

# 극배치법에 의한 직류 서어보 시스템의 위치제어

(The Position Control of DC Servo System by the Pole Placement)

徐基永\* · 高泰彦\*\*  
(Ki-Yung Seo · Tae-Eun Ko)

## 요 약

직류 서어보 전동기는 속도 및 위치제어에서 제어성능이 우수하므로 위치제어계의 구동원으로 사용된다. 미지의 외란이나 부하의 변화량이 위치제어계에 인가될 때 계의 응답은 정상응답 또는 과도응답상태에서 편차를 가지게 된다.

본 논문의 목적은 직류 서어보 전동기를 이용한 위치제어계에서 이 편차를 억제하기 위한 서어보 제어기의 원리, 설계법 및 실현에 관한 것이다. 이 서어보 제어기의 계수는 극배치법에 의해서 계산된다.

## Abstract

The dc servo motor has been often used as the driver for a position control system, because the performance of the control is excellent on the speed and position control. When the unknown disturbance and/or the varying quantity of load is imposed on the position control system, the response of the system has the steady and/or the transient state error.

The objective of this work is to demonstrate the principles, design methodologies and implementation of a servo controller for reducing the error in the position control system using the dc servo motor. The coefficients of a servo controller are computed by the pole placement.

## 1. 서 론

직류 서어보 전동기는 전동기의 제어성능이 양호하므로 여러 분야에서 속도 및 위치제어계의 구동원으로 많이 이용되고 있다. 속도 및 위치제

어계를 이용하는 산업현장에서 생산성을 높이기 위해서는 직류 서어보 전동기의 각속도를 빠르게 가감속하여야 하므로 이때 발생하는 진동성분이나 잡음을 억제하여 계 응답에 영향이 미치지 않도록 하여야 한다. 그리고 고정밀, 고정도의 제어에서 제어대상(직류 서어보 전동기)의 특성변화, 부하변동, 외란 등이 계의 응답에 지대한 영향을 미치게 된다.<sup>1-3)</sup> 이 영향을 억제하기 위한 기본대책으로 외란, 토크 관측기를 이용한 전향보상<sup>4)</sup>

\* 正會員：慶南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

\*\* 正會員：東義大學校 電氣工學科 副教授

接受日字：1993年 6月 11日

가속도제어형 서어보 계 등이 제안되고 있으며,<sup>5,6)</sup> 기계적 진동성분을 억제하기 위한 대책으로 노치 필터(Notch filter)의 응용, 2차지연요소에 의한 보상, 적분-비례 제어 등이 보고되고 있다.<sup>7)</sup>

일반적으로 궤환제어에서 부하변동이나 외란에 의한 계 응답편차를 보상하기 위해서 비례이득을 크게 선정하여야 하나 이렇게 할 경우 제어계는 잡음에 민감해 지고 작은 양의 위치편차에 대하여 과도응답상태가 크게 되고 기계적 진동이 발생하여<sup>8)</sup> 제어계의 훼손이 야기되기도 한다. 그리고 계의 비선형요소를 선형화하거나, 전기회로의 지연요소를 무시하여 계의 차수를 감소시키는 경우에도 예기치 못한 외란이 발생하게 된다. 그러므로 제어계에서 응답특성의 변동이 있을 때 마다 제어기에서 연속적으로 제어를 해 주어야 하므로 정확한 모델이 없어도 원하는 제어를 수행할 수 있는 제어기의 설계가 요구된다.<sup>9)</sup> 이러한 제어기의 설계기법으로 주파수영역에서 이득 및 위상여유를 고려한 보드(Bode)선도, 니콜(Nichols)선도, 근계적 등이 이용되고 있으며, 특히 다변수제어계에서 어떤 특정된 주파수영역내에서 계를 안정화시키는 방법과 최적제어 이론을 이용한 설계기법들이 연구되고 있다.<sup>4)</sup>

본 논문에서는 직류 서어보 전동기의 기동시 발생하는 과도응답상태를 제거하고 계의 진동성분, 부하변동, 외란 등이 계의 응답에 영향을 미치지 않는 제어기의 설계법을 제안한다. 제안한 제어기의 설계법은 적분제어기의 출력, 직류 서어보 전동기의 각속도 및 각위치를 궤환시키는 상태궤환제어법으로 이 제어기의 계수를 극배치에 의해서 설정되도록 하였다. 그리고 제안한 제어기를 적분제어기로 제어되는 위치제어계에 적용하여 제어기의 제어성능을 실험을 통하여 확인하였다.

## 2. 극배치에 의한 제어기의 설계

### 2.1 직류 서어보 전동기의 수식화

제어대상인 직류 서어보 전동기의 각위치  $\theta(s)$ 와 전기자전압  $V(s)$ 간의 전달함수는

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{S\{FR(1+ST_e)(1+ST_m)+K_eK_t\}} \quad (1)$$

이다. 식 (1)에서  $K_t$ 는 토오크 상수,  $K_e$ 는 역기전력상수,  $F$ 는 점성마찰계수,  $R$ 은 전기자저항,  $T_e$ 는 전기적 시정수,  $T_m$ 은 기계적 시정수,  $S$ 는 라플라스 연산자이다.

위 식은 전기적 시정수와 기계적 시정수의 일반적인 관계식  $T_e \ll T_m$ 로 부터 다음의 관계식을 얻는다.

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{S(1+ST_0)} \quad (2)$$

식 (2)에서  $K$ 와  $T_0$ 는 다음과 같다.

$$K = \frac{K_t}{FR+K_eK_t} \quad (3-a)$$

$$T_0 = \frac{FRT_m}{FR+K_eK_t} \quad (3-b)$$

이다.

식 (2)에 Z. O. H(Zero-Order-Holder)를 부가하여 Z-변환하면 다음과 같다.

$$\frac{\theta(Z^{-1})}{V(Z^{-1})} = \frac{a_3Z^{-1}+a_4Z^{-2}}{1+a_2Z^{-1}+a_1Z^{-2}} \quad (4)$$

식 (4)에서  $Z^{-1}$ 은 지연연산자이며 상수  $a_1, a_2, a_3, a_4$ 는 다음과 같다.

$$a_1 = e^{-T/T_0} \quad (5-a)$$

$$a_2 = -(1+a_1) \quad (5-b)$$

$$a_3 = K\{T-T_0(1-a_1)\} \quad (5-c)$$

$$a_4 = k\{T_0(1-a_1)-Ta_1\} \quad (5-d)$$

식 (5)에서  $T$ 는 샘플링 주기이다.

### 2.2 제어기의 설계

식 (4)로 기술되는 직류 서어보 전동기를 이용한 위치제어계에서 각위치와 적분제어기의 출력을 기준입력측에 그리고 각속도와 각위치를 전동기의 전기자 전압측에 궤환시키고, 기준입력과 각위치의 편차를 억제시키기 위해서 적분제어기

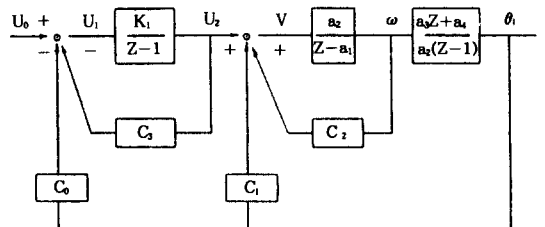


그림 1. 제안한 제어기로 제어되는 위치제어계  
Fig. 1. Position control system with the proposed controller

를 이용한 위치제어계의 구성도가 그림 1이다. 그림 1의 구성도에서  $U_0$ 는 기준입력(설정각위치),  $C_1, C_2$ 는 전동기의 전기자전압측에 케환되는 각위치 및 각속도의 케환계수,  $C_0$ 는 각위치가 기준입력측에 케환되는 각위치의 케환계수,  $C_3$ 는 적분제어기의 출력이 기준입력측에 케환되는 케환계수,  $K_i$ 는 적분제어기의 적분계수이다. 그래서 제안한 제어기는 상태케환제어기이다.

그림 1의 구성도에서 각위치  $\theta(Z)$ 와 기준입력  $U_0(Z)$ 간의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{\theta(Z)}{U_0(Z)} = \frac{K_i(a_3Z + a_4)}{Z^3 - d_1Z^2 + d_2Z - d_3} \quad (6)$$

식 (6)에서 특성방정식의 계수  $d_1, d_2, d_3$ 는

$$d_1 = a_1 + A_0 + 1 + a_3C_1 + a_2C_2 \quad (7-a)$$

$$d_2 = A_0 + (1 + A_0)a_1 + a_3K_iC_0 - (a_4 - a_3A_0)C_1 + (1 + A_0)a_2C_2 \quad (7-b)$$

$$d_3 = a_1A_0 - a_4K_iC_0 - a_4A_0C_1 + A_0a_2C_2 \quad (7-c)$$

이다.

식 (7)에서  $A_0$ 는

$$A_0 = 1 - k_2C_3 \quad (8)$$

이다. 여기서  $C_3$ 는 외부에서 설정하는 계수이다.

식 (7)과 (8)에서 제안한 제어기의 계수  $C_0, C_1, C_2, K_i$ 를 결정하기 위해서 다음의 극배치를 도입한다.

### 2.3 극배치에 의한 제어기의 계수설정

식 (6)의 특성방정식이 희망하는 특성을 갖도록 설계하기 위해서 다음의 전달함수를 고찰한다.

$$\frac{N(Z)}{P(Z)} = \frac{K_0(Z - Z_0)}{(Z - P_1)(Z - P_2)} \quad (9)$$

식 (9)에서  $K_0$ 는 계의 이득이며  $P_1$ 는  $P_1$ 의 공액 복소수이다. 식 (6)과 (9)에서 영점  $Z_0$ 와 극점  $P_2$ 를

$$Z_0 = P_2 = -\frac{a_4}{a_3} \quad (10)$$

로 설정하면 안정한 영점-극점의 소거를 실현시킬 수 있다. 식(10)와 같이 설정하면 계의 이득과 제어효과에 영향을 미친다. 그러므로  $Z$ -평면의 원점 가까이에 극점  $P_2$ 를 배치하는 것이 합리적이다.

식 (9)에서 극점  $P_1$ 과  $\bar{P}_1$ 은 제동비  $\zeta$ 와 비제동 고유주파수  $\omega_n$ 에 의해서 다음의 관계를 만족하도록 하면 2개의 우세극을 가지게 된다.

$$P_1 + \bar{P}_1 = 2\exp(-\zeta\omega_n T)\cos(\omega_n T\sqrt{1-\zeta^2}) \quad (11-a)$$

$$P_1\bar{P}_1 = \exp(-2\zeta\omega_n T) \quad (11-b)$$

그리고 식 (6)과 (9)에서  $d_1, d_2, d_3$ 는 다음과 같다.

$$d_1 = P_1 + \bar{P}_1 + P_2 \quad (12-a)$$

$$d_2 = P_1\bar{P}_1 + P_2(P_1 + \bar{P}_1) \quad (12-b)$$

$$d_3 = (P_1\bar{P}_1)P_2 \quad (12-c)$$

이 식 (12)는 외부에서 설정하는  $\zeta$ 와  $\omega_n$ 에 의해서 결정되는 것을 알 수 있다. 이  $d_1, d_2, d_3$ 에 의해서 결정되는 제안한 제어기의 계수  $c_0, c_1, c_2$ 는 식 (7)에서

$$C_0 = \frac{A_0(d_2 - d_1A_0 + A_0) - d_3}{K_i(a_3A_0 + a_4)} \quad (13-a)$$

$$C_1 = \frac{A_0(d_1 - A_0 - 1) - d_3 - a_4K_iC_0}{(a_3 + a_4)A_0} \quad (13-b)$$

$$C_2 = \frac{d_1 - a_1 - A_0 - a_3C_1}{a_2} \quad (13-c)$$

가 되고  $K_i$ 는 정상편차가 생기지 않도록 다음과 같이 설정한다.

$$K_i = 1 - d_1 + d_2 - d_3 \quad (14)$$

식 (14)에서  $K_i$ 는 식 (6)의 특성방정식에  $Z=1$ 을 대입한 것으로  $K_i < 1$ 이면 안정하다. 그러므로 그림 1의 구성도에서 적분제어기의 입력  $U_1$ 가 출력  $U_2$ , 직류 서어보 전동기의 전기자전압  $V$ 를 차분 방정식으로 표시하면 다음과 같다.

$$U_1(k) = U_0 - C_3U_2(k) - C_0\theta(k) \quad (15)$$

$$U_2(k) = U_2(k-1) + K_iU_1(k) \quad (16)$$

$$V(k) = U_2(k) + C_1\theta(k) + C_2W(k) \quad (17)$$

## 3. 시스템의 구성

제어대상인 직류 서어보 전동기의 구동장치 및 위치를 제어하기 위한 전 시스템의 구성에 대해서 고찰을 한다. 이 전 시스템에 대한 구성도가 그림 2이다.

그림 2의 위치제어계의 구성은 PWM발생부, 전력변환부, 직류 서어보 전동기, 각위치 및 각속도의 검출부, 그리고 전 시스템을 제어하기 위한 CPU 및 주변회로로 구성된다.

PWM파의 발생에 필요한 톱니파는 발진기(OSC)에서 발생된 주파수를 12단 2진 리플 카운터(TTL 4040)의 입력측에 가하여 얻어진 출력을

ROM의 번지로 취하고 ROM look up table 방식으로 얻어진 톱니파 데이터를 D/A 변환기(MC 1408)로 출력시켰다. 한편 마이크로 프로세스 제어출력은 절대치 회로에 얻어진 절대치 톱니파와 비교기에서 비교되어 PWM파가 발생된다. 그림 3은 PWM 제어회로이다.

그림 4는 직류 서어보 전동기를 구동하기 위한 PWM 전력변환부로서 그림 4에서 좌측은 MOS FET Gate 구동회로이고 우측은 전력변환부이다. 이 PWM 전력변환에서 직류 서어보 전동기를 정-역회전시키는데 편리한 단일전원을 이용한 스위치 모드를 사용하였다. MOSFET(N-channel power MOSFET, IRF 620×4)의 게이트 구동회로에 포토 트랜지스터(TLP521×4)를 이용하여, 전달되는 신호의 잡음을 방지케 하였으며, MOSFET의 구동은 CPU의 명령에 따라 발생하는 PWM 신호와 기본발전기에서 200[Hz]의 주파수를 발생시키면 2진계수기의 출력이 스위칭 동작에서

얻어지는 주파수와 비교기에서 비교되어 PWM의 On-Time을 조정하므로써 직류 서어보 전동기에 인가되는 전압을 조절하여 전동기의 각속도를 제어한다. 전동기의 회전속도는 속도검출기에서 검출한다. 이 속도검출기에서 검출된 출력전압은 A/D컨버터에 인가하여 마이크로 프로세서에서 연산한다. 이때 속도 검출기의 출력전압이 (+)이면 정-회전, (-)이면 역-회전토록 하였고, 각속도는 각위치의 적분이므로 각속도를 적분하여 각 위치를 계산토록 한다.

그리고 속도검출기에서 발생하는 잡음을 방지하기 위해서 저역여파기를 사용한다. 본 실험에 사용한 직류 서어보 전동기의 제정수는 표 1과 같다.

A/D와 D/A 컨버터는 LAB MASTER 20009이고 마이크로프로세서는 8086으로 이 마이크로프로세서에 의해서 제안한 제어기의 계수는 식 (13)에서 계산되고, 이 계수에 의해서 식 (15), (16), (17)이 계산되어 D/A를 거쳐 PWM발전회로의 비교기에 인가된다. 그리고 부하변동에 의

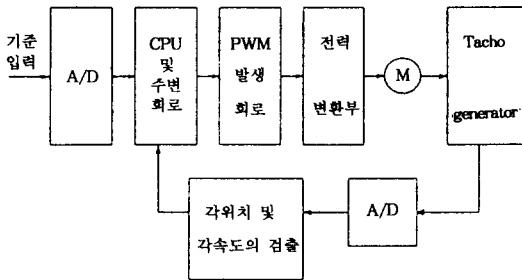


그림 2. 위치제어계의 구성도  
Fig. 2. Block diagram of position control system

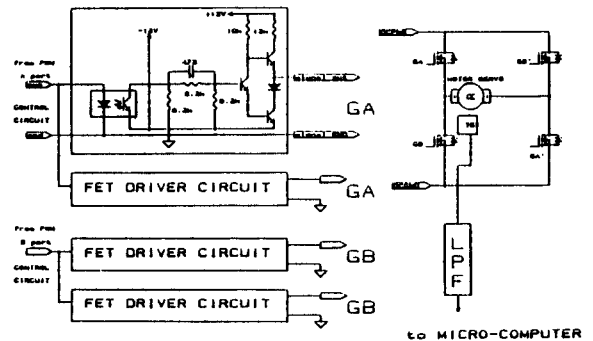


그림 4. 게이트 구동회로와 전력변환부  
Fig. 4. Gate drive circuit and power converter

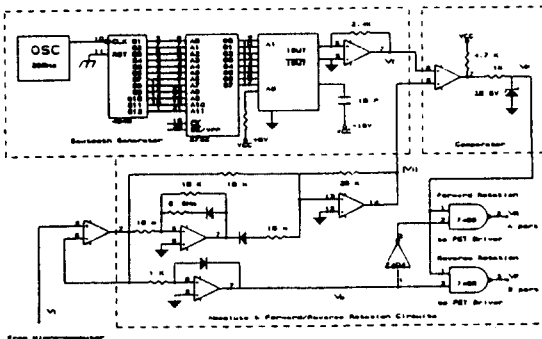


그림 3. PWM 제어회로  
Fig. 3. PWM control circuit

표 1. 직류 servo 전동기의 제정수  
Table 1. Parameters of DC servo motor

전기장정격전압	31.3[V]
전기장정격전류	3.26[A]
전기장저항 R	1.63[Ω]
Torque 상수 K <sub>t</sub>	0.675[kg. cm/A]
역기전력상수 K <sub>e</sub>	6.8[mV/rpm]
점성마찰계수 F	0.00022[kg. cm <sup>2</sup> /s]
기계적 시정수 T <sub>m</sub>	30.9[ms]
전기적 시정수 T <sub>e</sub>	0.12[ms]
정격회전수	4000[rpm]
정격 토크	2[kg. cm]

한 계 응답의 변동을 시험하기 위해서 와전류제동기(Eddy Current Braker)를 사용하였다. 이 제어기의 계수 및 제어 알고리즘은 터보-C 언어를 사용하였고, 이 계산을 수행하는 순서도는 그림 3이다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

그림 3의 제어 소프트웨어 수행 순서도에서 샘플링 주기 T는 1[ms]로 설정하고, 적분제어기의 출력을 기준 입력측에 궤환시키는 궤환계수  $C_3$ 와 제동비  $\zeta(0 \leq \zeta \leq 1)$ , 비제동고유각주파수  $\omega_n$ 을 변화시켜 그림 2의 위치제어계에서 직류 서어보 전동기의 각속도 및 각위치 응답특성을 검토하였다.

그림 4는  $C_3=0.7$ ,  $\zeta=0.3$ ,  $\omega_n=3,100[\text{rad/sec}]$ 일 때 직류 서어보 전동기의 응답특성으로 그림 4의 (a)는 각속도응답, (b)는 각위치 응답을 보인 것이다.

그림 4(a)의 각속도응답특성에서  $\zeta$ 가 적고  $\omega_n$ 가 크므로 기동시 과도응답상태를 보이고 있으며 각속도가 0에 도달하는 시간이 길어 그림 4(b)의 각위치응답특성에서 기동시 약간의 Dead time을 보이고, 과도응답상태가 나타나 정상상태에 도달

하는 시간이 길다.

식 (9)에서  $(z-z_0)$ 와  $(z-p_2)$ 는 식 (10)의 조건에 의해서 소거될 것이므로 특성방정식은  $(z-p_1)(z-\bar{p}_1)=z^2-(p_1+\bar{p}_1)z+p_1\bar{p}_1$ 가 된다. 식 (11)에서  $\omega_n$ 이 증가할수록  $p_1+\bar{p}_1$ 보다  $p_1\bar{p}_1$ 이 빠르게 0에 수렴하므로  $p_1\bar{p}_1 \rightarrow 0$ 일 때 계응답 특성에 지연 특성이 나타나게 되고 이 지연특성이 Dead time에 관계한다. 그러나  $\zeta$ 는  $0 \leq \zeta \leq 1$ 이므로  $p_1\bar{p}_1$ 이 0에 수렴하는데 크게 기여하지 않지만  $p_1+\bar{p}_1$ 의 값에 크게 관계하게 된다.

그림 4의 응답특성곡선에서 과도응답상태를 개선시키기 위해 그림 4의 계수설정에서  $\zeta=0.35$ 로 증가시킨 응답특성곡선이 그림 5이다. 이 그림 5에서 (a)는 각속도응답, (b)는 각위치응답곡선이다. 그림 4에 비해서 그림 5는  $\zeta$ 가 증가하였으므로  $\zeta$ 가 예민하게 작용하여 그림 4의 응답특성곡선에서 과도응답상태가 상당히 감소되었고 Dead time도 단축되었다. 그러므로 각위치 응답특성곡선 그림 5-(b)에서 각위치가 정상상태에 도달하는 시간도 단축된 것을 알 수 있다.

이 그림 5의 응답특성곡선을 개선시키기 위해

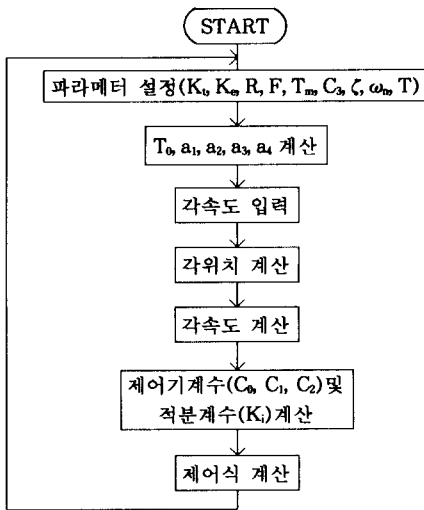


그림 5. 순서도  
Fig. 5. Process flow chart

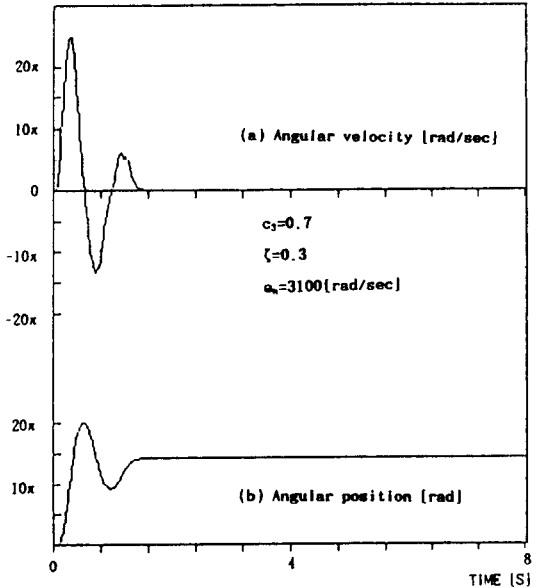


그림 6. 위치제어계에서의 응답특성  
Fig. 6. Characteristic of response in the position control system

서  $\zeta=0.4$ ,  $\omega_n=3,000$ (rad/sec),  $c_3=0.7$ 로 설정 하였을 때 응답특성곡선이 그림 6이다. 그림 6에서 (a)는 각속도응답, (b)는 각 위치응답특성곡선이다. 그림 5에 비해서 그림 6은  $\zeta$ 는 증가하였지만  $\omega_n$ 이 감소하였기 때문에  $p_1+\bar{p}_1$ 의 값이 약간 감소하게 되므로 직류 서어보 전동기의 기동시 속도 응답특성곡선의 구배가 약간 감소하였지만  $\zeta$ 가 예민하게 작용하여 그림 5의 과도응답상태를 양호하게 감소시킨 것을 알 수 있다.

그러나  $p_1+\bar{p}_1$ 의 값이 크게 작용하여 각속도응답특성곡선 그림 6-(a)에서 각속도가 0에 도달하는 시간이 길어 각위치응답특성 그림 6-(b)에서 각 위치가 정상상태 도달하는 시간이 약간 길어졌다.

그림 6에서 각속도가 0에 도달하는 시간을 단축시키기 위해서 적분제어기의 계환계수  $C_3$ 를 0.8로 증가시킨 응답특성곡선이 그림 7이다.

그림 7은 그림 6의 응답특성에 비해서  $\omega_n$ 이 적지만  $c_3$ 가 크게 설정되어서 응답특성 곡선의 구배가 증가하여 정상상태에 도달하는 시간이 크게 단축되어 원하는 제어특성을 보여준다.

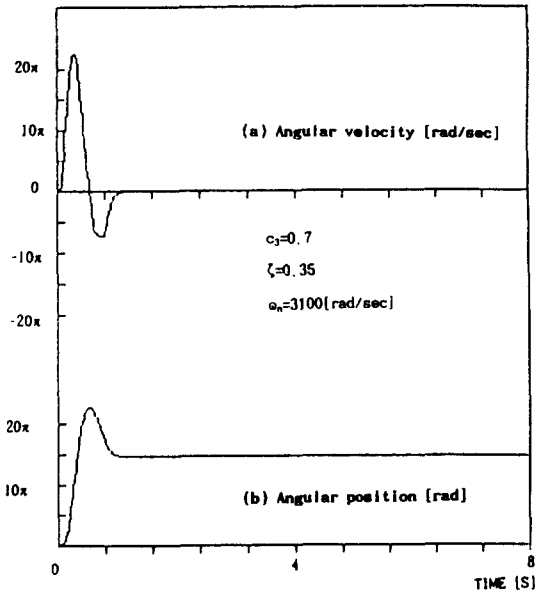


그림 7. 위치제어계에서 응답특성  
Fig. 7. Characteristic of response in the position control system

이것은 식 (8)에서  $C_3$ 가 클수록  $A_0$ 가 적어져 식 (7)의  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ 에 관계하고 이  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ 는 식 (14)의  $K_i$ 에 관계하여 계의 안정도에 크게 기여하게 된다.

그림 8은  $\omega_n=2,920$ (red/sec),  $C_3=0.8$ 로 그림 7과 같고  $\zeta=0.1$ 을 0.1로 하였을 때 계의 응답상태를 보여준다. 여기서  $\zeta$ 가 적으면 계의 응답에 채터링현상이 나타난다.

이 채터링현상은  $\zeta$ 가 적을수록 크게 발생한다. 이것은  $\zeta \rightarrow 0$ 일 때 식 (11)에서  $p_1+\bar{p}_1=2\cos\omega_n T$ ,  $p_1\bar{p}_1=1$ 이 되어  $p_1$ 과  $\bar{p}_1$ 는  $\omega_n$ 과 샘플링 주기  $T$ 에 관계하고 식 (10)의  $p_2$ 는 식 (5)에서 직류 서어보 전동기의 계수  $a_3$ 와  $a_4$ 에 관계하게 된다.

그리고 식 (12)에서  $d_1=p_1+\bar{p}_1+p_2$ ,  $d_2=P_1+\bar{P}_1+p_2(p_1+\bar{p}_1)$ ,  $d_3=(p_1+\bar{p}_1)p_2$ 이므로  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ 는 직류 서어보 전동기의 계수에 크게 관계한다. 그러므로  $\zeta \rightarrow 0$ 일 때 제동비에 의해서 위치제어계의 응답특성은 제동되지 않고 이것들이 측정 노이즈로 작용하게 된다. 이 채터링 현상을 감소시키기 위해서  $\zeta$ 를 크게 설정하는 것이 좋다. 그러나  $\zeta \rightarrow 1$ 이면  $\zeta$ 가 예민하게 동작하여 발진을 일으킬

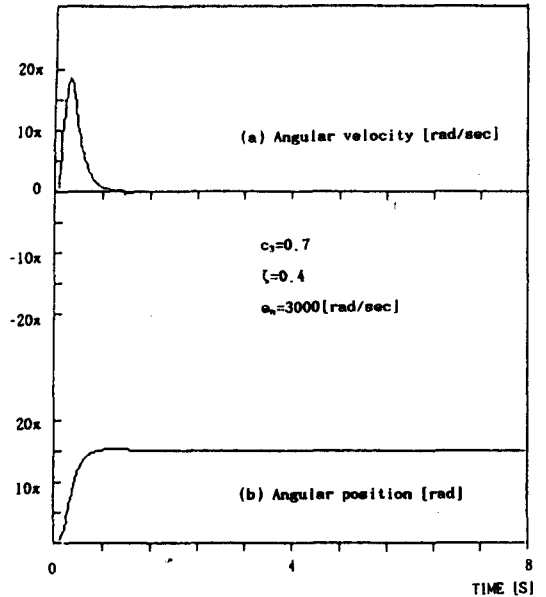


그림 8. 위치제어계에서의 응답특성  
Fig. 8. Characteristic of response in the position control system

가능성이 있으므로 본 실험에서는  $\zeta$ 는  $0.3 \leq \zeta \leq 0.45$ 에서 원하는 특성을 얻을 수 있었다.

제안한 제어기의 외란에 대한 제어효과를 고찰하기 위해서 그림 7의 조건에서 직류 서어보 전동기가 정상위치에 정지해 있을 때 구형파형상의 외란을 인가한 응답특성곡선이 그림 9이며 (a)는 각속도 응답, (b)는 각위치 응답특성곡선으로 각속도 응답은 크게 변화였지만 각위치의 변동이 제어기에 의해서 크게 억제되어 제어기의 제어효과가 양호함을 알 수 있다.

## 5. 결론

직류 서어보 전동기를 구동원으로 하는 위치제어계에서 적분제어기의 출력과 각위치를 기준 입력측에 그리고 각속도와 각위치를 직류 서어보 전동기의 전기자전압측에 채환시키는 상태채환 제어기의 설계법을 제안하였다. 제안한 제어기의 계수들은 극배치에 의해서 설정되도록 하였다.

그리고 이 제어기를 적분제어기로 제어되는 위치제어계에 적용하여 직류 서어보 전동기의 각속

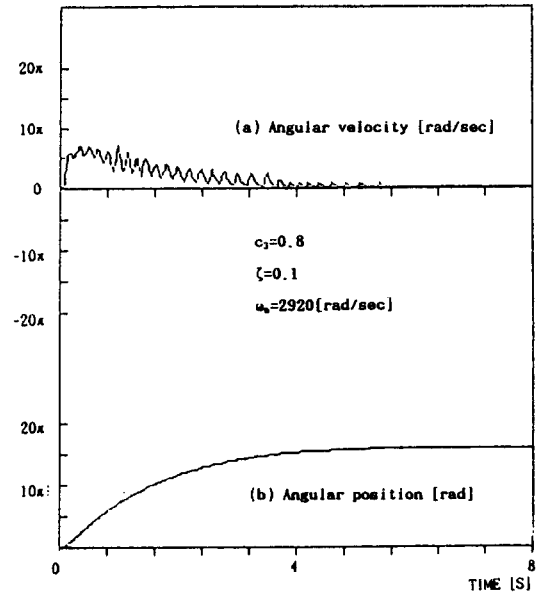


그림 10. 위치제어계에서 응답특성

Fig. 10. Characteristic of response in the position control system

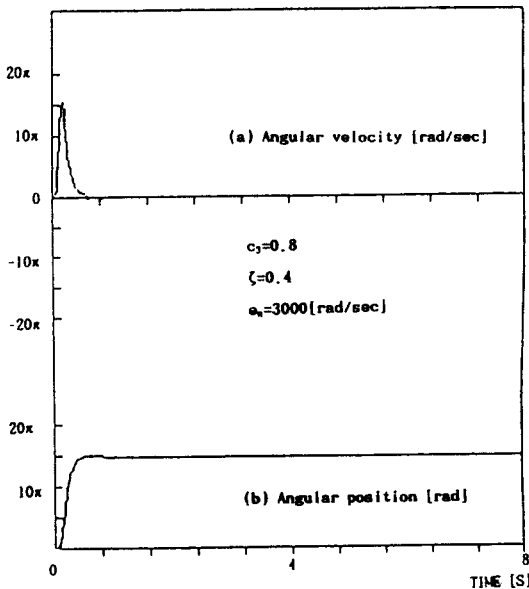


그림 9. 위치제어계에서 응답특성

Fig. 9. Characteristic of response in the position control system

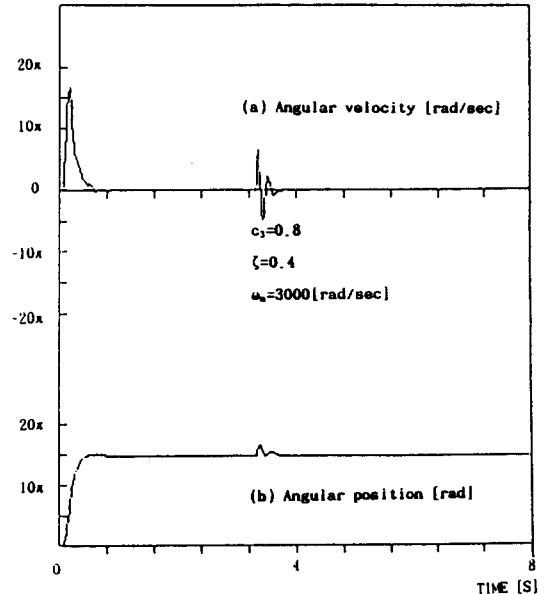


그림 11. 위치제어계에서 외란제거 특성

Fig. 11. Characteristic of disturbance rejection in the position control system

도 및 각위치의 응답특성이 적분제어기의 출력계환계수, 제동비, 비제동고유각주파수를 변화시켜 검출되었다. 이 응답특성실험에서 다음의 결론을 얻었다.

1) 적분제어기의 적분계수는 특성방정식의 계수에 관계하므로 1보다 적어야 계의 안정도에 크게 기여하게 되고

2) 적분제어기의 기준입력측에 귀환되는 계환계수가 클수록 계의 안정도가 증가한다.

3) 제동비가 적을수록 각위치 응답에 채터링 현상이 발생한다.

4) 제동비가 클수록 과도응답상태가 감소하므로 각위치응답에서 정상응답상태에 도달하는 시간이 단축된다.

5) 비제동고유각주파수는 증가할수록 응답특성곡선에서 상승구배가 증가하여 정상상태에 도달하는 시간은 단축된다.

6) 부하변동에 의한 계 응답변동의 보상에도 유효하다.

이상의 결론에서 제안한 제어기의 계수는 적분 제어기의 출력계환계수, 제동비, 비제동고유각주파수에 관계하고 제어효과가 우수하므로 타 제어 분야에 응용가능하리라 사료된다.

### 참 고 문 헌

1) Rafael Kelly, "A Linear-State Feedback plus adaptive

Feed-Forward Control for DC servo motor", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. IE-34. No. 2, pp 153-157, 1987.

2) Hans Butler, Ger Homderd and Job Van Amerongen, "Model Reference Adaptive control of a Direct-Drive DC Motor", IEEE Control Systems Magazine Jan. 1989.

3) K. Ohishi, M. Nakao, K. Ohnishi and K. Miyuachi, "Micro-processor controlled DC Motor Load Insensitive position Servo System", Proc. of IECON '85 pp. 339-412, 1985.

4) Masato Nakao, Kouhei Ohnishi and Kunio Miyachi, "A ROBUST decentralied joint Control based on interference estimation", Proc. of IEEE Int. conf. Robotics Automatic vol. 1, pp. 326-331, 1987.

5) Satoshi Komada, Kouhei Ohnishi, "Force feedback Control of Robot manipulator by the accelatration tracing orientation method", IEEE. Tran. Ind. Electron., vol. 1, pp. 6-12, 1990.

6) Junichi Imura, Toshigaru Sugie and Tsuneo Yoshikawa, "Robust Control for manipulator using accelation information", 計測自動制御學會論文集 Vol. 27, No. 1, pp. 577-584, 1991.

7) Kiyokazu Okamoto, Tokashi Mizarani, Yu-wa Zhang and Yamagiwa, "Load insensitive servomechanism with damping compensator", 計測自動制御學會論文集 Vol. 27, No. 5, pp. 562-568, 1991.

8) 이건녕, 양해원, "적용전향제어기를 이용한 DC 서보모터의 위치제어", 대한전기학회논문지 41권 9호 pp. 1042-1049, 1993.

9) I. S. Meditch and G. Hostetter, "Observers for systme with unknow and inaccessible input", Int. J. of Control., Vol. 19, No. 3, pp. 473-480, 1974.