

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 18, No. 3, 1998

PTC용 태양 추적 장치의 개발

박영철*, 곽희열**, 강용혁**

* 서울산업대학교 제어계측공학과

** 한국에너지기술연구소

A Development of Sun Tracking Control System for Parabolic Trough Concentrator

Y. C. Park*, H. Y. Kwak**, Y. H. Kang**

* *Seoul National University of Technology*

** *Korea Institute of Energy Research*

요 약

PTC용 태양추적장치는 최대 집열을 위하여 PTC를 항상 태양광이 입사되는 방향으로 일치시키기 위한 자동제어시스템이다. 본 연구는 마이크로프로세서를 사용하는 PTC용 1축 태양추적장치의 개발에 관한 것이다. 개발된 태양추적장치는 태양 위치를 판별하는 태양 센서와 DC 모터 위치제어기로 구성되어 있으며, 80c196KC를 사용하는 제어장치는 아날로그 입력 장치, 24V DC 서보모터제어기, 디지털 I/O로 구성되어 있다. 태양센서는 photodiode를 사용하여 제작되었으며, 태양센서의 법선 방향으로부터 $\pm 50^\circ$ 이내에 위치하는 태양을 감지할 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서 개발된 태양추적장치는 현재 한국에너지기술연구소에 설치되어 있는 PTC에서 사용되고 있으며, 태양추적 정확도에 관한 연구가 현재 진행되고 있다.

Abstract

A sun tracking controller for PTC(parabolic trough concentrator) is a control system used to orient the concentrator toward the sun always, so that the maximum energy can be collected.

The work presented here is a design and development of microprocessor based sun tracking control system for PTC. Sun tracking control system consists of a sun sensor and a single axis tracking control system. 80c196KC based control system consists of an analog input unit, 24V DC servomotor drive unit, I/O unit. Sun sensor has been constructed using photodiode and can detect the sun located within $\pm 50^\circ$ measured from the sun sensor normal direction.

The sun tracking system developed is being implemented and shows a good sun tracking performance.

1. 서 론

중고온 태양열 활용시스템에서 사용되는 태양열 집열기는 태양추적장치에 의한 지속적인 태양추적을 수행한다. 이는 중고온 태양열 활용시스템은, 저밀도 에너지원인 태양열을 고밀도화하기 위하여 집광식 집열기를 사용하며, 집광식 집열기의 효율은 집열기의 태양추적 여부 및 성능에 따라 크게 달라지기 때문이다. 태양열 집열기를 태양광선의 입사방향으로 일치시키기 위한 태양추적시스템은 다양한 형태를 취하고 있으며, 일반적으로 추적신호의 생성방식에 따라서, 자연형, 프로그램식, 센서식 및 혼합식 태양추적시스템으로 분류된다.

PTC는 포물선형 집광기에 의한 태양열 집광을 통하여 최대 약 300°C 까지의 고온을 얻을 수 있는 중고온태양열 활용시스템의 대표적 집광식 태양열 집열기로서, 일반적으로 동서 또는 남북으로 설정된 1축 태양추적장치에 의한 지속적인 태양추적을 수행한다.

본 연구는 센서식 PTC용 1축 태양추적장치의 개발에 관한 것이다. 외국의 경우, 중고온 태양열

활용시스템의 개발 및 상용화와 더불어, 태양추적 장치의 구조¹⁾, 추적방식에 따른 시스템 효율²⁾, 태양추적장치의 유무에 따른 출력 변화³⁾, SDK 마이크로컴퓨터를 이용한 자동추적장치의 개발⁴⁾, FET를 이용한 제어기 개발⁵⁾, clock 신호를 마이크로 프로세서의 입력으로 하는 태양추적장치⁶⁾, 태양 추적 센서의 개발⁷⁾ 등과 같은, 태양추적장치의 개발 및 실용화와 관련된 많은 연구 결과가 문헌에 보고되고 있다.

본 연구에서는 우선 태양의 유무 및 태양추적을 위한 태양센서를 개발하였다. 개발된 태양센서는, 광학적 특성이 우수하며, 주변환경변화에 대한 동작 및 신뢰성이 우수한 photodiode를 사용하여, 센서 법선 방향으로부터 $\pm 50^\circ$ 범위에 위치하는 태양을 감지할 수 있으며, 또한 입사되는 태양에너지의 양을 측정하여 추적 필요성을 판정한다.

또한 본 연구에서는, 80c196KC 마이크로프로세서를 사용하는 추적제어기를 개발하였다. 개발된 추적제어기는 태양위치신호입력 및 주변기기로부터의 신호 입력을 위한 아날로그 입력부, 24V DC 서보모터 구동부, 주변기기와의 interface를

위한 I/O부로 구성되어 있다.

개발된 PTC용 태양추적장치의 추적성능 검증을 위한 실험이 현재 진행되고 있으며, 추적정밀도를 향상시키기 위한 인공지능형 제어알고리즘 및 급격한 주변 환경의 변화로부터 시스템을 보호하기 위한 시스템보호기능의 개발이 진행되고 있다.

2. 태양 추적 장치

태양추적장치는 태양센서로부터의 입력 및 I/O 인터페이스를 통하여 들어오는 센서값을 마이크로 프로세서를 사용하여 연산한 후 모터를 제어하여 집열기가 태양을 추적하도록 한다. 본 연구에서 개발된 태양추적장치는 RS232를 통하여 컴퓨터와 데이터를 상호 교환할 수 있으며, 또한 제어기에 부착된 LCD 패널을 통해서 모터의 속도 등을 monitoring할 수 있도록 되어있다. 그림 1은 본 연구에서 개발된 제어기의 기본 구조를 나타낸 것이다.

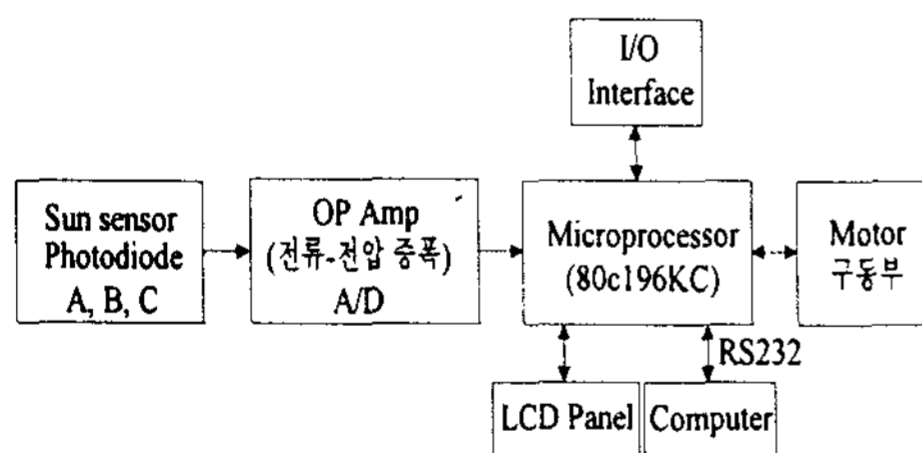
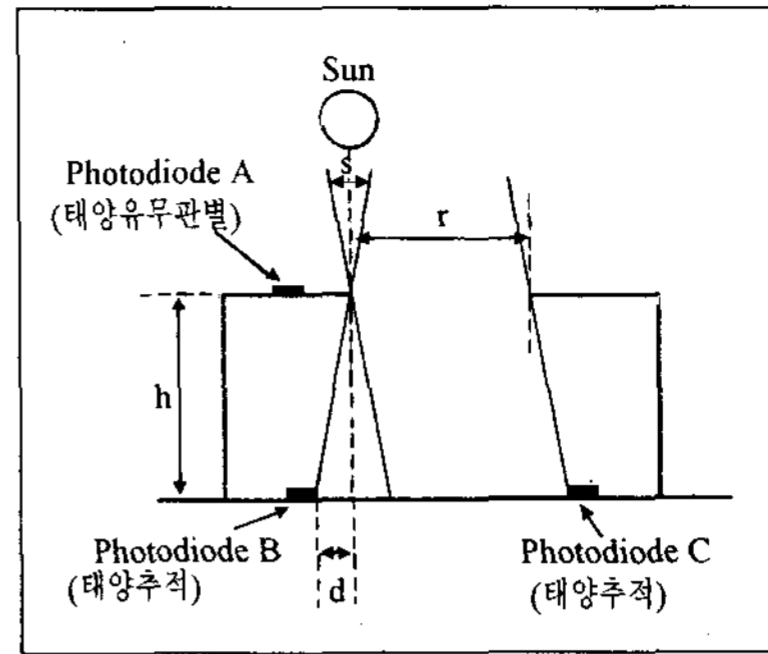


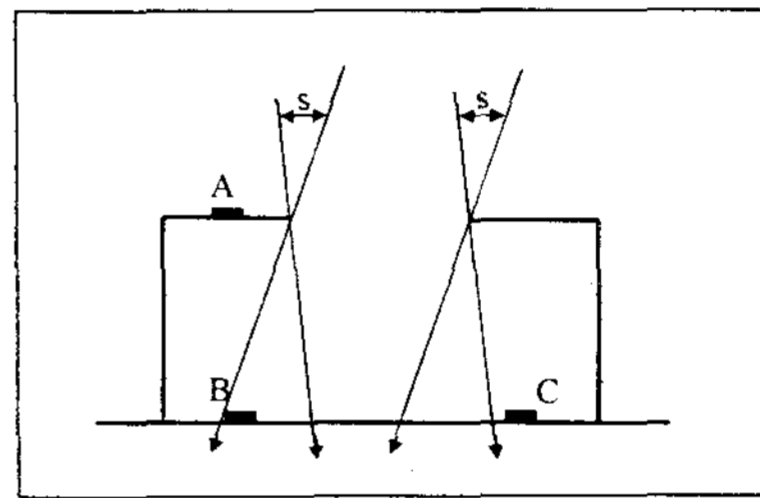
Fig. 1. Sun Tracking Control System Block Diagram

2.1 태양센서

태양센서는 3개의 photodiode를 사용하며, 그 역할에 따라서 크게 두 부분으로 나눈다. 첫 번째 photodiode는 태양유무판별을 위한 것이고, 나머지 두개는 실제 태양추적을 위한 것들이다. 태양유무판별 photodiode는 센서외부에 노출되어 있는 photodiode로서, 태양이 일시적으로 구름에 가



(a)



(b)

Fig. 2. Sun Sensor

려있거나 또는 흐린 날씨를 감지하여 시스템이 태양추적을 수행하여야 하는지 여부를 결정하도록 한다. 태양유무판별 photodiode에 입사되는 태양 빛의 세기(intensity)가 추적조건에 적합할 경우, 태양센서 housing 내부에 위치한 두 개의 태양추적용 photodiode를 이용하여 추적을 수행한다.

그림 2는 태양센서의 동작 구조를 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서와 같이 태양센서가 태양을 향하고 있을 때 태양광선은 태양센서의 법선 방향으로 입사되며, 이와 같은 경우 태양추적용 photodiode B와 C로부터 발생하는 전압은 같아지게 되고, 따라서 태양추적장치는 추적을 중지한다. 그러나 태양센서로 입사되는 태양광선이 그림 2(b)에서와 같이 센서의 법선 방향으로부터 경사각을 가지고 있으면, photodiode B로부터 발생하는 전압이 C로부터 발생하는 전압보다 크게되며, 이와 같은 경우 태양추적장치는 모터를 구동시켜 그림 2(a)의 상태와 같이 photodiode B와 C로부

터 발생하는 전압이 동일한 값을 가질 때까지 집 열기를 회전시켜 태양추적을 수행한다.

본 연구에서 사용된 태양센서는, 먼저 태양의 추적 가능각도를 $a = \pm 50^\circ$ 로 설정하고, 센서를 설계하기 위한 기준으로 센서의 높이를 $h = 30 \text{ mm}$ 로 하였다. 또한 본 연구에서 사용된 photodiode의 크기가 $p = 3 \text{ mm}$ 이다. 태양은 유한한 크기를 갖는 광원이며, 지구에서 관측된 태양의 지름은 $s = 0.53^\circ$ 에 해당되는 것으로 알려져 있다⁸⁾. 설정된 센서 높이 및 사용된 photodiode의 크기를 기준으로 하여 photodiode의 위치 d 및 센서 상부의 개방원지름 r 을 다음과 같은 계산식을 사용하여 결정하였다.

$$d = \tan(s/2) \times h \tag{1}$$

$$r = [\tan(a) \times h] - (p + d) \tag{2}$$

Photodiode는 입사되는 햇빛의 강도에 따라서 전압은 거의 변화가 없고, 전류량이 큰 차이로 변화를 한다. 태양을 추적하기 위해서는 큰 변화량을 갖고 있는 전류량을 이용하여야 하나, 전류값은 바로 이용할 수가 없으므로 전압으로 변화시킬 필요가 있다. 즉, 원하는 출력 전압을 얻기 위하여 전압-전류 차동증폭을 수행할 필요가 있다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 전류-전압 차동증폭기의 기본 구조를 표시한 것이다.

Photodiode로부터 발생하는 최대 전류량을 I 라고 하면, 원하는 최대 출력전압 V 는 다음 식에 의하여 계산된다.

$$V = I \times (R2/R1) \tag{3}$$

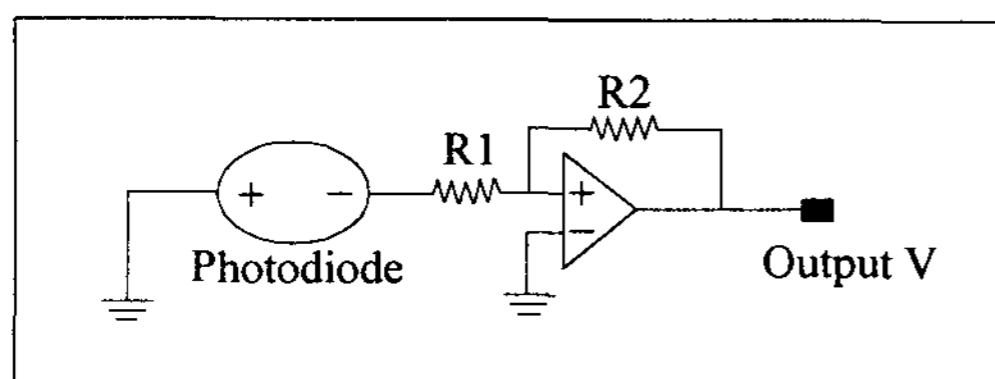


Fig. 3. Current-Voltage Conversion Circuit

저항 $R2/R1$ 값의 변화를 통해서 원하는 최대 출력전압을 조절할 수 있다. 전류량이 큰폭으로 변화하는 센서가 추적센서를 더욱 정밀하게 만들 수 있고, A/D를 8bit 이상으로 사용하는 것도 센서를 정밀하게 만들 수 있다. 그러나, 8bit 이상의 분해능을 갖는 A/D 또는 전류량의 변화폭이 큰 photodiode의 사용은 센서의 제작 비용을 증대시키기 때문에 적절한 소자의 선정이 필요하다. 본 연구에서 개발된 태양센서는 8bit의 A/D변환을 통하여 0-255의 변화를 가지고 추적을 수행하며, 실험을 통하여 본 연구에서 개발된 센서가 정확한 태양추적이 가능함을 보여주었다. A/D에 입력으로 들어갈 증폭된 데이터 값의 감도를 높이려면 여러번의 증폭을 해주면 가능하다. 그러나 본 연구에서는 한번의 증폭만을 수행한 후 필터링을 통한 노이즈 제거를 수행하였으며, 이는 여러번의 증폭으로 회로의 부피가 커지는 것에 비해서 효율 향상에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났기 때문이다.

2.2 추적 제어기

2.2.1 Hardware

80c196KC 마이크로 프로세서를 사용하는 추적 제어기는 크게 모터 구동부, A/D 변환부, LCD 표시부, key pad부, 방향 검출 및 펄스 counter부 및 user I/O 부로 구성되었다.

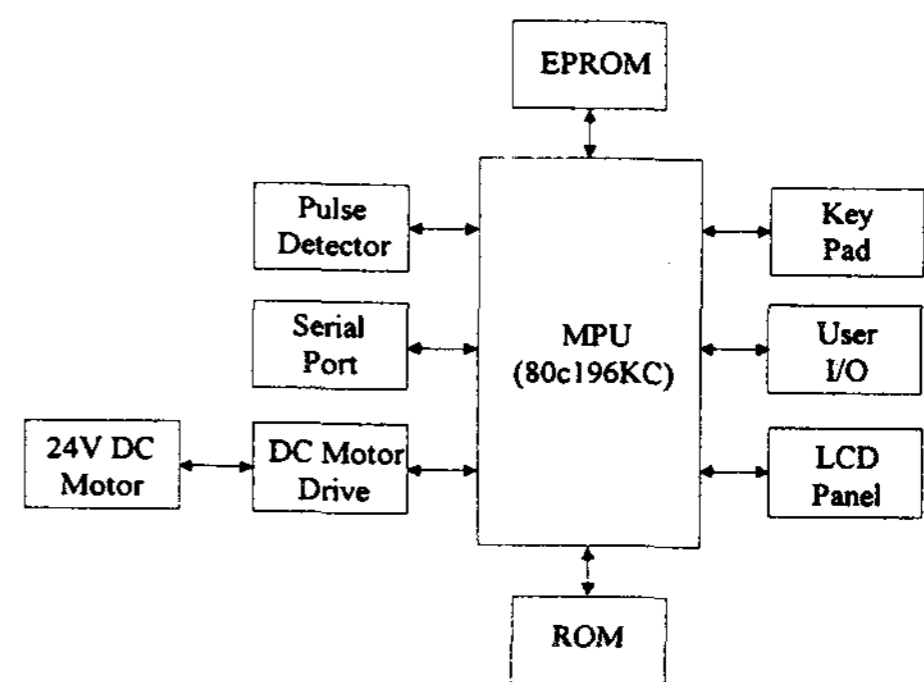


Fig. 4. Tracking Controller Block Diagram

그림 4는 추적제어기의 구조를 나타낸 것으로서, 모터 구동부는 80c196KC에서 지원되는 PWM port에서 duty ratio를 변화시켜서 모터 드라이브의 출력을 제어하여 모터의 속도를 제어한다.

전압으로 변경된 태양센서의 출력값은 80c196KC에서 지원되는 A/D를 사용하여 디지털 값으로 변환된다. 현재 사용되고 있는 태양센서의 photodiode의 수가 3개이고, 따라서 80c196KC에서 지원되는 8개의 A/D중 3채널만을 사용하고 있으며, 현재 사용되지 않은 5개의 A/D 채널은 확장형으로 사용될 수 있도록 하였고, 이는 향후 센서의 추적 감도를 높이기 위하여 photodiode의 수를 증가시킬 경우, 하드웨어의 변경없이 확장이 가능하도록 하기 위해서이다. 모터의 현재 속도, 설정 속도 등을 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 LCD 표시부를 두어서 monitoring이 가능하도록 하였으며, 이는 태양추적장치가 기동하는 동안 추적상태를 monitoring을 할 수 있는 기능이 필요하여 설치한 것이다. 시리얼 통신은 추적장치의 프로그램을 처음 loading 하거나 센서의 데이터 값을 모니터 할 수 있도록 하기 위하여 설치하였다.

모터를 구동하는 방법에는 두 가지 모드가 있으며, 태양센서에 의한 태양 위치의 자동 판별 후 시스템을 자동으로 구동시키는 자동모드가 있고, 사용자가 모터를 인위적으로 제어하기 위한 수동모드가 있으며, 수동모드에서의 모터구동은 키패드에 연결된 정역회전 버튼을 사용한다.

8bit user I/O port는 추적 기구물에 설치되어 있는 근접센서 또는 limit 센서의 입출력을 위하여 설치되었으며, pulse detector는 PWM신호가 원하던 값인가를 확인하기 위하여 설치하였다.

2.2.2 Software

태양추적을 위한 software는, 크게 자동모드 및 수동모드에서 요구되는 시스템 운전을 위한 software로 구성되어 있다.

수동모드에서의 시스템 운전을 위한 software는, 우선 정역회전을 위한 회전버튼의 입력상태를 관찰하고, 회전버튼이 눌러지면, 모터의 속도를 점차 증대시키면서 요구되는 방향으로 집열기를 회전시킨다. 정회전 또는 역회전 버튼을 계속 누르고 있으면, 집열기는 정지상태로부터 출발하여 모터의 최대속도까지 가속하며 회전을 계속하고, 버튼을 놓으면, 버튼이 놓아지는 순간에 모터가 가지고 있는 회전속도로부터 감속을 시작하여 정지상태에 도달된다.

자동모드에서의 시스템 운전을 위한 software는 태양센서로부터의 신호입력, 태양추적이 요구되는 경우의 모터구동 및 주변기기와의 통신을 위한 부분으로 구성되어 있다. 자동모드에서의 시스템 동작은, 우선 태양유무판별을 위한 photodiode로부터 입력된 값을 이용하여 태양추적 필요성을 판정하며, 태양추적이 요구되는 경우, 추적을 위한 두 개의 photodiode로부터 입력되는 값의 차를 계산하고, 차값에 비례하는 속도로 모터를 구동시킨다.

2.3 I/O interface

주변기기와의 인터페이스를 위한 I/O 입출력은, 마이크로프로세서가 근접센서 또는 limit 센서와 같은 센서들로부터 디지털신호를 입력 받거나, 또는 주변기기 구동을 위한 디지털신호를 출력시키기 위하여 설치된 부분이다. 마이크로프로세서는 5V신호를 사용하며, 외부에 설치된 주변 센서 또는 기기들의 입출력신호는 일반적으로 24V를 사용한다. 따라서 릴레이를 이용한 24V와 5V사이의 상호 변환이 필요하게 되며, I/O 입출력부는 이와 같은 변환을 담당하는 부분이다. I/O 입출력부는 또한 전류증폭회로를 포함하고 있으며, 이는 마이크로 프로세서에서 출력되는 신호나 외부 센서들로부터 입력되는 신호들의 전류가 일반적으로 수십 mA에 불과하고, 따라서 이들 신호는 전류 증폭을 통한 후에야 릴레이에 의한 24V와 5V사이의 상호 변환이 가능하기 때문이다.

3. 결 론

본 연구는 센서식 PTC용 1축 태양추적장치의 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 우선 태양 유무 및 태양위치 판별을 위한 태양센서를 개발하였다. 개발된 태양센서는 광학적 특성이 우수하며, 동작 신뢰성이 우수한 photodiode를 사용하였고, 센서 법선 방향으로부터 $\pm 50^\circ$ 범위에 위치하는 태양을 감지할 수 있고, 또한 입사되는 태양에너지의 양을 측정하여 추적의 필요성 유무를 판정할 수 있도록 설계되어 있다.

또한 본 연구에서는, 80196KC 마이크로프로세서를 사용하는 추적제어기를 개발하였다. 개발된 추적제어기는 태양위치신호를 입력으로 하여 모터속도제어가 가능하도록 설계되었다.

본 연구에서 개발된 태양추적장치는 구조가 간단하며, 호환성이 대단히 높아 다양한 형태의 태양추적장치로 활용될 것으로 기대된다. 개발된 태양추적장치는 PTC의 태양추적을 위하여 현재 사용되고 있으며, 추적장치의 추적정밀도검증을 위한 실험이 진행되고 있다.

참 고 문 헌

1. R. Zogbi and D. Laplaze, "Design and construction of a sun tracker", Solar Energy, Vol. 33, No. 3/4, pp.369~372. 1984
2. P. Baltas, M. Tortoreli and P.E. Russell, "Evaluation of power output for the fixed and step tracking photovoltaic arrays", Solar Energy, Vol. 37. No. 2, pp.147~163, 1986
3. D.M. Mosher, R.E. Boese and R. J. Soukupt, "The advantage of suntracking for planar silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 19, pp.91~97, 1977
4. A. Konar and A.K. Mandal, "Microprocessor based automatic sun tracker", IEE Proceedings-A, Vol. 138, No. 4, pp.237~241, 1991
5. W.A. Lynch and Z.M. Salameh, "Simple electro-optically controlled dual-axis sun tracker", Solar Energy Vol. 45. No. 2, pp.65~69, 1990
6. B. Koyuncu and K. Balasubramanian, "A microprocessor control automatic sun tracker", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 37, No. 4, pp.913~917, 1991
7. Sode-Shinni Nmada Rumala, "A shadow method for automatic tracking", Solar Energy Vol. 37, No. 3, pp.245~247, 1986
8. P.J. Hession and W.J. Bonwick, "Experience with a sun tracker system", Solar Energy Vol. 32. No. 1, pp.3~11, 1984

A Development of Sun Tracking Control System for Parabolic Trough Concentrator

Y. C. Park^{*}, H. Y. Kwak^{**}, Y. H. Kang^{**}

^{*} *Seoul National University of Technology*

^{**} *Korea Institute of Energy Research*

Abstract

A sun tracking controller for PTC(parabolic trough concentrator) is a control system used to orient the concentrator toward the sun always, so that the maximum energy can be collected.

The work presented here is a design and development of microprocessor based sun tracking control system for PTC. Sun tracking control system consists of a sun sensor and a single axis tracking control system. 80c196KC based control system consists of an analog input unit, 24V DC servomotor drive unit, I/O unit. Sun sensor has been constructed using photodiode and can detect the sun located within $\pm 50^\circ$ measured from the sun sensor normal direction.

The sun tracking system developed is being implemented and shows a good sun tracking performance.