

## LabVIEW 적용 임베디드 태양추적장치 개발

오승진 · 이윤준 · 김남진 · 오원종 · 천원기<sup>†</sup>

제주대학교 에너지공학과

(2010년 6월 2일 접수, 2010년 6월 15일 수정, 2010년 6월 22일 채택)

### Development of an Embedded Solar Tracker using LabVIEW

Seung Jin Oh, Yoon Joon Lee, Nam Jin Kim, Won Jong Oh, Won Gee Chun<sup>†</sup>

Jeju National University, Nuclear & Energy Engineering Department

(Received 2 June 2010, Revised 15 June 2010, Accepted 22 June 2010)

#### 요 약

본 연구에서는 LabVIEW를 활용한 임베디드 태양추적장치가 개발되었다. 이 시스템은 LabVIEW로 작성된 소프트웨어, CompactRIO, C-계열의 모션 인터페이스 모듈, 아날로그 수집 모듈(DAQ:Data Acquisition), 스텝 드라이브, 스텝 모터, 피드백디바이스 그리고 기타 부품들로 구성되어 있다. CompactRIO는 내부에 리얼타임 프로세서를 내장하고 있으며 이는 태양추적장치가 외부 제어없이도 자동으로 작동이 가능하게 한다. 태양추적장치의 정확도를 높이기 위하여 천문학적인 방법과 광학적인 방법을 통합하여 개발하였다. 광학적인 방법에서는 피드백디바이스가 사용되었는데 4개의 CdS를 사용하여 지속적으로 피드백 신호를 컨트롤러로 공급하여 문제 발생시에도 태양을 지속적으로 추적한다. 태양의 고도 및 방위각의 데이터베이스는 미국의 Naval Observatory의 데이터와 비교하였다.

**주요어** : 태양추적장치, 태양의 위치, 일출/일몰 시간, 랩뷰

**Abstract**— This paper introduces step by step procedures for the fabrication and operation of an embedded solar tracker. The system presented consists of application software, compactRIO, C-series interface module, analogue input module, step drive, step motor, feedback devices and other accessories to support its functional stability. CompactRIO that has a real-time processor allows the solar tracker to be a stand-alone real time system which operates automatically without any external control. An astronomical method and an optical method were used for a high-precision solar tracker. CdS sensors are used to constantly generate feedback signals to the controller, which allow a solar tracker to track the sun even under adverse conditions. The database of solar position and sunrise and sunset time was compared with those of 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.

**Key words** : Solar tracker, Solar position, Sunrise and sunset time, LabVIEW

### 1. 서 론

태양에너지 활용분야는 국가적인 지원 아래 보급되고 있으며 대체에너지로서 사용의 편리함과 무공해

에너지라는 장점이 부각되어 어느때 보다 호응 받고 있다. 또한 활용분야는 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 생산방법이 있으나 수소에너지 생산을 위하여 연소 후 CO<sub>2</sub>나 공기오염물질의 배출

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
Nuclear & Energy Engineering Department, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea  
Tel : 064-754-3646; E-mail : wgchun@jejunu.ac.kr

을 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, 소형 접시형 집광기를 사용하는 시스템 혹은 최근에 개발된 다접합 태양전지(Multi-junction solar cell)들의 시스템들 고정밀도 태양추적장치가 필요하다.

태양추적 방식에는 크게 두 종류가 있는데 광학적 방식과 천문학적 방식이다. 광학적 방식은 추적장치에 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( $90^\circ$ )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 추적 방식 또한 몇 가지 문제점을 지니고 있다. 강한바람에 의하여 작동모터의 백래쉬(backlash)가 발생할 수 있고 시스템 초기위치가 정확해야 한다는 것이다.

알고리즘 개발은 대부분의 경우 일반적으로 가장 많이 사용되는 프로그래밍 언어인 Visual C, ANSI C를 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 않다. 또한 하나의 장비가 아니라 하나의 공정 전체, 즉 생산 라인 전체가 하나의 시스템 네트워크로 이루어져 동작되어야 할 경우 각 부분별, 어플리케이션별 프로그래밍이 끝

난 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 개발하였고 네셔널 인스트루먼트사의 CompactRIO를 사용하여 임베디드 태양추적장치를 개발하였다. 개발된 알고리즘으로 시뮬레이션을 한 태양위치 및 일출·일몰시간의 데이터베이스를 미국 Naval Observatory의 데이터와 비교하였다.

## 2. 알고리즘

### 2-1. 태양의 고도 및 방위

태양의 위치 추적은 시스템이 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 계산하는 것으로 지구 공전 및 자전 등을 고려하여 태양의 위치를 계산하기 위해 천문학적 지식이 필요하다. 이를 위해서는 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하고 지평좌표계에서의 태양의 방위각과 고도각을 적도좌표계의 시간각과 적위로 함께 나타내어 태양의 고도와 방위각을 계산해야 한다. 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하면 Fig. 1과 같다.

태양 고도각(Fig. 1.h)은 태양과 추적장치가 설치되어 있는 지점을 연결하는 직선이 지표면과 이루는 각이다. 방위각(Fig. 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 중심

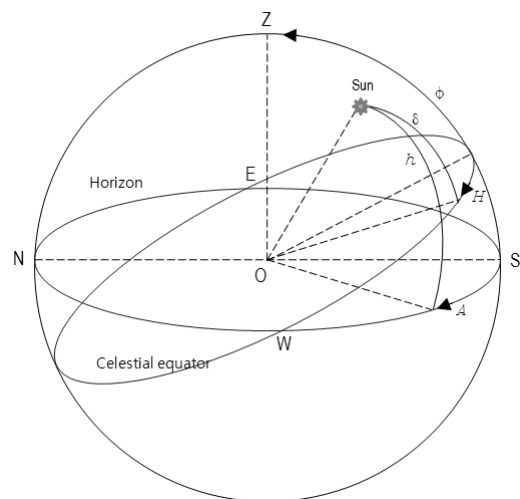


Fig. 1. 지평좌표계와 적도좌표계

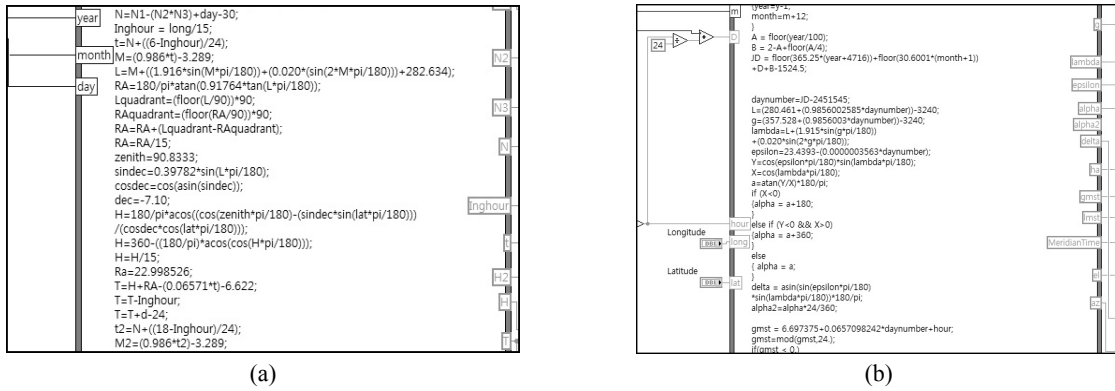


Fig. 2. 태양의 고도·방위각(a) 및 일출·일몰 시간(b) 계산 알고리즘

을 있는 선이 지구의 적도와 이루는 각도이다. 시간각 (H)은 자오선과 천체를 지나는 대원이 이루는 각도이며 ± 90°의 값을 갖는다. φ는 시스템이 설치된 장소의 위도를 뜻한다.

태양 고도각과 방위각은 식(1)과 식(2)와 같이 구해진다 [1].

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

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

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

### 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 정의된다. 따라서 태양의 중심이 지표면보다 태양의 반지름에 해당되는 각도만큼 낮은 지점에 도달하는 시간을 일출 시간으로 설정하고 태양의 중심이 지표면으로부터 태

양의 반지름에 해당되는 각도만큼 내려간 시간을 일몰 시간으로 설정한다. 태양의 일출과 일몰시간은 식(3)과 같이 구해진다 [6].

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

여기서, 일출일 경우 t는

$$t = N + ((6 - \operatorname{In}gHour) / 24)$$

일몰일 경우 t는

$$t = N + ((18 - \operatorname{In}gHour) / 24)$$

α는 적위와 같이 천구상의 천체의 위치를 나타내는 좌표의 하나로서, 적도좌표에서 춘분점을 지나는 시간권과 천체를 지나는 시간권이 이루는 각을 말한다. Fig. 2(b)는 LabVIEW의 블럭다이어그램으로 태양의 일출과 일몰시간을 계산하는 알고리즘을 보여준다.

## 3. 주요 구성 요소

### 3-1. 하드웨어

본 연구의 목표는 광학적인 방법과 천문학적인 방법에 의하여 작동되는 임베디드 태양추적장치를 LabVIEW를 사용하여 개발하는 것이다. Fig. 3은 개발된 태양추적장치의 기본 구성도를 보여주고 있다. 시스템은 크게 어플리케이션 소프트웨어, CompactRIO, 스텝 드라이브, 스텝 모터, 피드백 디바이스 등으로 구성된다.

CompactRIO는 프로그래밍 가능한 자동화 컨트롤러(PAC)로 안정성 및 성능이 요구되는 어플리케이션을 위한 임베디드 컨트롤 및 수집시스템이다. CompactRIO는 리얼타임 컨트롤러, 재구성가능한 새시, 및 I/O 모듈

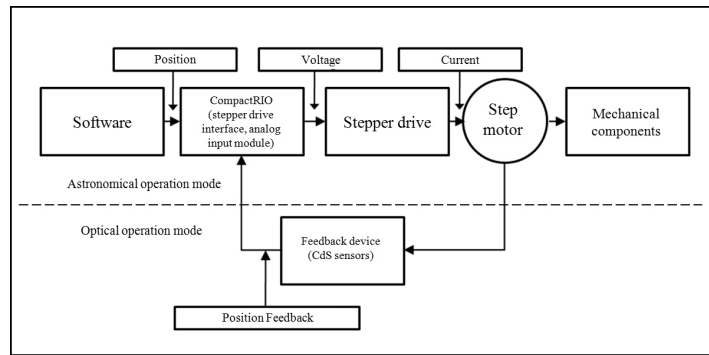


Fig. 3. 임베디드 태양추적장치의 기본 구성도

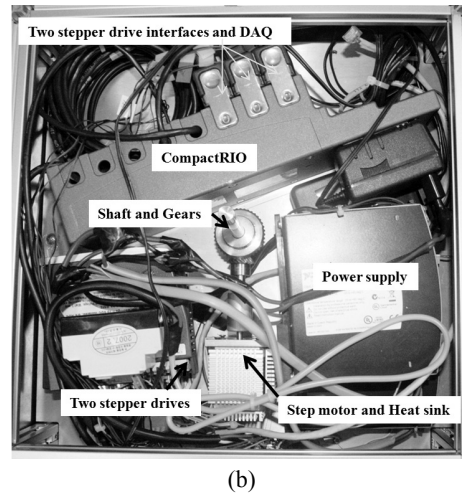
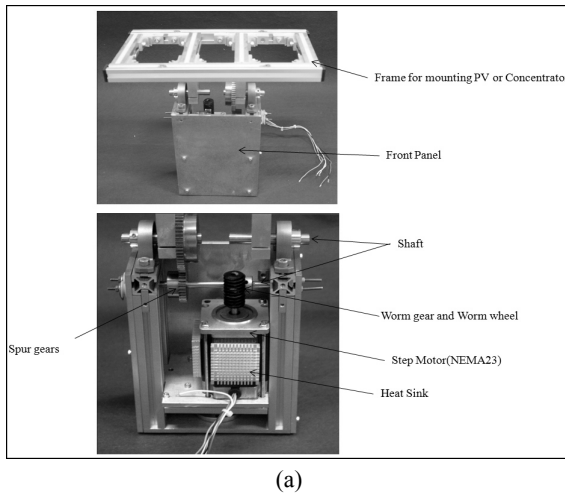


Fig. 4. 태양추적장치의 상부(a) 및 하부(b)

을 통합하고, 네트워크 또는 독립으로 작동하는 산업용 Freescale 프로세서와 함께, 리얼타임 컨트롤러는 DC 전원 공급 입력, 네트워킹을 위한 이더넷 포트, 내장된 웹 서버, 주변기기 연결을 위한 시리얼 포트, USB 포트, 데이터 로깅을 위한 비휘발성 스토리지를 갖추고 있다 [7].

LabVIEW로 작성되어진 어플리케이션 소프트웨어는 CompactRIO에 저장되고 모터가 이행해야할 위치 및 경로값을 생성한다. CompactRIO에는 데이터 수집을 위한 DAQ 모듈과 스텝드라이브로의 신호전달을 위한 C-시리즈 인터페이스 모듈이 장착된다. DAQ 모듈은 피드백 센서로부터 출력신호를 수집하게 된다. C-시리즈 인터페이스 모듈은 CompactRIO에서 생성된 위치 및 경로 값을 스텝 드라이브로 전달한다. 스텝 드라이브는 스텝모터를 작동시키는 데 필요한 전류를 발생시킨다. 피드백 디바이스는 시스템의 정확도를 감지하여 결과 값을 CompactRIO로 전달한다.

태양추적장치가 작동이 시작되면 앞서 계산된 고도각, 방위각, 그리고 일출일몰시간을 사용하여 장치가 태양을 추적하게 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. 또한, 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.

Fig. 4는 태양추적장치 상부 및 하부 구성도를 보여 주고 있다. 상부에는 NEMA23규격의 스텝모터, 태양 전지판 및 태양 집광기 등의 장착을 위한 마운트 프레임, 웜기어/웜휠, 기어비가 2:1인 사각기어, 쿨링패널(heat sink)로 구성되어 있다. 마운트 프레임은 알루미늄으로 제작되었으며, 가로가 30 cm 이고 세로가 16 cm 이다. 스텝모터는 NEMA23 계열로 태양의 고도를 추적하며 180 oz-in의 홀딩 토크를 가지며, 1.8°의 Resolution을 갖는다. P70536 스텝 드라이버와 사용시 마이크로스테핑에 의해 0.0072° 까지 가능하다. 스텝모터의 과열방지를 위해 쿨링패널을 장착하였으며, 토크를 증가시키기 위하여 20:1의 웜기어를 사용하였다.

태양추적기의 하부는 CompactRIO, 파워 서플라이, 스텝 모터, 바벨기어로 구성되어 있다. CompactRIO에는 두 개의 인터페이스 모듈과 한 개의 아날로그 입력 모듈이 장착되어 있다. 태양 방위각 추적에 사용된 스텝모터는 NEMA 17계열이며 과열방지를 위해 쿨링패널이 부착되어있다. 파워 서플라이는 24VDC 및 5A를 공급하며 CompactRIO, 인터페이스 모듈, 아날로그 입력모듈, 스텝드라이브의 전원공급을 위해 사용되었다.

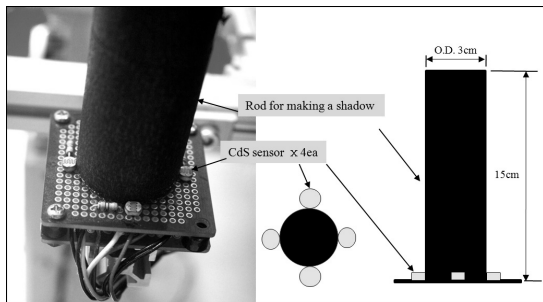


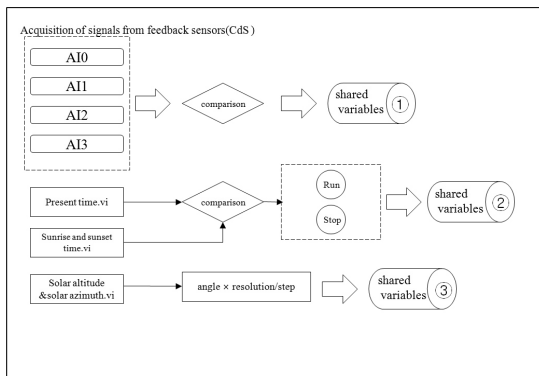
Fig. 5. 피드백디바이스(CdS 센서) 구성

앞서 언급했듯이, 태양추적장치의 정밀도를 위하여 천문학적인 방법과 광학적인 방법을 통합하여 개발하였다. 광학적인 방법으로 작동시에는 피드백 디바이스에서 위치 오류를 검출한다. 피드백 디바이스는 총 4개의 CdS 센서로 구성되어 있다. 광 가변 저항기의 원리를 이용하여 태양추적장치의 위치를 수정한다. 피드백 디바이스 구성은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서와 같이 길이가 15 cm, 직경이 3 cm 인 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 출력신호의 차이는 태양추적장치의 위치를 수정하게 된다.

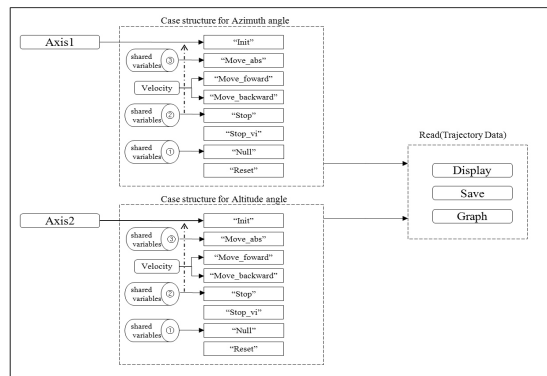
3-2. 소프트웨어

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

개발된 알고리즘은 두개의 주 루프로 구성되어진다. Fig. 6(a)는 신호수집, 현재 시간, 태양의 고도 및 방위각, 태양의 일출 및 일몰시간을 계산하는 루프의 기



(a)



(b)

Fig. 6. 태양추적장치 제어 알고리즘 구조

본적인 작동 개념도를 보여주고 있다. 4개의 CdS 센서로부터의 출력은 아날로그 입력 모듈의 AI0~AI3 채널에서 수집되어진다. 수집되어진 신호는 태양추적장치의 회전방향을 결정하게 되고 결정되어진 방향 즉, 상하좌우 방향값이 공유변수(1)에 저장된다. 이 루프에는 세개의 서브 vi 가 있는데 현재시간을 반환하는 *Present time.vi*, 작동 날짜에서의 일출 및 일몰시간을 반환하는 *Sunrise and sunset time.vi*, 그리고 태양의 고도 및 방위각을 계산하여 반환하는 *Solar altitude&solar azimuth.vi*가 있다. 일단, *Sunrise and sunset time.vi*에서 일출 및 일몰시간이 계산되어지면 그 값은 현재시간과 비교되고, 현재시간이 일몰시간과 일치할 경우 'stop' 명령이 공유변수(2)로 저장되고, 현재시간이 일출시간과 일치할 경우 'stop' 명령이 공유변수(2)로 저장된다. 이 공유변수(2)는 다음 루프로 전달되어 태양추적장치의 실행 및 정지 여부를 결정하게 된다. *Solar altitude&solar azimuth.vi*에서 계산되어진 태양 고도 및 방위각은 각 축에 해당하는 기어비와 스텝 분해능과 곱해져 최종 스텝수를 공유변수(3)에 저장된다.

Fig. 6(b)는 태양추적장치의 동작 명령신호를 스텝 드라이브로 전달하고 작동된 모터의 경로데이터를 출력하고 저장하는 루프이다. 그림에서와 같이 이 루프는 축1(방위각)를 담당하는 케이스 루프와 축2(고도각)를 담당하는 케이스 루프로 구성되어 있다. 두루프 모두 작동원리는 동일하다. 각 루프의 케이스 구조는 "Init", "Move\_abs", "Move\_forward", "Move\_backward", "Stop", "Stop\_vi", "Null", "Reset" 으로 이루어져 있으며 각각의 구조들이 유기적으로 실행된다. 태양추적장치에 전원이 인가되면 앞서 설명되어진 루프가 실행됨과 동시에 이 루프가 실행되는데 "Init"에서 각각의 축이 초기화되고 작동할 준비가 이루어진다. 공유변수(3)으로 부터 스텝수를 입력받아 "Move\_abs"가 실행되어지고 태양추적장치는 일정한 각도에 해당하는 스텝수 만큼 회전하게 된다. 태양추적장치는 실시간으로 태양을 추적하게 되며 위치 오류가 발생할 경우 공유변수(1)에서 위치 보정 방향을 입력받아 "Null"이 실행하며 스텝모터가 정 방향으로 회전해야 되는지 역 방향으로 회전해야 되는지를 결정하여 "Move\_forward" 혹은 "Move\_backward"를 실행시킨다. 이 두 구조는 미리 설정한 속도로 회전하게 되며 공유변수(1)에서 위치 오류신호가 발생하지 않을 때 까지 실행된다. 이후, 추적장치가 태양의 위치를 정확히 찾아내면 다시 "Move\_abs"가 실행되고 추적장치는 계산되

어진 값에 의해 태양을 추적하게 된다. Fig. 6(a)의 루프에서 'stop' 신호가 출력되면, 공유변수(2)는 그 값을 "stop" 구조로 전달하게 되고 태양추적장치는 추적을 중지하여 초기 상태로 돌아가 다음 일출시간을 기다리게 된다. 추적 중지 상태에도 Fig. 6(a)의 루프는 현재시간과 일출시간을 계속 비교한다. 현재시간이 일출시간과 일치할 경우 'run' 명령을 공유변수(2)에 저장하고 추적장치는 정시상태에서 다시 작동을 시작한다.

#### 4. 데이터베이스

앞서 설명하였듯이, 태양의 고도 및 방위각은 LabVIEW로 작성된 알고리즘에 의해 계산되어지고 이 값에 의해 태양추적장치는 위치 오류가 발생하기 전까지 천문학적인 방법에 의해 작동되어진다. 이렇게 하여 태양의 위치 데이터베이스가 만들어지고 저장되며 TCP/IP를 통해 원격으로 제공받을 수 있다.

본 연구에서는 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. Table 1과 2는 본 연구에서 계산된 태양 고도각과 방위각의 오차[°]를 보여주고 있다. Naval Observatory는 미국에서 가정 오래된 과학기관중 하나로 주된 임무는 위치(Positioning), 항해(Navigation) 및 시간(Timing)를 제공한다. 이 기관은 몇 개 안되는 천문대중 하나이며, "Master Clock"과 함께 "Alternate Master Clock"을 보유하고 있어 GPS 위성에 정확한 시간을 제공한다. 또한, 이 기관은 수많은 전 세계 공동연구자들과 함께 지구자전 파라미터를 계산한다. 이 기관은 광범위한 천문학적 데이터와 변수들을 제공한다. 특히, 사용자가 원하는 위치(경도, 위도)와 원하는 시간에 따른 데이터를 제공하며, 미국에만 국한되지 않고, 전 세계 데이터를 제공할 수 있다.

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 둘째자리까지 표기를 하였다. 시간 간격은 한 시간 간격으로 설정을 하였으며 시간대는 일출시간 전의 시간부터 일몰후의 시간까지 데이터를 비교하였다. Table 1과 2에서 알 수 있듯이, 월별 1일

**Table 1.** 2009년도 1월~6월 1일의 고도 및 방위각 오차

시간	January		February		March		April		May		June	
	고도(°)	방위(°)	고도(°)	방위(°)	고도(°)	방위(°)	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	-0.11	-0.19	-0.02	-0.19	-0.01	-0.22	0.15	-0.26	0.01	-0.19	-0.02	-0.18
8:00	0.10	-0.17	0.16	-0.24	0.10	-0.26	0.08	-0.27	0.05	-0.23	-0.07	-0.20
9:00	0.00	-0.02	0.05	-0.27	0.10	-0.26	-0.20	-0.01	-0.20	0.04	-0.14	-0.18
10:00	-0.09	-0.12	-0.10	-0.08	-0.15	-0.07	-0.17	-0.10	-0.16	-0.03	-0.13	-0.09
11:00	0.01	-0.12	-0.11	-0.11	-0.16	-0.14	-0.15	-0.14	-0.16	-0.17	-0.14	-0.20
12:00	-0.04	-0.09	-0.05	-0.19	-0.11	-0.21	-0.07	-0.33	-0.11	-0.38	-0.09	-0.49
13:00	0.05	-0.17	0.02	-0.17	-0.07	-0.23	-0.05	-0.40	0.04	-0.49	0.08	-0.68
14:00	0.05	-0.10	0.05	-0.23	0.03	-0.26	0.01	-0.27	0.14	-0.29	0.17	-0.30
15:00	0.06	-0.12	0.07	-0.14	0.12	-0.19	0.09	-0.21	0.12	-0.22	0.15	-0.13
16:00	0.14	-0.10	0.15	-0.17	0.15	-0.18	0.09	-0.10	0.17	-0.14	0.21	-0.13
17:00	0.29	-0.05	0.15	-0.10	0.20	-0.08	0.17	-0.09	0.14	-0.06	0.17	-0.11
18:00	0.11	-0.08	0.58	-0.04	0.25	-0.13	0.21	-0.06	0.20	-0.08	0.23	-0.11
19:00	—	—	0.16	-0.07	0.12	-0.11	0.19	-0.03	0.39	-0.08	0.28	-0.06
20:00	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	-0.07	0.17	-0.10
ave.	0.09	0.11	0.13	0.15	0.12	0.18	0.10	0.16	0.14	0.18	0.14	0.20

**Table 2.** 2009년도 7월~12월 1일의 고도 및 방위각 오차

시간	July		August		September		October		November		December	
	고도(°)	방위(°)	고도(°)	방위(°)	고도(°)	방위(°)	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	-0.27	0.08	-0.28	0.11	—	—
7:00	-0.12	-0.07	-0.16	0.03	-0.11	0.16	-0.05	0.07	0.17	0.07	-0.27	-0.01
8:00	-0.18	-0.04	-0.21	0.04	-0.20	0.10	-0.18	0.10	-0.21	0.10	-0.07	-0.05
9:00	-0.21	-0.01	-0.09	-0.21	-0.23	0.15	-0.21	0.12	-0.01	-0.19	-0.05	-0.16
10:00	-0.13	-0.18	-0.06	-0.25	-0.08	-0.31	-0.02	-0.25	0.03	-0.20	-0.01	-0.10
11:00	-0.12	-0.27	-0.05	-0.32	0.01	-0.37	0.06	-0.31	0.08	-0.25	0.00	-0.18
12:00	-0.09	-0.62	-0.01	-0.60	0.04	-0.49	0.07	-0.33	0.07	-0.24	-0.01	-0.14
13:00	0.07	-0.70	0.11	-0.50	0.06	-0.35	0.11	-0.23	0.10	-0.19	0.06	-0.18
14:00	0.16	-0.19	0.20	-0.20	0.17	-0.27	0.14	-0.24	0.14	-0.12	0.14	-0.12
15:00	0.16	-0.10	0.12	-0.11	0.14	-0.15	0.21	-0.12	0.18	-0.09	0.09	-0.08
16:00	0.12	-0.06	0.15	-0.07	0.13	-0.10	0.17	-0.10	0.21	-0.15	0.13	-0.16
17:00	0.18	-0.04	0.14	-0.10	0.20	-0.09	0.16	-0.14	0.29	-0.09	0.29	-0.08
18:00	0.23	-0.12	0.17	-0.10	0.20	-0.14	0.36	-0.10	0.14	-0.10	0.09	-0.12
19:00	0.27	-0.13	0.30	-0.08	0.11	-0.12	0.15	-0.09	—	—	—	—
20:00	0.16	-0.10	0.10	-0.10	—	—	—	—	—	—	—	—
ave.	0.15	0.17	0.14	0.17	0.12	0.18	0.14	0.14	0.12	0.12	0.08	0.09

의 평균 오차는 0.20° 이하로 이는 무시할 수 있을 만큼 미미 하며 태양추적장치에 영향을 끼치지 않는 수치이다.

태양의 일출일몰시간은 2009년 한 해 동안의 값을 계

산하였고 계산된 일출일몰시간은 Naval Observatory의 데이터와 비교하였다. Table 3은 2009년도의 월별 일출·일몰시간의 오차를 보여주고 있다. 시간은 초 단위까지 비교를 하였으며 월별 평균 오차는 일출시

**Table 3.** 2009년도 월별 일출 및 일몰시간 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

간의 경우 16초 이내, 일몰시간의 경우 37초 이내로 이 수치는 태양 추적에 영향을 끼치지 못한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 태양에너지의 이용 효율을 증가시키기 위하여 LabVIEW를 사용하여 임베디드 태양추적장치 개발에 대해 연구를 수행하였다. 기존의 Visual C, ANSI C를 비롯한 C 계열과 Visual Basic을 사용하지 않고 그래픽기반 언어인 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍을 수행하였다. 또한, 개발된 태양추적장치는 천문학적인 방법과 광학적인 방법을 통합하였으며 CompactRIO시스템을 사용하여 외부의 제어를 필요로 하지 않고 자동으로 작동한다. 태양 고도 및 방위각, 일출일몰시간을 계산하여 미국 Naval Observatory의 자료와 비교 하였으며 고성능 부품들을 사용하여 태양추적장치를 제작하였다. 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 1일

의 평균 오차는  $0.20^\circ$  이하로 태양추적에 영향을 미치지 않는다.

- (2) 2009년도 한 해 동안의 일출일몰시간을 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 임베디드 태양추적 장치는 데이터 처리속도가 우수하며 사용자가 손쉽게 프로그래밍 및 수정할 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.

## 사 사

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

## 참고문헌

1. Clifford M.J, Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker, Solar Energy. Elsevier 2004;77;269-280.
2. Duffie JA, Beckman WA. Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley 2006;13.
3. Newsolartracker, SolarEnergyMaterials&SolarCells. Elsevier, 1998;51;113-120.
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, 2007;32;2053-2068.
5. Naval Oceanography Portal(<http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/data-services>).
6. Aviation Formulary V1.44 by ED Williams(<http://wolliams.best.vwh.net/avform.htm>).
7. National Instruments(<http://www.ni.com>).