

디지털 向太陽 制御裝置를 위한 Sun Sensor 設計 및 制御 알고리즘 構成

(The Design of Sun Sensor and the Construction of Control Algorithm for Digital Sun Seeker Control System)

朴 振 陽*, 高 明 三**

(Jin Yang PARK and Myoung Sam KO)

要 約

本 論文에서는 太陽을 正確하게 向하기 위한 디지털 向太陽 制御裝置(Digital sun seeker control system)에 對하여 方位角과 高度角의 偏差를 感知할 수 있는 sun sensor의 設計와 디지털 制御 가능한 制御 알고리즘 構成에 關하여 實驗을 通해 考察 하였다.

여기서 sun sensor의 設計上 特徵은 3個의 正方形 실리콘 太陽電池를 使用하여 sensor box를 構成 하고 solar cell 크기와 똑같은 window 뒤에 非 對稱形인 "L"字型으로 設計하였다는 점이다. 이렇게 하므로서 인터페이스 回路와 制御 알고리즘을 簡略化시킬 수 있었다.

또한 制御 알고리즘은 太陽을 찾는 過程(SCAN mode)과 太陽을 向하는 過程(SEEK mode)으로 構成되고, 太陽의 光量이 季節의 또는 時間적으로 變化되거나 시스템 周邊에 雜音光源이 있더라도 프로그램 修正 없이 시스템을 制御 可能하게 하였다.

그리고 本 實驗에서 方位角과 高度角의 分解能은 각각 0.25도와 0.51도이고, 分解能의 誤差는 14% (0.03度) 以內이다.

Abstract

In this paper, it was studied on the design of a sun sensor which is able to sense the declinations of an azimuth angle and a zenith angle for a digital sun seeker control system so that it will seek the sun accurately. And, it was considered the construction of digital controllable algorithms through experiments.

Peculiar design method of the sun sensor is that sensor box was constructed with three square silicon solar cells and that the three cells were mounted unsymmetrical forming the "L" type behind a square window of equal size with a cell. With that method we could simplify the interface circuit and control algorithms.

The control algorithm consists mainly of the SCAN mode and SEEK mode, it was able to operate the system for all that it was changed an intensity of sun light seasonally or timely. Although a light source of a noise exists around the system, we were able to control the system without change the programs.

The resolutions of the azimuth angle and zenith angle is 0.25 degree and 0.51 degree each other. The error of resolutions are less than 14 % (0.03deg.).

I. 序 論

太陽에너지 活用 및 宇宙飛行體의 姿勢를 制御하기 위하여 sun sensor에 對한 研究는 여러가지 方法¹⁾으로 發展되어 가고 있다. 이러한 sun sensor의 設計方法에는 크게 나누어 아날로그 方法과 디지털 方法으로 볼 수 있는데 이들의 共通點은 受光소자

*正會員, 檀國大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Dankook Univ.)

**正會員, 서울大學校 制御計測工學科

(Dept. of Control & Instrumentation Eng., Seoul Nat'l Univ.)

接受日字: 1987年 2月 12日

들을 sensor로 사용하고 있고, 어떤 目的物의 姿勢 (attitude) 또는 位置 (position)를 制御하는데 使用된다.

Sun sensor 設計方法에 對하여 例를 들면,

- (1) 구형 silicon photovoltaic cell을 使用한 閉鎖形 (closed pattern) sun sensor.¹²⁾
- (2) Photo 트랜지스터를 使用한 開放形 (open pattern) sun sensor.¹¹⁾
- (3) Silicon photovoltaic cell을 使用한 Gray-code形 디지털 sun sensor.¹³⁾

등을 들 수 있다.

本 論文에서는 (1)項에서 提示한 아나로그의 1次元 方法을 2次元의 디지털制御에 適用하기 위하여 sun sensor 構造를 設計하여 sun sensor 特性을 實驗하고 向太陽 制御裝置를 디지털 制御하기 위한 制御알고리즘에 對하여 考察하고저 한다.

II. 디지털 向太陽 制御裝置의 構成과 解析

太陽에너지 活用을 위한 디지털 向太陽 制御裝置의 構成은 그림 1과 같다. 여기서 sun sensor box의 基本要素는 그림 2에서 보인 바와 같이 圓筒形 暗상자에 正方形 window設置와 그 内部에 window 크기와 똑같은 3개의 실리콘 solar cell이다. 이 cell들은 方位角과 高度角의 偏差를 識別하기 위한 것으로서 상자 内部에 "L"字形으로 構成하여 sun sensor가 太陽을 正面으로 向할때 cell 各各의 同一面積에 太陽光線이 비추도록 設計되어 있다.

Sun sensor로 使用된 실리콘 solar cell은 電流源으로 作用하고 이들에서 發生된 偏差電流 信號는 電壓으로 變換 增幅되어 MUX(multiplexer)를 거쳐 A/D 變환기에 인가된다. 여기서 變換된 디지털 信號는 디지털 制御器로 使用한 Z-80A 마이크로 프로세서의 데이터 port로 並列連結되어 偏差信號들이 比較된다. 比較된 偏差信號量에 따라 단일펄스를 發生하여 Z-80A PIO(parallel input output)의 B port를 通해 스텝모터를 歐動하며 減速기어에 의해서 動力이 傳達되므로 向太陽 制御裝置의 運轉이 시작된다. 이러한 過程은 繼續

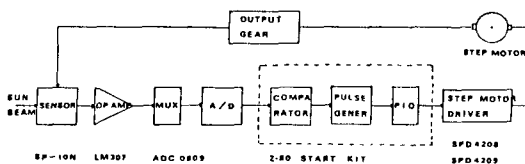


그림 1. 디지털 向太陽 制御裝置의 構成圖
Fig. 1. Block Diagram of Digital Sun Seeker Control System.

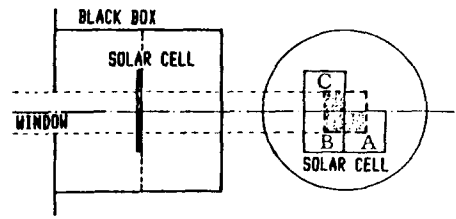


그림 2. Sun Sensor Box의 斷面圖
Fig. 2. A Cross-Section of Sun Sensor Box.

的으로 反復되며 太陽光線과 sun sensor 方向이 一致되었을때 단일펄스 發生은 中斷되어 스텝모터 動作은 멈추게 되고 太陽이 移動함에 따라 太陽을 向하여 能動的으로 動作하는 制御裝置이다.

III. Sun Sensor의 理論 및 設計

1. 太陽 좌표계

太陽座標 解析에 있어서, 地球에서 太陽까지의 距離를 一定하다고 假定하면 그림 3에서와 같은 太陽좌표계에서 方位角A와 高度角Z 만으로 모든 方向의 決定이 滿足될 수 있다.¹⁴⁾ 여기서 좌표계의 中心은 本 시스템의 sun sensor의 中心이고, 方位角과 高度角의 基準軸은 正南軸과 垂直軸이다. 그리고 太陽軸(sun sensor 中心에서 太陽을 잇는 線)은 基準軸에 對하여 方位角A와 高度角Z를 이루며 seeker軸(sun sensor가 向하고 있는 方向軸)은 基準軸에 對하여 各各A'와 Z'를 이룬다.

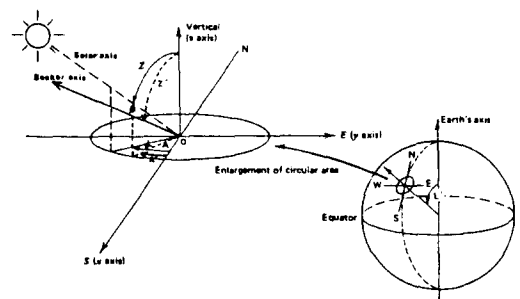


그림 3. 太陽 좌표계(方位角 A와 高度角 Z)
Fig. 3. Local Solar Coordinates (The azimuth angle "A" and Zenith angle "Z").

本 시스템의 目的은 A와 A' 사이의 方位角偏差 α 와 Z와 Z' 사이의 高度角偏差 β 를 거의 영(zero)으로 유지하는 것이다. 즉,

$$\alpha = \| A - A' \| = 0 \tag{1}$$

$$\beta = \|Z - Z'\| = 0 \quad (2)$$

이다.

2. Sun Sensor의 理論

다음 展開되는 方程式들은 sun sensor로 使用한 실리콘 solar cell에 太陽光線이 비추는 面積에 따라 發生되는 電流는 線型的으로 比例한다는 假定과 太陽光線은 平行光線이라는 假定 下에서 成立된다. 또한 Si solar cell의 발생전류는 태양광의 조도에 따라서도 비례하게 된다. 따라서 sun sensor가 太陽光線과 完全히 一致될 때 $\alpha = 0, \beta = 0$ 이고 solar cell A, B, C에서 發生되는 電流 I_a, I_b, I_c 는 모두 같게 된다. 그리고 window를 通過한 太陽光線이 하나의 solar cell에 最大로 照査되었을때 그 solar cell에서 發生하는 電流를 $2I$ 라고 하면, α, β 가 모두 영(zero)일때 各各의 solar cell에서 發生하는 電流는 $I/2$ 가 된다. 즉 $I_a = I_b = I_c = I/2$ 이다.

또한 그림 4에 나타난 바와같이 太陽光線과 sun sensor 사이의 幾何學的인 關係로부터 다음 關係式을 敍할 수 있다.

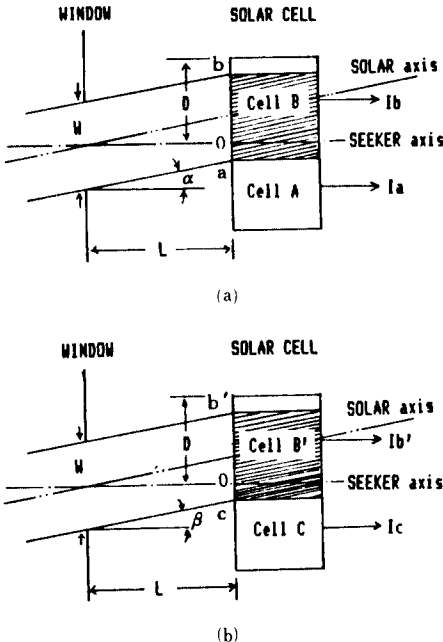


그림 4. 偏差식별기의 擴大圖
Fig. 4. Magnification of Error Discriminator.

關係式에서 使用되는 文字들은 다음과 같이 定義한다.

D ; Solar cell의 폭

W ; Window의 폭

L ; Window와 solar cell사이의 距離

α ; Seeker軸과 太陽軸이 이루는 方位角偏差

β ; Seeker軸과 太陽軸이 이루는 高度角偏差

I_a ; 方位角偏差 α 에 對하여 solar cell A로부터 發生되는 電流

I_b ; 方位角偏差 α 에 對하여 solar cell B로부터 發生되는 電流

I_b' ; 高度角偏差 β 에 對하여 solar cell B로부터 發生되는 電流

I_c ; 高度角偏差 β 에 對하여 solar cell C로부터 發生되는 電流

O_a ; 方位角偏差 α 에 對하여 solar cell A에 비추는 光線의 폭

O_b ; 方位角偏差 α 에 對하여 solar cell B에 비추는 光線의 폭

b' ; 高度角偏差 β 에 對하여 solar cell B에 비추는 光線의 폭

O_c ; 高度角偏差 β 에 對하여 solar cell C에 비추는 光線의 폭

方位角偏差 α 를 解析하기 위하여 그림4(a)를 보면, $W < D$ 일때 $\tan \alpha$ 에 對한 區間別 $O_b - O_a$ 의 關係式은 다음과 같다.

(i) $0 \leq \tan \alpha \leq W/2L$ 일때

$$O_a = W/2 - L \tan \alpha$$

$$O_b = W/2 + L \tan \alpha$$

$$O_b - O_a = 2L \tan \alpha \quad (3)$$

(ii) $W/2L < \tan \alpha \leq (D - W/2)/L$ 일때

$$O_a = 0$$

$$O_b = W$$

$$O_b - O_a = W \quad (4)$$

(iii) $(D - W/2)/L < \tan \alpha \leq (D + W/2)/L$ 일때

$$O_a = 0$$

$$O_b = W - L \tan \alpha$$

$$O_b - O_a = W - L \tan \alpha \quad (5)$$

(iv) $\tan \alpha < (D + W/2)/L$ 이면 光線은 solar cell A, B에서 完全히 벗어나므로

$$O_b = O_a = 0 \quad (6)$$

(v) $-(W/2L) \leq \tan \alpha < 0$ 일때

$$O_b - O_a = -2L \tan \alpha \quad (7)$$

(vi) $-(D - W/2)/L \leq \tan \alpha < -(W/2L)$ 일때

$$O_b - O_a = -W \quad (8)$$

(vii) $-(D + W/2)/L \leq \tan \alpha < -(D - W/2)/L$ 일때

$$O_b - O_a = -W + L \tan \alpha \quad (9)$$

(viii) $\tan \alpha \leq -(D + W/2)/L$ 이면

$$O_b = O_a = 0 \quad (10)$$

이상과 같은 關係式의 特性을 구간별로 나타내면 그림 5와 같은 trapezoidal波 形態의 그래프특성이 나타난다. 그런데 本 論文에서는 $\|Ob - Oa\| = W$ 인 구간의 特性은 必要치 않으므로 window크기와 solar cell 크기를 같게하여 $W = D$ 의 形態로 設計하였다. 또한 $W > D$ 인 경우도 생각할 수 있는데, 이 경우는 빛의 回折 現象으로 인하여 window를 通過한 光의 分布는 gaussian pulse 形態로 나타나기 때문에 精密한 sensing을 할 수 없게 된다. 따라서 適合하지 않다.

$W = D$ 일 때의 關係式은 式(3)~式(10)중에서 式(4)와 式(8)을 뺀 나머지 구간만 생각하면 된다. 그리고 III. 2.節에서 假定한 바에 의하면 電流 I_a 는 O_a 에 比例하고, I_b 는 O_b 에 比例하므로 式(3), (5), (6), (7), (9), (10)의 左邊은 O_a 대신에 I_a 를, O_b 대신에 I_b 로 置換되고, 따라서 右邊은 $W = D$ 인 條件이므로 W 대신에 D 로 置換하고 solar cell폭(D)에 光線이 最大로 照査되었을 때 發生되는 電流를 $2I$ 라고 하였으므로 式(3), (5), (6), (7), (9), (10)의 右邊에 $2I/D$ 를 곱하면 $I_b - I_a$ 特性은 $\tan \alpha$ 에 對하여 구간별로 線型的인 6個의 方程式이 成立한다. 즉,

- (i) $0 \leq \tan \alpha \leq D/2L$ 일때
 - $I_a = I - (2LI/D) \tan \alpha$
 - $I_b = I + (2LI/D) \tan \alpha$
 - $I_b - I_a = (4LI/D) \tan \alpha$ (11)
- (ii) $D/2L < \tan \alpha \leq 3D/2L$ 일때
 - $I_a = 0$
 - $I_b = 2I - (2LI/D) \tan \alpha$
 - $I_b - I_a = 2I - (2LI/D) \tan \alpha$ (12)
- (iii) $\tan \alpha \geq 3D/2L$ 일때는
 - $I_a = I_b = 0$ (13)
- (iv) $-(D/2L) \leq \tan \alpha < 0$ 일때
 - $I_b - I_a = -(4LI/D) \tan \alpha$ (14)
- (v) $-(3D/2L) < \tan \alpha \leq -(D/2L)$ 일때
 - $I_b - I_a = -2I + (2LI/D) \tan \alpha$ (15)
- (vi) $\tan \alpha \leq -(3D/2L)$ 이면
 - $I_a = I_b = 0$ (16)

이상과 같은 方程式의 特性들은 全體구간으로 보았을 때 그림 6(a)와 같은 三角波形態의 非線型特性이 나타난다.

여기서 작은 각 α 에 대하여 $\tan \alpha$ 는 傾斜표상의 α 로 概算할 수 있다.

마찬가지 方法으로 그림 4(b)에서 高度角偏差인 β 를 解析하면 式(11)~式(16)의 左邊은 $I_b - I_a$ 대신에 $I_b' - I_c$ 로 置換하고 右邊은 window와 solar cell은 같은 크기의 正方形이기 때문에 式(11)~式(16)과 같게 된다. 따라서 $I_b' - I_c$ 는 $\tan \beta$ 에 대하여 구간별로 다음과 같이

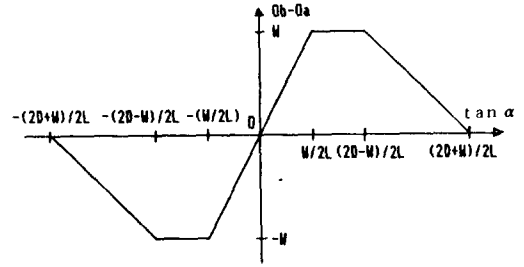
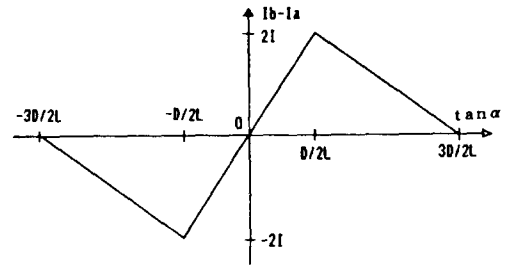
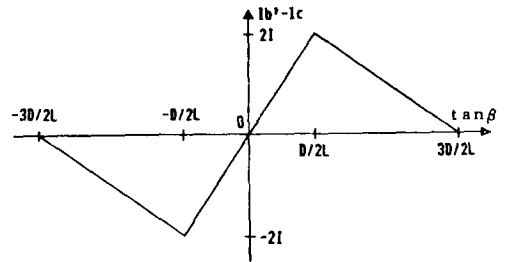


그림 5. $W < D$ 일때 偏差식별기의 非線型 特性
Fig. 5. Nonlinear Characteristic of the Error Discriminator. ($W < D$)



(a) 方位角 偏差식별기의 경우



(b) 高度角 偏差식별기의 경우

그림 6. $W = D$ 일때 偏差식별기의 非線型 特性
Fig. 6. Nonlinear Characteristic of the Error Discriminator. ($W = D$)

表示된다.

- (i) $0 \leq \tan \beta \leq D/2L$ 일때
 - $I_b' - I_c = (4LI/D) \tan \beta$ (17)
- (ii) $D/2L < \tan \beta \leq 3D/2L$ 일때
 - $I_b' - I_c = 2I - (2LI/D) \tan \beta$ (18)
- (iii) $\tan \beta \geq 3D/2L$ 일때
 - $I_b' - I_c = 0$ (19)
- (iv) $-D/2L \leq \tan \beta < 0$ 일때
 - $I_b' - I_c = -(4LI/D) \tan \beta$ (20)
- (v) $-3D/2L \leq \tan \beta < -D/2L$ 일때
 - $I_b' - I_c = -2I + (2LI/D) \tan \beta$ (21)

(vi) $\tan\beta \leq -3D/2L$ 일때

$$Ib' - Ic = 0 \quad (22)$$

$\tan\beta$ 에 대한 $Ib' - Ic$ 의 特性은 그림 6(b)에 보인 바와 같이 $Ib - Ia$ 의 特性과 同一한 特性을 나타내고 있다.

3. Sun Sensor의 設計

Sun Sensor設計에 對한 것은 이미 그림 2에서 보인 構成圖에서 언급된바 있지만 具體的으로 說明하면 圓筒型 암상자의 一面에 正方形 window를 設置하고 그 内部에 正方形 실리콘 solar cell 3個를 非對稱形인 "L"字形으로 設計하였다. 여기서 window 크기와 solar cell의 크기는 한변의 길이가 10.1mm인 正方形으로 同一하고, L길이는 46mm로 하였다. 그런데 여기서 重要한 것은 L의 길이 變化에 따라 sensor가 感知할 수 있는 偏差角의 範圍가 決定된다. 이때 L의 길이가 길어지면 理論上의 角範圍는 좁아져서 精密한 sensing이 可能한 것같이 보이지만 實際로는 빛의 回折現象의 폭이 크게 되므로 좋지 못하고 反對로 짧아지면 角範圍는 넓어지나 單位스텝 回轉角에 對한 solar cell 各各의 偏差電流는 相對的으로 작아지게 되므로 角變位에 對한 sensing 감도는 떨어진다.

IV. 制御 알고리즘 構成

本 論文에서는 디지털 向太陽 制御裝置를 디지털 制御하기 위하여 다음과 같은 6 단계 알고리즘을 構成하였다. 여기서 몇가지 用語를 定義하면,

SCAN Mode; 最初에 sensor가 太陽光을 찾기위해 動作하는 Mode.

SEEK Mode; sensor가 太陽을 向하는 動作 Mode
Min. V. ; SCAN Mode에서 SEEK Mode로 轉換될 수 있는 電壓의 最小값

SCAN Count; SCAN Mode 動作을 할 수 있는 最大 時間

ΔE ; 스텝모터의 1step에 對한 sensor의 變位값

CW ; 時計 方向 (clock wise)

CCW; 反時計 方向 (counter clock wise)

이다.

[단계 I] 3個의 各 sensor값을 Min. V.와 서로 比較하여 그 값이 Min. V. 보다 작을 境遇에는 SCAN Mode로 設定하여 스텝모터의 1step 回轉角을 1.8度로 하고 回轉方向은 時計方向(CW)으로 方位角은 2π , 高度角은 $\pi/2$ 를 週期로 회전할 수 있도록 SCAN Count를 設定하고 單一펄스 出力을 1:4比率로 出力하여 SCAN Count동안 反復한뒤 回轉方向을 反時計方向(CCW)으로 하여 往復回轉할 수 있도록 다시

한번 反復하다 停止한다.

[단계 II] SCAN Mode過程에서 sensor에 太陽光이 照査되어 3個의 sensor값 中에 어느 하나라도 Min. V. 보다 크게되면 SCAN을 헤아리던 SCAN Count는 原狀復歸 되고 SEEK Mode로 轉換된다.

[단계 III] SEEK Mode로 轉換되면 1step 回轉角은 0.9度로 設定하고 制御器는 方位角 sensor를 比較하여 그 結果에 따라 定해진 方向으로 스텝모터가 1스텝씩 動作하도록 單一펄스 出力(X-Pulse Out)을 命令하고 스텝모터 動作時間만큼의 時間遲延을 시킨다음 다시 sensor값을 읽어 比較過程을 反復하다 같으면, 高度角 sensor를 比較하여 같은 과정을 反復한다.

[단계 IV] [단계 III]의 比較하는 過程에서 各 sensor의 差異값이 영(zero)이면 單一펄스 出力을 停止하지만 1스텝변위값(ΔE) 範圍內에 到達하면 모터는 適定된 位置를 찾지못하고 發振現象을 招來하므로 1/2스텝변위값($\Delta E/2$)을 特定 sensor값에 加.減하여 그 範圍內에 있게되면 停止하게 된다.

[단계 V] 停止된 狀態에서 太陽이 移動함에 따라 各 sensor의 값은 差異가 生길것이고 1/2 스텝 변위값 以上의 差異가 生기면 모터를 다시 1스텝 動作하도록 制御器는 命令하고 太陽光이 사라지지 않는한, 太陽을 向하여 能動的으로 作動한다.

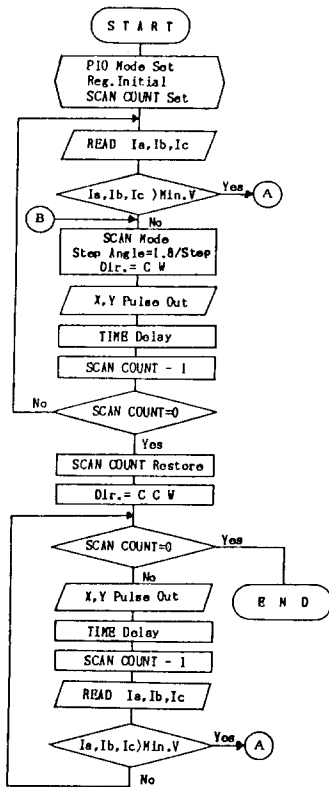
[단계 VI] SEEK Mode實行中에 太陽이 사라지거나 障礙物에 의해 빛의 光度가 낮아져서 Min. V. 以下이면 SCAN Mode로 轉換되어 [단계 I]을 수행한다. 이때 Min. V. 以下인 狀態가 一時的일 때는 다시 SEEK Mode로 復歸되어 [단계 II] 以下를 反復 수행할 것이고 永續의 일때는 [단계 I]을 수행하고 停止하게 된다. 이상의 6 단계 알고리즘을 흐름도로 나타낸 것이 그림 7이다.

V. 實 驗

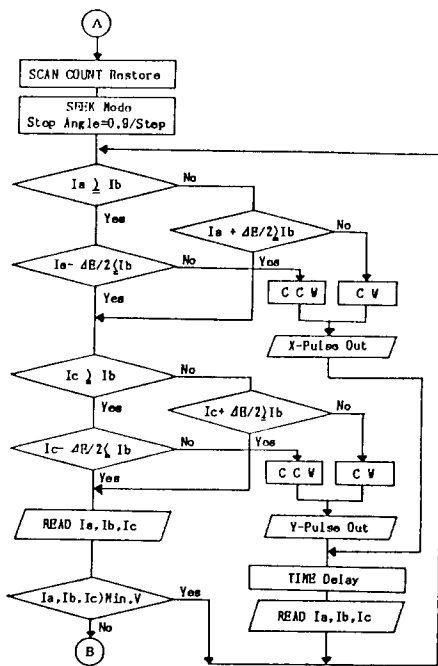
1. Sensor의 特性實驗

Sensor로 使用한 실리콘 太陽電池는 III장 2節에서 논한 바와같이 太陽光線이 비추는 面積에 따라 線型的으로 比例한다는 假定을 檢討하기 위하여 다음과 같은 實驗을 하였다.

먼저 一定光源(DC 28V/450W 할로겐 램프)을 一定 距離에 設置하고 sensor box의 window를 光源과 一



(a) SCAN Mode



(b) SEEK Mode

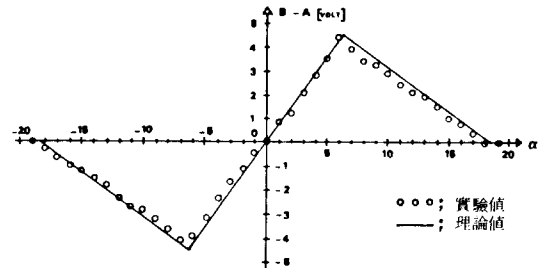
그림 7. 시스템 制御 흐름도
Fig. 7. Flow Chart of the System Control.

直線으로 固定한 狀態에서 方位角 方向 및 高度角 方向을 따라 人爲的으로 單位角度마다 變化시키면서 sensor에서 發生되는 偏差電流을 增幅하여 디지털化된 데이터를 Z-80A 마이크로 프로세서에 의하여 16진 데이터로 測定하였다. 그 데이터를 그래프에 나타낸 것이 그림 8(a)와 그림 8(b)이다.

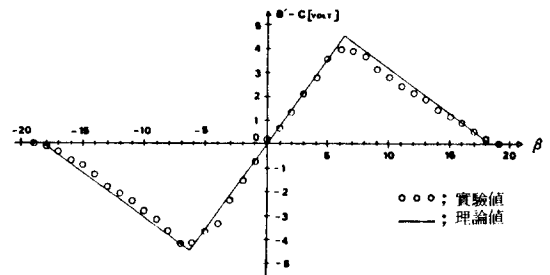
그리고 그래프에서 理論的인 特性曲線은 다음과 같은 方法으로 얻어진다. 즉, 各 sensor에서 發生되는 偏差電流의 絶對值가 最大인 $\tan \alpha$ 또는 $\tan \beta$ 값은 $\pm D/2L$ 이고, 最小인 값은 $\pm 3D/2L$ 이다. 따라서 偏差角 α, β 가 $+\tan^{-1} D/2L$ 인 ± 6.26 度에서 偏差電壓의 絶대치는 最大이고, $\pm \tan^{-1} 3D/2L$ 인 ± 18.23 度에서 最小가 된다.

2. 分解能 實驗

方位角과 高度角의 分解能 測定을 위하여 다음과 같은 實驗方法을 택하였다. 向太陽 制御裝置는 정상동작 狀態로 두고 sensor box의 window로부터 480cm 떨어진 곳에서 人工光源을 垂直, 水平으로 이동시킨 結果 方位角 方向으로 2.10cm, 高度角 方向으로 4.25cm 를 이동하였을때 1스텝 動作하는 것을 알 수 있었다. 그



(a)



(b)

그림 8. (a) 方位角 Sensor의 偏差電壓 特性
(b) 高度角 Sensor의 偏差電壓 特性
Fig. 8. (a) Declinational Voltage Characteristic of a Azimuth Angle.
(b) Declinational Voltage Characteristic of a Zenith Angle.

리고 理論值 分解能은 1 스텝 回轉角과 기어의 減速比를 곱한 값이 된다.

(1) 理論值

$$\begin{aligned} \text{方位角 分解能} &= 1 \text{ 스텝회전각} \times \text{기어감속비} \\ &= 0.9 \times 1/4 \approx 0.22\text{度} \end{aligned}$$

$$\text{高度角 分解能} = 0.9 \times 30/52 \approx 0.52\text{度}$$

(2) 實驗值

$$\begin{aligned} \text{方位角 分解能} &= \tan^{-1} (1 \text{ step 移動距離} / \text{window와光源까지거리}) \\ &= \tan^{-1} (2.10/480) \approx 0.25\text{度} \end{aligned}$$

$$\text{高度角 分解能} = \tan^{-1} (4.25/480) \approx 0.51\text{度}$$

(3) 分解能 誤差

$$\text{方位角 誤差}(\%) = (0.03/0.22) \times 100 \approx 13.6\%$$

$$\text{高度角 誤差}(\%) = (0.01/0.52) \times 100 \approx 1.9\%$$

VI. 結論 및 檢討

本 論文에서 sensor box의 設計上 特徵은 window 크기를 solar cell크기와 같게 하였고 solar cell 排列을 排對稱形인 "L"字形으로 設計하였다는 점이다. 그 理由는 window를 通過한 光線이 同時에 같은 面積을 비추는 경우 수, 즉 3個의 solar cell에서 出力되는各 電流가 같게 되려면 그림 2 와 같이 되거나, 또 하나는 모두를 비추지 않는 경우 수만 存在하므로 對稱形으로 하였을때와 同一效果를 갖게 된다. 이렇게 하므로서 인

터베이스 回路가 간단해지고 入力變數가 줄어들기 때문에 制御알고리즘 構成도 간단하게 된다. 또한 實驗을 通하여 sensor理論의 假定을 確認할 수 있었고, 太陽의 光量이 季節的, 時間的으로 變化되거나 시스템 주변에 雜音光源이 있더라도 soft-ware의 으로 正常動作이 可能한 알고리즘을 構成하였다.

實驗結果, 方位角과 高度角의 分解能은 各各 0.25度와 0.51度의 結果를 보였으며 分해능 오차는 14% 이 내이다.

參 考 文 獻

- [1] 정경일, 이순용, "太陽 에너지 活用을 위한 日 光追跡 制御裝置의 設計에 關한 研究," 崇田大學 校 論文集, 第10輯, pp. 83-84, 1980.
- [2] B.C. Kuo, *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp. 243-248, 1975.
- [3] K. Ninomiya, et al., "Development of sun sensor," *FUJITSU Scientific & Technical Journal*, pp. 147-156, Sep. 1976.
- [4] S. Wieder, "An introduction to solar energy for scientists and engineers", Wiley, N. Y., pp. 31-32, 1982.