

# A.C. 서보모터 속도 제어를 위한 신경망 자율 적응제어 시스템의 적용

(Application of Neural Network Self Adaptive Control System  
for A.C. Servo Motor Speed Control)

박왈서\* · 이성수 · 김용욱 · 유석주

(Wal-Seo Park · Seong-Soo Lee · Yong-Wook Kim · Seok-Ju Yoo)

## 요 약

신경회로망은 많은 제어 시스템 분야에서 이용되고 있으나, 단일 궤환 신경회로망 제어기로 사용할 경우 입출력 패턴을 구하기 쉽지 않고, 부하급변 및 외란이 인가되는 경우에는 만족할만한 성능을 얻을 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 신경회로망 출력노드의 활성화 함수 대신에 제어 대상체를 사용하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 결과적으로 제안된 신경회로망 자율 적응 제어 시스템은 구조가 간략화 되었으며 입출력 패턴의 문제가 해결되었고 일반적인 역전파 알고리즘을 이용하여 실시간으로 학습이 가능하게 되었다. 제안된 신경망 자율 적응 제어의 알고리즘 효과는 고속연산을 실행하는 DSP(TMS320C32)에 알고리즘을 탑재하여 A.C. 서보 모터의 속도제어에 의해서 확인하였다.

## Abstract

Neural network is used in many fields of control systems currently. However, It is not easy to obtain input-output pattern when neural network is used for the system of a single feedback controller and it is difficult to get satisfied performance with neural network when load changes rapidly or disturbance is applied. To resolve these problems, this paper proposes a new mode to implement a neural network controller by installing a real object in place of activation function of Neural Network output node. As the Neural Network self adaptive control system is designed in simple structure neural network, input-output pattern problem is solved naturally and real time learning becomes possible through general back propagation algorithm. The effect of the proposed Neural Network self adaptive control algorithm was verified in a test of controlling the speed of a A.C. servo motor equipped with a high speed computing capable DSP (TMS320C32) on which the proposed algorithm was loaded.

Key Words : Neural network, A.C. servo motor Speed control, Activation function, Back propagation

\* 주저자 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

Tel : 063-850-6890, Fax : 063-850-6890

E-mail : wspark@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2007년 6월 4일

1차심사 : 2007년 6월 5일

심사완료 : 2007년 6월 18일

## 1. 서 론

최근까지 서보모터 및 유도모터의 가감변속 운전을 위한 방법으로 산업현장에서는 주로 PID (proportional integral derivation)제어기에 의해 제어되어 왔다.

이는 PID 제어기의 구조가 간단하고 과도응답특성이 좋으며 정상상태오차를 제거할 수 있기 때문이다[1-2].

그러나 제어성능이 시스템의 파라미터 변동에 민감하며 부하외란에 대해 빠른 과도응답을 갖지 못하여 건실성이 떨어진다. 따라서 시스템의 특성이 변화할 경우 제어특성을 유지하기 위해서는 시스템의 특성에 맞는 PID 제어기의 매개변수를 다시 결정해야만 한다[3].

PID 매개변수의 값을 결정하는 것은 전문적인 지식을 갖추고도 상당한 시간과 노력이 요구된다. 근래에 까지 매개변수의 획득에 대한 많은 연구가 있어 왔다.

최근에는 시스템 자체에 관련된 정보가 없어도 제어환경의 변화에 스스로 적응할 수 있는 신경회로망을 제어분야에 적용되고 있다[4-5].

신경회로망은 많은 제어 시스템 분야에 응용되고 있으며 단일 궤환 신경회로망 제어기로 사용할 경우 에뮬레이터(emulator)를 이용하는 연구가 진행되고 있으나 이는 에뮬레이터가 부수적으로 필요하게 됨으로서 연산수가 많아지는 단점을 갖고 있다[6-7].

본 논문에서는 에뮬레이터를 사용하지 않고서도 시스템 특성에 적합하게 궤환제어 이득이 자동으로 결정되는 신경망 자율 적응제어 시스템을 제안하였다. 제안된 방법은 학습을 통하여 제어 대상 시스템의 정보를 얻어 시스템의 특성에 맞게 적용하여 PID 제어기와 같은 기능을 갖고 있으며 부하급변 및 외란 인가시 시스템에 맞는 매개변수를 자동으로 결정하고 동조되는 효과를 가지게 된다.

따라서 산업현장에서 널리 사용되는 PID 제어기의 대체 제어기로 사용된다면 자동화설비의 기능을 한층 높일 수 있으리라 사료된다. 본 논문에서 제안된 신경회로망 자율적응 제어 시스템의 기능은 제안된 알고리즘이 탑재된 고속연산의 DSP에 의한 A.C. 서보 모터의 속도실험에 의하여 확인하였다.

## 2. 신경망 자율 적응제어 시스템

### 2.1 신경회로망

신경회로망은 학습에 의하여 지식을 얻고, 저장할 수 있고, 활용할 수 있는 기능을 갖춘 것으로서 생물학적 두뇌작용을 모방하는 기법이다. 신경회로망에는 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 다양한 기능이 있지만, 제어분야에서는 인식과 최적화 기능이 사용되어 오차를 최소화시켜주는 델타학습규칙이 주로 사용되고 있다.

이에 대한 단일 뉴턴을 블록선도로 나타내면 그림 1과 같다.

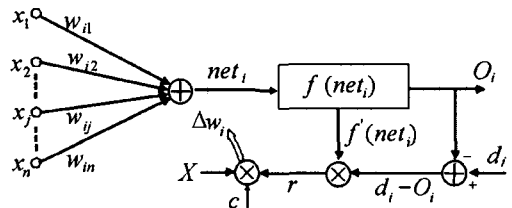


그림 1. 델타학습 블록선도  
Fig. 1. Delta learning Block diagram

학습신호( $r$ )는 다음과 같이 정의된다.

$$r = [d_i - f(W_i^t X)] f'(W_i^t X) \quad (1)$$

여기서  $W$ 는 무게값 벡터,  $X$ 는 입력 벡터를 나타낸다. 윗 첨자  $t$ 는 전치를 뜻하고, 그림에서 사용된 기호  $net$ 는  $W^t X$ 와 같은 값을 갖는다.

$$W = [W_{i1}, W_{i2} \dots W_{in}]^t$$

$$X = [X_1, X_2 \dots X_n]^t$$

델타 학습규칙은 기준값( $d_i$ )과 출력값( $O_i$ )차의 제곱오차를 최소화 시키는 조건으로부터 얻어질 수 있고, 오차제곱벡터( $E$ )는 다음과 같이 정의된다.

$$E = \frac{1}{2} (d_i - O_i)^2 = \frac{1}{2} [d_i - f(W_i^t X)]^2 \quad (2)$$

무게값( $W_i$ )에 대한 오차 기울기 벡터( $\nabla E$ )는 다음과 같다.

$$\nabla E = \frac{\partial E}{\partial W_i} = -(d_i - O_i) f'(W_i X) X \quad (3)$$

오차를 최소화시키기 위해서 무게치는 음의 기울기 방향으로 변화되어야 하므로 다음과 같은 관계가 성립해야만 한다.

$$\Delta W_i = -C \nabla E = C(d_i - O_i) f'(W_i X) X \quad (4)$$

여기서  $C$ 는 양의 상수이고, 무게값은 다음으로 조절된다.

$$W_i^{k+1} = w_i^k + \Delta W_i^k \quad (5)$$

델타 학습규칙은 복잡한 영역까지 인식 가능한 3층 이상으로 확장되어 사용되고, 일반적으로 그림 2와 같은 형태의 제어시스템으로 구성된다.

그림 2는 에뮬레이터를 가지는 신경회로망 시스템의 블록선도이다.

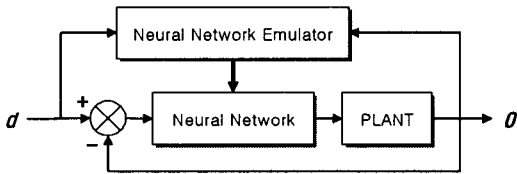


그림 2. 신경회로망 제어 시스템  
Fig. 2. Control system of Neural Network

신경회로망 에뮬레이터를 갖는 구조의 제어시스템은 연산수가 많아져서 시간이 많이 소요되는 단점을 갖고 있으므로 실시간 제어에 적합하지 않다.

## 2.2 신경망 자율 적응제어 시스템

신경회로망 제어기는 지도입출력 패턴이 필요하게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 에뮬레이터를 사용하지 않게 되는데, 이러한 경우에 연산수가 증가되어 실시간 제어에 어려움이 발생한다.

본 논문에서는 신경회로망 제어기의 마지막 출력 노드에 플랜트를 설치하는 방법을 도입하였고, 제어 입력( $u$ )에 보조제어 입력을 부과함으로써 신경회로망의 응답특성을 개선하였다.

다층구조인 경우에 마지막 출력노드를 블록선도로 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3에서 기호  $Y$ 와  $F$ 는 마지막 출력노드의 입력과 학습신호이며,  $P'(net_k)$ 는 마지막 출력노드의 미분값을 나타낸다.

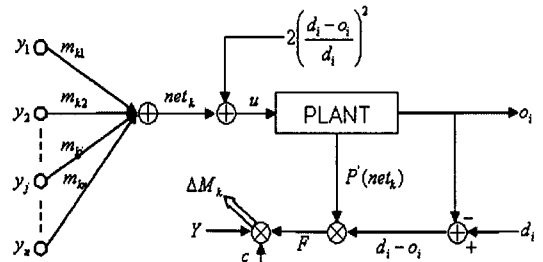


그림 3. 학습이득 자율적응 알고리즘을 갖는 시스템의 블록선도  
Fig. 3. Block diagram of control system with the algorithm for self-adaptive of learn gain

그림 3에서와 같이 출력노드의 활성화 함수 대신에 플랜트를 대치함으로써 자연스럽게 신경회로망의 지도 입출력 패턴의 문제를 해결하였다.

또한 제어 시스템의 응답특성을 개선하기 위하여 보조제어 입력을 부과한 제어입력( $u$ )는 식 (6)과 같다.

$$u = net_k + 2 \left( \frac{d_i - o_i}{d_i} \right)^2 \quad (6)$$

제안된 신경망 자율 적응 제어 알고리즘은 오차와 오차변화율의 정보를 이용하여 제어를 수행함으로써 시스템 특성에 대한 지식 없이 조작자가 원하는 제어를 행할 수 있다는 점과 비숙련공도 숙련공 같이 시스템을 운영할 수 있는 장점을 갖추고 있다.

또한 학습시작과 더불어 시스템 특성에 맞는 이득으로 학습이 수행되어 설정값에 이르게 되면 학습이 완료됨으로써 실시간 제어기에 편리하게 사용될 수 있다.

### 3. 실험 및 결과고찰

#### 3.1 시스템 구성

본 논문에서 사용된 A.C. 서보 모터(Model : LG-OTIS FMA-CB02-AB00)의 파라미터는 표 1과 같다. A.C. 서보 모터의 드라이브는 LS-OTIS FDA-5002을 사용하였으며 부하는 11[kg]의 일반형 부하로 모터 회전축과 벨트로 연결되어 있다.

표 1. A.C 서보모터의 파라미터  
Table 1. Parameter of A.C. servo motor

항 목	데이터	항 목	데이터
정격전압[V]	220	정격회전수[rpm]	3,000
무부하 정격전류[A]	1.80	주파수[Hz]	60
정격용량[KW]	0.2	극수[P]	4

또한 A.C. 서보 모터를 실시간으로 제어하기 위해 프로세서는 DSP(TMS 320C32)을 사용했으며, 12 [Bit] 4096분해능의 A/D 컨버터 및 D/A 인버터, 타코제리네이터 등으로 시스템의 전체적인 구성은 그림 4와 같다.

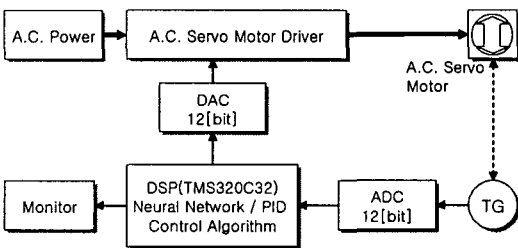


그림 4. 시스템 구성  
Fig. 4. Compassion of system

PID 제어 시스템과 신경망 자율 적응 제어 시스템의 파라미터는 표 3과 같으며, PID 제어시스템의 매개변수는 Ziegler-Nichols가 제안한 계단 응답법으로부터 얻어진 파라미터를 사용하였다.

신경망 자율 적응 제어 시스템은 단일입력과 1층 1노드, 2층 4노드를 선택하였고, 출력층은 단일노드로 활성화 함수대신 본 논문에서 제안한 AC 서보모터를 사용하였다.

신경회로망의 초기 연결강도(weight)는  $-0.5 \sim +0.5$ 의 범위에서 임의 선택하였으며, 본 논문에서는 모터의 정회전 방향에 따라 신경회로망의 학습 결과는 연결강도의 초기값이 0보다 클 때를 선택하였다.

표 3. 시스템의 파라미터  
Table 3. Parameter of system

알고리즘	항 목	파라미터
PID 제어	비레이득 $k$	4.39
	적분이득 $T_i$	0.28
	미분이득 $T_d$	0.07
신경 회로망	학습상수 $c$	0.389
	교사신호 $d$	1500
	뉴런상수 $\lambda$	1.0
	활성화함수	단극 시그모이드

#### 3.2 A.C. 서보 모터의 실험 및 결과고찰

그림 5는 A.C. 서보 모터의 PID 시스템 및 신경망 자율 적응 제어 시스템의 초기응답곡선을 나타내고 있다.

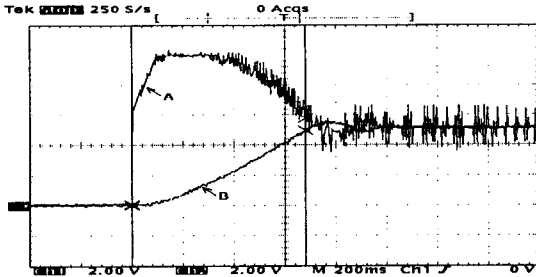
그림 5의 (a)는 PID 제어 시스템의 응답곡선으로 A는 제어입력이며 B는 응답곡선으로 680[ms] 후 본 시스템에서 설정한 목표값인 1200[rpm]에 도달하였다.

그림 5의 (b)는 신경회로망 자율적응 시스템의 응답곡선으로 학습을 통해 자율적으로 설정값에 적응해 가는 과정으로 A는 제어입력, B는 응답곡선으로 600[ms] 후 설정값에 도달하였다.

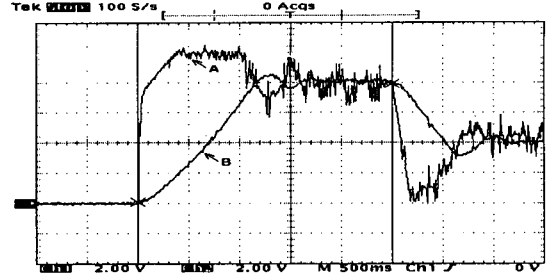
따라서 본 논문에서 제안한 신경회로망 자율적응 제어 시스템이 PID 제어 시스템보다 80[ms] 빨리 설정값에 도달됨을 보였다.

그림 6은 설정값이 2400[rpm]으로 운전 중 2500[ms] 후 1200[rpm]으로 변경될 때의 시스템의 추적응답곡선이다.

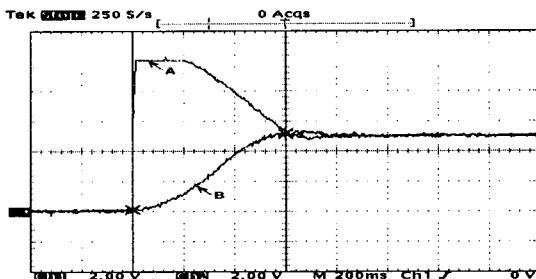
그림 6의 (a)는 PID 제어 시스템의 응답곡선으로 A는 제어입력이며 B는 응답곡선으로 2400[rpm]의 설정값까지 도달되는데 1700[ms]가 소요되었고, 1200[rpm]으로 변경하였을 경우 설정값에 도달되



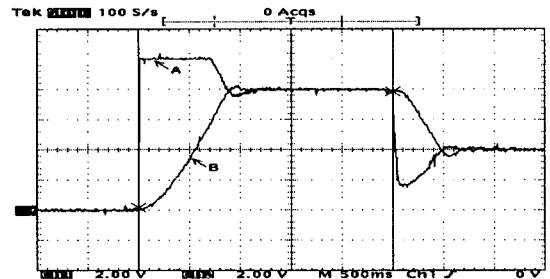
(a) PID 제어 시스템의 초기 제어 응답곡선



(a) PID 제어 시스템의 추적 응답곡선



(b) 신경회로망 자율적응 시스템의 초기 제어 응답곡선



(b) 신경회로망 자율적응 시스템의 추적 응답곡선

그림 5. 제어 시스템의 초기 제어 응답곡선  
Fig. 5. Initial period control response curve of control System

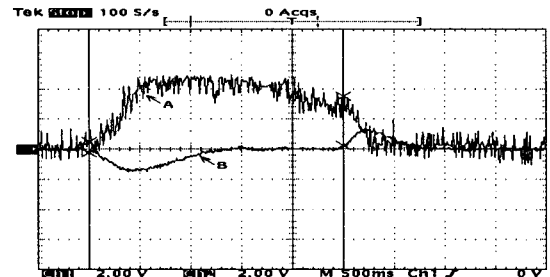
그림 6. 제어 시스템의 속도추적 응답곡선  
Fig. 6. Speed tracking response curve of control system

는 시간은 1200[ms]가 걸렸으며 감쇄진동이 발생하였다.

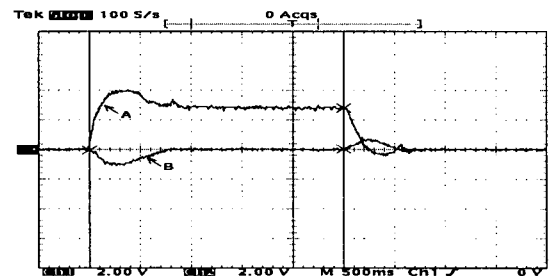
그림 6의 (b)는 신경망 자율 적응 제어 시스템의 응답곡선으로 A는 제어입력이며 B는 응답곡선이다. 초기부터 2400[rpm]의 설정값까지 도달하는데 900[ms]가 소요되어 PID 제어 시스템보다 800[ms] 빨리 도달되어 매우 우수한 성능을 보였고, 설정값을 1200[rpm]으로 변경시 약간의 감쇄진동이 있었으나 700[ms]후 설정값에 도달하여 PID 제어 시스템 보다 500[ms] 빨리 원하는 궤적에 수렴함을 보였다.

그림 7은 제어 시스템에 외란인가에 대한 시스템의 응답곡선이다. 외란은 11[kg]의 원반부하를 이용하여 설정값의 50[%]인 750[rpm]의 속도를 감속시킬 수 있게 하였으며 2500[ms]동안 지속적으로 계단형 감속외란을 시스템에 인가하였다.

그림 7의 (a)는 PID 제어시스템의 외란응답곡선으로 A는 외란제거를 위한 제어 입력이며 B는 외란의 영향에 대한 모터의 회전수를 나타내는 출력 응답곡



(a) PID 제어시스템의 외란 응답곡선



(b) 신경회로망 자율적응 시스템의 외란 응답곡선

그림 7. 제어 시스템의 외란응답 곡선  
Fig. 7. Disturbance response curve of control system

선으로 정상상태에서 외란을 인가시 최대 이탈은 480[rpm]이며 이탈 지속시간은 1200[ms] 동안 지속되었다.

그림 7의 (b)는 외란의 영향에 대한 신경망 자율 적응 제어시스템의 응답곡선으로 A는 외란제거를 위한 제어입력이며 B는 외란의 영향에 대한 응답곡선으로 외란 인가시 최대 이탈은 300[rpm]으로 속도가 감소하였으며, 800[ms] 동안 외란의 영향으로 설정값에서 이탈하였으나 PID 제어 시스템보다 400[ms] 빨리 외란을 제거하는 우수한 성능을 보였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 PID 제어 시스템과 신경회로망 제어 시스템의 현안 문제점을 개선하여 궤환 제어 시스템에서 유용하게 사용될 수 있게 하기 위하여 신경회로망의 학습이 시스템에 대한 사전의 정보가 없이도 자율적으로 시스템에 적용할 수 있는 신경망 자율 적응제어 시스템을 제안하였다.

제안된 신경망 자율 적응 제어 시스템은 입출력 패턴을 얻기 위한 에플레이터가 없기 때문에 제어시스템의 구조가 간단하게 구성됨에 따라 고속연산 처리가 가능하여 실시간으로 제어 수행이 가능하게 되었으며, 시스템의 특성이 간헐 또는 연속적으로 변화하거나 외란이 존재하더라도 실시간으로 학습을 통하여 잘 적응하는 특징을 보였다.

실험의 결과에서 보여 지는 바와 같이 A.C. 서보모터를 제어 대상으로 사용한 신경망 자율 적응제어 시스템은 초기응답 및 추적응답 특성 그리고 외란제거 특성에서 PID 제어 시스템 보다 우수하였다.

이와 같은 결과에 의하여 신경회로망의 학습 이득이 시스템 운전과 더불어 자동으로 결정되어 짐으로써 매개변수 결정에 전문가의 지식 그리고 많은 시간과 노력이 필요로 하는 PID 제어 시스템의 단점이 극복되었다.

따라서 제안된 신경망 자율 적응 제어 기법은 자동화 설비에 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

이 논문은 2007년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

#### References

- (1) K. J. Åström, Automatic tuning of PID controller, Sumit Technical Associates Inc. 1988.
- (2) Z. Y. Zhao, M. Tomizuka and S. Tsaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers" IEEE Trans. syst. Vol. 23, No. 5, pp. 1393~1397, September/October, 1993.
- (3) K. J. Åström, B. Wittenmark, Adaptive control, Addison-Wesley publishing company, 1995.
- (4) N. Hovakimyan, F. Nardi, A. Calise, "Adaptive Output feedback control of Uncertain", IEEE Traans. Neural Network, Vol. 13, No. 6, pp. 1420~1431. November 2002.
- (5) J. Q. Hong, F.L. Lewis, "Neural-Network Predictive Control for Nonlinear dynamic systems with Time-Delay", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 14, No. 2, pp. 377~389, March 2003.
- (6) K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, and P. J. Gawthrop, "Neural Networks for control system-A survey", Automatic, Vol. 28, No. 6, pp. 1083~1112, 1992.
- (7) K. J. Åström, B. Wittenmark "Adaptive control" 1995 by Addison-wesley publishing company.

#### ◆ 저자소개 ◆

##### 박일서 (朴日緒)

1953년 5월 1일생. 1982년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수.

##### 이성수 (李成洙)

1973년 5월 10일생. 2002년 원광대학교 공대 전기전자공학부 졸업. 2004년 2월 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 학교법인 기능대학 한국폴리텍V 대학 남원캠퍼스 전기제어과 교사.

##### 김용욱 (金龍旭)

1961년 8월 24일생. 1981년 인천기능대학 전기과 졸업. 1993년 창원기능대학 전기과 졸업. 1998년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 2000년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 학교법인 기능대학 한국폴리텍V대학 남원캠퍼스 전기제어과 부교수.

##### 유석주 (劉錫柱)

1959년 2월 20일생. 1987년 원광대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 원광대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 현재 한국농촌공사 익산지사 근무.