論文 6-1-7

신경회로망을 이용한 평면좌표형 공작기계 교류서보전동기의 제어에 관한 연구

金 平 鎬, 白 亨 來, 鄭 壽 福

A Study on the Control of AC Servo Motor for Machine Tools Cartesian Coordinate Type Using Neural Network

Pyoung-Ho Kim, Hyung-Lae Baek, Soo-Bok Chung

요 약

본 논문은 신경회로망에 근거한 교류서보전동기의 제어를 위해 새로운 기법을 제안하고자 한다. 일반적인 제어기법을 사용하는 대신 신경회로망 PID제어기가 교류서보전동기 제어를 위해 이용되었다. 서보시스템에서 널리 이용되는 제어는 PID제어이며, 이는 간단한 구조와 안전성과 신뢰성을 지니고 있다. 그러나 복잡한 시스템에서 문제점을 나타내므로 불확실한 파라미터의 상태에서는 불완전한 동작을 나타내고 있다. 본 논문에서는 PID제어기의 개선된 제어 알고리즘을 제안하여 교류서보전동기의 시스템을 신경회로망제어를 이용한 PID제어기에 의해 구동시켜 단계적인 제어를 시뮬레이션과 실험에 의해서 제안한 제어알고리즘의 타당성을 입증하고자 한다.

ABSTRACT

This paper presents a new approach to the problem based on neural network methods. Instead of using general controllers, neural networks PID control are used to control AC servo motor. The most popular and widely used control method in servo system control loops is PID type. PID controller has the features of simple structure, stability and reliability. But it has limitations in complex system control and can not remain above virtues under the conditions of parameters uncertain and environment uncertainties. AC servo motor controller is designed for drive of the cartesian coordinate type for machine tools.

Key Words : AC servo motor, Neural network, PID control, Cartesian coordinate type, Machine tools

1. 서 론

최근 전력용 반도체 산업의 발달로 인하여 마이크로프로세서의 제어기술이 향상됨에 따라 교류기도 직류기에 못지 않게 제어가 경제적으로 가능하게 되었고 더욱이 우수한 보수성을 갖고 있으므로 직류기의 대체용으로 AC 서보모터가 각광을 받고 있는 실정이다.[1]

DC서보모터는 정류자를 갖고 있어서 정류한계에 의해 고속, 고 토크로서의 사용이 제한되고 브러시라는 마모부품을 가지므로 점검이나 교체가 곤란한 장소에는 설치하기가 어렵다. 이상에서 알 수 있듯이 DC서보모터에는 브러시와 정류자가 존재하지만 AC서보모터에는 없으며 신뢰성이 높은 구조로 되어 있다. 일반용도에 사용하는 전동기는 물론 속응 정밀제어의 특성상 아나로그방식을 주로 사용해왔던 AC서보모터도 디지털화로 되고 있다.[2] 산업현장에서 서보시스템 제어를 위한 방법으로 널이 이용되고 있는 제어기는 PI 또는 PID 제어기이다. 하지만 이러한 제어기는 제어상수값이 적절히 조절될 경우 우수한 제어결과를 얻을 수 있으며 제어알고리즘이 간단하여 손쉽게 구현할 수 있다. 그러나 제어결과가 시스템의 파라미터 변동에 민감하므로 시스템의 주위 동작환경과 노후화에 따른 파라미터변동이 부하외란에 대해 속응성을 갖지 못하여 신뢰성이 떨어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 학습기능을 가지면서 외부환경이나 시스템 자체에 관한 지식이 없어도 제어환경 변화에 스스로 적응할 수

있는 신경회로망제어기에 관한 연구가 활발하다.[3,4]

본 논문에서는 AC서보모터의 단계적인 제어를 구현하기 위하여 기존의 제어기방법과 달리 신경회로망을 이용한 PID제어기를 TMS320C31로 구현함으로써 열악한 환경에서 파라미터 변동 등의 단점을 극복하여 종래의 PID제어기에 비해 고 정밀의 우수한 제어응답성을 얻을 수 있었다. 병렬분산처리 방식으로 데이터를 처리하므로 하나의 연산장치 내에서 한 번에 한 가지의 연산만을 순차적으로 수행하는 디지털 컴퓨터의 정보처리 방식과는 달리 수많은 뉴런에 분산 저장되는 정보가 동시에 병렬 처리되므로 실시간 처리가 가능하며 몇 개의 공정요소가 고장난 경우나 입력정보의 외란이 존재하는 경우에도 전체의 출력에는 영향을 끼치지 않으므로 교류서보전동기의 정밀제어를 위해 시간지연소자를 이용해서 시스템의 현재 입력과 출력뿐만 아니라 과거의 데이터를 입력으로 이용하는 온 라인형 신경회로망 PID제어기는 간단한 알고리즘으로 구현하기 쉽고 부하 외란에 강인함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에 의한 제어응답특성을 산업현장에서의 응용과 직류서어보 모터와 같은 고성능 정밀제어를 실현하고자 하는 공작기계 등에 적용하고자 시험한 데이타를 정리하여 단계적인 제어를 통해 AC서보모터의 특성을 관찰하였다.

2. 교류서보전동기 제어기설계

2.1 신경회로망 제어기

신경회로망은 하드웨어 구현이 가능하므로 처리속도가 더욱 더 빨라지고 회로망의 구조가 커지더라도 구현이 가능하며 비선형 이론에서 함수 매핑과 같은 실제 문제까지 접근이 가능하므로 비선형 제어에 적당하고 신경회로망은 병렬구조를 가지고 있어서 병렬분산처리가 가능하여 처리속도가 빨라서 실시간 제어가 가능하고 기존의 제어규칙 보다 잡음에 강하며 정량적인 데이터와 정성적인 데이터를 동시에 운용할 수 있으므로 센서 데이터의 합성이 용이하고 서로 다른 데이터와의 인터페이스 기능이 있다. 그리고 여러 개의 입력과 여러 개의 출력을 가지므로 다중 입출력 변수 시스템에 적당하고 학습능력이 있으므로 플랜트나 환경을 모델링 할 필요가 없으며 학습을 통해 제어능력을 향상시킬 수 도 있다. 이상의 신경회로망에 관한 장점 및 특징들에 의하여 신경회로망을 이용한 로보트의 제어가 로보트 제어 방법들이 갖는 문제점들을 해결할 수 있다.[5,6]

2.2 신경망제어를 이용한 PID제어기 구성

다음 그림은 신경망을 이용한 PID 제어기의 흐름선도이다.

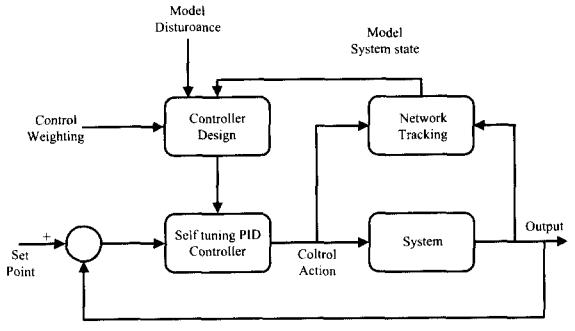


그림 1 신경회로망을 이용한 PID제어기 튜닝
Fig. 1 Neural network tuning of PID controller

본 논문에 사용된 제어기는 미지의 제어대상 자코비안에서도 입출력만으로 제어가 가능한 간접 신경회로망 방식을 이용하여 기존 PID제어기의 동조가 가능하게 하였다. 간접 신경회로망은 제어대상을 감시하는 에뮬레이터(NNE)와 제어대상을 제어하는 신경회로망 제어기로 구성된다. 본 논문에서는 제어기 설계의 용이성을 위하여 에뮬레이터와 제어기의 구조와 모든 변수를 동일하게 사용하였다. 기존에 사용되었던 PID제어기는 파라미터를 시스템에 맞도록 조정해 주어야 하는 불편함을 신경망의 학습을 통해 스스로 시스템에 맞는 제어기로서 동작 할 수 있도록 하였다.

그림 2는 제안한 신경망제어기의 내부구조로 각층의 뉴런의 개수와 뉴런의 활성화 출력을 위한 임계함수는 다음과 같다.

신경망제어기에 입력되는 인자들은 그림 2와 같이 설정 치와 실제 출력치 비교에서 생기는 오차의 시간지연 성분 e(n)과 시간변화에 따른 오차변화 ce(n)과 오차변화의 변화치 cce(n)으로 구성된다.

e(n)은 e(n+1)의 시간지연성분으로 e(n)은 식 (1)로 나타내고 ce(n)와 cce(n)는 식 (2)와 식 (3)과 같다.

$$e(n) = TD[e(n+1)] = TD[R(n+1)-Y(n+1)] \quad (1)$$

$$ce(n) = e(n) - e(n+1) \quad (2)$$

$$cce(n) = ce(n) - ce(n+1) \quad (3)$$

그리고 4번째 인자는 바이어스로서 중간층 뉴런의 입력에 첨가시켜서 보다 안정한 뉴런 출력을 얻을 수 있도록 한다.

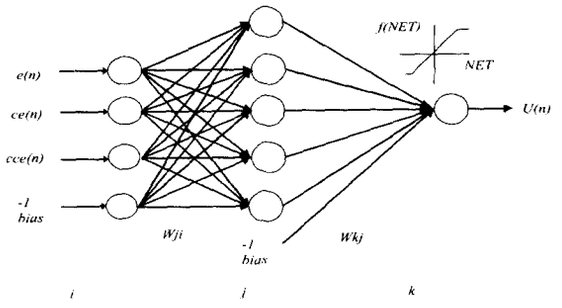


그림 2 신경회로망 제어기의 입·출력 인자
Fig. 2 Input and output elements of neuro controller

신경망제어기의 중간층의 수와 각각의 중간층 뉴런의 개수는 중간층을 단일 층으로 구성하고 중간층 뉴런의 개수는 5개로 한다. 그리고 입력층과 마찬가지로 하나의 바이어스를 첨가시키고 각 뉴런의 임계함수는 기울기가 1인 선형함수를 취한다. 출력층 뉴런의 개수는 하나로서 제어신호 u(n)을 출력하며 출력층 뉴런의 임계함수는 중간층과 같은 선형함수를 취하나 학습 시 최적의 출력을 얻도록 출력이득을 조정할 수 있게 기울기를 임의로 조정 가능하다.

3. 시뮬레이션

신경회로망 알고리즘과 PID 제어기를 이용한 교류서보 전동기 제어 알고리즘의 타당성을 고찰하기 위하여, 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션에 사용된 서보 전동기는 11[kW] 급으로 정격 속도가 3,000 [rpm]인 전동기의 파라미터는 표 1과 같으며 역전파 신경회로망에 의해 이득이 자기동조 되는 비례적분 속도 제어기를 사용하였다. 자기동조 비례적분 제어기와 비례적분 제어기에 따른 서보 전동기에서의 속도응답 특성을 비교, 고찰하였다.

표 1 11[kW] 교류서보전동기의 파라미터
Table 1 Parameters of 11[kW] servo motor

정격 전압	220 [V]	회전자 저항 R_r	5. [Ω]
정격 전류	35 [A]	고정자 저항 R_s	4.5 [Ω]
정격 속도	3,000[rpm]	회전자 인덕턴스L_r	0.243 [H]
고정자인덕턴스 L_s	0.244 [H]		
상호인덕턴스 L_m	0.239 [H]	관성 모멘트 J_m	0.082 [Kgm²]

전동기에 흐르는 정현파 교류와 동기하여 회전하는 축(d·q)의 상대속도를 0으로 가정하여 i_d를 구하면 다음과 같다.

$$i_d = -\frac{R_a}{L_a} i_d - \frac{\omega_m \Phi}{L_a} + \frac{V_d}{L_a} \tag{4}$$

적분기를 사용하여 식 (4)의 블럭선도를 그리면 그림 3과 같다.

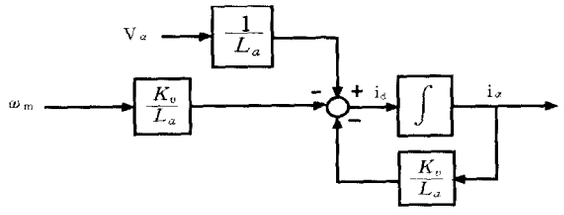


그림 3 d축 전류제어 구성도
Fig. 3 Block diagram of d axis current control

제어입력은 샘플링간격을 일정하게 유지할 때 전달함수는 식 (5)과 같다.

$$G(z) = Z\left[\frac{1-e^{-st}}{s} G(s)\right] \tag{5}$$

G(s)는 전달함수이므로 이를 부분분수로 전개하여 Z 변환을 하면 그 결과는 그림 4와 같다.

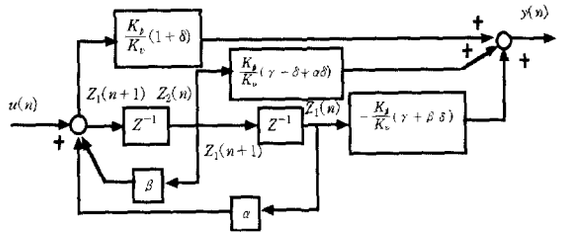


그림 4 교류서보전동기 값의 모델
Fig. 4 Model of discrete value in a AC servo motor

그림 4에서 $G(s) = \omega_m(s)/I_o(s)$를 구하면 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{\frac{1.5K_eK_p}{JL_a}}{S^2 + \frac{R+K_{pK_i}}{L_a} + \frac{1.5K+K_v}{JL_a}} \tag{6}$$

알고리즘은 컴퓨터 언어 Borland C++를 이용하였으며, 전동기 시스템은 벡터제어 모델에서 5차 비선형 연립 방정식의 형태이므로, 이의 해를 구하기 위해서 Runge-Kutta 방법을 사용하였고 전류제어 주기를 25[ms], 속도 제어 주기는 250[ms]로 설정하였다.

학습률과 관성상수 그리고 각 가중치의 초기 값은 시행착오를 거쳐 선정된 최적에 가까운 값이다.

제어기와 에뮬레이터의 초기 접속강도는 오프-라인으로 구해지며, NNE의 학습으로부터 역전파 알고리즘을 이용하여 온-라인 학습을 한다.

그림 5는 신경회로망에 의한 PID제어기를 이용한 경우의 속도응답 파형으로 500rpm, 1500rpm, 0rpm으로 다단계로 속도 지령치를 변화시킨 경우이다. 서보전동기가 자기동조 비례적분기에 의해 잘 추종하였고 그림 6은 그림 5와 동일한 조건으로 하였을 때 PID제어기를 이용한 속도응답 파형으로 매우 잘 추종함을 알 수 있다. 실제 일정 시스템에 맞추어진 비례적분 제어기는 다른 제어기보다 우수하다. 대부분의 제어기는 그 제어시점에 맞추어진 비례적분 제어기 보다 양호한 제어가 어렵고 노후화나 외란 등에 의해 제어환경이 변할 경우 단일 이득을 가진 비례적분 제어기는 양호한 제어가 곤란하다.

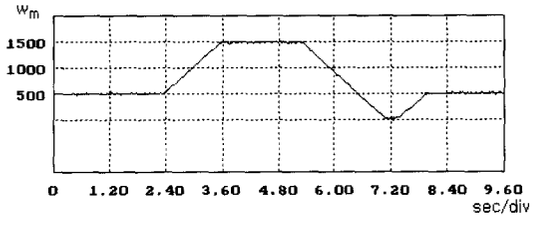


그림 5 신경회로망을 이용한 PID제어기의 속도 특성
Fig. 5 Speed characteristics with PID controller using neural network

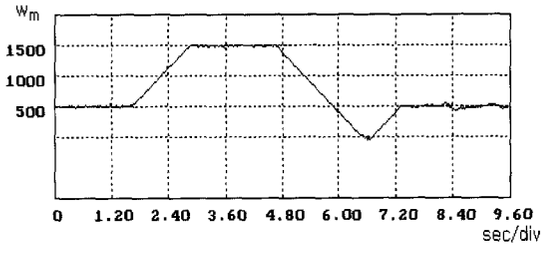


그림 6 PID제어기를 이용한 속도 특성
Fig. 6 Speed characteristics with PID controller

그림 7은 PID 속도제어기에 의한 저속 제어로서 매우 양호한 제어를 보이고 있다. 그러나 그림 8은 고정자와 회전자의 인덕턴스를 15% 변화시킨 경우로 파형에 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 9는 신경회로망에 의한 PID제어기에 의한 저속 제어로서 매우 양호한 제어를 보이고 있다. 그러나 그림 14는 고정자와 회전자의 인덕턴스를 15% 변화시킨 경우로 정상상태 오실레이션이 있음을 알 수 있다.

그림 8과 그림 10에서 비례적분 제어기보다 신경회로망을 사용한 PID제어기가 환경변화에 강인함을 알 수 있다. 시뮬레이션결과에서 약간의 지연현상이 보이는데 관성계수와 마찰계수 적당하지 않았을 때 그러한 현상이 나타났었고 이득값 중에서 I(적분계수)의 값이 적당하지 않았을 때도 그러한 현상을 보였다.

그림 11, 그림 12, 그림 13에서는 속도 제어 시 일반적인 PI, PID제어기로 구현된 시스템과 신경회로망 제어에 의한 PID제어기를 비교한 것으로 일반적인 제어기가 상승시간이 신경회로망에 의한 PID제어기에 비하여 빠른 반면 오버슈트가 발생하는 것을 알 수 있었으며 제어기의 이득튜닝에 의해서 오버슈트를 제거 할 수 있으나 작업공정이나 주위환경 변화에 따라 이득계수들이 실시간 자동 튜닝이 어렵고 신경망 제어기를 이용한 PID제어기는 상승시간이 느리지만 오버슈트 없이 정상상태에 도달하는 것을 알 수 있었다. 기계가공의 산업용 로보트에 사용되는 서보시스템에서는 오버슈트가 발생하면 공작대상물에 가해질 공구의 회전력이 일정치 못하므로 고전적인 P, PI , PID제어에 의한 방법보다는 본 논문에서 제안한 신경회로망을 이용한 PID제어가 적합함을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있다.

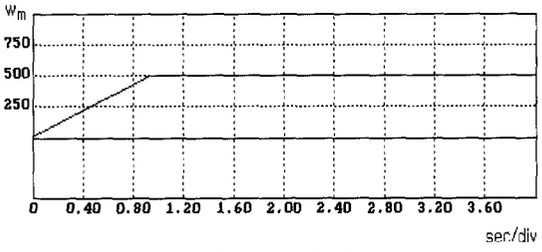


그림 7 PID제어기를 이용한 저속 특성
Fig. 7 Low-speed characteristics with PID

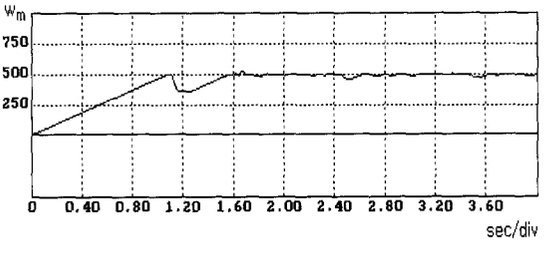


그림 8 PID제어기를 이용한 저속 특성
(고정자와 회전자의 인덕턴스 15% 변화)
Fig. 8 Low-speed characteristics with PID
(Inductance variation 15% of stator and rotor)

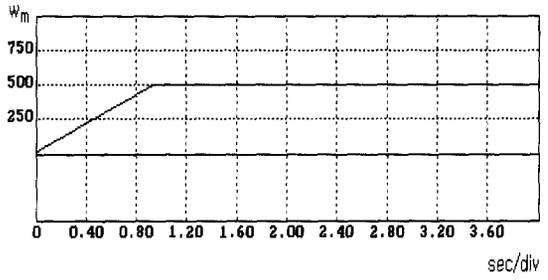


그림 9 신경회로망을 이용한 자기동조 PID제어기의 속도특성
Fig. 9 Speed characteristics with self tuning PID controller using neural network

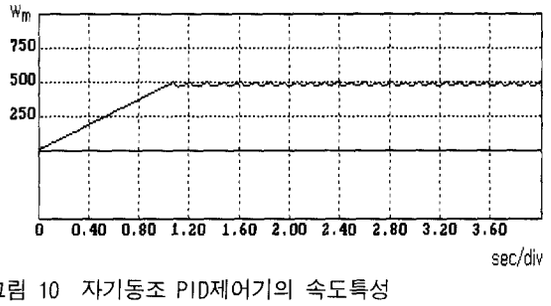


그림 10 자기동조 PID제어기의 속도특성
(고정자와 회전자의 인덕턴스 15% 변화)
Fig. 10 Speed characteristics with self tuning PID controller using neural network
(Inductance variation 15% of stator and rotor)

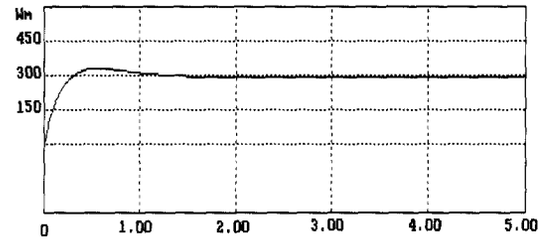


그림 11 PI제어기에 의한 기동 특성
Fig. 11 Starting characteristics by PI controller

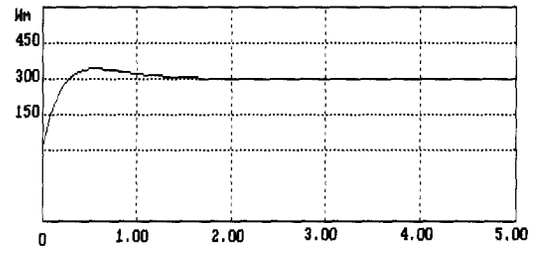


그림 12 PID제어기에 의한 기동 특성
Fig. 12 Starting characteristics by PID controller

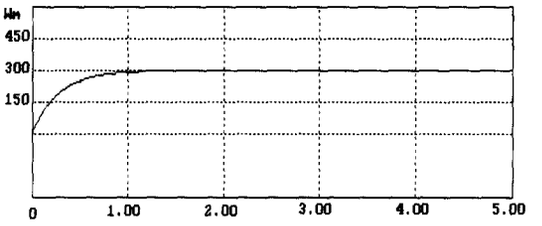


그림 13 신경회로망을 이용한 PID제어기의 기동 특성
Fig. 13 Starting characteristics of PID control by neural network

4. 실 험

4.1 실험장치 구성

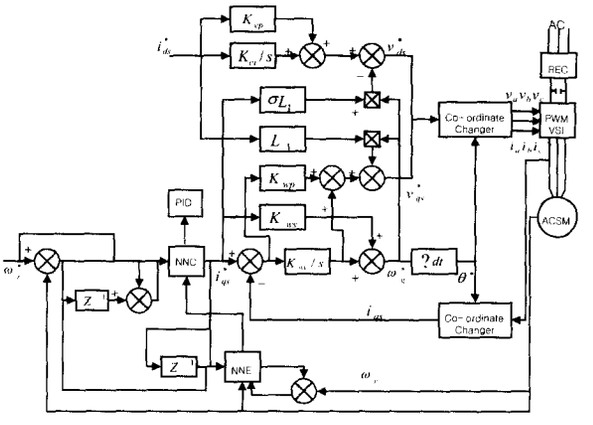


그림 14 서보시스템의 구성도
Fig. 14 Block diagram of servo system

그림 14는 서보시스템 블록도로서 간접 신경회로망을 이용한 PID 동조를 사용한 제어방식이다. 디지털 서보구성은 프로그램에서 주어진 지령정보가 제어기에 의해 처리되고 각축에 위치지령을 한다. 각축의 위치지령정보는 고성능 마이크로프로세서에 전해진다. 마이크로프로세서에는 이러한 정보를 기초로 위치, 속도, 전류의 제어를 일괄 처리하고 PWM제어신호를 출력한다. PWM제어신호는 별도로 장치된 서보 증폭기에 입력되고 서보증폭기는 PWM제어신호를 증폭시켜 교류서보 전동기에 전원을 공급한다. 전동기의 구동전류는 서보증폭기를 지나고 전동기의 위치, 속도정보는 펄스코더 등을 통하여 제어기에 의하여 피드백 된다.

이상과 같이 전동기의 위치, 속도 값 등을 검출하여 추종하여야 조작량을 마이크로프로세서가 선택하여 최종적으로 동작하게 된다.

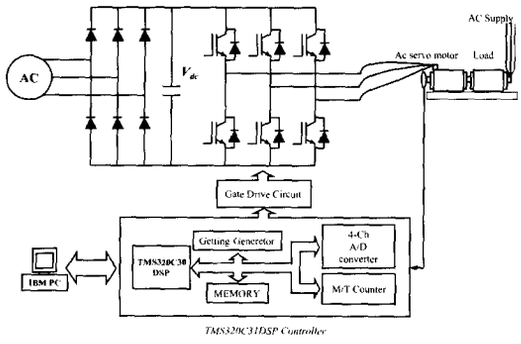


그림 15 교류서보시스템의 구성도
Fig. 15 Configuration of AC servo system

그림 15는 시스템 구성도 이다. 제어 대상인 교류서보전동기는 동기전동기이며 부하로는 유도전동기를 사용하였으며, 제어대상 전동기에 전력을 공급하기 위하여 인버터 그리고 제어기를 구성하고 부하에는 3상 변압기에서 전압을 가변 하여 입력하였으며 대상 전동기와 반대로 회전하도록 하였다. 인버터 전력용 소자는 고속 스위칭을 얻을 수 있고 PWM으로 인한 전류리플을 줄이기 위해 IGBT를 사용하였다. 속도 및 위치 제어알고리즘과 신경망제어 알고리즘과 PID제어알고리즘은 모두 마이크로프로세서에 의해 모두 디지털로 처리하도록 하였으며 33[MHz]로 동작하고 32bit 부동 소수점 연산이 가능한 DSP TMS320C31를 사용하였다.

4.2 제어 소프트웨어

소프트웨어는 초기화 프로그램과 일정한 주기로 제어 알고리즘을 수행하는 인터럽트 루틴으로 구성된다.

그림 16은 제어 소프트웨어의 전체적인 흐름도이다. 초기화프로그램은 초기에 전역변수들과 제어기의 이득값을 지정하고 제어보드에 구성되어 있는 주변소자들의 초기화를 실행한다. 제어를 위한 루틴들은 일정한 주기의 샘플링 시간을 유지해야 하므로 인터럽트 루틴을 구성하였다. 인터럽트는 전류제어를 위해서 타이머 인터럽트(TINTO), M/T를 위해서는 외부인터럽트(INTO), 속도제어를 위한 외부인터럽트(INT1)로 크게 나눌 수 있다. 전류제어를 위한 샘플링 주기는 DSP의 속도를 고려하여 90[μsec]로 설정하였다. 그리고 속도제어를 위한 샘플링 타임은 전류제어루프 10번마다 한 번씩 하게 된다.

전류제어 인터럽트가 발생하면 먼저 인버터를 위한 게이팅이 이루어지고 전류를 읽어 전류제어를 실행한 다음, 공간 전압 벡터 변조 루틴을 실행한다. 실제 속도를 계산하기 위한 인터럽트는 M/T 방식으로 속도 측정의 샘플링 주기는 전류제어 샘플링 주기보다 ΔT 만큼의 시간 후에 처리된다.

속도제어 인터럽트가 발생한 경우에는 먼저 지능제어 알고리즘을 이용하여 속도를 추정하고, 속도제어기에서 전류 지령치를 계산하여 간접 벡터제어를 행한다. 학습률과 출력층 뉴런의 기울기는 각 실험에 의한 데이터를 통하여 학습률은 0.059이고 출력층 뉴런의 기울기는 0.0039로 설정하여 실험하였다.

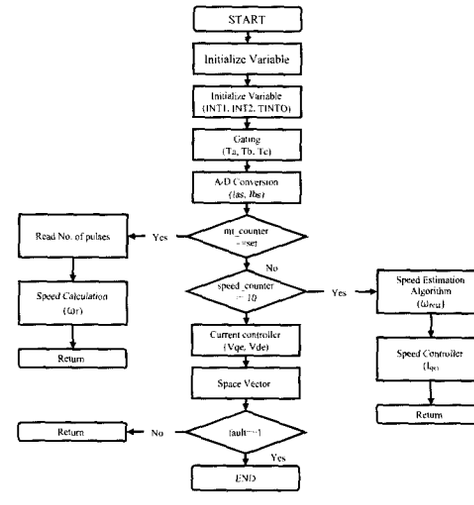


그림 16 시스템 흐름도
Fig. 16 Flowchart of system

4.3 실험결과

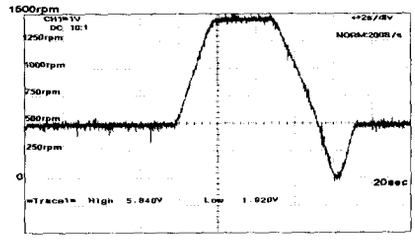
그림 17은 신경회로망 제어에 의한 PID제어를 이용한 부하가변 실험의 결과이다.

그림 17의 (a)는 500[rpm], 1500[rpm], 500[rpm]에서의 가감속에 대한 속도응답 특성을 나타내고 있는 경우로서, 10[sec]후에 1500[rpm]으로 응답하고 7[sec]후에 500[rpm]으로 가감속 변화를 한 경우이다.

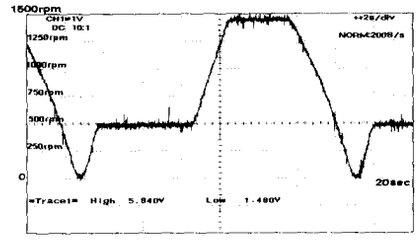
전동기의 응답속도는 기준속도 지령을 500[rpm]을 주었을 때 실제속도는 100[ms]이내에 수렴하고 0[sec]후에 1500[rpm]으로 가속 시에는 약 200[ms], 다시 500[ms] 후에 500[rpm]으로 감속 시에는 200[ms]이내에 정상 상태 편차와 오버슈트가 없이 수렴한다. 가속의 경우와 감속의 경우에 대한 응답특성은 거의 비슷하며 이는 시뮬레이션 파형과 거의 일치함을 알 수 있었다.

그림 (b)는 CCW방향으로 500[rpm]에서 1500[rpm]

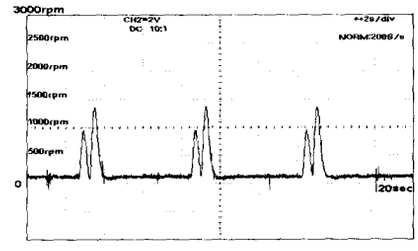
으로 가속운전, 1500[rpm]에서 0[rpm]으로 감속운전하고 있는 실험결과이다. 그림 (c)는 100[rpm] 가속시 부하율 85%와 100[rpm] 연속 운전 시 부하율 6%로 운전하였을 때의 결과이고, 그림 (d)는 0[rpm] → 500[rpm] 회전 시 부하율 140%와 500[rpm] 회전 시 부하율 6%로 운전하였을 때의 결과이다. 그림 (e)는 0[rpm] 에서 1000[rpm] 가속시 부하율 141%와 1000[rpm] 회전 시 부하율 17%로 운전하였을 때의 결과이다. 그림 (f)는 0[rpm]에서 1500[rpm]으로 가속운전 상태에서 부하율 141% 와 1500[rpm] 회전 시 부하율 23%로 운전하였을 때의 각각 실험결과를 비교하였다. 속도를 변화시키는 순간에서는 약간의 오버슈트와 지연이 발생되었지만 지령한 값에 거의 정확히 도달함을 알 수 있었다.



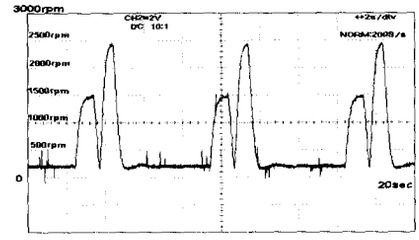
(a) Speed response characteristics for change of reference speed from 500[rpm] to 1500[rpm]



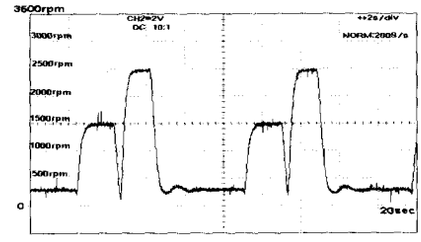
(b) Speed response characteristics for change of reference speed from 1500[rpm] to 0[rpm]



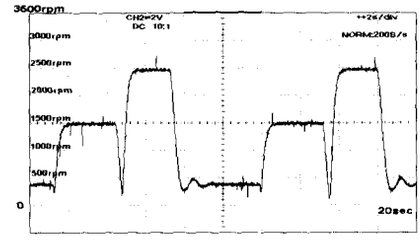
(c) Speed response characteristics of 85% rating load and 6% changing load injection at 100[rpm]



(d) Speed response characteristics for change of reference speed from 0[rpm] to 500[rpm] with 140% load and 500[rpm] with 6% load



(e) Speed response characteristics for change of reference speed from 0[rpm] to 1000[rpm] with 141% load and 1000[rpm] with 17% load



(f) Speed response characteristics for change of reference speed from 0[rpm] to 1500[rpm] with 141% and 1500[rpm] with 23% load

그림 17 부하변화에 따른 속도특성
Fig. 17 Speed characteristics to the variation of load

5. 결 론

본 논문에서는 신경회로망에 의한 PID제어기를 설계하고, 제안한 알고리즘에 의해 교류서보전동기의 각 단계별 구간제어를 구현하였다. 설정된 기준속도 값을 추종하는 실험을 PI제어, 신경회로망에 의한 PID제어 실험을 통하여 신경회로망을 이용하였을 때의 PID제

어기의 우수성을 확인 할 수 있었다.

또한, 모델구조에 대한 정보가 전혀 없는 교류서보 전동기의 제어기를 TMS320C31로 구현하여 기존의 PID제어기와 신경회로망을 이용하여 비교, 실험하였다. 기존의 제어방법과는 달리 신경회로망을 이용한 PID제어기를 구성하여 실험에 의해 얻어진 제어이득을 토대로 추종 오차를 검출하여 얻어지는 오차검출 값에 따라 최적의 제어 값을 얻을 수 있으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 논문의 신경회로망을 이용한 PID제어기는 수학적 모델링 없이 비 선형함수의 학습능력과 시변 파라미터에 대해 강인한 특성을 가지고 있기 때문에 비선형 시스템 같은 복잡한 시스템을 학습시켜 식별이 가능하게 하였다. 기존의 역전파 학습방식에 의한 신경회로망 추정기를 본 논문에서 제안한 알고리즘에 적용하였을 경우 양호한 속도제어 특성을 보였다. 그러나 안정된 속도추정이 이뤄지지 않고 백프로퍼게이션 신경회로망과 함께 기기상수를 적용한 부하관측기를 부가한 경우 속도추정이 개선됨을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 신경회로망을 이용한 PID제어의 보완을 위해 공작용 기계 등의 각각의 계수를 데이터화하여 공작기계용 서보시스템에 적용한다면 충분한 활용 가치가 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 1998년 조선대학교의 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] 月刊 自動化技術編輯部, "메카트로닉스를 위한 최첨단 제어용모터", 성안당, pp. 40~60, 1994.

[2] 원종수 외 2인. "AC서보모터와 마이컴제어", 동일출판사, pp. 13~49, 1995.

[3] 백형래 외. "신경회로망을 이용한 평면좌표계형 로봇구동용 교류서보전동기 제어기", 99년도 전력전자학대회 논문집, pp. 14~17, 1999.

[4] Kenji Inoue, Junji Yoshitsugu, Shin Shirogane, Prasanna Boyagoda, Mutsuo Nakaoka. "Automatic Learning Control-Based Gain Parameter Auto-Tuning Scheme for AC Servo System", IEEE. Trans. IA. vol. 31, no. 1, pp. 739~747, 1997.

[5] Clemens Schaffner, Dierk Schroder, Ulrich Lenz. "Application of Neural Networks to Motor Control", IPEC'95, pp. 46-51, 1995.

[6] 차인수 외, "신경회로망을 이용한 초음파모터의 속도특성에 관한 연구", 95년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. A, pp. 39~41, 1995.

저 자 소 개

김평호(金平鎬)

1969년 2월 18일생. 1992년 조선대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~2001년 현재 서강정보대학 조교수.

백형래(白亨來)

1949년 5월 14일생. 1971년 조선대 전기공학과 졸업. 1992년 건국대 전기공학과 졸업(공박). 2001년 현재 조선대 전기공학과 교수. 대한전기학회 기획이사. 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 부회장.

정수복(鄭壽福)

1945년 1월 23일생. 1969년 조선대 전기공학과 졸업. 1980년 건국대 대학원 전기전자공학과 졸업. 2001년 현재 조선대 전기공학과 교수. 대한전기학회 광주전남 지부장.