

# DC서보계에서 2중신경망을 이용한 확대 PID 제어기의 위치제어

이정민\*, 하홍곤\*\*

## The Position Control Of Expanded PID Controller Using Double-Layers Neural Network In DC Servo System

Jung Min Lee\*, Hong Gon Ha\*\*

### Abstract

Many control techniques have been proposed in order to improve the control performance of discrete-time domain control system. In the position control system using a DC servo motor as a driver, the response-characteristic of system is controlled by the PID controller. In the PID control system, the transient response characteristic is more increased and settling time gets longer if gains of PID controller are unsuitable.

In this paper, therefore, a expanded PID control system is constructed by inserting a pre-compensator at output terminal of PID controller. it is implemented by using the double layers neural network. Form the results of computer simulation in the proposed control algorithm, its usefulness is verified.

### I. 서 론

산업현장에서는 고전제어 기법인 PID 제어기법 및 I-PD 제어기법에 많이 의존하고 있다.<sup>1-2)</sup> 그런데 PID 제어기는 제어기의 지연시간이나 외란 또는 부하변동에 의해 계응답이 변할 경우 운전자는 PID 제어기의 제어이득을 재 조정하여야 한다. 즉 제어조건이 변화와 비선형 시변동특성을 갖는 시스템에서 최적의 기능을 수행하기 위해서는 수시로 제어기의 계수를 재조정하지 않으면 PID 제어기는 제어능력을 충분히 발휘하지 못하게 된다.<sup>3-4)</sup>

본 논문에서는 PID 제어기와 전치보상기를 가지는 확대 PID 제어기를 구성하고, 이 확대 PID 제어기를 2개의 은닉층을 갖는 신경망으로 구현하였다. 신경망 내부의 연결가중치가 제어기의 각 이득에 대응되도록 구성하고, 이 연결 가중치가

역전파 학습알고리즘에 의하여 적절히 수정되도록 하였다.

제안된 제어기를 직류 서보 전동기를 구동원으로 하는 위치제어계에 응용하여, 부하변동이나 외란에 의한 계응답편차와, 계응답특성에서 과도응답상태억제 등에 대하여 그 유효성을 실험을 통하여 입증하였다.

### II. 확대 PID 제어기의 구성 및 신경망의 학습

#### 1. 신경망의 학습

신경망 학습을 위한 구성도가 그림 1이다.

\* 동의대학교 전자공학과 대학원

\*\* 동의대학교 전자공학과 교수

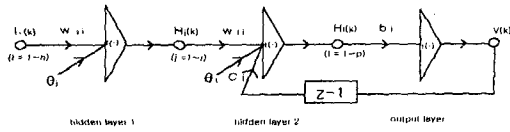


그림 1. 2개의 은닉층을 갖는 신경망  
Fig.1. Neural network with two hidden layers.

net =

$$b_i \left\{ \sum_{j=1}^n W_{ij} \left( \sum_{k=1}^n W_{jk} I_k + \theta_j \right) + \theta_i + \sum_{l=1}^q c_l V(k-1) \right\} \quad (1-a)$$

$$V(k) = f(\text{net}) \quad (1-b)$$

이고 연결강도  $W_{ij}, W_{jk}, c_l$  및  $b_i$ 을 수정하기 위해서 다음과 같은 역전파 알고리즘(Back propagation)을 도입한다.

$$W(k+1) = W(k) - \eta \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{2} \{e(k)\}^2 \quad (3)$$

식(2)에서  $\eta$ 은 학습률, 그리고 식(3)에서  $e(k)$ 는 기준입력과 출력간의 편차이다.

위의 신경망을 실제 제어기에 응용하기 위해서 다음의 확대PID 제어기로 제어되는 위치제어계를 도입한다.

## 2. 확대 PID제어기의 구성.

PID 제어기의 출력을 제어 대상의 입력으로 이용할 때 이 PID 제어기의 제어작용에서 발생하는 잡음이나, 편차등을 억제하기 위하여 PID 제어기의 출력단 즉 제어대상 앞에 1차 지연형의 보상기인 전치보상기로 PID 제어기의 출력을 보상하기 위한 확대 PID 제어계의 구성도가 그림 2이다.

그림 2의 구성도에서  $R(k)$ 는 기준입력이고,  $e(k)$ 는 기준입력과 제어계의 응답간의 편차신호이고,  $H(k)$ 와  $V(k)$ 는 전치보상기의 입력과 출력,  $Y(k)$ 는 출력,  $K_I$ 는 적분기의 이득,  $K_D$ 는 미분기의 이득,  $K_P$ 는 비례기의 이득,  $T_I$ 는 샘플링 시간,  $V(k)$ 는 제어대상의 입력 그리고  $G(Z)$ 는 제어대상이다. 전치보상기는 1차 지연요소로 다음과 같다.

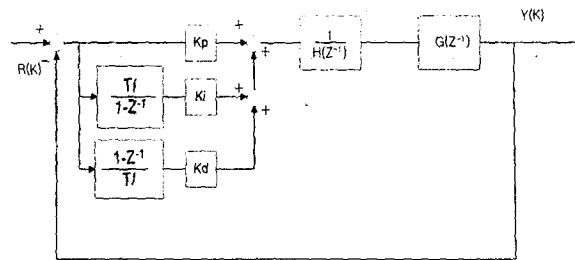


그림 2. 확대 PID 제어기  
Fig. 2. Extended PID control system

$$\begin{aligned} \frac{V(k)}{H(k)} &= \frac{1}{k_0 + k_1 Z^{-1}} \\ &= \frac{1}{k_0} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{1}{k_0} k_1 Z^{-1}} \end{aligned} \quad (4)$$

이다. 식(4)을 이용한 전치보상기의 구성도가 그림 3이다.

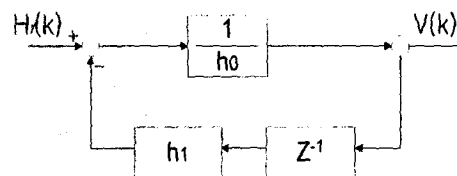


그림 3. 전치보상기의 구성도  
Fig 3. Block diagram of pre-compensator

그림 2의 구성도에서 그림 1의 신경망을 이용하여 PID 출력단에 은닉층 1, 적분기의 출력단에 은닉층 2 그리고 전치보상기의 출력단에 출력층을 설정한 확대 PID 제어계의 구성도가 그림 4이다.

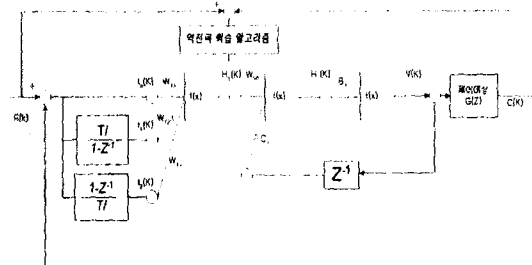


그림 4. 신경망에 의한 확대 PID 제어계의 구성도.  
Fig4. Block diagram expanded PID control system by neural network.

그림 4에서 활성화 함수  $f(x) = x$  이므로  $V(k)$ 는

$$V(k) = b_j W_{20} (I_0 W_{11} + I_1 W_{12} + I_3 W_{13}) + c_j V(k-1) \quad (5)$$

이다. 그림 2와 그림 4에서 계수  $K_p, K_I, K_D$  는  $W_{11}, W_{12}, W_{13}$  이고 그림 3과 그림 4 전치보상기의 계수  $h_0, h_1$  는

$$h_0 = \frac{1}{b_j}, h_1 = c_j \quad (6)$$

이다.

그림 4의 PID 제어계에서 기준위치와 각 위치간의 오차신호  $e(k)$ , 적분기의 출력  $I_0(k)$  신경망의 은닉층 1의 출력  $H_1(k)$ 와 은닉층 2의 출력  $H_2(k)$ 의 출력  $V(k)$  다음의 순서로 계산된다.

$$e(k) = R(k) - Y(k) \quad (7-a)$$

$$I_0(k) = e(k) \quad (7-b)$$

$$I_1(k) = I_1(k-1) + T_I e(k) \quad (7-c)$$

$$I_2(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{T_I} \quad (7-d)$$

$$H_1(k) = I_0(k)W_{11} + I_1(k)W_{12} + I_2(k)W_{13} \quad (7-e)$$

$$H_2(k) = H_1(k)W_{20} + c_j V(k-1) \quad (7-f)$$

$$V(k) = H_2(k)b_j \quad (7-g)$$

연결강도  $W_{11}, W_{12}, W_{20}, W_{21}, c_j$  및  $b_j$  는 식 (2)에서 다음과 같이 수정된다.

$$W_{11}(k) = W_{11}(k-1) + \alpha_1 e(k)W_{20}(k)b_j(k)I_0(k) \quad (8-a)$$

$$W_{12}(k) = W_{12}(k-1) + \alpha_1 e(k)W_{20}(k)b_j(k)I_1(k) \quad (8-b)$$

$$W_{13}(k) = W_{13}(k-1) + \alpha_1 e(k)W_{20}(k)b_j(k)I_2(k) \quad (8-c)$$

$$W_{20}(k) = W_{20}(k-1) + \alpha_2 e(k)b_j(k)H_1(k) \quad (8-d)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \alpha_3 e(k)H_2(k) \quad (8-e)$$

$$c_j(k) = c_j(k-1) + \alpha_2 e(k)b_j(k)V(k-1) \quad (8-f)$$

식 (8)은 신경망에서 은닉층 1과 2의 연결강도가 역전과 알고리즘에 의해 수정됨을 보여주고 최종적으로  $e(k) \neq 0$  이면 (8-a)로 가서 수정되고  $e(k) = 0$  이면 수정이 완료된다.

### III. 실험결과 및 고찰

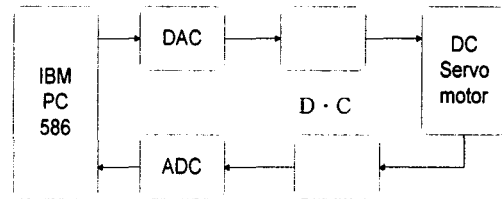


그림 5. 실험 장치 P·M

Fig 5. Configuration of the Experimental setup

서보직류모터를 구동원으로 하는 위치제어계에서 위치를 제어하기 위한 실험 구성도가 그림5와 같다. 직류 서보모터의 각위치를 전위차계(P·M: Potential Meter)에서 검출하여 ADC에서 디지털량으로 변환되어 PC에 인가되도록 하였고 실험에 사용한 서보 모터의 제정수는 표1과 같다.

표 1. 직류 서어보 전동기의 제정수

Table 1. Parameters of DC servo motor

기 호	설 명	값	단 위
$Rm$	전기자 저항	2.6	$\Omega$
$Lm$	전기자 인덕턴스	0.18	$mH$
$Jm$	전기자 회전관성	$3.87 \times 10^{-7}$	$kg \cdot m^2$
$Km$	역기전력 상수	0.00767	$N \cdot m / A$
$Kt$	토크 상수	0.00767	$N \cdot m / A$
$Kg$	기어비	14 : 1	

샘플링 시간  $T_s$  는 0.01[msec]로 하였다. 여기서 기준입력  $R(k)$ 에 각위치 30[degree]로 하였고, 오차  $e(k)$ 가 0이 아니면  $W_{11}(k), W_{12}(k), W_{13}(k), W_{20}(k), c_j(k)$  그리고  $b_j(k)$ 가 식 (8)에서  $e(k) = 0$  이 될 때까지 수정되도록 하였다.

먼저 확대PID 제어기로 각위치를 제어하는 경우 그림 5의 실험에서 각 연결강도의 초기치,  $W_{11}(0) = 0.65, W_{12}(0) = 0.014, W_{13}(0) = 0.0038$

$W_{20}=0.28$ , 식(16)에서  $\alpha_1=0.0001$ ,  $\alpha_2=0.0001$ ,  $\alpha_3=0.0001$ , 그리고 전치보상기 계수  $c_j(0)=0$ 와  $b_j(0)=1$  일 때 즉, 전치 보상기를 사용 안 했을 때 계응답 상태를 그림 6에 보였다. 이 그림 6에서 각 속도가 0에 접근해 갈 때 상당한 과도응답 상태를 보이고 있다. 그림 7은 전치보상기의 계수를  $c_j(0)=0.13$ 와  $b_j(0)=0.47$ 로 하였을 때 각 위치응답으로 그림 6과 비교하면 과도응답 상태는 사라지고 정위치에 도달하는 시간이 단축되었다.

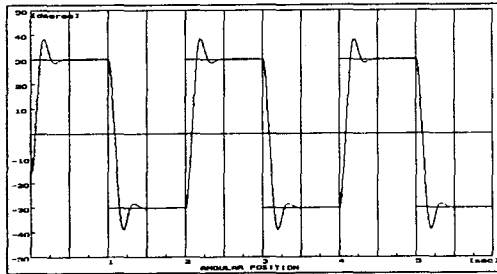


그림 6. PID제어계의 위치 응답. ( $b_j=1, c_j=0$ )  
Fig 6. Responses of PID control system

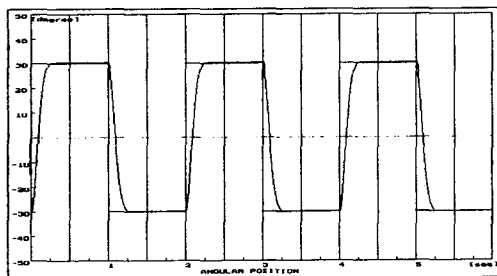


그림 7.  $b_j$ 와  $c_j$ 를 변화 시켰을 때 위치응답  
Fig 7. Response of system varying  $b_j$  and  $c_j$

#### IV. 결 론

본 논문에서 PID 제어기로 제어되는 제어계에서 제어기의 동작시 발생하는 불필요한 잡음이 발생한다. 이러한 잡음을 제거하기 위해서 전치보상기를 설계할 수 있는 방법을 제시하여 이 PID 제어기와 전치보상기를 2개의 은닉층을 갖는 신경망으로 구성하였다. 이 신경망의 연결강도는 제어기의 각 이득에 대응되게 하였으며 연결강도의 수정식은 제어대상이 선형이라고 가정하여 역전파 알고리즘으로 유도하였다. 제안한 제어기법을

직류 서보 전동기를 구동원으로 하는 위치제어계에 적용하여 실험하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

전치보상기의 상수항의 값이 작을수록 상승시간은 단축되지만 1차항의 계수 값이 작을수록 과도응답제거에 효과적이다.

이상의 결과에서 일반 제어계에서 전치보상기를 적절히 설계하여 사용하므로써 양호한 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) H. Butler, Ger Homderd, and Job von Amerongen, "Model Reference Adaptive of a Direct-Drive DC Motor", IEEE Control System Magazine Jan. 1989.
- (2) 高泰彦, "直流電動機의 速度應答改善을 위한 制御器의 設計", 東義大學校 産業技術研究所 研究誌, 第 4卷, 1990, 2, pp. 11-117.
- (3) P. B. Schmidt and R. D. Lorentz, "Design Principles and Implementation of DC Drives", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 28, No. 3, 1992, pp. 594-599.
- (4) K. H. Lee and Z. Bien, "Initial condition problem of learning control", IEEE PROCEEDINGS-D, Vol. 138, No. 6, November. 1991.
- (5) K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, and P. J. Gawthrop, "Neural networks for control systems-a survey", Automatica, Vol. 28, pp. 1083-1112, 1982.
- (6) M. Saerens and A. Soquet, "A neural controller based on back propagation algorithm", Proc. of First IEE Int. Conf. on Artificial Neural Networks, London, pp. 211-215, 1989.
- (7) S. A. Billings, H. B. Jamaludin, and S. Chen, "Properties of neural networks with applications to modeling of nonlinear dynamical systems", Int. Journal of Control, Vol. 55, pp. 193-224, 1992.
- (8) J. Hertz, A. Krogh, and R. G. Palmer, "Introduction to the Theory of Neural Computation", Addison-Wesley, 1991, pp. 89-162.