

## LabVIEW 적용 태양추적장치 개발과 태양에너지이용의 활성화

오승진\*, 이윤준\*\*, 김남진\*\*\*, 오원종\*\*\*\*, Kuan Chen\*\*\*\*\*, 천원기\*\*\*\*\*

\*제주대학교 에너지고학과(osj2558@Jejunu.ac.kr), \*\*제주대학교 에너지공학과(leeyj@jejunu.ac.kr)  
\*\*\*제주대학교 에너지공학과(jnkim@jejunu.ac.kr), \*\*\*\*제주대학교 에너지공학과(owj8235@jejunu.ac.kr),  
\*\*\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, University of Utah(chen@mech.utah.edu),  
\*\*\*\*\*제주대학교 에너지공학과(wgchun@jejunu.ac.kr)

### Development of a Solar Tracker using LabVIEW for the enhancement of Solar Energy Utilization

Oh, Seung-Jin\* Lee, Yoon-Joon\*\* Kim, Nam-Jin\*\*\* Oh, Won-Jong\*\*\*\*  
Kuan, Chen\*\*\*\*\* Chun, Won-gee\*\*\*\*\*

\*Nuclear and Energy Engineering Department, Jeju Nat'l University(osj2558@jejunu.ac.kr)  
\*\*Nuclear and Energy Engineering Department, Jeju Nat'l University(leeyj@jejunu.ac.kr)  
\*\*\*Nuclear and Energy Engineering Department, Jeju Nat'l University(jnkim@jejunu.ac.kr)  
\*\*\*\*Nuclear and Energy Engineering Department, Jeju Nat'l University(owj8235@jejunu.ac.kr)  
\*\*\*\*\*Dept. of Mechanical engineering, University of Utah(chen@mech.utah.edu),  
\*\*\*\*\*Nuclear and Energy Engineering Department, Jeju Nat'l University(wgchun@jejunu.ac.kr)

#### Abstract

This paper introduces step by step procedures for the design, fabrication and operation of a solar tracking system. The system presented in this study consists of motion controllers, motor drives, step-motors, feedback devices and other accessories to support its functional stability. CdS sensors are used to constantly generate feedback signals to the controller, which assures a high-precision solar tracking even under adverse conditions. It enables instant correction if the system goes off track by strong winds causing gear backlash. A parabolic dish concentrator is mounted on the tracking system whose diameter was 30cm. The solar position data, in terms of azimuth and elevation, sunrise and sunset times were compared with those of the Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. The results presented here clearly demonstrate the high-accuracy of the present system in solar tracking, which are applicable to many existing solar systems.

Keywords : 태양추적장치(Solar tracker), 태양위치(Solar position), 일출·일몰 시간(Sunrise and sunset time), 랩뷰(LabView)

**기 호 설 명**

$\theta_e$	태양고도각[°]
$\theta_a$	태양 방위각[°]
$\delta$	태양 적위[°]
$\phi$	설치장소 위도[°]
$H$	시간각[°]
$T$	일출시간 또는 일몰 시간
$N$	연중일
$\alpha$	적경[°]
$\ln gHour$	경도/15[°]

**1. 서 론**

모든 에너지의 근원인 태양에너지는 지구상의 생명체에 필수 불가결하다. 지구의 표면 온도를 결정하며 자연적인 전체시스템과 사이클을 구동하는 가상적인 모든 에너지를 공급한다. 태양계에 막대한 양의 에너지를 약 50억년 동안 계속해서 방출하고 있는 무한에너지원인 태양의 외부온도는 6000℃, 중심부의 온도는 1500만℃ 이상, 흑점 온도는 4000℃이다. 수소의 핵융합반응에 의해 에너지를 생성하고, 그 에너지를 전자파인 복사 에너지의 형태로 약 1억5천만 km의 거리에 떨어져 있는 지구표면에까지 전달한다. 매 초, 태양은 거대한 양의 복사에너지를 방출하며 지구는 이 에너지 중 125조(1.25×10<sup>14</sup>)kW에 해당 하는 에너지를 입사 받고 있으며 이는 연간 전 세계 에너지소비의 약 1만배에 해당된다. 특히, 한국에 도달하는 태양에너지는 3.58×10<sup>10</sup>KW이며 이 양은 2000년 국내 최종 에너지소비의 74배에 해당한다[그림 1 참조]. 이런 막대한 양의 태양에너지는 우리 주위에서 다양한 방법을 통하여 다양한 형태의 에너지로 전환되어 우리 주변 생활의 모든 곳에서 사용된다.

태양에너지 활용분야는 국가적인 지원 아

래 보급되고 있으며 대체 에너지로서 사용의 편리함과 무공해 에너지라는 장점이 부각되어 어느 때 보다 호응 받고 있다. 또한 활용 분야는 태양열 발전 및 냉·난방, 태양광 발전, 태양광 채광, 그리고 광촉매 수소생산 등 많은 분야에서 활용하고 있으며 이들 시스템들은 모두 CO<sub>2</sub> 발생 억제에 지대한 영향을 미친다. 이들 중 수소에너지는 다양한 생산 방법이 있으나 수소에너지 생산을 위하여 연소 후 CO<sub>2</sub>나 공기오염물질의 배출을 유발하거나 이미 고급 청정에너지인 전기를 사용한다는 것은 진정한 청정 지속가능 에너지로서의 수소생산과 일치하지 않고 있다. 하지만 태양추적장치 기능이 없는 시스템들은 효율이 낮아 투자대비 실용성이 적은 편이다. 특히, 접시형 집광기를 사용하는 시스템들은 입사광선의 초점위치를 정확하게 조준해야 하므로 고정밀도 태양추적장치가 필요하다.

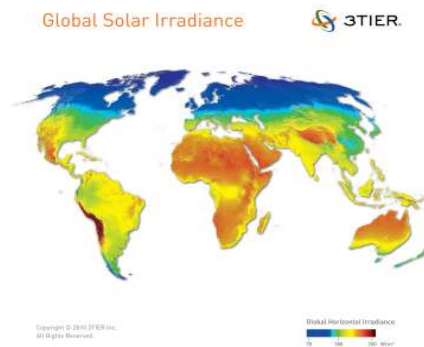


그림 1. Global Solar Irradiance Map(출처:3TIER Inc.)

태양추적 방식에는 크게 두 종류가 있는데 광학적 방식과 천문학적 방식이다. 광학적 방식은 추적 장치에 광센서를 달고 이를 비교하여 빛이 많은 쪽 혹은 적은 쪽으로 추적장치가 움직이도록 하는 방식이다. 천문학적 추적방식은 시스템 설치지역의 위도와 경도를 시간에 따라 계산하여 태양과 최적의 각(90°)을 항상 이루도록 하는 방법이다. 광학적 방식의 추적기는 센서에 의해 움직이므로

흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우 정확한 태양추적이 되지 않는 단점이 있으며, 그 점을 보완하기 위해 천문학적 계산에 의해 정확한 위치를 추적하는 방식을 사용할 수 있다. 천문학적 방법에 의해 태양의 위치를 찾아가므로 장시간 동안 태양이 나타나지 않은 경우도 태양추적이 가능하고 이물질에 의한 오동작을 일정범위 내에서 제한할 수 있으며 이 방식은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치를 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 하지만 이 방법에 의한 추적방식 또한 몇 가지 문제점을 지니고 있다. 강한바람에 의하여 작동모터의 백래쉬(backlash)가 발생할 수 있고 시스템 초기 위치 정확해야 한다는 것이다.

알고리즘 개발은 대부분의 경우 일반적으로 가장 많이 사용되는 프로그래밍 언어인 Visual C, ANSIC를 비롯한 C 계열과 Visual Basic을 사용한다. 실제 이러한 언어들은 머신 비전/모션 제어 영역에서도 역시 많이 사용되고 있으며 대부분의 비전제품 제조사나 모션제품 제조사들도 이 언어를 이용하여 사용할 수 있는 라이브러리를 판매하고 있다. 성능적인 측면에서 효율적이기 때문에 시장에서 대부분을 차지하고 있으나 문제는 이러한 라이브러리를 이용하여 프로그래밍을 실제로 수행하게 될 때 비전 제조사와 모션 제조사가 각각 제공한 프로그래밍을 하나의 메인 프로그램으로 통합하여야 하며, 이 작업이 간단하지 않다는 것에 있다. 또한 하나의 장비가 아니라 하나의 공정 전체, 즉 생산 라인 전체가 하나의 시스템 네트워크로 이루어져 동작되어야 할 경우 각 부분별, 어플리케이션별 프로그래밍이 끝난 후 부분간의 통신 프로그래밍과 전체 시스템 제어 및 모니터링 프로그램도 별도로 구성해야 한다.

본 연구에서는 모든 알고리즘과 어플리케이션 소프트웨어를 그래픽 기반의 프로그래밍 환경인 LabVIEW를 사용하여 개발 하였고 개

발된 알고리즘으로 시뮬레이션을 한 태양위치 및 일출·일몰시간을 미국 Naval Observatory의 데이터와 비교하였으며 기초 작동테스트를 수행하였다.

## 2. 알고리즘 개발

### 2.1 태양의 고도 및 방위

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. 이를 위해서는 지평좌표계와 적도 좌표계를 함께 표시하고 지평 좌표계에서의 태양의 방위각과 고도각을 적도좌표계의 시간각과 적위로 함께 나타내어 태양의 고도와 방위각을 계산해야 한다. 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하면 그림 2와 같다.

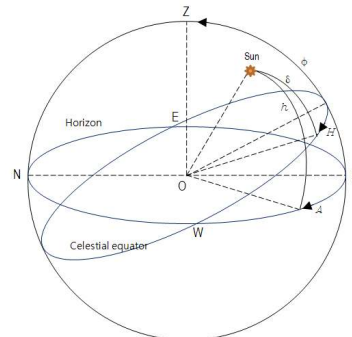


그림 2. 지평좌표계와 적도좌표계.

태양 고도각(그림 1.h)은 태양과 추적 장치가 설치되어 있는 지점을 연결하는 직선이 지구표면과 이루는 각이다. 방위각(그림 1.A)은 태양의 위치를 지표면에 투영시켰을 때 투영된 태양과 좌표의 원점이 이루는 직선이 좌표상의 정북으로부터 시계방향으로 측정된 각이다. 태양의 적위(d)는 지구의 중심과 태양의 중심을 잇는 선이 지구의 적도와 이

루는 각도이다. 시간각(H)은 자오선과 천체를 지나는 대원이 이루는 각도이며  $\pm 90^\circ$ 의 값을 갖는다.  $\phi$ 는 시스템이 설치된 장소의 위도를 뜻한다.

태양 고도각과 방위각은 식(1)과 식(2)와 같이 구해진다.

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

$$\sin\theta_a = -\frac{\cos\delta \sin H}{\cos\theta_e} \quad (2)$$

그림 2(a)는 LabVIEW의 블록다이어그램 상에서 고도각과 방위각을 계산하는 알고리즘을 보여주고 있다. 태양의 방위각과 고도각 계산 알고리즘 루프(loop)에서 현재시간 값을 불러들이고, 시스템 설치지역에서의 경도와 위도 값을 입력받는다. 루프가 실행되면 율리시시일, 평균경도, 평균 근접이각, 황도경도 황도 경사각, 적경, 적위, 시간각, 평균항성시 등 많은 변수들이 계산되어지며 최종적으로 루프에서 고도각과 방위각이 출력되어 진다.

### 2.2 일출 · 일몰 시간

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 정의 된다. 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.

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

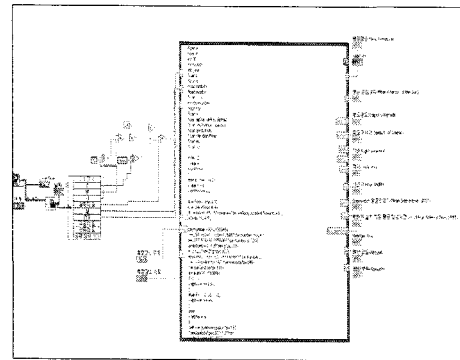
여기서, 일출일 경우 t는

$$t = N + ((6 - \ln gHour) / 24)$$

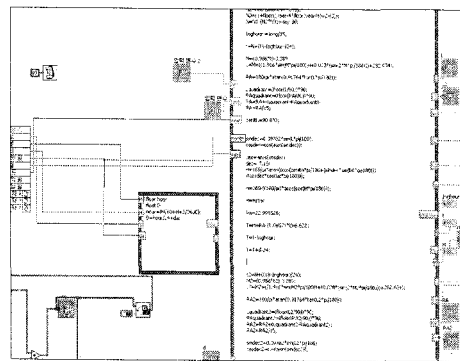
일몰일 경우 t는

$$t = N + ((18 - \ln gHour) / 24)$$

$\alpha$ 는 적위와 같이 천구상의 천체의 위치를 나타내는 좌표의 하나로서, 적도좌표에서 춘분점을 지나는 시간권과 천체를 지나는 시간권이 이루는 각을 말한다.



(a)



(b)

그림 3. 태양의 고도·방위각(a) 및 일출·일몰 시간(b) 계산 알고리즘

그림 3(b)는 LabVIEW의 블록다이어그램으로 태양의 일출과 일몰시간을 계산하는 알고리즘을 보여준다.

### 3. 주요구성 요소 및 소프트웨어

#### 3.1 주요 구성요소

본 연구의 최종 목표는 태양위치 계산 알고리즘과 센서를 병행하여 고정밀도 태양추적장치를 개발 하는데 있다. 앞서 계산된 고도각, 방위각, 그리고 일출·일몰시간을 사용하여 태양추적장치가 작동하게 되며 강한 바람에 의하여 기어의 백래쉬(backlash)가 발생하거나 시스템의 초기위치가 정확하지 않아 정조준이 불가능 할 경우, 피드백 디바이스(빛감지 센서)에 의하여 오차를 줄여 나간다. 빛감지 센서로 4개의 CdS 센서를 사용하였다. CdS 센서는 광 에너지에 대응하여 내부 저항이 변화하는 일종의 광 가변 저항기이다. 일반적으로 CdS 셀은 광 에너지가 전혀 조사되지 않을 경우에는 거의 절연체에 가깝게 된다. 또 CdS 센서가 임의의 입사광을 받으며 그 입사 에너지에 대응해서 내부 저항이 저하하게 된다. 시스템이 태양과 수직각을 형성할 경우 모든 센서에 그림자가 드리워지게 되고, 센서의 저항값은 증가하게 되어 출력 전압은 감소하게 된다. 만일 그렇지 않은 경우 각 센서들은 출력값을 비교한 후 출력 큰 방향으로 움직이게 된다.

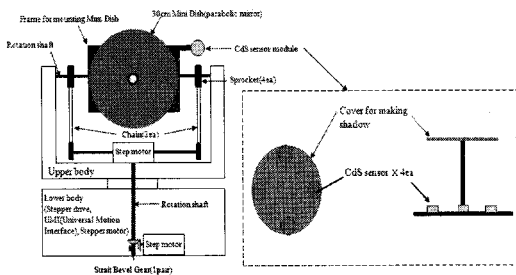


그림 4. 태양추적장치의 주요 부분

그림 4는 태양추적장치의 구성도를 보여주고 있다. 크게 상부와 하부로 구성되어지며, 상부에는 NEMA23 Stepper Motor, Chain&Sprocket,

회전축, 미니디쉬 마운트용 프레임, CdS 센서로 이루어져 있다. 하부는 National Instrument사의 NI-7352 motion controller, P70360 stepper drive, UMI(Universal Motion Interface), 그리고 NEMA23 stepper motor를 사용하였다. 회전축으로 구성되어진다.

표 1. NI-7352 motion controller의 사양

Control Loop Rate	2 axis at 62.5 us
Number of PWM Channels	2
Number of Digital IO Channels	64
Number of Analog Input Channels	8
Maximum Step Output Rate	8 MHz
Maximum Encoder Input Rate	20 MHz
Feedback Type	analog, encoder, dual encoder
Length	17.5 cm
Width	9.9 cm
Minimum Operating Temperature	0 °C
Maximum Operating Temperature	55 °C

표 2. P70360 stepper drive의 사양

Operating System/Target	Any
LabVIEW RT Support	Yes
Motion Hardware	Drive
Number of Axes	1
Motor/Axis Type	stepper
Microstepping	Yes
Maximum Microstepping Rate	250
Encoderless Stall Detection	Yes
Direct Drive Connectivity	Yes
Antiresonance Filtering	Yes
Quadrature/Incremental Interface	Through UMI
Maximum quadrature frequency	2 MHz
Length	17 cm
Width	14.4 cm
Height	5.2 cm
Minimum Operating Temperature	0 °C
Maximum Operating Temperature	40 °C

NI-7352 Stepper/Servo Controller는 2축 제어용으로 단순한 모션 어플리케이션에서 복잡한 모션 어플리케이션까지 제어가 가능하다. P70360 drive는 부드러운 모션을 위한 마

이크로스테핑, 다이내믹 스무딩(smoothing) 및 반공진(antiresonance) 필터 및 안정적인 컨트롤을 위한 엔코더없는 스톱 감지를 통해 최고 성능의 정밀 모션을 구현한다. NEMA23 stepper motor는 180 oz-in의 Holding 토크를 가지며, 1.8°의 Resolution을 갖는다. P70536 Drive와 사용 시 Microstepping에 의해 0.0072° 까지 가능하다. UMI-7772는 D-sub연결을 통해 motion controller와 stepper 드라이블을 연결하기위한 인터페이스이다. 표1~3은 각각 NI-7352 motion controller, P70360 stepper drive, 그리고 NEMA23 stepper motor의 사양을 보여준다.

표 3. NEMA23 stepper motor의 사양

NEMA Size	23
Holding Torque (standard)	180 oz-in
Holding Torque (metric)	1.27 N-m
Maximum Revolutions Per Minute	3000 RPM
Resolution	1.8 degree
Single/Dual Shaft	single
Winding Type	4 - w i r e Parallel
Phase Resistance	42.9 Ohm
Phase Current	0.4 A
Inductance	209 mH
Length	56.9 cm
Width	56.9 cm
Height	76.7 cm
Minimum Operating Temperature	-20 °C
Maximum Operating Temperature	40 °C

LabVIEW에 의해 작성되어진 어플리케이션은 앞서 설명한 방법에 의해 태양의 위치 및 일출·일몰 시간을 계산하고 스텝모터의 스텝수를 결정하게 되며 신호를 UMI를 통해 모션컨트롤러에 보내게 된다. 모션컨트롤러는 각축에 해당하는 신호를 Stepper Drive를 통해 두 개의 스텝모터에 전송하게 되고 스텝모터는 입력 받은 스텝수 만큼 회전 하게 된다. 만일, 피드백다이오스(CdS센서)에서 위치오류 신호가 발생하게 되면 어플리케이션은 다시 스텝수를 설정한 후 시스템의 위치를 보정하게 된다.

태양추적장치의 성능을 검증하기 위해 소형 집광기를 사용하였다. 소형집광기는 그 직

경이 30cm이며 중심에 집광된 태양광을 전송시키기 위해 광섬유 케이블이 연결되어 있다. 소형집광기 상단에는 2차반사경이 장착되어 있고, 이는 1차적으로 집광된 고밀도 태양광을 광섬유 케이블로 전송 시킨다.

연구에 사용된 광섬유는 일본의 Sumita Optical Galss, Inc의 제품으로 모델명은 SOG-70S 이고, 실내 작동 시연 및 야외 실측 실험에서 사용된 광섬유 길이는 1.5m이다. 표4 는 SOG-70 광섬유의 사양을 보여준다. SOG-70S는 가시광선 영역에서 60%의 전송율을 갖는다.

표 4. SOG-70S 광섬유의 사양

Type	nd		NA	Opening Angle
	Core	Clad		
SOG-70S	1.6200	1.5150	0.5737	70°

그림 5는 본 시스템의 주요 부분을 보여주고 있다. 시스템은 2축으로 작동하며 X축과 Y축 모두 스텝모터로 회전하게 된다. 동력전달을 위해 X축은 기어비가 2:1인 사각기어(bevel gear)를 사용하였고, Y축은 기어비가 2:1인 스프로킷 기어와

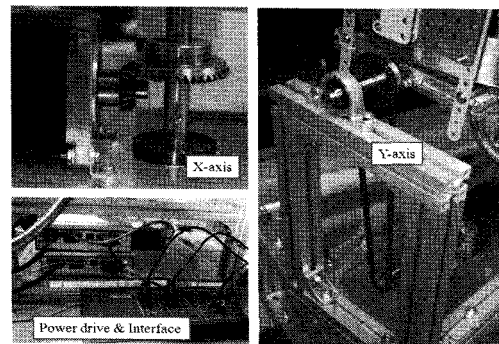


그림 5. 태양추적장치의 주요 부분

체인을 사용하였다. 하단부에는 Stepper drive 및 UMI가 설치되어 모터를 구동시킨다. 상단부에는 소형집광기를 설치할 수 있는 프레임이 있고, CdS센서가 장착 되어 있다. 시스템의 높이는 75cm, 하단부의 너비가 40×40cm 이다. 프레임은 알루미늄프로파일로 제작되었다.

### 3.2 개발 소프트웨어

본 연구에서는 그래픽 기반의 프로그래밍 언어인 LabVIEW를 사용하여 알고리즘을 작성하고 어플리케이션 프로그램을 개발 하였다. 또한, User Interface Mode로 개발되었으며, 프린트패널을 통하여 자동 및 수동으로 컨트롤을 할 수 있다. 이에 따라 모터 속도는 유기적으로 조정이 가능하며 스텝모터의 특성상 고속회전은 불가능하며 100~500 steps/s 사이에서 작동된다.

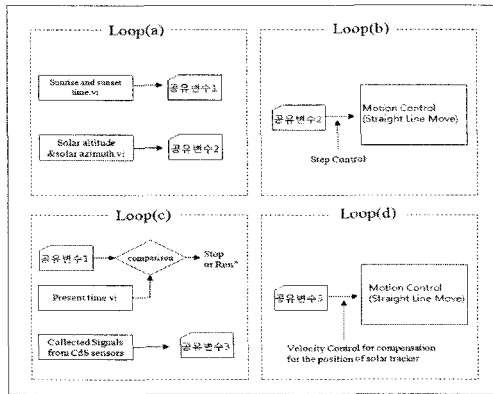


그림 6. 시스템 컨트롤 블록 다이어그램

그림 6은 LabVIEW로 작성된 태양추적장치 제어 어플리케이션을 보여주고 있다. 어플리케이션이 실행되면 실시간으로 그림.5 (a)루프 안의 SubVI에서 태양의 고도각, 방위각, 그리고 일출·일몰시간을 계산하여 출력한다. 그 후, 태양고도각과 방위각은 스텝수를 결정하기위해 다른 루프 안으로 입력되어지고 루프 안에서 스텝모터의 스텝각(0.0144)과 기어비(2)와 곱해지게 되며 루프 밖으로 최종 스텝수를 출력한다. 스텝수를 계산하는 동시에 SubVI에서 계산되어진 태양의 일출·일몰시간은 (c)루프로 전달되어 진후 실시간으로 현재 시간과 비교 된다. 일출 시간이 현재시간과 일치할 경우 시스템은 초기 정지 상태에서 작동이 시작하고, 일몰 시간이 일치할 경우 시스템은 작동을 멈추고 초기 상태로 돌아간 후 정지

하게 된다. (d)루프에는 (c)루프에서 수집 및 비교된 CdS의 출력이 일치 하지 않을 경우 수행되며, 태양추적기의 위치를 보정하게 된다.

### 4. 결 과

고도 및 방위각 계산의 정확성을 검증하기 위해 제주도 제주시 지방(동경 126° 32' /북위 33° 30')에서의 2009년 매월 1일 하루 동안의 데이터를 Naval Observatory와 비교 하였다. 표 2~5는 본 연구에서 계산된 태양 고도각과 방위각의 오차[°]를 보여주고 있다.

표 5. 2009년도 1월~3월 1일의 고도 및 방위각 오차.

Time	January		February		March	
	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]
5:00	—	—	—	—	—	—
6:00	—	—	—	—	—	—
7:00	-0.11	-0.19	-0.02	-0.19	-0.01	-0.22
8:00	0.10	-0.17	0.16	-0.24	0.10	-0.26
9:00	0.00	-0.02	0.05	-0.27	0.10	-0.26
10:00	-0.09	-0.12	-0.10	-0.08	-0.15	-0.07
11:00	0.01	-0.12	-0.11	-0.11	-0.16	-0.14
12:00	-0.04	-0.09	-0.05	-0.19	-0.11	-0.21
13:00	0.05	-0.17	0.02	-0.17	-0.07	-0.23
14:00	0.05	-0.10	0.05	-0.23	0.03	-0.26
15:00	0.06	-0.12	0.07	-0.14	0.12	-0.19
16:00	0.14	-0.10	0.15	-0.17	0.15	-0.18
17:00	0.29	-0.05	0.15	-0.10	0.20	-0.08
18:00	0.11	-0.08	0.58	-0.04	0.25	-0.13
19:00	—	—	0.16	-0.07	0.12	-0.11
20:00	—	—	—	—	—	—
ave.	0.09	0.11	0.13	0.15	0.12	0.18

부호가 (-)인 것은 본 연구에서 계산된 각도가 Naval Observatory의 데이터 값보다 큰 것을 의미한다. Naval Observatory에서 제공되는 데이터는 소수점 첫째자리 까지만 주어지고, 본 연구에서는 계산 값을 반올림하여 소수점 둘째자리 까지 표기를 하였다. 시간 간격은 한 시간 간격으로 설정을 하였으며 시간대는 일출시간 전의 시간부터 일몰후의 시간까지 데이터를 비교하였다. 표 5~8에서 알 수 있듯이, 월별 1일의 평균 오차는 0.20° 이하로

이는 무시할 수 있을 만큼 미미 하며 태양추적 장치에 영향을 끼치지 않는 수치이다.

표 6. 2009년도 4월~6월 1일의 고도 및 방위각 오차.

Time	April		May		June	
	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]
5:00	--	--	0.00	-0.26	-0.10	-0.13
6:00	0.01	-0.26	0.21	-0.17	0.02	-0.11
7:00	0.15	-0.26	0.01	-0.19	-0.02	-0.18
8:00	0.08	-0.27	0.05	-0.23	-0.07	-0.20
9:00	-0.20	-0.01	-0.20	0.04	-0.14	-0.18
10:00	-0.17	-0.10	-0.16	-0.03	-0.13	-0.09
11:00	-0.15	-0.14	-0.16	-0.17	-0.14	-0.20
12:00	-0.07	-0.33	-0.11	-0.38	-0.09	-0.49
13:00	-0.05	-0.40	0.04	-0.49	0.08	-0.68
14:00	0.01	-0.27	0.14	-0.29	0.17	-0.30
15:00	0.09	-0.21	0.12	-0.22	0.15	-0.13
16:00	0.09	-0.10	0.17	-0.14	0.21	-0.13
17:00	0.17	-0.09	0.14	-0.06	0.17	-0.11
18:00	0.21	-0.06	0.20	-0.08	0.23	-0.11
19:00	0.19	-0.03	0.39	-0.08	0.28	-0.06
20:00	--	--	0.17	-0.07	0.17	-0.10
ave.	0.10	0.16	0.14	0.18	0.14	0.20

태양의 일출·일몰시간은 2009년 한 해 동안의 값을 계산하였고 계산된 일출·일몰시간은 Naval Observatory의 데이터와 비교하였다. 표 9는 2009년도의 월별 일출·일몰시간의 오차를 보여주고 있다. 시간은 초 단위까지 비교를 하였으며 월별 평균 오차는 일출시간의 경우 16초 이내, 일몰시간의 경우 37초 이내로 이 수치는 태양 추적에 영향을 끼치지 못한다.

그림 7은 실내 작동 시연을 보여 주고 있다. 태양추적장치가 하루 동안에 태양을 추적하는 장면으로 각 시간대에 따라 정확한 추적이 되는 것을 확인 할 수 있다. 태양추적장치에는 30cm의 Mini-Dish가 장착되었고 초점거리에 2차반사경이 장착되었다. 시간에 따라 태양의 위치가 변화면서 Mini-Dish에서 집광된 고밀도 태양광선이 2차반사경에서 재 반사되어 광섬유 케이블과 렌즈를 통하여 확산되어 진다. 그림 8은 야외 실험의 모습을 보여주고 있다. 집광된 태양 빛은 광섬유케이블을 통해 건물 내의 천장에 설치된 디퓨저(렌즈)로부터 확산된다.

표 7. 2009년도 7월~9월 1일의 고도 및 방위각 오차.

Time	July		August		September	
	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]
5:00	-0.21	-0.11	-0.23	-0.02	--	--
6:00	-0.01	-0.03	0.12	0.04	-0.22	0.05
7:00	-0.12	-0.07	-0.16	0.03	-0.11	0.16
8:00	-0.18	-0.04	-0.21	0.04	-0.20	0.10
9:00	-0.21	-0.01	-0.09	-0.21	-0.23	0.15
10:00	-0.13	-0.18	-0.06	-0.25	-0.08	-0.31
11:00	-0.12	-0.27	-0.05	-0.32	0.01	-0.37
12:00	-0.09	-0.62	-0.01	-0.60	0.04	-0.49
13:00	0.07	-0.70	0.11	-0.50	0.06	-0.35
14:00	0.16	-0.19	0.20	-0.20	0.17	-0.27
15:00	0.16	-0.10	0.12	-0.11	0.14	-0.15
16:00	0.12	-0.06	0.15	-0.07	0.13	-0.10
17:00	0.18	-0.04	0.14	-0.10	0.20	-0.09
18:00	0.23	-0.12	0.17	-0.10	0.20	-0.14
19:00	0.27	-0.13	0.30	-0.08	0.11	-0.12
20:00	0.16	-0.10	0.10	-0.10	--	--
ave.	0.15	0.17	0.14	0.17	0.12	0.18

그림 7은 실내 작동 시연을 보여 주고 있다. 태양추적장치가 하루 동안에 태양을 추적하는 장면으로 각 시간대에 따라 정확한 추적이 되는 것을 확인 할 수 있다. 태양추적장치에는 30cm의 Mini-Dish가 장착되었고 초점거리에 2차반사경이 장착되었다. 시간에 따라 태양의 위치가 변화하면서 Mini-Dish에서 집광된 고밀도 태양광선이 2차반사경에서 재 반사되어 광섬유 케이블과 렌즈를 통하여 확산되어 진다. 그림 8은 야외 실험의 모습을 보여주고 있다. 집광된 태양 빛은 광섬유케이블을 통해 건물 내의 천장에 설치된 디퓨저(렌즈)로부터 확산된다.

표 8. 2009년도 10월~12월 1일의 고도 및 방위각 오차.

Time	October		November		December	
	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]	고도[°]	방위[°]
5:00	--	--	--	--	--	--
6:00	-0.27	0.08	-0.28	0.11	--	--
7:00	-0.05	0.07	0.17	0.07	-0.27	-0.01
8:00	-0.18	0.10	-0.21	0.10	-0.07	-0.05
9:00	-0.21	0.12	-0.01	-0.19	-0.05	-0.16
10:00	-0.02	-0.25	0.03	-0.20	-0.01	-0.10
11:00	0.06	-0.31	0.08	-0.25	0.00	-0.18
12:00	0.07	-0.33	0.07	-0.24	-0.01	-0.14
13:00	0.11	-0.23	0.10	-0.19	0.06	-0.18
14:00	0.14	-0.24	0.14	-0.12	0.14	-0.12
15:00	0.21	-0.12	0.18	-0.09	0.09	-0.08
16:00	0.17	-0.10	0.21	-0.15	0.13	-0.16
17:00	0.16	-0.14	0.29	-0.09	0.29	-0.08
18:00	0.36	-0.10	0.14	-0.10	0.09	-0.12
19:00	0.15	-0.09	--	--	--	--
20:00	--	--	--	--	--	--
ave.	0.14	0.14	0.12	0.12	0.08	0.09



표 9. 2009년도 월별 일출·일몰 시간 오차.

	Sun rise	Sun set
Jan.	0:00:16	0:00:36
Feb.	0:00:15	0:00:35
Mar.	0:00:14	0:00:36
Apr.	0:00:14	0:00:37
May.	0:00:15	0:00:37
Jun.	0:00:15	0:00:37
Jul.	0:00:15	0:00:37
Aug.	0:00:15	0:00:37
Sep.	0:00:15	0:00:36
Oct.	0:00:14	0:00:35
Nov.	0:00:13	0:00:35
Dec.	0:00:12	0:00:34

따라 태양의 위치가 변화면서 Mini-Dish에서 집광된 고밀도 태양광선이 2차반사경에서 재 반사되어 광섬유 케이블과 렌즈를 통하여 확산되어 진다. 그림 8은 야외 실험의 모습을 보여주고 있다. 집광된 태양 빛은 광섬유 케이블을 통해 건물 내의 천장에 설치된 디퓨저(렌즈)로부터 확산된다.

본 연구에서 개발된 태양추적장치의 성능은 소형 태양 집광기를 사용하여 수행되었다. 1차 집광기의 직경이 30cm, 2차 반사경의 직경이 3cm로 그 규모가 소형으로 빛의 반사의 원리에 의해 1°의 오차 발생시 1차집광기의 수광부인 광섬유로 입사하는 빛이 양이 크게 줄어들어 성능이 급격히 감소한다.

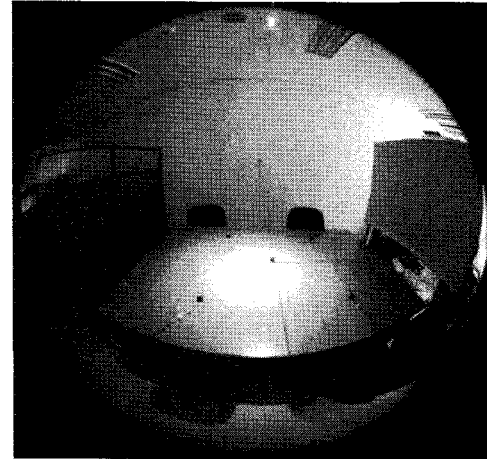
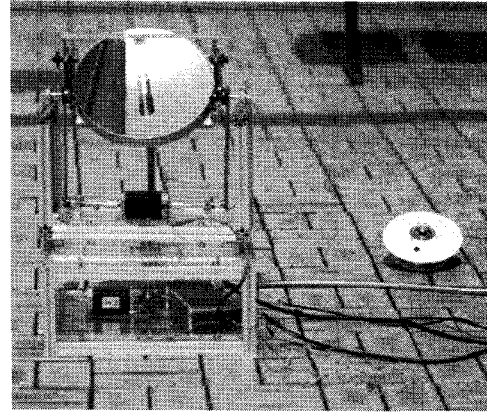


그림 8. 실외에서의 채광 성능 실험

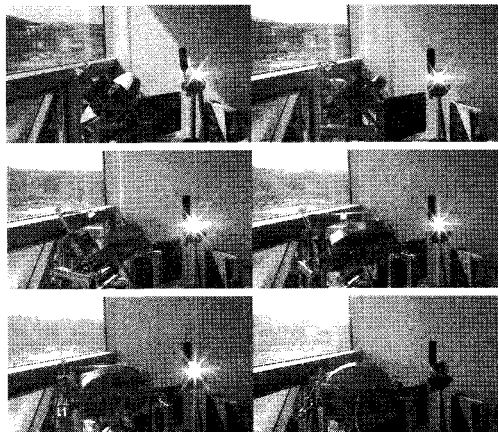


그림 7. 시간에 따른 태양 추적 장치 작동 모습

사용된 고성능 부품들은 태양추적기의 성능을 제고하기 위한 것으로 각 부품은 고정밀도로 제작되었으며, 이는 그림7에서 보듯이 태양 추적에 있어 시스템이 총체적으로 정확하게 수치적으로 계산되어진 태양위치의 값에 따라 작동될 수 있도록 한다. 또한, 중요한 사항은 수치적으로 태양위치 계산시 입력 값이 추적기가 설치된 지점의 경도와 위도로 이는 GPS의 성능에 따라 좌우되는데 설치지점의 경도와 위도값 측정에 사용된 GPS는 초소형 USB타입의 GPS로 측정 범위가 2.5m 이다. 이로 인하여 발생할 수 있는 계산적 오차 및 하드웨어 장치의 오차는 개발된 태양추적장치가 피드백 장치(CdS)를 병행하여 작동하므로 성능에 지장을 주지 않는다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 태양에너지의 이용 효율을 증가시키기 위한 고정밀도 태양추적장치 개발에 대해 연구를 수행하였다. 기존의 Visual C, ANSI C를 비롯한 C 계열과 Visual Basic을 사용하지 않고 그래픽기반 언어인 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍을 수행하였다. 태양 고도 및 방위각, 일출·일몰시간을 계산하여 미국 Naval Observatory의 자료와 비교 하였으며 고성능 부품들을 사용하여 태양추적장치를 제작 하였다. 이런 일련의 연구 과정을 통한 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 2009년도 매월 1일 하루 동안의 태양 고도 및 방위각을 계산하여 Naval Observatory의 자료와 비교해 본 결과 해가 떠있는 동안의 매월 1일의 평균 오차는  $0.20^\circ$  이하로 태양추적에 영향을 미치지 않는다.
- (2) 2009년도 한 해 동안의 일출·일몰시간을 계산하여 Naval Observatory의 자료와 비교해 본 결과, 일출 및 일몰시간에 대한 월별 평균오차는 각각 16초, 37초 이내로 태양추적장치의 정확한 작동과 정지에 영향을 미치지 않는다.
- (3) 본 연구에서 개발한 태양추적 장치는 데이터 처리속도가 우수하며 사용자가 손쉽게 프로그래밍 및 수정 할 수 있고, GUI(Graphical User Interface)형태의 작동소프트웨어로 전 세계 어디서나 위치정보만 알고 있으면 사용할 수 있다. 또한, 태양에너지 활용 및 많은 분야에서 큰 역할을 할 것으로 사료되어진다.

## 후 기

본 연구는 한국 과학재단 기초연구사업 “고밀도 태양광 적용 TAL/태양 조명시스템 개발” 지원으로 이루어졌습니다(No. 2009-0092786).

## 참 고 문 헌

1. J. Meeus, Astronomical Algorithms, Wil
2. J.W Spencer, Fourier series representation of the position of the sun, Search 2, 172, 1971.
3. M. Iqbal, An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, 1983.
4. P.I. Cooper, the absorption of solar radiation in solar stills, Solar Energy 12, pp. 333~346, 1969.
5. R. Walraven, Calculating the position of the sun, Solar Energy, Vol. 20, pp. 393~397, 1978.
6. B.J Wilkinson, An improved FORTRAN program for the rapid calculation of the solar position, Solar Energy, Vol. 27, pp. 67~68, 1981.
7. 박영철, 강용혁, 집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치계산, 태양에너지, Vol.18, No.4, 1998.
8. 송도성, 태양광 발전효율 향상을 위한 태양 추적 제어에 관한 연구, 제주대학교 석사학위 논문.
9. 이양규, “태양 위치 추적기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 효율개선,” 전남대학교 석사학위논문, 2003.
10. 백남춘, 정명웅, 김은일, 김미선, 박완순, “자연에너지의 활용,” 한국에너지기술연구원, 대전, pp. 49~72, 2003.
11. 이태규, 태양에너지를 이용한 수소제조, 에너지공학, Vol15, No.2, 2006
12. 광두영, “컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW(한글판),” ohm사, 2007.
13. NREL, “Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications,” 2008.
14. <http://www.lancasterfarms.com/cgi-bin/jdatehow.pl>, Calculating Sunrise/Sunset in Suffolk, Virginia.
15. <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/data-services>, Naval Oceanography Portal