

발전 효율향상을 위한 태양광추적 센서 및 제어기 개발

한기봉*, 한태희**, 이신원***, 한승우****

*중원대학교 에너지자원공학부(kbhan@jwu.ac.kr), **중원대학교 에너지자원공학부(hantaeh@jwu.ac.kr),
***중원대학교 컴퓨터시스템공학과(swlee@jwu.ac.kr),
****한국기계연구원 나노역학연구실(swshan@kimm.re.kr)

The development of solar tracking sensor and controller for improvement of generation efficiency

Han, Ki-bong* Han, Tae-hee** Lee, Shin-Won*** Han, Seung-woo****

*Department of Mechatronics Engineering, Jungwoo University(kbhan@jwu.ac.kr),
**Department of Materials Science & Engineering, Jungwoo University(hantaeh@jwu.ac.kr),
***Department of Computer system Engineering., Hankook University(swlee@jwu.ac.kr),
****Department of Nano Mechanics., Korea Institute Machinery & Materials(swshan@kimm.re.kr)

Abstract

The existing solar tracking sensor for 2 axial control system to trace latitude and longitude is made of four phototransistor. The phototransistor-making is difficult and it's manufacturing is more high-priced than a wide use phototransistor because they have to the same characteristics of each phototransistor output signal. This paper described the algorithm for supplement these weakness. The algorithm applied to signal normalizing method and vector decomposition law. The deviations of each a wide use phototransistor output signal are resolved by signal normalizing method and it is able to make a solar tracking sensor using three phototransistor by vector decomposition law.

Therefore, in this paper, it is reduced the number of phototransistor that is composed of solar tracking sensor and possible to use a wide use phototransistor by the proposed algorithm.

Key words : 태양광 추적센서(solar tracking sensor), 광트랜지스터(phototransistor), 신호정규화방법(signal normalizing method), 벡터 성분분리법(vector decomposition law)

1. 서 론

최근 화석연료인 석유, 석탄, 기타 에너지의

고갈 및 가격상승과 환경오염으로 인해 신재생 에너지인 태양광 발전에 대한 관심이 크게 부각되고 있는 실정이다. 태양광을 이용한

Submit date : 2012. 7. 12, Judgment date : 2012. 10. 28, Publication decide date : 2012. 12. 20
Communication author : Han, Seungwoo(swshan@kimm.re.kr)

발전시스템은 태양전지모듈, 태양광추적시스템, 전력변환 장치로 나눌 수 있다. 그 중 태양광추적시스템의 추적성능은 태양광이 태양전지표면에 조사되는 일사량에 직접적으로 영향을 줌으로써 동일한 태양 전지모듈일지라도 발전효율에 지대한 영향을 미친다. 태양광추적시스템에서 태양광추적 방식은 크게 프로그램방식과 센서방식 그리고 프로그램방식과 센서방식을 병행한 혼합방식으로 나눌 수 있다. 프로그램 방식은 지구와 태양간의 상호 물리적 작용에 따라 천문학에 정의된 운동법칙에 의해 지구의 특정위치에서 실시간으로 연산 또는 미리 연산된 태양의 위치데이터를 이용하여 태양의 위치를 추적한다[1][2]. 프로그램 방식은 정의된 프로그램에 따라 움직이기 때문에 날씨에 상관없이 태양이 위치를 추적할 수 있는 장점을 갖는 반면, 추적 장치의 기계적 오차 유무와 무관하게 작동함으로써 경우에 따라서는 기계적 오차를 동반하는 단점을 가질 뿐 만 아니라 추적 장치의 설치 시에 설치위치와 방위각을 정확하게 정의해야 하는 매우 어려운 문제점을 가지고 있다. 센서방식은 여러 개의 광센서를 추적 장치에 부착하여 각각의 광센서에 조사되는 광량을 비교하여 광량이 많은 방향으로 향하도록 태양을 추적한다. 추적 방식에는 1축 추적 방식과 2축 추적방식이 있다. 1축 방식은 태양의 일출에서 시작하여 일몰까지 연속적으로 추적한다[3][4][5]. 이는 일반적으로 광트랜지스터를 2개 이용하여 추적이 단순하고 가격이 저렴한 반면에 계절에 따른 태양의 고도 각이 바뀔 때 이를 추적할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 2축 방식은 4개의 광트랜지스터를 각각 서로 90도가 되도록 한 평면에 부착된 구조로 되어 있다. 이는 태양의 방위각과 고도 각을 동시에 추적한다[6][7]. 즉 일출에서 일몰까지, 봄, 여름, 가을, 겨울과 같이 4계절의 변화에 따른 태양의 방위각과 고도 각의 변화에도 불구하고 정밀하게 태양을 추적할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

이상에서와 같이 센서방식은 추적 장치의 위치와 방위각정보를 필요로 하지 않기 때문에 추적시스템설치 시에 매우 용이할 뿐 만 아니라 태양광 추적시스템의 기계적 오차를 동반하더라도 태양광을 추적하는 데는 크게 문제가 되지 않는 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 센서 추적방식은 다수의 광트랜지스터를 사용하기 때문에 태양을 정밀하게 추적하기 위해서는 이들 모두는 전기적 특성이 균일한 광트랜지스터를 사용해야 하는데 균일한 전기적 특성을 갖는 광트랜지스터를 제작하기 위해서는 고도의 생산기술이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 단점들을 해결하기 위해서 먼저 광트랜지스터에서 출력되는 각각의 전기적 특성 신호 값들을 정규화(normalizing)함으로써 각각의 광트랜지스터들의 전기신호에 대한 오차 값들을 극복하였고, 또한 태양광 추적오차를 계산하는 알고리즘을 제안함으로써 기존에 4개의 광트랜지스터를 이용하여 태양광 위치추적센서를 구현했던 방식을 3개의 광트랜지스터만으로도 태양의 위치추적을 할 수 있는 태양광 추적센서 및 태양광 추적제어기를 구현할 수 있었다. 이를 2 자유도를 갖는 태양광추적 메커니즘에 적용하여 성능을 검증하였다.

2. 태양광 위치추적 센서 및 제어시스템

2.1 태양광 위치추적센서의 기하학적 원리

Fig. 1은 기존의 태양광 추적센서의 개략도를 나타낸다. 보드 중앙에 빛이 통과 되지 않는 정사각형의 기둥이 부착되어 있고, 정사각형 아래 면 각각의 모서리 중앙부에 광트랜지스터를 Fig. 1과 같이 부착하였다. 여기서 광트랜지스터에서 출력되는 전기 신호는 태양광의 일사량에 비례한다. 태양이 정사각형 기둥의 중심 위치에 있을 때는 각각의 광트랜지스터에 조사되는 일사량은 같기 때문에 출력되는 전기신호의 크기도 각각 모두 같다. 태양이 정사각형 기

등중심을 벗어날 때는 각각의 광트랜지스터에 조사되는 일사량은 다르기 때문에 전기적신호 역시 다르게 발생된다. 이 4개의 광트랜지스터에 발생되는 전기신호를 다음과 같이 조합해서 태양의 위치를 파악하게 된다.

식(1), 식(2)에서 $a_1(t)$, $a_2(t)$, $b_1(t)$, $b_2(t)$ 는 각각 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호를 나타내고, $e_x(t)$, $e_y(t)$ 는 각각 좌우(x), 상하(y)방향의 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호의 차를 나타낸다. 여기서 추적오차의 정밀도를 높이기위해서 각각의 광트랜지스터는 동일한 출력이 필요하다. 본 논문에서는 이를 해결하기위해서 다음과 같이 각각의 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호의 크기를 정규화(normalizing)하였다. 일정 크기의 일사량에서 4개의 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호의 값들을 A_1 , A_2 , B_1 , B_2 라 하면 정규화 된 각각의 전기신호를 이용하여 태양광 추적오차를 나타내면 다음과 같다.

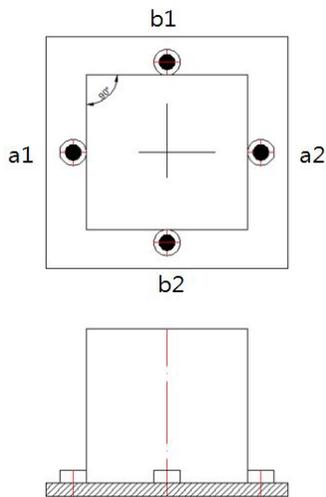


Fig. 1 The schematic of existing solar tracking sensor

$$e_x(t) = a_1(t) - a_2(t) \quad (1)$$

$$e_y(t) = b_1(t) - b_2(t) \quad (2)$$

$$e_x(t) = \frac{a_1(t)}{A_1} - \frac{a_2(t)}{A_2} \quad (3)$$

$$e_y(t) = \frac{b_1(t)}{B_1} - \frac{b_2(t)}{B_2} \quad (4)$$

식(4)에서 $e_x(t)$, $e_y(t)$ 는 각각의 좌우(x), 상하(y)방향의 광트랜지스터에서 출력되는 정규화 된 신호의 차를 나타낸다.

Fig. 2는 본 연구에서 제안한 태양광추적 센서의 개략 도를 나타낸다. 보드 중앙에 빛이 통과 되지 않는 정삼각형의 기둥이 부착되어 있고, 정삼각형 아래 면 각각의 3개의 모서리 중앙부에 광트랜지스터가 Fig. 2와 같이 부착되어 있다. 여기서 광 추적센서에 적용된 태양광추적 오차를 구하는 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다. 정삼각기둥에서 면의 방향을 의미하는 각각의 단위벡터를 U_a , U_b , U_c 라 하면, 셋방향의 단위벡터의 합은 0이다.

$$\sum U = U_a + U_b + U_c = 0 \quad (5)$$

이때 각각의 광트랜지스터에서 출력되는 각각의 전기신호의 값들과 각각의 면의 방향을 나타내는 방향벡터를 곱하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{a}(t) &= a(t) U_a, \\ \bar{b}(t) &= b(t) U_b, \quad \bar{c}(t) = c(t) U_c \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $a(t)$, $b(t)$, $c(t)$ 는 각각의 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호의 크기를 나타낸다. 만약 태양이 정삼각형 기둥의 중심에 위치한다고 가정하면 다음식이 성립한다.

$$\bar{a}(t) + \bar{b}(t) + \bar{c}(t) = 0 \quad (7)$$

식 (7)이 성립하기 위해서는 여기에 부착된

3개의 광트랜지스터 출력단의 전기적특성이 같아야하는데, 전기적 특성이 똑같이 제작하기란 매우 어렵다. 이를 해결하기위해서 앞에서 언급했던 방식을 적용하여 식 (7)을 정규화(normalizing)하면 다음과 같다.

$$\bar{e}(t) = \frac{\bar{a}(t)}{A} + \frac{\bar{b}(t)}{B} + \frac{\bar{c}(t)}{C} = 0 \quad (8)$$

식(8)에서 $\bar{e}(t)$ 는 오차 벡터이고, A, B, C 는 각각의 광트랜지스터 일사량이 동일한 조건에서 출력되는 전기신호의 크기를 나타낸다. 다음 태양이 정삼각형 기둥중심을 벗어날 때는 각각의 광트랜지스터에 조사되는 일사량은 다르기 때문 전기신호 역시 다르게 발생된다. 이때 식 (8)은 다음과 같다.

$$\bar{e}(t) = \frac{\bar{a}(t)}{A} + \frac{\bar{b}(t)}{B} + \frac{\bar{c}(t)}{C} \neq 0 \quad (9)$$

여기서 오차 벡터 $\bar{e}(t)$ 을 x방향의 오차 $e_x(t)$ 성분과 y방향의 오차 $e_y(t)$ 성분으로 나타내면 다음과 같다.

$$e_x(t) = -\frac{a(t)}{A} \sin 60 + \frac{b(t)}{B} \sin 60 \quad (10)$$

$$e_y(t) = \frac{a(t)}{A} \cos 60 + \frac{b(t)}{B} \cos 60 - \frac{c(t)}{C} \quad (11)$$

여기서 $e_x(t), e_y(t)$ 는 태양의 위치가 정 삼각기둥에서 x방향과 y방향에서 벗어난 정도를 나타낸다.

2.2 태양광 위치추적제어기

Fig. 3은 태양광 추적제어시스템을 나타낸다. 여기서 $\bar{e}(t)$ 는 식(9)에서와 같이 태양이 정 삼각기둥의 중심에서 벗어난 정도를 나타내고, $\bar{e}_0(t)$ 는 제어시스템에서의 오차신호이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{e}_0(t) = 0 - \bar{e}(t) \quad (12)$$

식(12)에서 오차신호 $\bar{e}_0(t)$ 을 x방향과 y방향으로 나누어 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$e_{0x}(t) = -e_x(t) \quad (13)$$

$$e_{0y}(t) = -e_y(t) \quad (14)$$

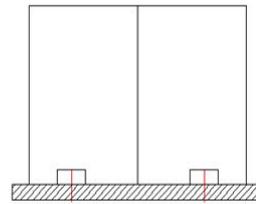
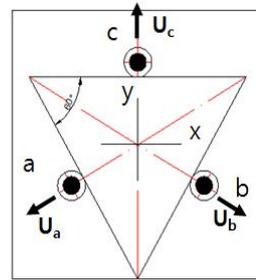


Fig. 2 The schematic of proposed solar tracking sensor

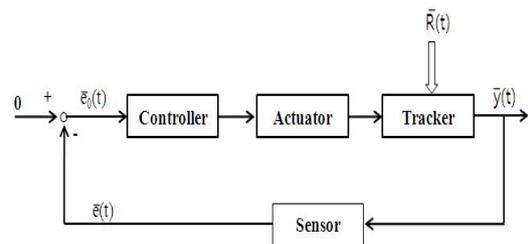


Fig. 3 Solar tracking control system

또한, $\bar{R}(t), \bar{y}(t), \bar{u}(t)$ 는 각각 태양의 위치 벡터, 트래커 상판과 태양과의 수직정도에 대한 실제 오차 및 제어기의 제어신호 값을 나타낸다. 태양과 트래커의 상판이 수직이면 $\bar{y}(t)$ 는 0이다.

본 연구에서는 태양이 0.1도 움직이는데 약 30초가 걸리는 것을 고려하여 먼저 x 방향을 제어한 다음 순차적으로 y 방향을 제어하였다. 따라서 제어신호 값 $\bar{u}(t)$ 는 x방향성분의 제어신호 값 $u_x(t)$ 과 y방향 성분의 제어신호 값 $u_y(t)$ 로 구성되어 있는데 이들은 서로 독립된 식으로써 각각 다음과 같이 구해진다.

$$u_x(t) = -K_{Px}e_x(t) - K_{Dx}\dot{e}_x(t) - K_{Ix}\int e_x(t) dt \quad (15)$$

$$u_y(t) = -K_{Py}e_y(t) - K_{Dy}\dot{e}_y(t) - K_{Iy}\int e_y(t) dt \quad (16)$$

식(15)에서 K_{Px} , K_{Dx} , K_{Ix} 는 각각 x 방향의 비례이득 (proportional gain), 미분이득(derivative gain), 적분이득(integral gain)이고, K_{Py} , K_{Dy} , K_{Iy} 는 y 방향의 비례, 미분, 적분이득을 나타낸다. 본 연구에서는 비례, 미분, 적분 이득을 시행착오방법으로 구한결과

K_{Px} , K_{Py} 는 각각 0.5이고, 나머지 이득들은 0으로 선정하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 제안한 태양광 추적 센서를 나타낸다. PCB(printed circuit board) 상에 사진과 같이 정 삼각형 각각의 변 중심 위치에 광트랜지스터를 부착하였고, 광트랜지스터 중심에 정 삼각기둥을 세웠다. Fig. 5는 태양광 추적제어 시스템과 모터드라이브가 장착된 PCB기판을 보여준다. 여기서 CPU는 microchips사의 16bit 고성능 마이컴 (모델명: dsPIC33FJ256GP510)을 사용하였으며, 시스템 clock은 외부에 연결된 20MHz XTAL과 내부 PLL을 선택 사용할 수 있도록 하였다.

또한 2개의 motor를 독립적으로 구동할 수 있도록 설계 되었으며, 모터 드라이버로 ST사의 VNH3ASP30-E이 사용되었다.

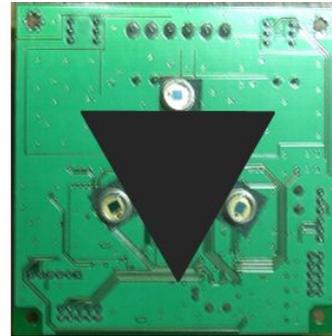


Fig. 4 Solar tracking sensor

센서에서 검출된 신호는 CPU로 입력되고, CPU로 입력된 센서 신호는 제안된 태양광 추적오차를 계산하는 알고리즘과 제어기에 의해 각각의 x방향과 y방향의 제어신호 $u_x(t)$ 와 $u_y(t)$ 가 출력되고, 출력된 제어신호에 따라 CPU에서 PWM파형의 Duty Rate를 만들어 내고, 이 신호는 모터드라이브에서 전기에너지의 크기를 조절하여 모터를 구동시킨다.



Fig. 5 Solar tracking control board

3. 결과 및 고찰

Fig. 6은 본 연구에서 제안한 태양광추적 센서와 제어기의 성능을 검증하기 위해서 제작된 2 자유도를 갖는 태양광 트래커를 나타낸다. 2개의 관절, 2개의 링크 그리고 2개의 선형 구동기(Linear Actuator)로 구성되어 있고, 트래커 상판에 태양광 추적센서가 수직으로 부착되어있다.



Fig. 6 The solar tracker with two degree of freedom

태양광을 추적하기 위해서 하부에 있는 선형 구동기에 부착된 모터1($24V_{max}$, 2.5A)을 먼저 작동시켜 태양의 고도각을 추적한 다음 상부에 있는 구동기에 부착된 모터2($24V_{max}$, 2.5A)를 작동시켜 방위각을 제어한다.

본 연구에서는 태양광 추적센서의 성능을 평가하기 위해 기존 추적센서와 제안된 추적센서의 위치를 다음과 같은 조건에서 실험을 하였다.

Fig. 7은 기존 추적센서와 제안된 추적센서의 위치를 각각 나타낸다. Fig. 7(a)에서 태양광 추적센서의 초기 위치는 a1과 a3 광트랜지스터는 양지쪽 위치하고, a2, a4 광트랜지스터는 음지쪽 위치에 놓여있다. Fig. 7 (b)에서 태양광 추적센서의 초기 위치는 a광트랜지스터는 양지이고, b광트랜지스터는 반 양지이며, c 광트랜지스터는 음지인 위치에 놓여 있다.

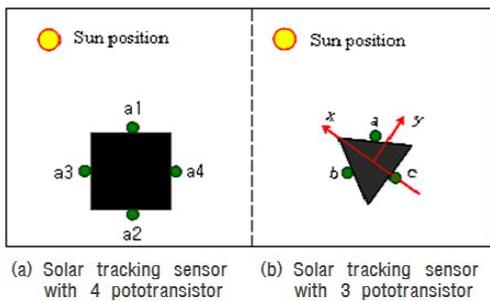


Fig.7 The position of sun for solar tracking sensor

Fig. 8은 광트랜지스터 4개로 구성된 태양광 추적센서의 정규화 된 출력신호를 나타낸다. 제어기구성 상 먼저 a1 광트랜지스터와 a2 광트랜지스터의 전기신호에 따라 선형구동기에 부착된 모터 1번이 제어되고, 다음은 a3, a4광트랜지스터의 전기신호에 따라 순차적으로 선형구동기에 부착된 모터 2번이 제어됨을 알 수 있다.

여기서 0~10sec까지는 a1광트랜지스터에서 발생하는 전기신호는 0.4에서 0.98까지 상승하다가 10sec 이후에 1에 수렴함을 알 수 있고, a3광트랜지스터의 전기신호는 0.32에서 0.98까지 증가하다가 그 이후에 1에 수렴함을 알 수 있다. 반면 0~10sec전까지는 a2광트랜지스터의 전기신호 값은 0.08을 유지하다가 10sec를 지나면서 급격하게 증가한 후 약 11.5sec를 지나면서 최대치인 1에 수렴함을 알 수 있다. a4 광트랜지스터의 전기적신호는 0~12sec 전까지는 전기적 신호 값이 0.05를 유지하다가 그 이후에 급격하게 증가하여 약 17.3sec 후에 두 신호의 값이 최대치인 1에 수렴함을 알 수 있다. 이는 태양이 정사각형 기둥의 상부 면과 수직임을 나타낸다.

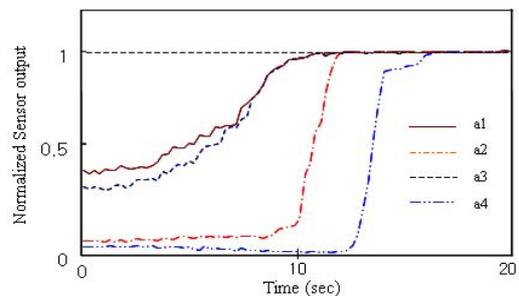


Fig.8 The normalized output of 4 photocell in solar tracking sensor

Fig. 9는 광트랜지스터에서 출력된 전기신호를 식(3), 식(4)을 이용하여 연산된 각각의 x방향과 y방향의 정규화 된 오차신호를 나타낸다. 먼저 x방향의 오차신호를 살펴보면 다음과 같다. 10sec까지는 오차신호가 증가하

다가 그 이후에 급격히 감소하여 약 11.5sec 이후 ± 0.015 에 수렴함을 알 수 있다. 이는 태양광 추적센서의 기하학적인 특성상 a1 광트랜지스터는 정삼각형기둥의 상부 면이 태양과 수직이 될 때 까지 태양광의 일사량이 증가하는 반면에 음지쪽에 있는 a2 광트랜지스터는 정삼각형기둥의 상부 면이 태양과 수직이 되기 전까지는 태양광이 조사되지 않는 구조로 되었기 때문이다. y 방향의 오차신호를 살펴보면 x방향의 오차신호와 유사한 특성을 가진다. 즉 12sec까지는 오차신호가 증가하다가 그 이후에 급격히 감소하여 17.3sec 이후에 ± 0.014 에 수렴함을 알 수 있다.

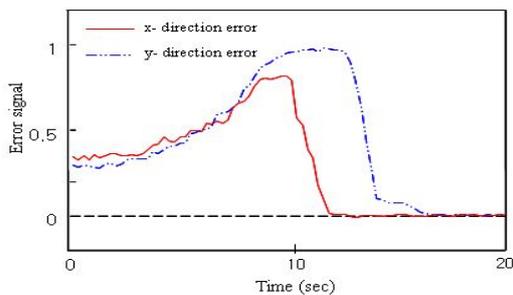


Fig. 9 The normalized error signals of x-direction and y-direction with 4 phototransistor

Fig. 10은 광트랜지스터 3개로 구성된 태양광 추적센서의 정규화 된 출력신호를 나타낸다. 제어기 구성 상 먼저 x 방향의 오차신호에 의해 선형구동기에 부착된 모터 1번이 제어되고, 다음은 y방향의 오차신호에 의해 선형 구동기에 부착된 모터 2번이 제어됨을 알 수 있다. 0~10sec사이의 구간에서 a, b광트랜지스터신호 값은 각각 0.4, 0.1에서 시작하여 0.95, 0.92까지 증가하고, 그 이후에 0.99에 수렴함을 알 수 있다. 이에 반해 c 광트랜지스터는 약 13sec까지는 음지상태이다가 13sec 이후에는 태양과 정삼각형기둥 상부 면은 수직임과 동시에 태양광이 c 광트랜지스터에 수직으로 조사됨으로써 전기적신호가 1에 수렴됨을 알 수 있다.

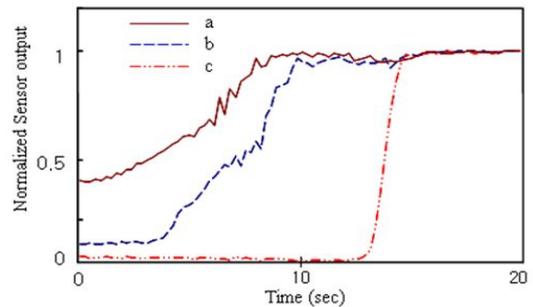


Fig. 10 The normalized output of 3 phototransistor in solar tracking sensor

Fig. 11은 광트랜지스터에서 출력된 전기신호를 식(10), 식(11)을 이용하여 연산된 각각의 x방향과 y방향의 정규화 된 오차신호를 나타낸다. 먼저 x방향의 오차신호를 살펴보면 다음과 같다. 8sec까지는 오차신호가 증가하다가 그 이후에 급격히 감소하여 약 14sec 이후 각각 ± 0.016 에 수렴함을 알 수 있다. 이는 태양광 추적센서의 기하학적인 특성상 a, b 광트랜지스터는 정삼각형기둥의 상부 면이 태양과 수직이 될 때 까지 태양광의 일사량이 증가하는 반면에 음지쪽에 있는 c광트랜지스터는 정삼각형기둥의 상부 면이 태양과 수직이 되기 전까지는 태양광이 조사되지 않는 구조로 되었기 때문이다. y 방향의 오차신호 역시 x방향의 오차신호와 유사한 특성을 가진다. 8sec까지는 오차신호가 증가하다가 그 이후에 서서히 감소하다가 14sec 이후 급격히 감속하여 ± 0.017 에 수렴한다.

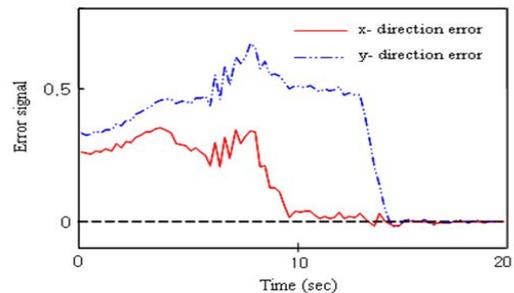


Fig. 11 The normalized error signals of x-direction and y-direction with 3 phototransistor

이상에서와 같이 서로 다른 각각의 전기적 특성을 갖는 상용화된 광트랜지스터를 이용하여 광 추적 센서를 구현하였다. 먼저 기존 4개의 광트랜지스터를 이용한 방법에 광트랜지스터의 출력신호를 정규 화하여 각각의 광트랜지스터의 갖는 오차를 극복하였고, 이를 본 연구에서 제안한 3개의 광트랜지스터를 이용한 방법과 추적성능과 추적오차신호 값을 비교한 결과 기존의 4개의 광트랜지스터 방법으로 구현된 태양광 추적센서와 성능이 유사함을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 태양광 추적센서를 구현하는데 있어서 상용화된 일반 광트랜지스터를 이용하는 방법을 제시하였다. 즉 광트랜지스터에서 출력되는 전기신호가 각 각 상대적인 값이 다르기 때문에 정규화 함으로써 서로 각각의 광트랜지스터에서 출력되는 상대오차를 해결하였고, 또한 기존의 광트랜지스터 4개를 이용하여 광 추적센서를 구현하는 대신에 광트랜지스터 3개만을 사용하여 태양광 추적 센서 및 이를 활용하여 제어하는 방법을 제시하였다. 이를 검증하기 위해서 2자유도를 갖는 태양광 트랙커를 제작하여 성능을 비교한 결과 추종성능이 유사함을 확인하였다.

따라서 태양광 추적센서를 제작할 때 특수 제작된 광트랜지스터를 이용하는 대신에 상용화된 광트랜지스터를 활용함으로써 구입이 용이하고, 가격이 저렴해 질 수 있다. 또한 3개의 광트랜지스터만으로 구현 가능함으로 광 추적센서를 제작하는데 이 방법이 유용하게 사용될 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원

을 받아 수행한 신재생에너지기술개발사업 연구 과제입니다.

References

1. Ki-Tae Park, Jung-Sik Choi, Dong-Hwa Chung, "A Novel PV tracking System Control Considering the power Loss with change of Insolation", Journal of Korean institute of Illuminating Engineers, Vol. 22, No.6, pp. 89-99, 2008.
2. Jung-sik Choi, Jae-Sub Ko, Dong-Hwa Chung, "Efficiency Analysis of PV Tracking System with PSA Algorithm ", Journal of Korean institute of Illuminating Engineers, Vol. 23, No.10, pp. 36-44, October, 2009.
3. V. Poulk, M. Libra, "New solar tracker, " Solar Energy Materials & Solar Cells, vol 51, pp. 113-120, 1998.
4. V. Poulk, M. Libra, "A very simple solar tracker for space and terrestrial applications," Solar Energy Materials & Solar Cells, vol 60, pp. 99-103, 2000.
5. M. J. Clifford, D. Eastwood, "Design of a novel passive solar tracker," Solar Energy, vol. 77, pp. 269-280, 2004.
6. Singthong Pattanasethanon, "The Solar Tracking System by Using Digital Solar Position Sensor," American J. of Engineering and Applied Sciences, vol. 3, no. 4, pp. 678-682, 2010.
7. F.R. Rubio, M.G. Ortega, F. Gordillo, M. Lopez-Martinez, "Application of new control strategy for sun tracking," Energy Conversion and Management, vol. 48, pp. 2174-2184, 2007.