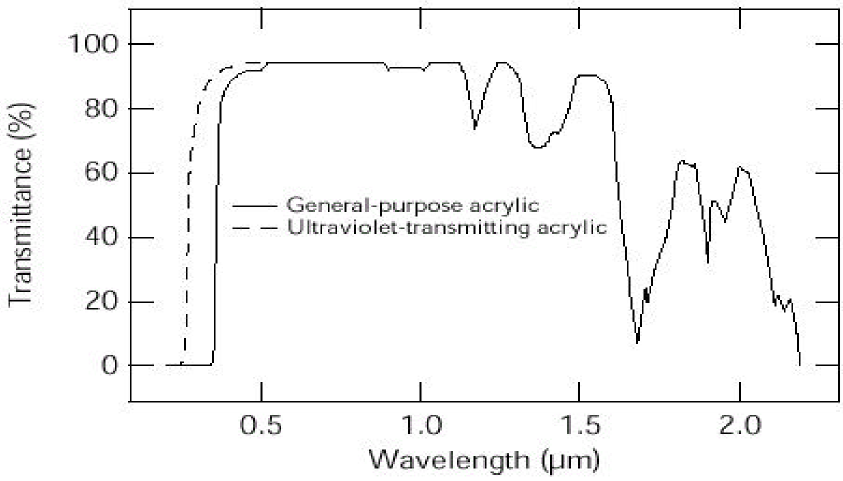


그림 2.8 파장에 따른 아크릴 재질 렌즈의 전송특성

Fig 2.8 Transmittance characteristic of acrylic lens according to wave lengths

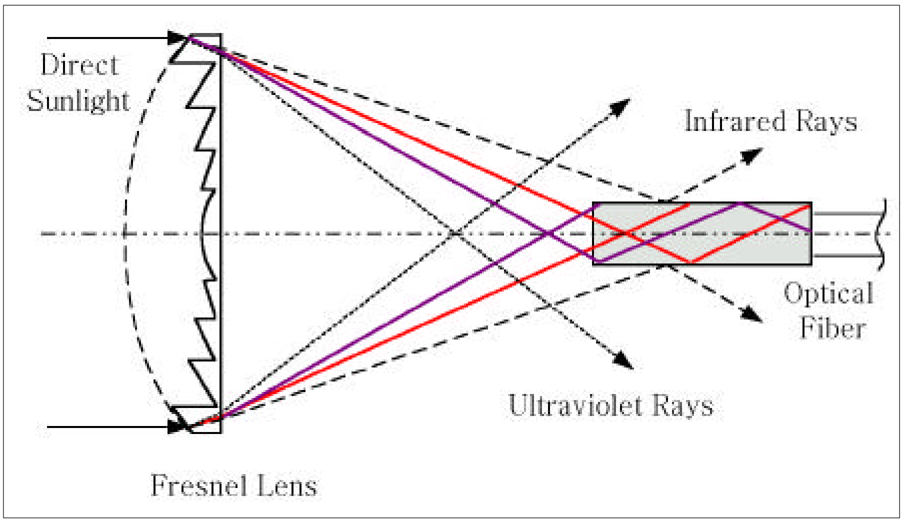


그림 2.9 프레넬 렌즈와 광섬유의 결합방법

Fig 2.9 Connection method between fresnel lens and optical fiber

프레넬 렌즈에 의해 집광된 고농축 빛의 전송에는 직경 0.5mm의 광섬유 15본을 하나의 다발로 묶어 각 렌즈의 초점 위치에 배치시키고 이것을 모은 총 120본의 광섬유다발을 이용하여 채광을 원하는 장소까지 전송한다. 본 연구에서는 광섬유의 길이를 총 15m로 하였다.

석영계 광섬유는 전송손실이 작고, 대역폭이 넓으나 가격이 매우 비싸 실용성이 없어 플라스틱 광섬유를 사용하였다. 플라스틱 광섬유는 석영계 광섬유에 비해 직경이 크고, 내 굴곡성이 우수하며, 절단 단면 처리가 간단하여 쉽게 가공할 수 있고, 석영 광섬유에 비해 가볍고 가격이 매우 싸다.

광섬유의 출력단은 부수적인 기구 없이 직접 조사하여 조명으로 사용할 수도 있고, 필요에 따라 볼록렌즈 캡을 부착하여 평행광선을 얻거나 오목렌즈를 사용하여 더 큰 각도의 확산광선을 얻을 수 있다.

제 3 장 태양 추적 알고리즘

이 장에서는 태양위치 검출 센서모듈의 신호를 가지고 태양의 위치를 탐색하는 방법 및 현 위치와 태양의 위치 사이의 오차를 계산하는 방법, 그리고 태양광 집광 시스템의 구동 알고리즘, 홀딩모드 알고리즘에 대하여 살펴본다.

3.1 태양 추적 알고리즘의 흐름

태양광 집광 시스템은 각 센서로부터 들어온 정보에 따라 몇 가지 모드로 동작한다. 일단 전원이 투입되면 각 포트를 초기화시키고 각 구동축에 설치된 포텐쇼미터의 값을 10bit로 A/D변환하여 각 축의 현재 위치정보를 읽어들인다.

다음으로 센서모듈로부터 각 광센서의 값들을 입력받아 센서용 집광렌즈에 의한 태양의 초점이 센서모듈 상에 존재하는지를 먼저 판단한다. 만약 이때 초점이 존재하면 프로세서는 즉시 초점을 센서모듈의 중앙에 초점을 위치하도록 하기 위한 각 구동축의 모터에 인가될 제어신호를 계산하여 PWM 신호로 DC 모터 구동 드라이버에 출력하고, 시스템이 태양을 정면으로 향하면 홀딩모드로 진입한다.

만약 최초의 센서모듈 검색에서 초점이 존재하지 않는다면 탐색모드로 들어가는데 프로세서는 집광시스템의 탐색공간 범위 안에서 탐색동작을 수행한다. 방위각을 좌에서 우로 변화시키고, 단계적으로 고도각을 높여 가면서 태양의 위치를 탐색한다. 이 때 빠른 검색을 위해서 탐색공간의 각 점에 대해 센서모듈 전체를 검색하는 것이 아니라, 센서모듈이 커버할 수 있는 섹터단위로 탐색영역을 나누어 탐색을 수행한다.

시스템이 기동할 수 있는 탐색공간의 모든 영역에 대해 탐색을 수행하면서 가장 큰 값이 들어 온 지점의 위치 정보를 기억하고 있다가, 탐색이 끝나면 최대 광량이 들어 왔던 지점으로 시스템을 이동시킨다. 아직까지는 태양의 정확한 위치가 아니고 단지 센서모듈 상에 초점을 위치시키기 위한 대략적인 탐색에 해당한다. 탐색모드에서 기억한 위치로 시스템을 이동시키면 센서모듈 상에 초점이 형성되므로 초점 좌표와 중심 좌표 사이의 오차를 계산하여 시스템이 태양을 정면으로 향하게 하기 위한 모터의 제어량을 계산하여 모터 드라이버로 출력하고 홀딩모드로 진입한다. 초점 좌표와 중심 좌표 사이의 상관 관계 및 태양의 현재 위치에 대한 시스템의 상대위치 및 절대위치를 계산하는 방법에 대해서는 3.2절에서 설명한다.

그림 3.1은 전체 제어시스템의 알고리즘의 흐름을 나타내고, 그림 3.2는 대략적인 탐색 알고리즘의 흐름을 나타내고 있다.

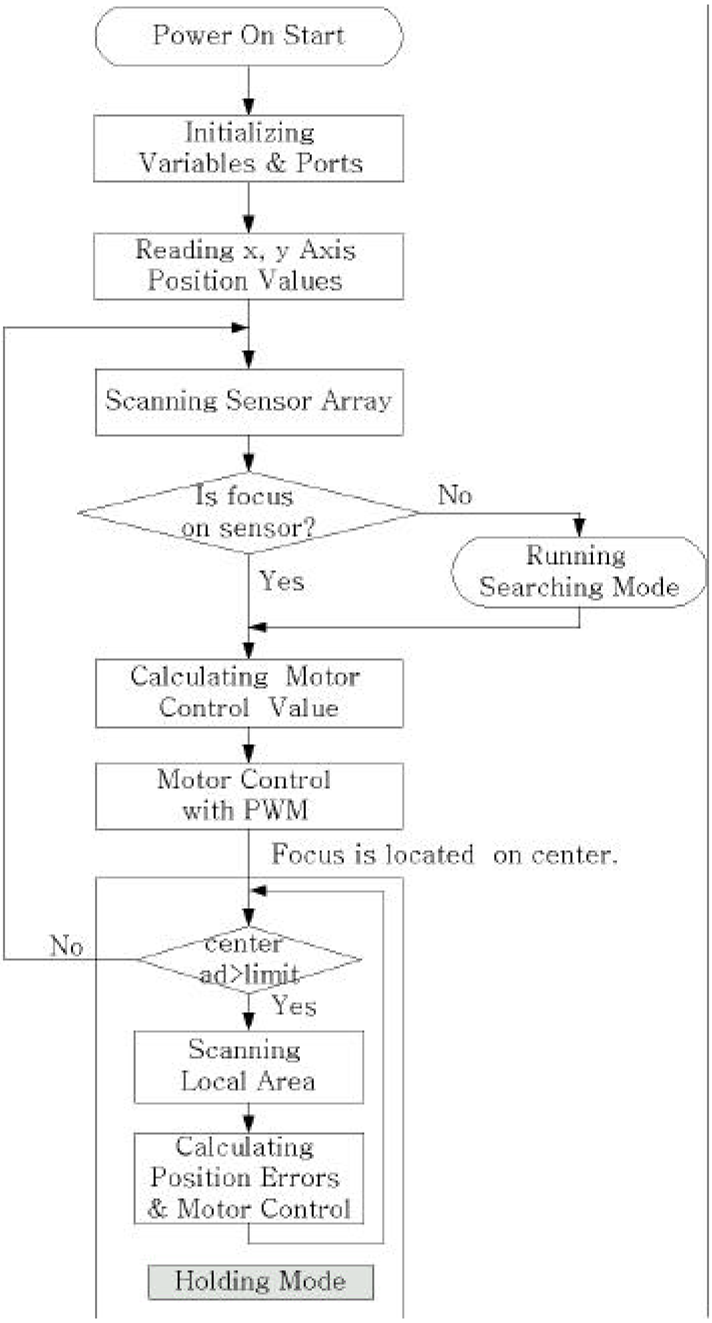


그림 3.1 **전체 시스템에 대한 제어프로그램의 흐름도**

Fig 3.1. Flowchart of control program for the overall system

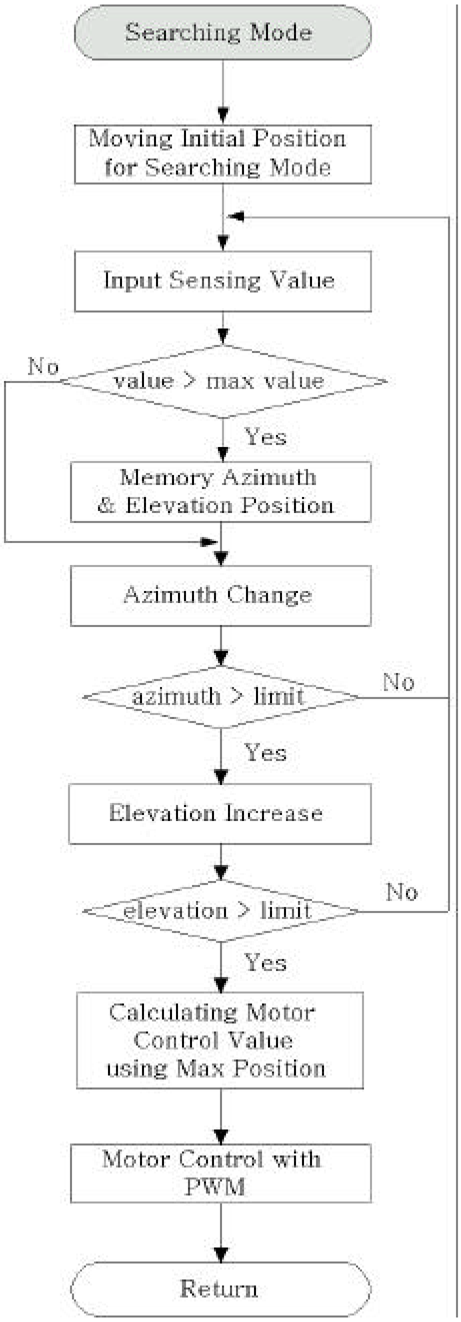


그림 3.2 **탐색모드 프로그램의 흐름도**

Fig 3.2 Flowchart of searching mode program

3.2 태양 위치의 계산

시스템이 태양을 정면으로 향하기 위한 센서모듈의 중심좌표와 센서모듈 상에 초점의 좌표사이의 오차는 그림 3.3과 같이 방위각 성분과 고도각 성분으로 분해함으로써 각 축의 정량적인 제어량을 다음과 같이 간단한 계산에 의해 구할 수 있다.

$$e_a = (c_c - f_c) \times r_a [deg] \quad (3.1)$$

$$e_e = (c_r - f_r) \times r_e [deg] \quad (3.2)$$

여기서 e_a는 방위각 오차, e_e는 고도각 오차, c_r, f_r, c_c, f_c는 각각 센서모듈의 중심과 초점 좌표의 행(Row) 및 열(Column) 좌표이다. 또한 r_a , r_e는 방위각 및 고도각의 분해능을 나타내고 있다.

제작된 시스템에서서는 센서모듈의 전방에 설치된 센서용 복합렌즈의 초점을 조절하여 각 광센서 픽셀 사이의 분해능이 1도가 되도록 하였다.

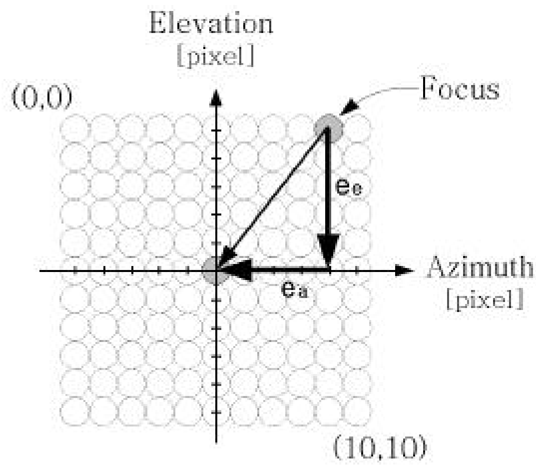


그림 3.3 포토트랜지스터 배열의 구조

Fig 3.3 Structure of a photo transistor array

계산된 오차는 현재 집광시스템에 대한 태양의 상대적인 위치로, 이를 시스템이 태양을 정면으로 향하기 위한 시스템의 절대적인 위치, 즉 각 축에 설치된 포텐쇼미터의 전압을 10비트로 A/D 변환을 하였을 때의 값으로 환산하면 집광시스템이 최종적으로 태양을 지향했을 때의 위치 값을 계산할 수 있다.

본 논문에서는 제어단위로 도(Degree)를 사용하지 않고, 포텐쇼미터의 A/D 변환된 디지털 값을 그대로 사용하였다. 따라서 초점의 오차와 픽셀 분해능의 곱에 시스템의 현재 위치 정보를 더하면 시스템이 이동해야 할 절대적 위치를 계산해 낼 수 있다.

$$c_a = e_a \times step\ size_{azimuth} + p_a \quad (3.3)$$

$$c_e = e_e \times step\ size_{elevation} + p_e \quad (3.4)$$

여기서 c_a, c_e는 각각 시스템이 최종적으로 추종해야 할 시스템의 절대적 위치 값들이고, $step\ size_{azimuth}$는 방위각 구동축에서 한 픽셀을 움직였을 때의 A/D 변환된 값의 크기로 4이며, $step\ size_{elevation}$는 8의 값을 가진다. p_a, p_e는 각 축의 포텐쇼미터에서 읽어들인 현재 시스템의 위치 값들이다. 계산된 위치 오차를 위치 피드백이 구성된 제어시스템의 기준입력으로 사용하고, 남아 있는 오차를 가지고 모터의 가감속 제어에 필요한 PWM 신호의 듀티비(Duty ratio)를 조절한다.

그림 3.4는 전체 시스템의 제어흐름을 블록선도로 도시화 한 것이다.

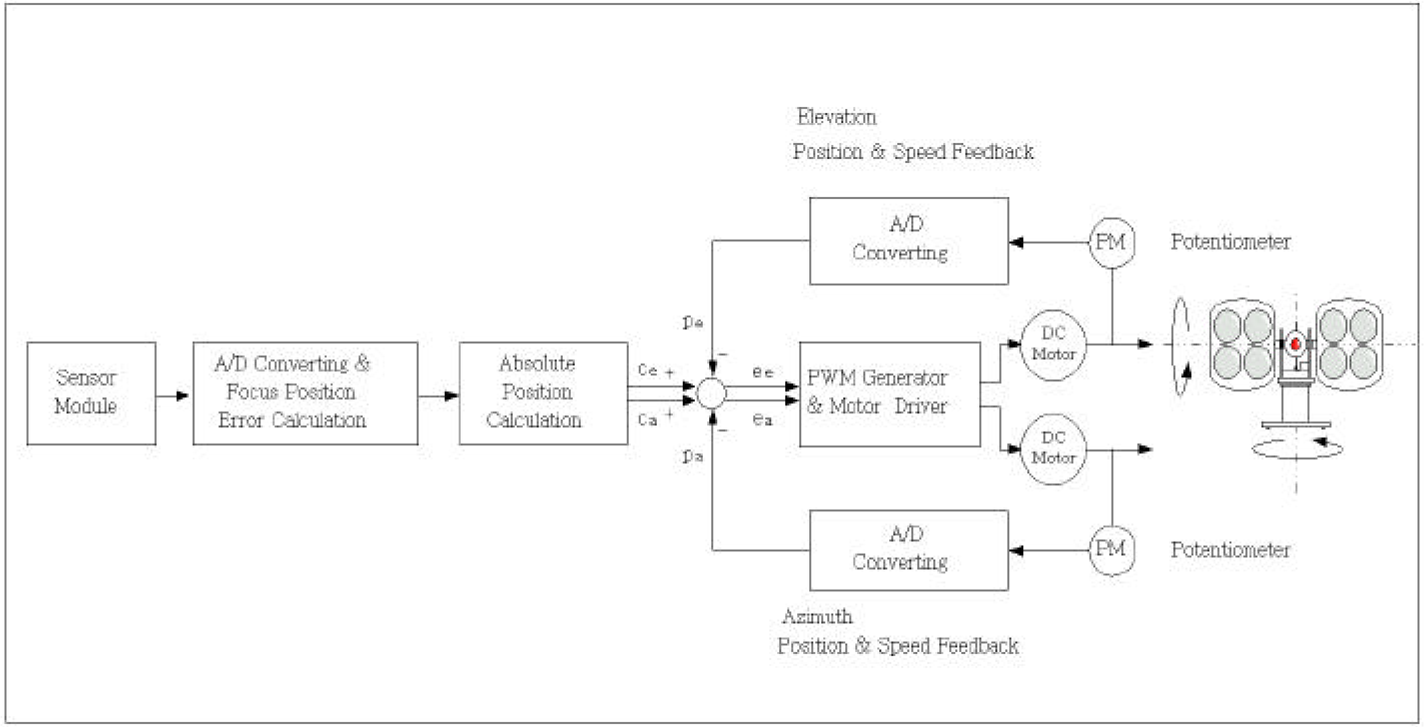


그림 3.4 태양추적 제어시스템의 블록선도
Fig 3.4 Block diagram of sun tracking control system

3.3 홀딩모드

센서모듈 상의 초점을 이동시키는 요인으로 고정된 장소의 경우는 시간 경과에 따른 태양의 위치변화를 들 수 있고, 시간에 따라 움직이는 물체 위의 경우에는 설치 장소의 위치 변화가 원인이 될 수 있다. 이러한 태양의 위치 변화는 급격히 변하는 것이 아니고 서서히 변한다.

홀딩모드는 태양의 초점이 센서모듈의 중앙에 위치하였을 때부터 동작을 시작한다. 일단 홀딩모드가 수행되면 초점이 센서모듈의 중심 좌표 부근에 있으므로, 센서모듈 전체를 스캔하는 것이 아니라 중앙으로부터 나선 방향으로 중앙좌표를 포함하여 주위 9개 픽셀에 대해서만 스캔을 수행하는 것이다. 이로써 센서 부분을 처리하는데 걸리는 시간과 시스템의 부하를 현격하게 줄일 수 있다.

그림 3.5는 홀딩 모드에 진입했을 경우 스캔 순서를 표시한 것으로 그림 상에서 어둡게 된 부분은 중앙에서 초점이 좌측 상단으로 조금 이동한 상태의 예를 도시한 것이다. 이러한 상태에서 센서모듈의 상태를 A/D 변환하여 그 때의 각 센서 값을 3D 그래프로 도시한 것을 그림 3.6에, 그 값을 표 3.1에 나타내었다. 센서용 집광렌즈에 의해 초점이 모인 곳과 그렇지 않은 곳의 값이 상대적으로 더욱더 현저한 차이가 남을 알 수 있다.

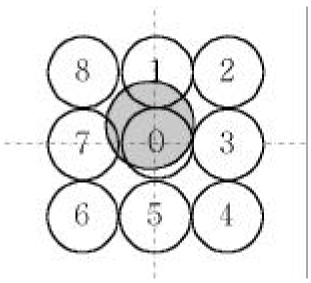


그림 3.5 홀딩모드에서의 센서 값 조사순서
Fig 3.5 Sequence of sensor value scanning in the holding mode

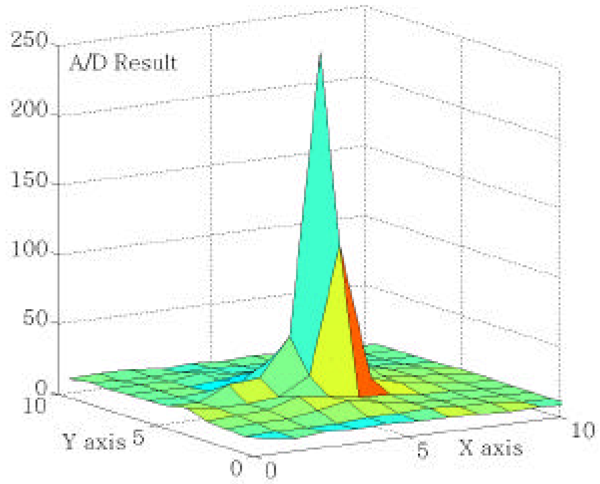


그림 3.6 **센서모듈의 값을** 8bit A/D**변환한 결과** 3D **그래프**
Fig 3.6 3D graph of the 8bit A/D converting results

		x - Axis										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y-Axis	0	4	4	4	2	3	2	3	1	0	0	0
	1	6	4	4	4	4	3	3	1	1	0	0
	2	5	6	5	8	5	4	4	3	2	1	0
	3	6	6	5	8	10	7	6	4	4	2	0
	4	6	6	7	10	24	22	19	9	5	4	1
	5	7	6	16	18	44	246	26	8	5	3	1
	6	10	7	7	9	21	112	14	8	4	2	1
	7	5	6	7	14	11	8	7	4	3	2	1
	8	4	5	5	8	12	9	5	4	3	2	1
	9	3	3	3	3	5	5	6	4	4	2	1
	10	6	3	5	4	5	4	4	3	2	3	1

표 3.1 **중앙에서 초점이 벗어날 때의 센서값 예**
Table 3.1 Example of sensor module value
when focus is deviated from center

센서모듈의 가운데 좌표를 최대 값으로 하여 주위에 균형을 이루던 값들이 태양의 위치변화 또는 시스템의 이동으로 인해 초점이 임의의 방향으로 이동하기 시작하면, 중앙 점 주위의 값들의 균형이 깨어져 이동하는 방향 쪽의 값들이 증가하기 시작한다.

탐색모드에서는 광센서의 각 픽셀과 픽셀 사이를 이산적으로 처리하고, 홀딩모드에서는 A/D변환된 값들을 사용하여 연속적인 변화로 취급하여, 다음과 같은 식에 의해 물리적 분해능 이하의 오차를 계산할 수 있다.

$$e_a^* = \frac{c_a}{2(a_{max} - a_{min})} \times r_a \ [\deg] \qquad (3.5)$$

$$e_e^* = \frac{c_a}{2(e_{max} - e_{min})} \times r_e \ [\deg] \qquad (3.6)$$

여기서 e_a^*, e_e^*는 홀딩모드에서의 방위각 오차, 고도각 오차이다.

c_a는 중심에 위치한 광센서의 A/D변환된 값이고, a_{max}, a_{min}은 중심좌표를 기준으로 하였을 때 방위각 축의 좌우에 위치한 센서의 A/D변환된 값들 중에서 최대값과 최소값을 의미하고, e_{max}, e_{min}은 고도각 축의 상하에 위치한 센서의 A/D변환된 값들 중에서 최대값과 최소값을 의미한다.

이렇게 함으로써 초점이 중심 좌표를 벗어나 다른 좌표로 이동하기 전에 미세한 변화를 더욱 빨리 감지해 실시간으로 대응하는 모터 구동신호를 생성, 시스템의 위치를 보정함으로써 태양 위치 추적의 성능을 향상시키고, 각 광센서와 광센서 사이에 존재하는 물리적인 데드존을 보완하여 상대적으로 분해능을 높일 수 있다.

제 4 장 실험 및 고찰

제안된 센서모듈에 의한 태양위치 탐색과 홀딩모드 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여 사진 4.1과 같이 실제 센서모듈과 태양광 집광장치를 제작하여 응답실험을 수행하였다.

시스템의 작동범위를 초기 중심위치에서 ± 50° 의 범위로 제한하고, 기준입력으로 -50°, +50°, 0° 를 인가할 경우 위치피드백이 구성된 시스템의 응답실험을 수행하였다. 입력오차에 따라 모터의 가감속이 원활히 이루어질 수 있도록 PWM 신호를 발생시켰다. 그림 4.1은 방위각의 변화와 구동모터에 인가되는 PWM 전압을 나타낸 것이다. 응답실험 결과로부터 위치 피드백이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

사진 4.1 태양광 집광시스템의 사진
Photo 4.1 Photograph of a sunlight collection system

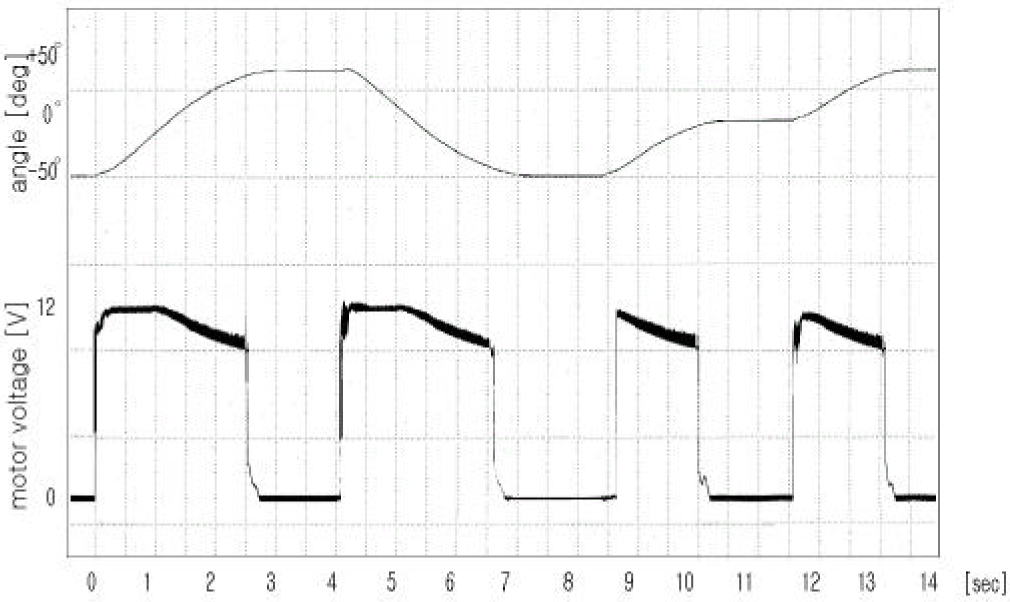
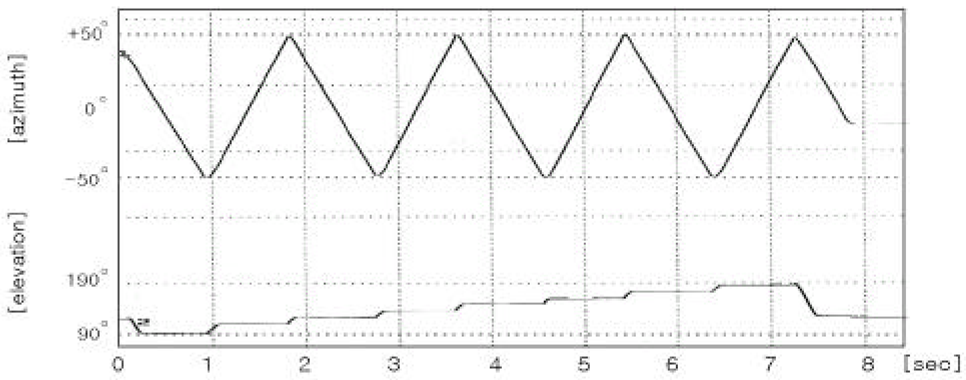


그림 4.1 기준입력을 인가한 태양추적 시스템의 추종성 응답
Fig 4.1 Tracking response of the control system for a reference input

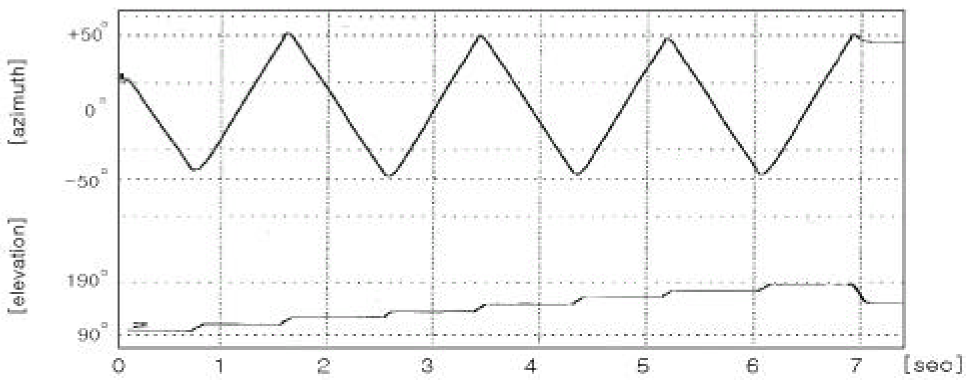
시스템의 최초 구동 시 및 홀딩모드에서 초점을 잃어버렸을 경우 탐색모드가 실행되는데 그림 4.2은 탐색모드에서의 다양한 초기 위치와 태양의 위치에 따른 시스템의 방위각과 고도각의 변화를 측정한 것이다.

탐색모드는 방위각 -50。에서 +50。를 왕복하고, 고도각을 10。씩 증가시키면서 탐색공간을 스캔한다. 이 탐색공간의 전 영역에 대해서 검사를 한 후 최대의 광량을 가지는 위치로 시스템을 위치시키는 결과를 보여주고 있다.

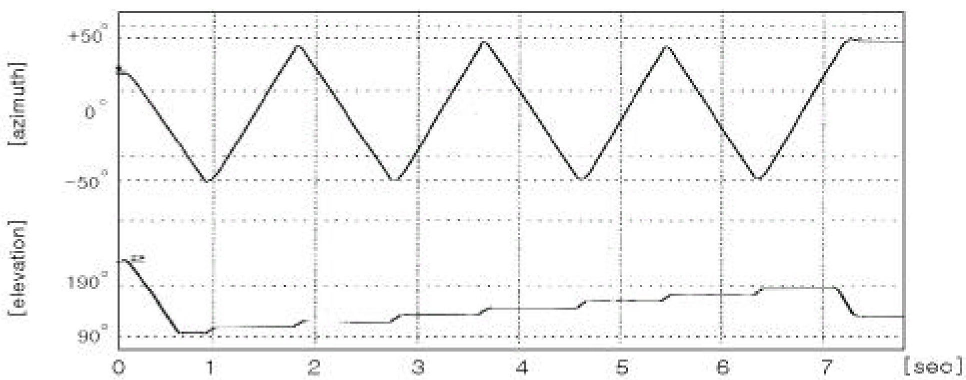
홀딩모드에서의 추적성능을 실험하기 위하여 점 광원을 이용하여 임의의 위치로 연속적으로 이동하였을 때의 방위각과 고도각 및 중심 광센서의 광량 변화 측정 결과를 그림 4.3에 나타내었다. 중심 좌표의 광센서에 검출된 광량의 변화를 살펴보면 대체로 잘 추적하였으나, 시스템의 구조적인 문제로 인하여 간혹 초점을 놓치는 경우도 발생하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 4.2 **다양한 초기위치에 따른 탐색모드 결과**

Fig 4.2 Searching mode results for various initial position

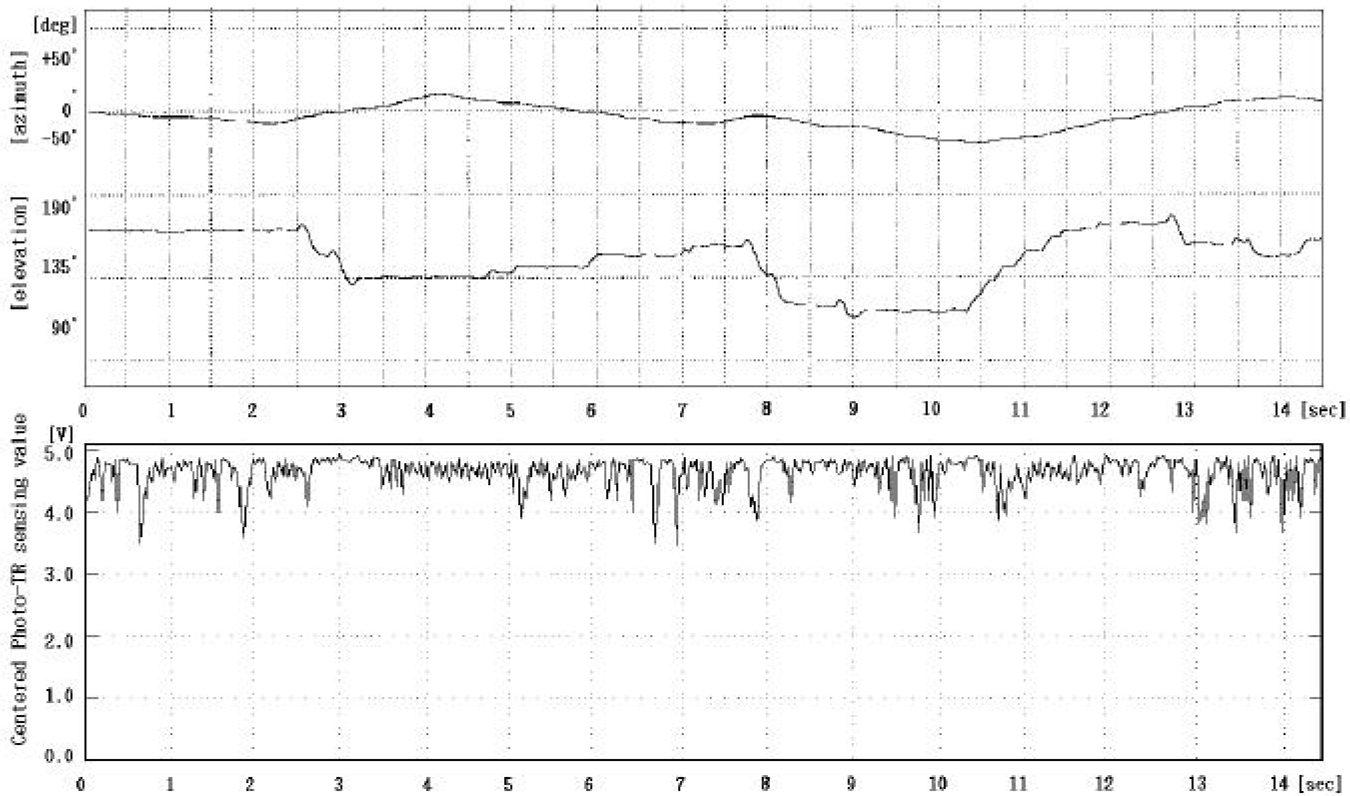


그림 4.3 홀딩 모드에서의 시스템 응답

Fig 4.3 System response on holding mode

제 5 장 결 론

본 논문에서는 기존 센서방식의 태양 위치 추적 장치의 단점을 개선하여 보다 빠른 추적성능과 태양의 위치 오차에 따른 구동부의 정량적인 제어량을 계산해낼 수 있는 새로운 방식의 2차원 태양 위치 검출 센서 모듈의 방법을 제시하였다. 또한 센서어레이의 확장에 의한 프로세서의 부하를 현저하게 줄일 수 있고, 각 광센서와 광센서 사이의 존재하는 물리적인 데드존을 보완해, 분해능을 높여 줄 수 있는 홀딩모드 알고리즘의 방법을 제시하였다. 자연채광을 위한 태양광 집광 시스템을 설계 제작하여 실험함으로써 제안한 방법 및 알고리즘의 효용성을 검증하였다.

제안된 태양 위치 추적 장치는 태양광 집광 시스템 외에도, 태양에너지의 효율을 높이기 위해 태양열이나 태양광 발전 등 다른 응용 분야에도 사용할 수 있다. Full sensor 방식으로 고정되지 않고 항상 위치정보가 변하는 선박, 차량 등 이동하는 물체 위에 탑재한 경우에도 충분히 그 효용성을 발휘할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] **강용혁**, "**우리 나라 재생가능 에너지의 가능성과 기술현황**," **재생가능에너지워크숍**, 1998.

[2] **김정인**, "**기후변화협약에 대한 국내 업계의 대응현황과 과제**," **기후변화 협약의 협상동향과 우리나라의 대응방향**, **경실련**, 1997.

[3] **김종달**, "**기후변화협약과 한국 에너지수요관리정책 검토**," **에너지환경경제연구소**.

[4] **한국에너지기술연구소**, http://www.kier.re.kr/

[5] **太陽光採光システム ひまわり**, http://www.himawari-net.co.jp

[6] **전홍석**, **자연 채광 실용화 장치 개발**(II), **동력자원부**, 1991.

[7] **윤환기**, "**적응제어 알고리즘을 이용한 태양추적 장치의 설계**," **한남대학교 碩士論文**, 1994.

[8] A. J. N. Khalifa , S. S. Almutawalli, "Effect of Two-Axis Sun Tracking on The Performance of Compound Parabolic Concentrators," *Energy Conversion & Management*, Vol. 39 No. 10, pp. 1073-1079, 1998.

[9] A. Y. Hasan, "Design and Implementation of a Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System," *Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Vol. 3, pp. 1030-1034 , 1999.

[10] E. Hecht, *Optics*, 2nd edition, Addison-Wesley Longman, 1987.

[11] T. Hawat, "Suntracker for Atmospheric Remote Sensing," *1998 Societty of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, pp. 1633-1642, 1998.

[12] R. Jurgen, *Meyer-Arendt*, **응용광학**, **서울**, **대웅**, 1998.

[13] Fresnel Lenses, fresnel technologies inc., 1995.

[14] Maxim Full-Line Data Catalog, Maxim, 1999.

[15] **光素子應用** Knowhow, **도서출판 세운**, 1992.

[16] **久野治義**, **赤外線工學**, **電子情報通信學會**, **東京**, 1994.

[17] **グウァノユキノリ**,**태양전지란 무엇인가**,**아카데미서적**,1998.

[18] **에너지경제연구원**, http://www.keei.re.kr/

[19] **차영배**, Microcontroller 80196, **다다미디어**, **서울**, 1997.

[20] **일본 태양광 채광협의회**, http://www.sun.or.jp/

[21] http://www.sunoptics.com/

[22] Hiroyuki Furuune, "**太陽光採光システムの現状と動向**", **建築設備と配管工事**, Vol. 36 No.13, pp. 12-17, 1998.

길은 없다. 내가 가는 곳이 바로 길이다.