

# 직류서보 위치제어시스템을 위한 출력궤환 가변구조제어기

박 영 진 · 이 기 상 · 홍 순 찬  
단국대학교 전기공학과

## Output Feedback VSC for a DC Servo Position Control System

Young-Jeen Park, Kee-Sang Lee, and Soon-Chan Hong  
Dept. of Electrical Eng., Dankook University

**Abstract** - A new VSC scheme, OFVSC(Output Feedback Variable Structure Controller), is proposed by consisting of servo compensator and output feedback VSC with dynamic switching function. The servo compensator which is designed for output variable enhances the robustness for all the types of disturbances, and makes effective tracking is possible without using error dynamics which is usually used in conventional VSC. The proposed OFVSC is applied to the practical design of a robust DC servo control system and the control performances are evaluated through theoretical analysis and simulations.

### 1. 서론

직류전동기는 제어가 용이하여 토크, 위치 및 속도제어를 필요로 하는 서보제어계에 널리 이용되고 있다. 서보제어계에서 제어계의 성능을 나타내는 평가지표의 하나인 강인성은 일반적으로 사용되어온 선형상태궤환 제어기나 PID제어기만으로는 얻기 어려운 중요한 특성 중의 하나이며, 강인성을 중시한 제어방식으로 가변구조제어이론에 기초한 슬라이딩모드 제어가 있다.

가변구조제어(VSC : Variable Structure Control)는 계통의 상태가 상태공간 내에서 선정된 슬라이딩 평면에 도달하여 그 평면을 따라 원점에 수렴하도록 고속 스위칭 입력을 인가하는 제어방식으로 상반되는 두 제어성능, 즉 응답의 신속성과 정확성을 동시에 달성할 수 있으며 특히 슬라이딩모드에서 계통파라미터 변화 및 외란에 대해 강인한 특성을 가지고 있어 매니플레이터, 각종 전동기, 전력계통 등의 제어에 도입되고 있다[1][2].

기존 VSC의 문제점들 중 하나는 정합조건이 만족되지 않는 외란의 영향을 제거하는데 어려움이 있다는 것이다. 이 문제의 해결을 위해 Calise는 1차 서보보상기를 도입하여 VSC를 구성하였으나 단위계단형태의 외란만을 제거하는데 그쳤다[3]. 기존의 VSC에서 제어계의 실현과 관련된 중요한 문제중 하나는 스위칭 함수와 제어입력의 결정에 모든 상태변수에 대한 정보가 필요하다는 점이다[4].

본 연구에서는 이러한 문제의 해결을 위하여 새로운 형태의 출력궤환 가변구조제어기(OFVSC : Output Feedback Variable Structure Controller)를 제안한다. 제안된 OFVSC는 2차의 서보보상기와 동적 스위칭함수를 갖는 출력궤환 가변구조제어기로 구성되며, 동적 스위칭함수는 전상태에 대한 정보가 요구되는 기존의 스위칭함수와는 달리 입력변수와 출력변수에 대한 정보만으로 스위칭함수와 제어입력을 결정하게 된다.[5]

제안된 OFVSC를 직류전동기 위치제어계통에 대하여 설계하고, 이론적인 해석과 시뮬레이션을 통하여 정합조건이 만족

되지 않는 단위계단형, ramp형 외란이 발생할 경우에도 정상상태특성과 외란제거성능이 우수함을 보인다.

### 2. 위치제어 계통

본 연구에서 위치제어시스템으로 사용한 직류전동기의 등가회로는 그림 1과 같고 전동기 특성방정식은 다음과 같다.

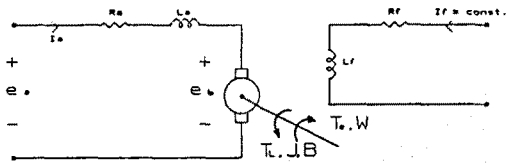


그림 1. 직류전동기 등가회로

$$\begin{aligned} e_a(t) &= R_a i_a(t) + e_b(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} \\ T_e(t) &= k_t i_a(t) = T_L(t) + B\omega(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \\ e_b(t) &= k_b \omega(t) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)을 라플라스 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_a(s) &= sL_a I_a(s) + R_a I_a(s) + k_b \Omega(s) \\ T_e(s) &= k_t I_a(s) = sJ \Omega(s) + B \Omega(s) + T_L(s) \end{aligned} \quad (2)$$

전동기의 위치제어를 위한 전동기의 각변위  $\theta_m$ 은 각속도  $\omega$ 로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_m(s) = \frac{1}{s} \Omega(s) \quad (3)$$

식(2), (3)의 관계를 블록선도로 나타내면 그림 2와 같다.

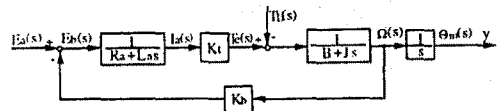


그림 2. 직류전동기의 블록선도

그림 2로부터 전동기 위치제어 계통을 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + Ef \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 각 행렬계수는 다음과 같다.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -B/J & \cdot k_t/J \\ 0 & -k_b/L_a & -R_a/L_a \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/L_a \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 \\ -1/J \\ 0 \end{bmatrix}, C = [1 \ 0 \ 0].$$

여기서  $x_1 (= \theta_m)$ 은 위치,  $x_2 (= \omega)$ 는 각속도,  $x_3 (= i_a)$ 는 전기자 전류,  $u (= e_a)$ 는 계통입력(전기자 전압),  $f (= T_L)$ 는 외란(부하토크)이다.

이와같은 직류전동기계통은 정합조건을 만족하지 않는 외란(부하토크)을 포함하고 있어 기존의 VSC를 적용할 경우 부하토크의 변화에 대한 특성변화의 영향을 제거할 수 없게된다. 또한 기존의 VSC는 모든 상태변수에 대한 정보를 이용하여 스위칭함수와 제어입력을 결정함으로써 해서 측정이 불가능한 상태변수를 갖는 계통이나 고차계통에 대한 적용이 어렵다는 문제점을 갖고있다.

### 3. 출력제한 가변구조제어기(OFVSC)

본장에서는 정합조건이 만족되지 않는 외란이 존재하는 3차의 직류서보 위치제어계통에 대해 동적스위칭함수를 갖는 출력제한 가변구조제어기(OFVSC)를 설계하고 그 특성을 해석한다. 제안되는 OFVSC는 2차의 서보보상기와 동적스위칭함수를 갖는 출력제한 가변구조제어기로 구성되며, 서보 동태방정식에서 기준입력항을 포함하게 되어 서보제어계를 설계할때 별도의 상태편차 동태방정식을 구할 필요가 없게되고 계단형, ramp형 기준입력에 대한 정상상태편차가 없으며, 또한 정합조건이 만족되지 않는 계단형, ramp형 외란의 영향 제거능력이 매우 우수한 특성을 갖는다.

#### 3.1 확장 계통과 스위칭함수

앞절의 위치제어계통과 같은 문제를 고려하기 위하여 서보변수  $\eta$ 를 다음과 같은 동태방정식으로 정의한다.

$$\begin{aligned} \dot{\eta}_1 &= \eta_2 \\ \dot{\eta}_2 &= r - x_1 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\eta_1, \eta_2$ 는 각각 출력편차를 2차, 1차 적분한 서보변수이고,  $r$ 은 기준입력( $0_{ref}$ )이다.

위의 서보변수에 대한 동태방정식과 위치제어계통 식(5)를 병합한 다음과 같은 확장계통을 구성한다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -B/J & k_t/J \\ 0 & 0 & 0 & -k_b/L_a & -R_a/L_a \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 1/L_a \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ -1/J \\ 0 \end{bmatrix} f \end{aligned} \quad (6)$$

위의 확장계통에 대한 스위칭 함수를 다음과 같이 선정한다.

$$\begin{aligned} s_a &= P_a X_a = P_1 \eta + P_2 X = s_1 + s_2 \\ &= p_{11} \eta_1 + p_{12} \eta_2 + p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 \end{aligned} \quad (7)$$

슬라이딩 모드에서의 조건식  $\dot{s}_a = 0$  으로부터 등가입력  $u_{eq}$ 는 다음과 같이 구할수 있다.

$$\begin{aligned} u_{eq} &= \frac{L_a p_{11}}{p_3} \eta_2 - \frac{L_a p_{12}}{p_3} (r - x_1) \\ &- \frac{L_a}{p_3} \left\{ p_1 - p_2 \frac{B}{J} - p_3 \frac{k_b}{L_a} \right\} x_2 \\ &- \frac{L_a}{p_3} \left\{ p_2 \frac{k_t}{J} - p_3 \frac{R_a}{L_a} \right\} x_3 + \frac{L_a p_2}{p_3 J} f \end{aligned} \quad (8)$$

식(9)의 등가입력을 확장계통 (7)에 인가하였을 때 슬라이딩 모드에서의 등가계통은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -B/J & k_t/J \\ 0 & -\frac{p_{11}}{p_3} & -\frac{p_{12}}{p_3} & -\frac{J p_1 - B p_2}{J p_3} & -\frac{k_t p_2}{J p_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{p_{12}}{p_3} \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1/J \\ -\frac{p_2}{J p_3} \end{bmatrix} f \end{aligned} \quad (9)$$

스위칭 함수의 설계시 계수행렬  $P_a$ 는 이 등가제어계가 안정하도록 설계한다.

#### 3.2 동적 스위칭함수

제안되는 동적 스위칭 함수는 다음과 같다.

$$s_d = s_1 + \dot{s}_2 = s_1 + d \quad (10)$$

$$d = Ly + QZ$$

(11)

여기서,  $d \in R^m$ 는  $s_2$ 를 추정된 값이고,  $L, Q$ 는 각각  $(m \times q)$ ,  $(m \times m)$  차원의 행렬이며,  $s_d$ 는 최종적인 동적 스위칭함수이다. 출력제한 가변구조제어기를 위한 동적 스위칭 함수의 파라미터 설계과정은 [5]에 기술되어 있다.

결과적으로  $d$ 가  $s_2 = P_2 X$ 에 접근적으로 수렴하기 위해 (11)의 각 파라미터가 만족하여야할 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i) & LC + QT = P_2 \\ ii) & TA - FT = JC \\ iii) & G = TB \end{aligned} \quad (12)$$

iv) F의 고유치들이 음의 실수일 것.

설계된 동적 스위칭함수에 대해 추정편차  $e (= TX - Z)$ 의 동태방정식은 다음과 같고,

$$\dot{e} = Fe + TEf \quad (13)$$

$d$ 와  $s_2$  간의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d &= Ly + QZ = (LC + QT)X - Qe \\ &= P_2 X - Qe = s_2 - Qe \end{aligned} \quad (14)$$

F가 안정되게 선택되었으므로 식(14)에 의해  $f=0$ 이던 정상상태에서  $e = 0$  이고,  $f$ 가 단위계단형 외란이면 정상상태에서  $d$ 와  $s_2$ 는 다음의 관계를 갖는다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} d = s_2 + QF^{-1}TEf \quad (15)$$

#### 3.3 제어입력의 설계

동적 스위칭함수  $s_d$ 가 식(11)로 주어질 때 출력제한 가변구조제어계의 실현을 위한 스위칭 제어입력은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$u = -(P_2 B)^{-1} (\Psi_y \eta_2 + \Psi_c e_\theta + \Psi_y y + \Psi_z z + V) \quad (16)$$

$\Psi_y, \Psi_z$ 는 각각  $(m \times q)$ ,  $(m \times a)$  차원의 스위칭 이득행렬로서 각 요소는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \Psi_\eta &= \begin{cases} \Psi_\eta^+ & s_d \eta_2 > 0 \\ \Psi_\eta^- & s_d \eta_2 < 0 \end{cases} \\ \Psi_c &= \begin{cases} \Psi_c^+ & s_d e_\theta > 0 \\ \Psi_c^- & s_d e_\theta < 0 \end{cases} \\ \Psi_y &= \begin{cases} \Psi_y^+ & s_d y > 0 \\ \Psi_y^- & s_d y < 0 \end{cases} \\ \Psi_z &= \begin{cases} \Psi_z^+ & s_d z > 0 \\ \Psi_z^- & s_d z < 0 \end{cases} \\ V &= \begin{cases} V^+ & s_d > 0 \\ V^- & s_d < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

출력제한 가변구조제어제에 대하여 슬라이딩모드가 존재하기 위한 파라미터의 조건은 다음 정리에 기술한 바와 같다.

**<정리 1>**

$$\begin{aligned} P_2 A - OFT &= k_y C \\ OF &= k_z \end{aligned} \quad (18)$$

식(18)을 만족하는  $k_y, k_z$ 가 존재한다면, 출력제한 가변구조 제어의 슬라이딩모드 존재조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Psi_r &= \begin{cases} \Psi_r^+ > k_r, & s_d \eta_2 > 0 \\ \Psi_r^- < k_r, & s_d \eta_2 < 0 \end{cases} \\ \Psi_c &= \begin{cases} \Psi_c^+ > k_c, & s_d e_\theta > 0 \\ \Psi_c^- < k_c, & s_d e_\theta < 0 \end{cases} \\ \Psi_y &= \begin{cases} \Psi_y^+ > k_y, & s_d Y > 0 \\ \Psi_y^- < k_y, & s_d Y < 0 \end{cases} \\ \Psi_z &= \begin{cases} \Psi_z^+ > k_z, & s_d Z > 0 \\ \Psi_z^- < k_z, & s_d Z < 0 \end{cases} \\ V &= \begin{cases} V^+ > |k_{rf}|_{\max}, & s_d Z_2 > 0 \\ V^- < |k_{rf}|_{\min}, & s_d Z_2 < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

**<증명>**

식(10), (12)로부터  $s_d$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s_d &= P_1 \dot{\eta} + L \dot{y} + O \dot{z} \\ &= p_{11} \eta_2 + p_{12} e_\theta + LCX + OZ \\ &= p_{11} \eta_2 + p_{12} e_\theta + (LCA + OJC)X + OFZ \\ &\quad + (LC + OT)B u + LCEf \end{aligned} \quad (20)$$

이제 식(16), (18)을 식(20)에 대입하고  $k_r = p_{11}, k_c = p_{12}, k_f = p_{2f} - OFE$ 라 하면 다음을 얻을 수 있다.

$$s_d = (k_r - \Psi_r) \eta_2 + (k_c - \Psi_c) e_\theta + (k_y - \Psi_y) y + (k_z - \Psi_z) z + (k_{rf} - V) \quad (21)$$

여기에서  $s_d s_d$ 를 구하면 다음과 같다.

$$s_d s_d = (k_r - \Psi_r) s_d \eta_2 + (k_c - \Psi_c) s_d e_\theta + (k_y - \Psi_y) s_d y + (k_z - \Psi_z) s_d z + (k_{rf} - V) s_d \quad (22)$$

따라서 식(17), (19)를 뒷식에 적용하면 슬라이딩모드 존재조건  $s_d s_d < 0$ 이 성립한다.

위의 정리에서  $k_y, k_z$ 는 다음의 관계로부터 구하여 사용할 수 있다.

$$[k_y \ k_z] = (P_2 B)^{-1} P_2 A \begin{bmatrix} C \\ I \end{bmatrix}^{-1} \quad (23)$$

**3.4 슬라이딩모드 특성**

식(7)로 주어진 확장계통이 슬라이딩모드에서  $s_n = 0$ 을 만족하므로 식(8)로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$x_3 = -\frac{p_{11}}{p_3} \eta_1 - \frac{p_{22}}{p_3} \eta_2 - \frac{p_1}{p_3} x_1 - \frac{p_2}{p_3} x_2 \quad (24)$$

이  $x_3$ 는 계통의 특성에 영향을 미치지 않는다. 식(24)를 확장계통 (7)에 대입하여 얻은 슬라이딩 모드에서의 등가계통은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1 p_{11}}{J p_3} & -\frac{k_1 p_{22}}{J p_3} & -\frac{k_1 p_1}{J p_3} & -\frac{B p_3 + k_1 p_2}{J p_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1/J \end{bmatrix} f \end{aligned} \quad (25)$$

위의 등가계통에서 기준입력  $R(s)$ 와 출력 추적편차  $E(s)$  ( $= R(s) - Y(s)$ ) 간의 전달함수  $G_1(s)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{E(s)}{R(s)} \\ &= \frac{s^2(s^2 + s(Bp_3 + k_1 p_2)/J p_3 + k_1 p_1/J p_3)}{|sI - A_{eq}|} \end{aligned} \quad (26)$$

여기서  $|sI - A_{eq}| = s^4 + s^3(Bp_3 + k_1 p_2)/J p_3 + s^2 k_1 p_1/J p_3 - s k_1 p_{12}/J p_3 - k_1 p_{11}/J p_3$ . 출력추적 특성을 고찰하기 위해 위의 전달함수에 최종치 정리를 적용하면 다음과 같이 계단형, 경사형 기준입력에 대해 출력추적 편차가 0이 된다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s G_1(s) \frac{r}{s} = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s G_1(s) \frac{r}{s^2} = 0$$

또한 외란제거성능을 고찰하기 위하여 외란  $F(s)$ 와 출력  $Y(s)$  간의 전달함수  $G_2(s)$ 를 구하면 다음과 같으며

$$G_2(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{s^2(-1/J)}{|sI - A_{eq}|} \quad (27)$$

최종치정리로부터 계단형, 경사형 외란이 출력에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s G_2(s) \frac{f}{s} = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s G_2(s) \frac{f}{s^2} = 0$$

**4. 시뮬레이션**

앞장에서 설계된 OFVSC의 강인성을 보이기 위하여 기존의 VSC와 시뮬레이션을 통한 특성 비교를 하였다. 본 연구에서 사용한 직류서보전동기의 각 상수들은 다음과 같다.

$$R_a = 3.2 \text{ [ohm]}, \quad L_a = 8.6 \times 10^{-3} \text{ [H]}$$

$$J = 442 \times 10^{-6} \text{ [kg m}^2\text{]}, \quad B = 15.0 \times 10^{-6} \text{ [kg m}^2\text{/sec]}$$

$$k_t = 17 \times 10^{-3} \text{ [N m/A]}, \quad k_b = 60.0 \times 10^{-3} \text{ [V sec/rad]}$$

위의 전동기상수에 의한 계통의 파라미터는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.125 & 762.5 \\ 0 & -9.259 & -518.5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 370.37 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 0 \\ -312.5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

먼저 기존의 VSC 설계과정에서 등가계통의 극점이 [-7.5 -8]에 존재하도록 P행렬의 계수를 구하면 다음과 같다.

$$P = [0.0318 \quad 0.0006 \quad 0.0027]$$

$$k_1 = 0 \quad k_2 = 0.0067 \quad k_3 = -0.8873$$

$$|k_{rf}|_{\max} = 0.9980$$

제한된 OFVSC의 설계를 위해 확장계통을 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.125 & 762.5 \\ 0 & 0 & 0 & -9.259 & -518.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 370.37 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -312.5 \\ 0 \end{bmatrix} f \end{aligned}$$

위의 확장계통에 대한 등가계통의 극점이 [-0.03 -80 -100 -150]에 존재하도록  $P_a$ 행렬의 계수를 구하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$P_a = [-0.1275 \quad -4.2529 \quad 0.1240 \quad 0.0012 \quad 0.0027]$$

$$k_n = -0.1275$$

$$k_c = -4.2529$$

$$k_y = -86.841$$

$$k_z = [4179.17 \quad -3176.3]$$

$$|k_{rf}|_{\max} = 1.7340$$

또한 동적스위칭함수 구성을 위한 각 계수행렬은 다음과 같다.

$$F = \begin{bmatrix} -150 & 0 \\ 0 & -200 \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} -10.42 \\ -23.75 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0.4074 \\ 0.5926 \end{bmatrix}$$

$$L = [0.3122], \quad 0 = [1 \quad 1]$$

설계된 위의 두 제어계를 시뮬레이션한 결과는 그림 3, 4, 5, 6과 같다. 시뮬레이션 샘플링 시간은 0.2[ms]로 하였고, 기준 입력( $\theta_{rd}$ )은  $\pi$ [rad]으로 주었으며, 외란은 전동기에 인가되는 부하로 하였다.

$t = 0.5$ [sec]에 50% 부하를 외란으로 인가한 경우 기존의 VSC와 OFVSC를 비교해 볼때 그림 3의 OFVSC 출력응답에서 외란이 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

그림 5(c), 그림 6(c)의 제어입력은 전동기 정격전압 75[V]에 대하여 입력제한을 준 경우의 결과이다.

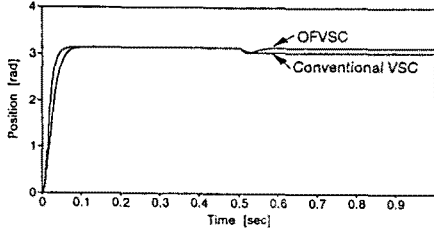


그림 3. OFVSC와 기존VSC의 출력응답

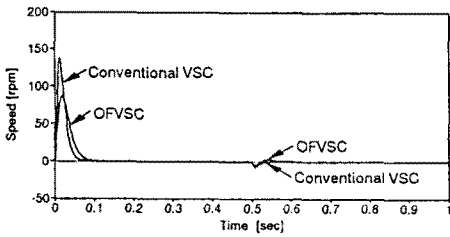
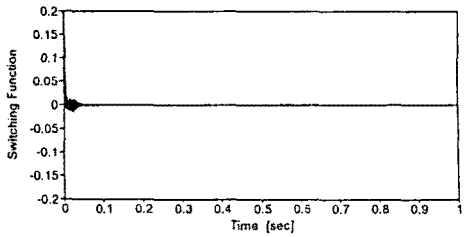
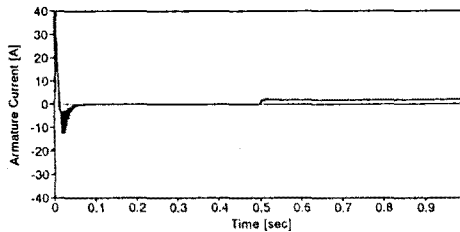


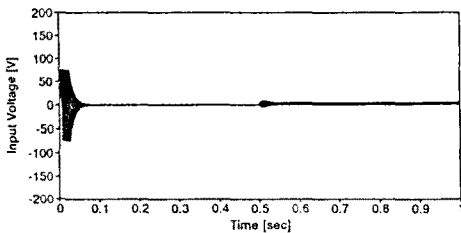
그림 4. OFVSC와 기존VSC의 각속도



(a) 스위칭함수 제적

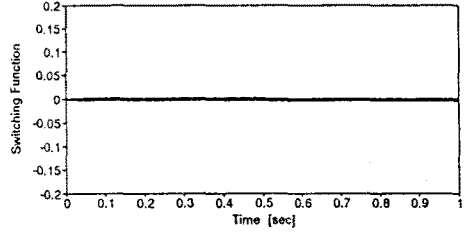


(b) 전기자전류

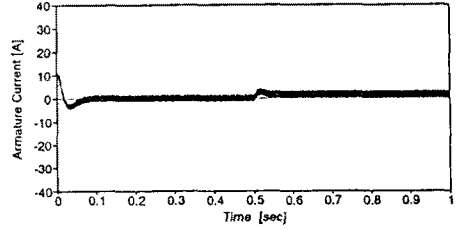


(c) 입력전압(제어입력)

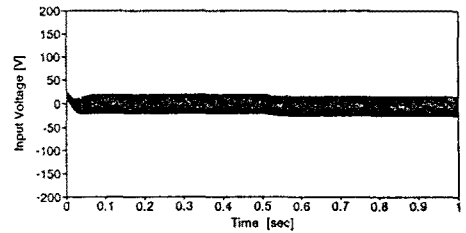
그림 5. 기존VSC의 부하응답특성



(a) 스위칭함수 제적



(b) 전기자전류



(c) 입력전압(제어입력)

그림 6. OFVSC의 부하응답특성

## 5. 결 론

본 연구에서는 비측정변수를 가진 직류서보 시스템의 강인한 제어를 위하여 동적 스위칭함수를 갖는 새로운 구조의 출력제한 가변구조제어기(OFVSC)를 제안하고 그 성능을 검토하였다.

제안된 OFVSC는 위치출력에 대한 서보보상기, 동적 스위칭함수를 갖는 출력제한 가변구조제어기로 구성되어 있으며, 정합조건이 만족되지 않는 외란을 포함하는 직류전동기 위치제어계통에서 계단형 및 ramp형으로 나타나는 외란의 영향을 제거할 수 있음을 슬라이딩 모드에서 전달함수를 해석함으로써 보였다.

직류전동기 3차계통의 모델을 이용한 시뮬레이션용 통하여 외란에 대한 강인성과 위치출력만을 측정함에도 불구하고 전상태변수를 측정할 경우와 동일한 제어성능을 가짐을 보였다.

## 참 고 문 헌

1. V.I. Utkin, "Variable structure system with sliding modes", IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-22, no. 2, pp. 212-222, 1977.
2. H. Hashimoto, "Variable structure strategy for motion control systems: application to electrical machines", Proc. IECON '87, pp. 159-165, 1987.
3. A.J. Calise and K.V. Raman, "A Servo Compensator Design Approach for Variable Structure Systems", '82 ACC, pp. 1014-1019, 1982.
4. V.I. Utkin, "Variable Structure System : present & future", Automat Remote Control, vol. 45, pp. 1105-1120, 1984.
5. 이 기 상, 조 동 식, "출력제한 가변구조제어계의 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, vol. 41, no. 8, 1992.