

AVR 마이크로 컨트롤러 기반의 태양추적 장치 개발

오승진 · 이윤준 · 김남진 · 현준호 · 임상훈* · 천원기[†]

제주대학교 에너지공학과, *한국에너지기술연구원
(2011년 7월 25일 접수, 2011년 12월 14일 수정, 2011년 12월 16일 채택)

Development of an AVR MCU-based Solar Tracker

Seung Jin Oh, Yoon Joon Lee, Namjin Kim, Joon Ho Hyun,
Sang Hoon Lim*, and Wongee Chun[†]

Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University, *Korea Institute of Energy Research
(Received 25 July 2011, Revised 14 December 2011, Accepted 16 December 2011)

요 약

본 연구에서는 AVR 마이크로 컨트롤러를 사용하여 임베디드 태양추적장치를 개발하였다. 본 시스템은 Atmega128 마이크로 컨트롤러, 스텝 모터, 스텝 드라이브 모듈, CdS 센서 그리고 GPS 모듈 및 기타 부품들로 구성되어 있다. 태양추적장치는 광학적 방법과 천문학적 방법에 의해 작동된다. 최초 태양추적은 천문학적 계산방법에 의해 얻어진 결과에 따라 이루어지고 CdS에 의해 미세 조정이 이루어진다. 태양추적장치가 설치된 지점에서 GPS는 UTC(Universal Time Coordinated)와 위도 및 경도 데이터를 마이크로 컨트롤러에 전송한다. 전송되어진 데이터에 의해 실시간으로 태양위치, 일출 및 일몰시간이 계산되어 진다. 태양 추적에 필요한 데이터들은 범용 비동기화 송수신기(UART)를 통하여 컴퓨터로 전송 받을 수 있다.

주요어 : ATmega128, 태양추적장치, 태양의 위치, 일출/일몰 시간, GPS

Abstract — An embedded two-axis solar tracking system was developed by using AVR micro controller for enhancing solar energy utilization. The system consists of an Atmega128 micro controller, two step motors, two step drive modules, CdS sensors, GPS module and other accessories needed for functional stability. This system is controlled by both an astronomical method and an optical method. Initial operation is performed by the result from the astronomical method, which is followed by the fine controlled operation using the signals from Cds sensors. The GPS sensor generates UTC, longitude and latitude data where the solar tracker is installed. A database of solar altitude, azimuth, and sunrise and sunset times is provided by UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

Key words : Atmega128, Solar tracker, Solar position, Sunrise & sunset time, GPS

1. 서 론

태양 추적 장치는 태양에너지 활용을 극대화하기 위하여 불가결 하다. 최근 많은 태양에너지 시스템들의 효율을 극대화하기 위하여 태양추적 장치를 채택

하여 사용하고 있는 추세이다. 태양추적 장치는 제어 방법에 따라 광학적 방법과 천문학적 방법으로 구분 되어 지고 추적 방식에 따라 1축 추적방식과 2축 추적 방식으로 분류된다. 광학적 방식은 광센서의 출력 신호 비교에 의해 작동하는 방식이고 천문학적방식은 수치적 계산에 의하여 실시간으로 설치장소에서의 태양의 고도 값과 방위각을 추적하는 방식이다. 광학적 제어에 의한 태양추적기는 광센서에 의해 작동하므로

[†]To whom corresponding should be addressed.
Department of Nuclear and Energy Engineering,
Jeju National University, 1, Ara 1-dong, 102 Jejudaeakno,
Jeju-si, Korea 690-756
Tel : 064-754-3646; E-mail : wgchun@jejunu.ac.kr

흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우 정확한 태양 추적이 되지 않는 단점이 있으며 이런 점을 보완하기 위해 천문학적인 제어 방식과 병행하여 사용된다. 1축 추적방식은 태양의 고도 혹은 방위각 중 하나를 고정 시켜 놓고 한 각도만 추적하는 방식인데 그 효율이 2축 추적방식에 비해 다소 떨어진다. 겨울철에는 E-W 추적방식(방위각 추적방식)이 N-S(고도각 추적방식) 추적 방식보다 효율적이며 여름철에는 N-S 추적방식이 E-W 추적방식보다 효율이 높다.

마이크로컨트롤러 유닛(MCU : Micro Controller Unit) 혹은 마이크로컨트롤러는 CPU 기능에 RAM 및 ROM의 메모리 장치를 추가하고 외부 입출력 장치를 추가하여 구성된 집적 회로 소자이다. 마이크로 컨트롤러는 소자 구조에 따라 크게 8051 계열, PIC 계열, AVR 계열로 구분되어 진다. 본 연구에서는 AVR 계열의 ATmega128을 사용하였는데 AVR은 PIC와는 다르게 ISP(In-System Programming) 및 JTAG(Joint Test Action Group) 방식을 이용하여 다운로드 및 디버깅이 편리한 장점이 있다. ATmega128은 AVR RISC 구조에 기초하였으며 저전력 CMOS형의 8비트 마이크로 컨트롤러이다. 분기 명령 등을 제외한 대부분의 명령어는 한 클럭 사이클에 실행되며, ATmega128은 1MIPS/Mhz에 가까운 처리속도를 낼 수 있기 때문에 전력 소모를 최적화 할 수 있다.

본 연구에서는 ATmega128을 이용하여 2축 방식의 태양추적장치를 개발하였으며 제어방식은 광학적 방법과 천문학적 방법을 모두 이용하였다.

2. 태양 위치 및 일출·일몰 시간

태양의 위치 추적은 시스템이 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 계산해 내는 것으로 지구 공전 및 자전 등을 고려하여 태양의 위치를 계산해 내기 위해서는 천문학적 지식이 필요하다. 태양 고도각은 태양과 추적 장치가 설치되어 있는 지점을 연결하는 직선이 지구표면과 이루는 각이다. 방위각은 태양의 위치를 지표면에 투영시켰을 때 투영된 태양과 좌표의 원점이 이루는 직선이 좌표상의 정북으로부터 시계방향으로 측정된 각이다.

태양 고도각과 방위각은 식 (1)과 식 (2)와 같이 구해진다 [1].

$$\sin\theta_e = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos H \quad (1)$$

$$\sin\theta_a = \sin H \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos(90 - \theta_e) \sin\phi - \sin\delta}{\sin(90 - \theta_e) \cos\phi} \right) \right| \quad (2)$$

여기서, θ_e 와 θ_a 는 각각 태양의 고도각과 방위각을 의미하며 δ , ϕ , H 는 각각 적위, 설치장소의 경도, 태양의 시간각을 의미한다.

태양추적장치는 태양이 지표면을 지나가면 추적을 중지시키고 초기상태로 복귀되어야 한다. 또한, 태양이 지표면 위로 나오는 시간에 추적을 시작해야 한다. 이는 태양의 일출과 일몰시간을 계산함으로써 가능하게 할 수 있다. 일출 및 일몰시간은 일반적으로 태양의 상단 끝점이 지표면에 도달하는 시간으로 정의된다. 따라서 태양의 중심이 지표면보다 태양의 반지름에 해당되는 각도만큼 낮은 지점에 도달하는 시간을 일출시간으로 설정하고 태양의 중심이 지표면으로부터 태양의 반지름에 해당되는 각도만큼 내려간 시간을 일몰시간으로 설정한다. 태양의 일출과 일몰시간은 식 (3)과 같이 구해진다 [6].

$$T = H + \alpha - (0.06571 \times t) - 6.622 \quad (3)$$

여기서, 일출일 경우 t 는

$$t = N + ((6 - \ln g \text{Hour}) / 24)$$

일몰일 경우 t 는

$$t = N + ((18 - \ln g \text{Hour}) / 24)$$

여기서, α 는 적위와 같이 천구상의 천체의 위치를 나타내는 좌표의 하나로서 적도좌표에서 춘분점을 지나는 시간권과 천체를 지나는 시간권이 이루는 각을 말한다. $\ln g \text{Hour}$ 는 설치 지점의 경도를 시간각으로 환산하는 것을 의미한다.

3. 시스템 설계 및 제작

본 연구에서 개발된 태양추적 장치는 크게 세부분으로 구성되어 있다. 태양의 고도를 추적하는 상부, 방위각을 추적하는 하부 그리고 제어 박스로 구성되어 있다. 시스템의 상부는 스텝모터, 워기어 및 워휠, 두 개의 수평 축을 포함하고 있다. 스텝모터는 유니폴라 구동방식으로 홀딩 토크는 9 kg·cm이며 한 스텝 당 1.8°의 분해능을 가지고 있다. 워기어와 워휠의 기어 비는 60:1로써 집광기 혹은 태양전지판을 회전시키는

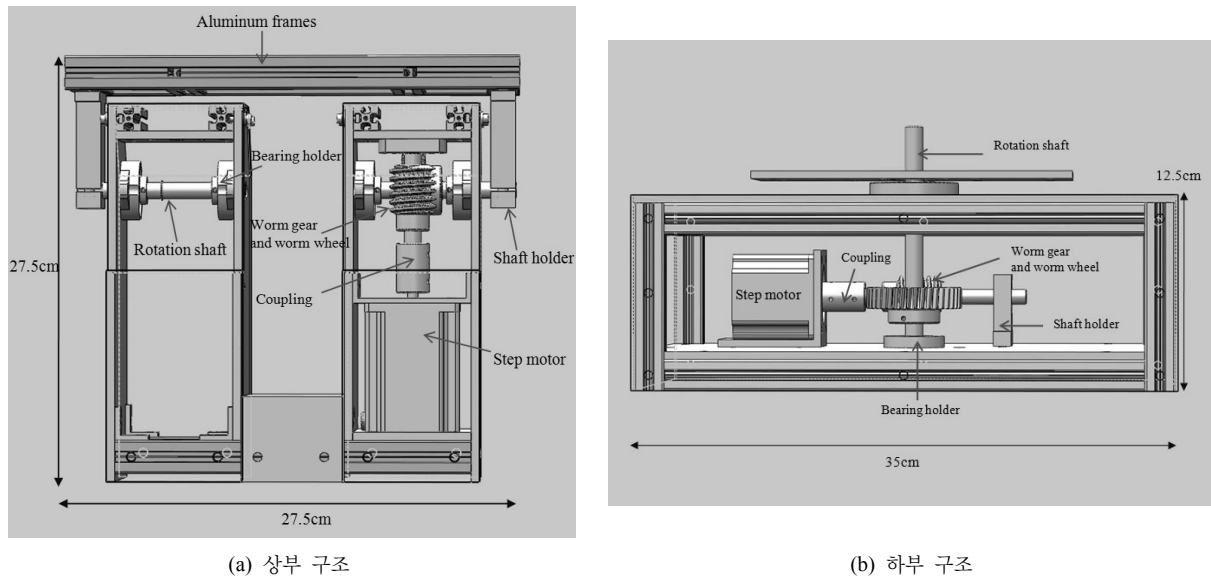


그림 1. 태양추적 장치의 상부와 하부 구조 및 구성 요소

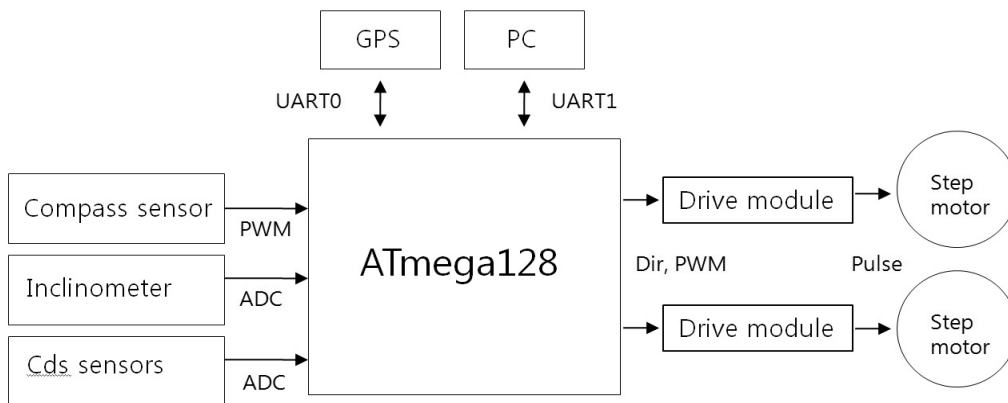


그림 2. 시스템 구성도

데 충분한 동력을 발생시킬 수 있다. 최상단에는 집광기를 장착할 수 있는 프레임이 설치되어 있다. 이 프레임을 회전시키는 수평축은 두 개로 분리되어 있는데 이는 집광기 모듈의 광섬유가 회전에 방해가 되지 않게 하기 위해서이다. 그림 2(a)는 태양추적장치의 상부 구조 및 구성요소를 보여주고 있다.

시스템의 하부(그림 2(b))에는 스텝모터, 웜기어 및 월휠, 베어링 홀더, 커플링, 수직 회전축으로 구성되어 있다. 하부의 크기는 가로 35 cm, 세로 35 cm, 높이 12.5 cm이다. 스텝모터는 구동방식이 유니폴라 형식으로 무게는 0.680 kg, 스텝각도는 1.8°, 홀딩토크는 9 kg·cm이다. 이 모터는 소형 이동 로봇 및 컨트롤 장비에 적합하다. 상부에 사용된 웜기어와 동일하게 기어비는 60:1을 사용 하였다. 상부와 하부에 사용된 스텝

모터는 구동방식이 모두 유니폴라 2상여자 방식으로 항상 2개의 상에 직류를 흐르게 하는 방식이다. 항상 2상이 여자 되어 있으므로 기동 토크가 주어질 때 난조가 일어나기 어려우며, 상 전환 시에도 반드시 1상이 여자 되어 있으므로 동작 시에 제동효과가 있다.

그림 2는 태양추적 장치의 시스템 구성도를 보여주고 있다. ATmega128 마이크로 컨트롤러, GPS, 기울기 센서(Inclinometer), 나침반센서(Compass sensor), CdS 센서, 두 개의 스텝모터와 이를 구동하는데 필요한 두 개의 드라이브 모듈로 구성되어 있다. ATmega128은 동기 및 비동기 전송모드에서 전이중 통신이 가능한 UART를 2개 내장하고 있다. UART0은 GPS와 통신하여 GPS로부터 NMEA-0182 프로토콜을 수신한다. 이 NEMA 프로토콜 중 시스템에 필요한 신호는

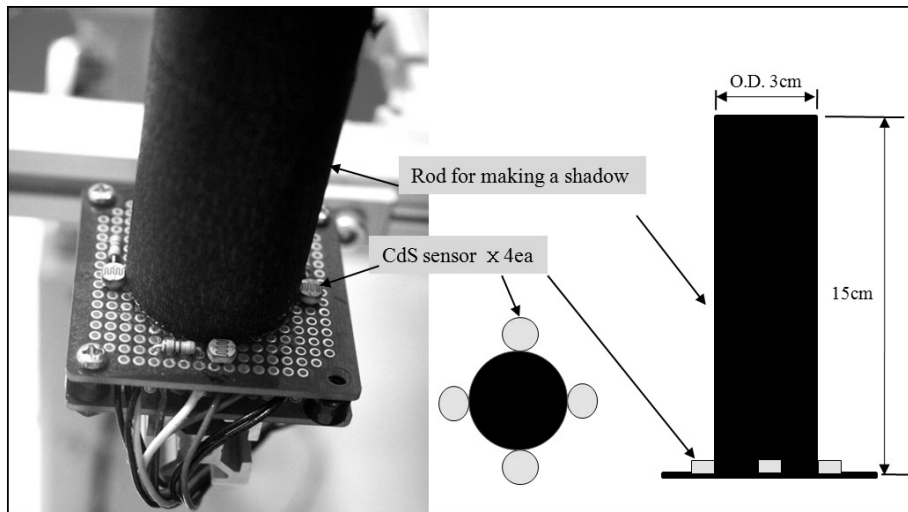


그림 3. CdS 센서 구성

\$GPRMC로 이 필드에서 UTC Time, UTC Date, 경도, 위도 데이터를 분류해 낸다. 이 데이터들을 사용하여 ATmega128은 시스템이 설치된 장소에서의 태양의 고도 및 방위각, 일출 및 일몰시간을 계산한다. UART1은 컴퓨터와 통신하며 ATmega128에서 생성되는 각종 데이터들을 모니터링하고 다운로드 할 수 있다.

기울기센서와 CdS 센서의 출력을 수집하기 위하여 내장된 10비트 분해능의 ADC(Analog to Digital Converter)를 사용한다. ATmega128은 8채널의 ADC를 가지고 있으며 F포트를 통해 입력된다. 1개의 채널은 기울기센서에서 출력되는 신호를 수집하고 4개의 채널은 CdS에서 출력되는 신호를 수집하도록 설계 되었다. 나침반 센서는 방위각을 PWM 신호로 출력을 하는데 ATmega128의 타이머/카운터 기능과 외부 인터럽트 기능을 사용하여 PWM 신호를 측정하였다.

본 연구에서 사용된 마이크로 스텝 드라이버 모듈은 (주)뉴티씨의 A M-MS2으로 이 모듈은 1.8°의 스텝모터를 16 step으로 제어할 경우 최대 0.1125° 단위로 제어가 가능하다. 또한, Dir, PWM 신호만으로 모터 구동이 가능하며 가변저항을 사용하여 모터에 흐르는 전류량을 조절할 수 있다. 한 개의 모듈로 두 개의 스텝모터제어가 가능하지만 본 연구에서는 두 스텝모터를 개별 제어 하므로 두 개의 마이크로 스텝 드라이버 모듈을 사용하여 시스템을 구성 하였다.

기울기 센서는 The Digital Advanced Sensors Technology사의 MSENS-IN-360 모델이다. 이 모델은 4-20 mA/RS485 2가지 출력방식의 360도 기울기 센서로써 분해

능은 0.1°이고 사용법이 간단하며 노이즈와 온도 특성이 우수하다. ATmega128은 ADC변환 기능을 가지고 있으나 전류를 측정하기 위해 기울기센서의 출력에 250 Ω 저항을 연결하여 측정하였다. 이때 출력전압은 1 V~5 V로 0°~360°전 범위에 걸쳐서 기울기를 측정한다.

나침반센서는 ETC사의 CMPS03 모듈을 사용하였다. 이 모듈은 지구 자기장을 측정할 수 있는 Philips KMZ51 자기장 센서를 사용하였고 각각으로 배치한 두 개의 자기장 센서를 사용하여 지구 자기장의 수직 요소의 방향을 계산하여 출력을 얻는다. 이 모듈은 5 V, 15 mA의 전원공급이 필요하여 ATmega128에서 직접 공급을 해주었다. 총 9개의 핀이 있으며 4번 핀에서 PWM 신호를 수집하여 각도를 측정한다.

CdS센서는 태양추적 장치의 정밀제어를 위해 필요하다. 본 시스템은 총 4개의 CdS 센서를 사용하여 광가변 저항기의 원리를 이용하여 태양추적장치의 위치를 수정한다. 그림 3에서와 같이 길이가 15 cm, 직경이 3 cm인 검은색 봉을 중심으로 상하좌우 위치에 CdS 센서를 장착하였다. 태양추적장치가 태양을 수직으로 바라볼 경우 즉, 태양을 정확하게 조준하고 있을 경우 검은색 봉에 의한 그림자는 생기지 않는다. 이로 인하여, 4개의 CdS 센서로부터 출력되는 신호는 동일하며 태양추적장치는 천문학적인 방법에 의해 지속적으로 작동한다. 반면, 추적장치가 1°라도 벗어 나가게 되면 봉에 의해 어느 한 개 혹은 두 개의 CdS 센서에 그림자가 드리워져 출력신호가 다르게 된다. 이렇게

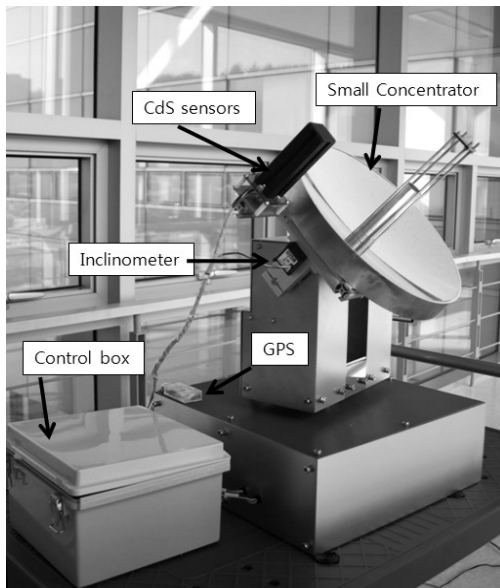


그림 4. 개발된 AVR기반의 태양 추적 장치

출력신호의 차이는 태양추적장치의 위치를 수정하게 된다.

그림 4는 본 연구에서 개발된 AVR 기반의 태양 추적장치를 보여 주고 있다. 현재 시스템에는 30 cm의 소형 반사경 모듈이 장착되어 있다. 이 소형 반사경 모듈은 태양광을 집광시켜 자연채광의 광원, 열음향레이저의 열원으로 사용된다. 제어박스에는 ATmega128, 전원공급기, 스텝 드라이브 모듈이 설치되어 있다. 이 시스템의 크기는 가로 35 cm, 세로 35 cm, 높이 45 cm로 그 크기가 소형으로 휴대성이 뛰어나고 설치 장소에 구애 받지 않는다.

5. 결 론

본 연구에서는 태양에너지의 이용 시스템의 효율을 극대화시키기 위하여 AVR 기반의 2축 태양추적 장치를 개발 하였다. AVR 계열의 ATmega128 마이크로 컨트롤러를 사용하였으며 GPS, 기울기센서, 나침반센서

가 사용되었다. 미세 조정을 위해서 4개의 CdS를 사용하였다. UART 통신에 의해 GPS로부터 시간, 날짜, 경도, 위도 데이터를 실시간으로 공급받고 ATmega128 CPU는 설치장소의 태양의 고도 및 방위각, 일몰 일출 시간을 계산한다. 시스템은 기울기 센서와 나침반센서의 신호를 참조하여 태양을 추적하고 CdS에서 발생하는 신호를 비교하여 정밀 제어를 수행한다. 본 시스템은 추후 자연채광시스템, 태양광 발전 시스템, 열음향레이저(TAL) 시스템과 접목시켜 태양에너지 활용의 극대화에 많은 영향을 끼칠 것으로 사료되어 진다.

후 기

본 연구는 한국 과학재단 기초연구사업 “고밀도 태양광 적용 TAL/태양 조명시스템 개발” 지원으로 이루어졌습니다(No. 2010-0092786).

참고문헌

1. Clifford M.J, Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker, *Solar Energy*. Elsevier 77, 269-280 (2004).
2. Duffie JA, Beckman WA. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley 13 (2006).
3. New solar tracker, *Solar Energy Materials & Solar Cells*. Elsevier, 51, 113-120 (1998).
4. Canada J, Utrillas MP, Martinez-Lozano JA et al. Design of a sun tracker for the automatic measurement of spectral irradiance and construction of an irradiance database in the 330-1100nm range. *Renewable Energy*, Elsevier, 32, 2053-2068 (2007).
5. Naval Oceanography Portal. <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/data-services>
6. Aviation Formulary V1.44 by ED Willams. [Http://wolliams.best.vwh.net/avform.htm](http://wolliams.best.vwh.net/avform.htm)
7. 오승진 외, LabVIEW 적용 임베디드 태양추적장치 개발, *Journal of Energy Engineering*, 19, 128-135 (2010).
8. 신동욱, 오창현, 알기쉽게배우는 AVR Atmega128, Ohm사, 2005.