

일시 단일항 전개에 의한 태양추적장치의 해석

俞 祥 纘 ** 安 斗 守 **
(한국동력자원연구소)* (성균관대학교)**

Analysis of Solar Tracking System Via Single Term Walsh Series Approach

(Sang-Jin, Yoo)** (Doo-Soo, Ahn)**
(K I E R)** (Sung Kyun Kwan University)**

ABSTRACT

The purpose of a solar tracking system (STS) is to control the attitude of a space vehicle so that it will track the sun with high accuracy. In this paper, the literature of tracking of the sun in a plane is surveyed and a control modeling for the analysis of STS is presented by simultaneous transfer functions and state-space equations. Also a program for obtaining state variables by the single term Walsh series(STWS) approach is developed. The proposed approach is much simpler in analysis and easier in implementation than the Runge-Kutta numerical integration method. The results of computer simulation are shown for the dynamic behaviors of vehicle axis, armature-controlled dc motor and controller of STS via a Runge-Kutta method and a single term Walsh series approach, respectively.

1. 서 론

태양열 발전플랜트는 그림1 과 같이 集光設備裝置에 의해 태양에너지를 集熱器에 집광하며, 집열기에서 집열된 열에너지는 발전설비장치에 의해 이용 가능한 전기에너지를 발전한다. 여기서 집광설비장치는 크게 태양에너지를 집열기에 投射하기 위한 反射板과 無太陽日이 아닌 태양일에 태양의 위치를 정확히 추적하여 집열기에 태양의 열에너지를 전달하는 추적장치로 구분한다. 일반적으로 태양열 발전에 이용되는 추적장치는 배치방식에 따라 대규모발전에 이용되는 집중형방식과 증류모듈이에서 이용되는 분산형방식으로 분류한다. 전자는 태양의 방위 및 고도를 동시에 추적하는 2축 구동의 점/선집광(point and line focus)방법을 주자는 태양의 방위에 따라 1축으로 추적하는 선집광 추적장치를 주로 사용하며, 태양의 방위는 태양의 동-서 운동을, 고도는 남-북운행을 칭한다. 최근의 제어분야는 태양열발전 분야에서도 상당히 이용되고 있으며, 특히 발전에 필요한 증기, 수탕, 전력량제어, 추적장치를 포함한 전설비의 자동

화에 필수적으로 적용되고 있다 [1][2][3].

한편 월시함수(Walsh), 블록펄스(Block pulse)함수 및 하알(Haar)함수등의 직교함수들은 1973년 Corrington에 의해 월시함수의 적분을 위한 연산 행렬이 도입된 이후 신호처리나 영상처리, 데이터 전송등의 분야와 시스템이론 및 제어이론분야에 널리 이용되기 시작했다. 시스템이론 및 제어이론 등에 직교함수가 널리 응용되고 있는 주요 특성으로 1)미분 방정식으로 표현된 시스템의 정보를 간단한 선형 대수 방정식으로 부터 얻을 수 있으며 2)특히 구형과 형태의 직교함수의 응용은 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 및 시스템 구성이 용이하다는 점이다. 여기서 직교함수중 월시함수는 주로 Paley 배열에 의한 월시함수와 순차배열에 의한 월시함수(Cal-Sai함수)이용이 주목을 이루었지만, 최근 행렬의 크로네커곱과 적분 연산행렬등이 필요없는 월시 단일항 전개(STWS: Single Term Walsh Series)에 의한 접근방식이 활발히 연구 추진되고 있는데 이는 연산속도가 단축되며, 이론해석도 간단하다[4][5].

그러므로 본 문은 월시 단일항전개에 의한 추적장치의 이론적 성능해석을 취급하기로 한다.

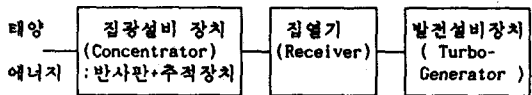


그림1. 태양열 발전플랜트 개념도

2. 추적장치의 수학적 모델링

국내에서 태양열을 이용하여 발전할 경우 집중형방식으로 결정 2축으로 구동하는 추적장치를 고려하여야 하지만, 2축 구동의 동작원리가 1축 구동방식과 같은 방법으로 구동되기 때문에 문제를 간단히 해결하며 넓은 각으로 구동하는 1축 방위각 구동 추적장치에 대해 모델링한다.

추적장치의 시스템 시뮬레이션과 해석을 위한 전체 구성도는 그림2 와 같으며, 태양을 감지하고 전류원을 발생하는 일사량감지기, 감지기의 미소전류원을 증폭하여 주는 연산 증폭기, 직류전동기를 구동하기 위한 제어기, 직류전동기의

위치를 결정하는 회전계, 軸-機器裝置를 구동하는 직류전 동기, 그리고 태양의 위치와 추적장치와의 위치를 결정하여 추적장치 본체를 움직이는 축-기기장치로 구성되어 있다.

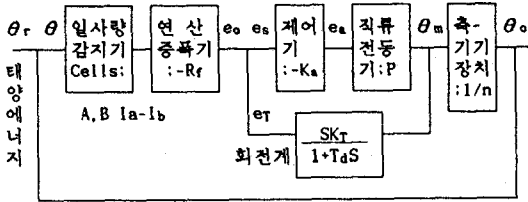


그림2. 태양 추적장치의 개념도

축-기기장치는 실제 태양의 위치, 즉 기준각인 θ_r 과 추적장치의 각도인 θ_0 와의 오차, θ 로 표시될 수 있으며, 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\theta = \theta_r - \theta_0 \quad \text{----- (1)}$$

일사량감지기는 1축으로 구동되므로 2개의 태양전지에 의해 전류원이 발생하는 작은 태양전지 A, B 로 구성되어 있다. 태양전지 A, B 면적에서 발생하는 미소 전류 I_a 와 I_b 가 $I_a = I_b = I$ 또는 $I_a - I_b = 0$ 일 경우

$$\theta = 0 \quad \text{----- (2)}$$

가 된다. 이 때는 실제 태양의 위치 θ_r 과 추적장치의 각도인 θ_0 가 일치하여 축-기기장치가 동작하지 않는다. 그러나 θ_r 과 θ_0 가 일치하지 않을 경우 $I_a - I_b$ 는 미소 전류가 발생하여 아래와 같은 식들이 유도 된다.

보통 연산증폭기에서 증폭비, A 가 10^6 정도로 상당히 큰값을 가지므로 A를 무한대로 가정하면 e_0 는 다음과 같다.

$$e_0 = -R_f (I_a - I_b) \quad \text{----- (3)}$$

그림에서 직류전동기 속도 제어용 제어기의 이득이 $-K_a$ 이므로 제어기의 출력, e_a 은 다음과 같다.

$$e_a = -K_a (e_0 + e_T) = -K_a e_s \quad \text{----- (4)}$$

회전계의 출력전압, e_T 는 전동기회전의 각속도 변위와 관계되어 회전계 출력은 $e_T = S K_T$ 로 유도되지만, 시스템 실제 구성시 지연시간이 존재하고 계산식解의 안정화를 위하여 지연시간, T_d 을 적용하였다. 이 경우 회전계의 상수를 K_T , 라하면 e_T 는 다음과 같이 표현된다.

$$e_T = SK_T / 1 + T_d S \quad \text{----- (5)}$$

추적장치의 출력각도, θ_0 와 전동기의 위치, θ_m 간에는 다음 식이 성립된다.

$$\theta_0 = 1/n \theta_m \quad \text{----- (6)}$$

이의 제어시스템 응용분야에서 상당히 이용되는 직류전동기는 용도에 적합하게 형태 및 용량을 선정할 수 있으며, 제어 또한 비교적 간단하다. 직류전동기는 직권, 분권 그리고 타여자방식으로 구분 할 수 있으며, 직권 및 분권방식은 타여자방식에 비하여 비선형특성을 가지므로 제어분야에서는 거의 이용하지 않는다. 타여자방식 직류전동기는 제어위치 방법에 따라 계자제어형 및 전기자제어형으로 구분되며, 전기자제어형 직류전동기의 관련식은 아래와 같다.

$$e_a = R_a i_a + e_b \quad \text{----- (7)}$$

$$e_b = K_b \omega_m \quad \text{----- (8)}$$

$$T_m = K_m i_a \quad \text{----- (9)}$$

$$T_m = J d\omega_m/dt + B\omega_m \quad \text{----- (10)}$$

여기서 T_m , K_m 은 전동기의 토크 및 이의 상수이며, J 와 B 는 전동기 축의 관성 및 점성 마찰계수이다. 식 (7)에서 전기자의 인덕턴스는 무시하였다.

3. 월쉬 단일항전계에 의한 시스템 접근

3.1월쉬함수의 해석

구간 $[0, 1]$ 에서 정의되는 월쉬함수는 적분 가능한 임의의 함수 $X(t)$ 를 구간 $[0, 1]$ 에서 월쉬함수로 유한급수 전개 될 수 있다.

$$X(t) = \sum_{n=0}^{m-1} X_n \phi_n(t) \quad \text{----- (11)}$$

X_n 은 n 번째 월쉬함수 ϕ_n 의 계수이다.

여기서 X_n 은 월쉬함수의 직교성을 이용하여 최소자승법에 의하여 결정할 수 있으며, 첫 식을 유한 급수전개의 근사식으로 표현하게 되면 오차 ϵ 가 다음과 같이 존재하며,

$$\epsilon = \int_0^T [X(t) - \sum_{n=0}^{m-1} X_n \phi_n(t)]^2 dt \quad \text{----- (12)}$$

이 오차식을 최소화하기 위해서 식(12)을 X_n 에 대하여 편미분한 값이 0 이 되어야 한다.

$$\partial \epsilon / \partial X_n = 0 \quad \text{----- (13)}$$

식(12)의 오차는 월쉬함수의 전개항수를 늘림에 따라 원함수 $X(t)$ 에 더욱 근접하게 되어 작아진다. 또한 월쉬함수의 직교성을 도입하면 계수 X_n 을 유도할 수 있다.

$$X_n = \int_0^T X(t) \phi_n(t) dt \quad \text{----- (14)}$$

식(11)에서 m 개의 월쉬함수로 표현된 함수 $X(t)$ 는 월쉬함수가 부분적으로 연속인 함수값으로 구성되기 때문에 부분적으로 연속인 형태로 표현된다. 적분을 위한 연산행렬은 미분방정식으로 표현된 시스템을 적분방정식으로 변환하고 직교함수를 도입할 때 적분방정식을 대수방정식으로 변환하게 해주는 연산자이다. 월쉬함수와 적분 연산행렬관계는 다음과 같다.

$$\int_0^T \phi(\tau) d\tau = P \phi(t) \quad \text{----- (15)}$$

$\phi(t)$ 는 월쉬함수 m 개로 구성된 벡터함수이며, P 는 월쉬함수의 적분 연산자로서 이의 일반식 $P_{(m \times m)}$ 은 아래와 같다.

$$P_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} 1/2 & -1/4 \\ 1/4 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{및} \quad P_{(1 \times 1)} = 1/2 \quad \text{---- (16)}$$

$$P_{(m \times m)} \approx \left[\begin{array}{c|c} & -1 \\ \hline P_{(m/2 \times m/2)} & \frac{-1}{2m} I_{(m/2 \times m/2)} \\ \hline \frac{1}{2m} I_{(m/2 \times m/2)} & 0_{(m/2 \times m/2)} \end{array} \right]$$

3.2 월쉬 단일항전개에 의한 상태방정식의 해

월쉬 함수 단일항 접근방식을 유한급수전개에 의한 월쉬 함수 접근식 정의구간 $t = [0, 1]$ 에서 m 개의 월쉬함수를 이용한 결과는 m 개의 부분적으로 연속인 이산값으로 나타나므로 이들 값은 각 세부구간에 대해 월쉬함수 단일항만을 이용하여 연속적으로 m 번의 수행에 의해 얻어진 결과와 같다고하는 원리이다. 다음의 일반적인 상태방정식에서 $\dot{X}(t) = A X(t) + B U(t), X(0) = X_0$ -----(17) $X(0)$ 는 초기 벡터이며, $X(t)$ 는 n 개의 상태벡터, $U(t)$ 는 l 개의 입력벡터이다. A 와 B 는 각각 $n \times n$ 의 시스템 행렬, $n \times l$ 의 상수행렬이 된다.

상기 방정식 (17)을 $t = \tau / m$ 로 스케일링하면 $\tau = [0, 1]$ 이면 $t = [0, 1/m]$ 이 되므로 $\tau = [0, 1]$ 에서 월쉬함수 단일항을 이용한 결과는 $t = [0, 1/m]$ 에서 월쉬 단일항 전개를 이용한 결과가 되어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{X}(\tau) = \frac{A(\tau)}{m} X(\tau) + \frac{B(\tau)}{m} U(\tau) \quad \text{----(18)}$$

$\tau = [0, 1]$ 에서 $\dot{X}(\tau)$ 와 $X(\tau)$ 그리고 $U(\tau)$ 를 월쉬함수의 단일항, 즉 $\phi_0(\tau)$ 만을 이용하여 전개하면 아래와 같으며,

$$\dot{X}(\tau) = S_1 \phi_0(\tau) \quad \text{---- (19)}$$

$$X(\tau) = X_1 \phi_0(\tau) \quad \text{---- (20)}$$

$$u(\tau) = U_1 \phi_0(\tau) \quad \text{---- (21)}$$

마찬가지로 $A(\tau)$ 와 $B(\tau)$ 도 다음과 같이 전개된다.

$$A(\tau) = A_1 \phi_0(\tau) \quad \text{---- (22)}$$

$$B(\tau) = B_1 \phi_0(\tau) \quad \text{---- (23)}$$

식 (19)의 양변에 적분을 취하면

$$X(\tau) - X(0) = S_1 \int_0^\tau \phi_0(\tau) d\tau \quad \text{----(24)}$$

이며, 식(16)의 적분연산자를 적용하면

$$X(\tau) - X(0) = 1/2 S_1 \phi_0(\tau) \quad \text{----(25)}$$

이며, 여기에 식(20)을 적용하여 양변의 $\phi_0(\tau)$ 를 소거하면

$$X_1 = 1/2 S_1 + X(0) \quad \text{----(26)}$$

이 된다. 위 식의 $1/2$ 은 단일항 전개시 적분 연산자이다. 또한 식(19)에서 $\dot{X}(\tau)$ 의 월쉬함수 단일항 전개시의 계수인 S_1 는 $\tau = [0, 1]$ 에서 $\phi_0(\tau)=1$ 이므로

$$S_1 = \int_0^1 \frac{d}{d\tau} X(\tau) \phi_0(\tau) d\tau = X(1) - X(0) \quad \text{---- (27)}$$

이 되어, 다음과 같은 식이 성립된다.

$$X(1) = S_1 + X(0) \quad \text{---- (28)}$$

의 관계가 성립한다. 이러한 관계를 이용하여 식(18)의 상태방정식에 대한 월쉬함수 단일항 전개를 적용할 수 있다. 먼저 식(18)에 식(19)-(21)은 대입하고 양변의 $\phi_0(\tau)$ 를 소거하면

$$S_1 = \frac{1}{m} A_1 X_1 + \frac{1}{m} B_1 U_1 \quad \text{----(29)}$$

이 되며, 여기에 식(26)을 대입하면 다음과 같다.

$$S_1 = [I - A / m] [\frac{1}{m} A_1 X(0) + \frac{1}{m} B_1 U_1] \quad \text{----(30)}$$

식(26), (28) 그리고 (30)은 $\tau = [0, 1]$ 즉, $t = [0, 1/m]$ 에서 월쉬함수 단일항전개에 의한 A, B, U 그리고 초기조건 $X(\tau)$ 에 대한 계수 S_1 을 결정할 수 있고, 이를 이용 식(26)으로부터 상태변수 $X(\tau)$ 에 대한 계수 X_1 을 결정할 수 있

며, 식(28)로부터 다음 구간 $t = [1/m, 2/m]$ 에서의 초기조건인 $X(1)$ 이 결정된다. 이과정을 반복하면 i 번째 구간에서의 초기값 $X(i-1)$ 과 X_1 값을 구할 수 있게 된다.

$$S_i = [I - A_i / m] [\frac{1}{m} A_i X(0) + \frac{1}{m} B_i U_i] \quad \text{----(31)}$$

$$X_i = 1/2 S_i + X(i-1)$$

$X(1) = S_1 + X(i-1)$ 단, $i=1, 2, 3, \dots$. 위 식에서 X_1 는 i 번째 구간에서 부분적으로 연속인 값으로 주어지는 상수값이며, $X(i)$ 는 $t=i/m$ 에서 $X(t)$ 의 이산값임을 알 수 있다. 또한 $n \times n$ 차 행렬의 연산에 의해 반복적으로 $X(t)$ 의 정보를 알 수 있으며 유한 급수 전개에서 월쉬함수의 단일항을 이용할 경우 전개항수인 $m=2^k$ 에 제한을 받지 않는다.

4. 태양추적장치의 월쉬 단일항적용

태양추적장치는 그림2와 같이 앞서 설명한 일사량감지기, 연산증폭기, 전압증폭기 등의 설비로 구성된 시스템으로 시스템을 용이하게 분석하기 위해서 각 구성설비의 입-출력부분을 상태변수로 취급하고 1차 미분방정식으로 만든 상태방정식을 시간영역에서 해석할 수 있도록 하였다. 일반적으로 상태방정식은 매트릭스 A 의 특성치를 구하여 각 상태변수의 함수식을 해로 유도하던지 1차 미분방정식들을 근사적으로 해석한 룬지-쿠타 방법에 의해 상태변수를 시간변화에 대한값으로 구할 수 있지만[6][7][8], 여기서는 룬지-쿠타방법과 월쉬함수를 이용한 미분방정식의 해로 상태변수의 값을 구하였다.

그림3은 시스템 외부에서는 교란이 존재하지 않지만 회전계 부분에서의 지연시간이 존재하여 시스템에 영향을 주는 1축 구동 태양추적장치의 전체적인 전달함수의 블록도로서, 1축으로 구동하므로 비교적 상태방정식의 매트릭스 차수를 줄일 수 있었다.

그림에서 X_1, X_2, X_3 는 회전계를 포함한 구성설비의 동력학 해석이 되며, 각각의 변수들은 아래와 같다.

- X_1 = 축-기기장치의 출력변화
- X_2 = 직류전동기의 출력변화
- X_3 = 제어기의 입력에서의 변화

X_1, X_2, X_3 에 대해 상태 방정식으로 유도하면

1) 축-기기장치의 동력학

$$X_1 = 1/S X_2 \text{ 에서 } \dot{X}_1 = X_2 \quad \text{-----(32)}$$

2) 직류전동기의 동력학

$$X_2 = K_m / R_a (J S + B) \times [- K_b X_2 + (- K_a (X_3 - R_f K_s < \theta_r - 1/n X_1 >))] \text{ 에서 } \dot{X}_2 = - K_a K_m K_s R_f / n R_a J X_1 - (R_a B + K_b K_m) / R_a J X_2 - K_a K_m / R_a J X_3 + K_a K_m K_s R_f / R_a J \theta_r \quad \text{----(33)}$$

3) 제어기의 동력학

$$X_3 = - S K_T / 1 + T_d S X_1 \text{ 에서 } X_3 + T_d \dot{X}_3 = - K_T \dot{X}_1 \text{ 이고 식 (32)에서 } \dot{X}_1 = X_2 \text{ 이므로 } \dot{X}_3 = - K_T / T_d X_2 - 1 / T_d X_3 \quad \text{-----(34)}$$

가 된다. 식 (32), (33), (34)의 미분방정식을 상태공간법

으로 표시하면 다음과 같은 행렬형태로 표시할 수 있다.

$$\dot{X} = AX + BU$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -K_a K_m K_s R_f & -R_a B - K_b K_m & -K_a K_m \\ n R_a J & R_a J & R_a J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_a K_m K_s R_f \\ R_a J \end{bmatrix} U$$

----- (35)

여기서 초기 조건은 영이며, 單位階段函數가 인가 되었다고 가정하면, 표1과 같은 추적장치의 각 파라미터들로부터 A와 B는 아래와 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -16 & -3 & -5 \\ 0 & 1 & -5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 12800 \\ 0 \end{bmatrix}$$

----- (36)

표 1 시스템의 파라미터 값

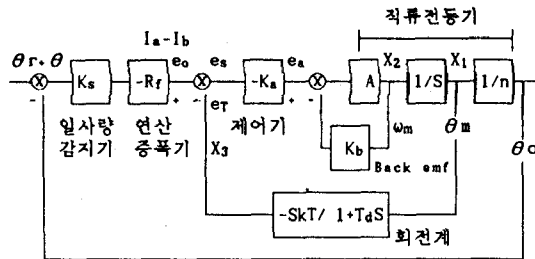
$R_f = 10^4 \Omega$	$J = 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$B = 10^{-6}$
$R_a = 6.25 \Omega$	$K_a = .0125$	$K_s = .256 \text{ amp/rad}$
$K_m = .0025 \text{ newton}\cdot\text{m/amp}$	$T_d = .2 \text{ sec}$	
$n = 800 \text{ gear ratio}$	$K_b = .0005 \text{ volt/rad/sec}$	
$K_T = .2 \text{ volts/rpm} = \text{unit velocity}$	$\theta_r = 1 \text{ rad}$	

여기서 $U(t)=0$ 이면, 식(35)의 \dot{X}_1 만의 실제값을 구하면 아래식과 같이 복소수의 값이 구하여져 복잡하므로 $m=100$ 일 때 월쉬단일항 전개법의 해인 $X^*(t)$ 와 런지-쿠퍼방법에 의한 값 $X_1(t)$ 를 표2에 수록하였다.

$$\dot{X}_1 = G_1 \exp(-4t) + G_2 \exp(-2+j4t) + G_3 \exp(-2-j4t) \quad (37)$$

여기서

$$G_1 = \frac{2(5-j4)}{(3+j4)(1-j2)}, G_2 = \frac{7+j2}{2(3+j4)(1-j2)}, G_3 = \frac{-(5-j10)}{2(3+j4)(1-j2)}$$



여기서 $A = K_m/R_a(JS + B)$

그림3 추적장치의 등가 블록도

5. 시뮬레이션 결과

추적장치는 제어계수들에 의해 예민하게 변화하고 있으므로 시스템의 제어특성을 해석하기 위하여 다음과 같은 상태에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

- 1) 연산증폭기의 R_f , 직류전동기의 마찰계수인 J 와 B , 전기자 저항 R_a 가 일정하며,
- 2) 무태양일이나 흐린날의 경우 θ_r 에 대하여 θ_o 가 허

표2 식(35)의 해 (시간 간격 .5sec.)

시간 t	축-기기장치		직류 전동기		제어기	
	$X^*_1(t)$	$X_1(t)$	$X^*_2(t)$	$X_2(t)$	$X^*_3(t)$	$X_3(t)$
0.0	-.19E+01	0	.15E+03	0	-.18E+01	0
.5	.77E+03	715.759	.15E+04	1362.07	.33E+03	291.637
1.0	.95E+03	902.846	-.61E+03	-292.18	.12E+02	35.562
1.5	.72E+03	775.686	-.27E+02	-77.975	-.58E+02	-33.459
2.0	.80E+03	792.953	.15E+03	65.7058	.29E+02	7.71902
2.5	.81E+03	805.370	-.70E+02	-9.2554	-.20E+00	2.47440
3.0	.79E+03	799.298	-.19E+01	-6.0155	-.65E+01	-1.7602
3.5	.80E+03	799.486	.17E+02	3.10059	.32E+01	.209895
4.0	.80E+03	800.252	-.79E+01	-.13452	-.81E-01	-.174746
4.5	.79E+03	799.968	-.67E-01	-.37788	-.70E+00	-8.E-02
5.0	.79E+03	800.010	.20E+01	.134511	.35E+00	1.5E-03

용오차 범위내에서 $\theta = 0$ 가 되도록 축-기기장치가 동작하여야 하며,

- 3) θ_r 에 단위계단 입력함수를 인가하며, 모든 자료값을 P.U로 표시 하였다.

월쉬 단일항알고리즘에 대한 흐름도가 그림4에 표시하였다. 우선 초기조건이 영이고 단위계단함수가 인가되었다는 가정 하에 식(35)와 같이 지배 미분방정식을 결정하고, 표1에 의해 행렬 A와 B를 쉽게 구할 수 있었다. 일단 행렬 A와 B가 정해지면 연산 행렬과 월쉬계수를 $\tau = t / 5.0$ 로 치환하여 구간 $0 \leq t \leq 5.0 \text{ sec}$ 에서 계산한다. 다음의 식(26), (28) 그리고 (31)에 적용하여 m 항으로 $X(t)$ 를 월쉬 단일항으로 전개하면 $X(\tau)$, $U(\tau)$, C_n 을 각각 구하게 된다. 반면 태양추적장치의 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 런지-쿠퍼 적분과정은 각 변수들의 시간반응에 대한 프로그램을 이용하였다.

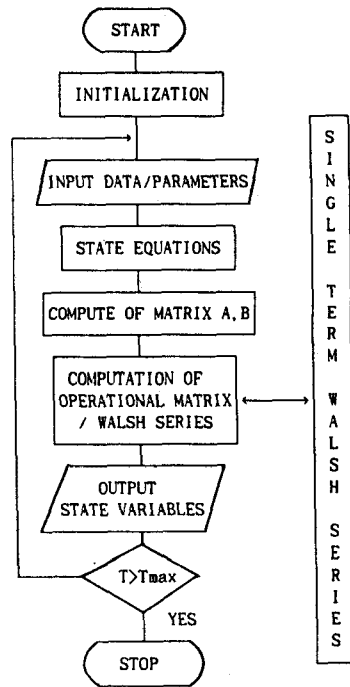


그림4 월쉬 단일항의 흐름도

그림5는 월쉬 단일항 방법과 런지-쿠퍼방법에 의한 동력학 해석으로서 축-기기장치, 직류전동기, 제어기에 대하여 시간 반응을 표시하였다. 축-기기장치의 동작특성은 정상상태에 도달하기 위한 초기 2 ~ 3 sec 동안은 오버슈팅을 하다가 이후는 곧 기어변속비 800 rpm으로 안정하게 동작하고 있다. 축-기기장치보다 복잡한 직류전동기는 전동기에 영향을 미치는 상태변수들의 크기에 따라 과도응답특성이 변한다. 이는 축-기기장치에 직접적으로 영향을 미치는 요소로서 2 ~ 3 sec 이후는 안정하게 동작하고 있다. 제어기는 최전계의 지연시간, T_d 와 최전계 상수, K_t 에 의해 영향을 받으며, 직류전동기의 출력과 최전계의 출력상태변수에 직접적으로 영향을 받는다. 제어기도 초기 2 sec 이후는 안정성을 회복하였다.

한편 시스템 안정도 계산을 위한 축-기기장치는 식(35)의 최전수, n 을 제어변수로 가정하여 상태변수 행렬에 대입하여 특성치를 구하면 아래와 같다.

$$F(S) = C(S)/R(S) = G(S) / 1 + G(S)H(S)$$

$$= S^3 + 8S^2 + 28,800/nS + 6,400/n = 0 \quad (38)$$

이를 그림6 과 같이 근궤적으로 도시하기 위하여 특성방정식 근이 다음의

$$1 + G(S)H(S) = 0 \quad (39)$$

를 만족 하여야 하므로 $1 + G(S)H(S)$ 는 아래와 같다.

$$1 + GH = 1 + 1/n \times [28,800S + 6,400/S^2(S+8)] \quad (40)$$

만일 n 이 800 과 1200이면 극점과 영점은 아래와 같다.

$$n = 800 : \text{극점} = -8, 0, 0 \quad \text{영점} = -.22$$

$$n = 1,200 : \text{극점} = -8, 0, 0 \quad \text{영점} = -.22$$

이는 극점이 $-8, 0$ 의 중근, 영점은 $-.22$ 이 되며, 축-기기장치의 최전수는 임의의 값에서도 항상 S 평면상의 좌반 평면에 존재하고 있으므로 시스템은 항상 안정하다는 것을 알 수 있었다.

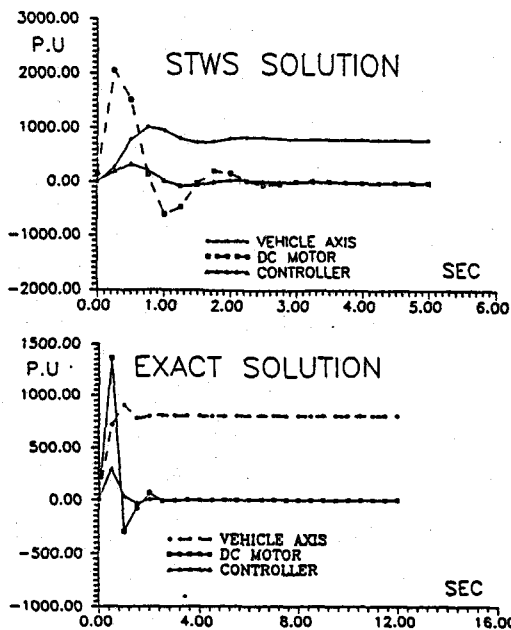


그림5. 월쉬단일항의 추적장치 시간반응 비교

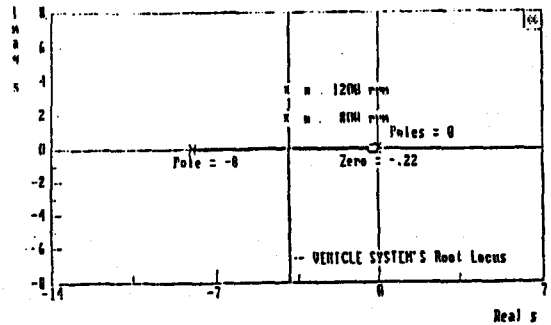


그림6 축-기기장치의 근궤적도

6. 결론

태양추적장치는 태양을 정확하게 추적하기 위하여 추적장치의 축을 제어하여야 한다. 본 문에서는 1축으로 추적장치에 대하여 고려하였으며, 추적장치의 분석을 위한 제어모델링은 전달함수와 상태공간함수로 표현하였으며, 단일항 월쉬급수전개에 의하여 태양추적장치에 적용한 결과 런지-쿠퍼 방법과 비교하여 축-기기장치, 직류전동기, 제어기의 동력학에 대한 시간반응이 그림5와 같이 거의 비슷하였으며, 시스템은 안정하게 동작하였다. 또한 단일항 월쉬급수전개 방식은 시스템 이론 해석이 간단하였고, 디지털 시뮬레이션의 실현이 용이하였다.

참고 문헌

1. Hans Dehne: "Development of an Evacuated Receiver for Line-Focus Solar Thermal Collectors" SAND86-7041, pp15-22, 1986
2. J.Y. Anderson and N. Weaver: "High - Temperature Solar Central Receivers for Electricity Production" pp4-7, SERI, June 1988
3. D.R. Adkins: "Control Strategies and Hardware used in Solar Thermal Applications" pp17-52 Sandia Report, SAND86-1943, uc, 1987
4. C.F. CHEN and C.H. HSIAO: "A State-Space Approach to Walsh Series Solution of Linear System", INT. J. System SCI. 1975, Vol. 6 NO. 9 PP833-839
5. K.R. Palanisamy: "Analysis and optimal control of linear systems via single term Walsh series approach" PP443-448, INT. J. SYSTEMS SCI., VOL. 12, 1981
6. Benjamin C. Kuo: "Automatic Control Systems" pp243-8 519-522 3rd edition prentice-hall inc. 1975
7. C.F. CHEN and H. HSIAO: "Walsh series analysis in optimal control" PP881-888, INT. J. CONTROL, VOL. 21, NO. 6, 1975
8. James L. Melsa and Stephen K. Jones: "Computer program for computational assistance in the study of linear control theory" pp144-179 McGraw-Hill Book Co. 1973