

가속도제어에 근거한 강인한 직류서보전동기 위치제어계

Robust DC Servo Motor Position Control System based on Acceleration Control

朴 泰 建*, 李 起 常**

Tae-Geon Park*, Kee-Sang Lee**

요 약

본 연구에서는 직류 서보전동기의 위치, 속도 및 토오크 등의 제어기법중 외란에 대해 강인한 것으로 평가되고 있는 기존의 가속도 제어가법을 해석하고 그 결과 적용상의 문제점으로 판단되는 계통 파라미터 변화에 대한 강인성을 개선하기 위한 대책으로서 변경된 가속도제어 루프를 포함한 위치제어계를 제안하고 이를 직류전동기의 위치제어에 적용하였다. 제안된 제어계는 가속도제어기와 자기동조 퍼지 PID제어기로 구성되어 있으며 제안된 제어계와 기존의 가속도제어계와의 근본적 차이점은 이 제어기법의 핵심 요소라 할 수 있는 가속도 기준입력 정정량의 발생기구로서 고전적 PID제어기를 자동조정하는 자기동조 PID 제어방식을 채택하였다는 점이다. 이 기준입력 발생기구를 도입한 직류전동기 위치제어계의 성능을 검토하기 위하여 그 응답특성을 기존의 가속도제어 위치제어계의 응답특성과 비교한 결과 파라미터 변화에 대한 강인성, 과도 특성 및 정상상태 특성면에서 제안된 제어계가 매우 우월한 성능을 가짐을 확인하였다. 따라서 제안된 제어기법은 기존의 가속도제어에 근거한 위치제어계의 성능을 개선시켜줌으로써 이 제어기법의 적용범위 확대에 기여하며 특히 모델의 불확정성이 크거나 부하 등 운전환경이 크게 변화하는 약조건 하에서의 정밀한 위치제어에 적용될 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, a DC servo motor position control system based on acceleration control is proposed. The proposed control system consists of an acceleration controller and an auto-tuning fuzzy PID controller. The auto-tuning fuzzy PID controller provides corrections for an acceleration reference to remove the effect of parametric uncertainties. And it comprises of the expert system which performs the automatic tuning of the PID controller parameters and the conventional PID controller. Experimental results demonstrate that the proposed overall control system has robust properties and good control performances with regard to unmeasurable disturbances and parameter variations. Therefore, the proposed control scheme enhances the applicability of an acceleration control approach and especially performs accurate position control under such an operating environment that model uncertainties exist and/or load, etc. change significantly.

*단국대학교 전기공학과 박사과정

**단국대학교 전기공학과 교수

I. 서론

전동기를 포함한 서보계통에 디지털 제어가 도입된 이래 전동기 구동시스템은 비약적으로 발전을 거듭하였으며 첨단 산업용 프로세스 자동화의 핵심요소로서 용도와 중요성이 날로 증가하고 있다. 따라서 전동기 구동시스템을 위하여 우수한 과도특성과 부하변화 등의 운전환경 변화 및 모델의 불확정성 등에 대한 강인성을 갖는 고성능 제어기법에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다[1-4].

서보계통의 위치, 속도 등을 제어하기 위한 대표적 기법으로는 전류 제어기법[5, 6], 피드포워드 보상기법[7, 8], 그리고 최근에 개발된 가속도 제어기법[9-13] 등을 들 수 있다.

현재까지 폭 넓게 사용되고 있는 전류 제어기법은 위치, 속도 및 전류의 세 제어루프로 구성되어 있으며 속도제어기의 출력은 전류 기준입력으로 취급된다. 이때 PI제어기, 히스테리시스 제어기, 램프비교 제어기 등이 전류제어기에 사용될 수 있으며, 위치와 속도에서의 정상상태편차를 피하기 위하여 속도제어기로 PI제어기를 사용할 경우 효과적인 외란제거를 위해서 속도제어기의 비례이득이 충분히 커야한다. 그러나 로봇트 매니플레이터와 같은 저장성계를 제어함에 있어서 큰 이득은 진동을 유발하므로 고성능을 보장하지 못하며 또한 안정도의 입장에서 바람직하지 않다[8, 9].

한편, 속도제어기 이득을 증가시키지 않고 외란을 제거하기 위한 한 방법으로 외란관측기를 사용한 피드포워드 보상기법이 개발되었으나 이 보상기법은 측정된 회전속도와 전기자전류로부터 외란을 추정하기 위한 지연시간과 외란관측을 위한 추가적인 하드웨어 또는 소프트웨어를 요구하며, 제어성능은 전류제어기법에서 처럼 전류제어기에 의해 크게 좌우된다[10].

가속도는 전동기의 발생토크, 부하토크 그리고 마찰토크들을 포함한 전 구동력에 의해 영향을 받는 동시에 위치에 직접적인 영향을 준다. 따라서 가속도를 직접 제어하는 것이 가능하다면 외란으로 인한 제어성능의 저하를 효과적으로 제거할 수 있다[8-10]. 가속도제어기법에 근거한 위치제어계의 성능과 관계있는 요소는 다음과 같다.

- (1) 위치기준입력 발생을 위한 저역통과필터(LPF) 파라미터
- (2) 가속도제어기
- (3) 가속도기준입력 정정량 발생기구

이중 (1)항은 요구되는 출력응답의 시정수와 관계되므로 제어계의 제반성능개선을 위해 변경, 수정될 수 있는 요소는 (2), (3)항의 요소이다. 가속도 제어기법에 근거한 위치제어계는 전류측정이 요구되는 전류 제어기법, 피드포워드 보상기법과는 달리 전동기 자체의 등가모델로부터 유도되는 제반 특성을 이용하여 외란에 강인한 가속도제어기의 파라미터 및 가속도추정기의 시정수를 결정함으로써 짧은 시간내에 실제가속도가 기준가속도를 추종할 수 있다. 그러나 가속도기준입력 정정량 발생루프는 모델의 불확정성이 존재하는 경우 및 전동기에 인가된 부하크기의 급변 등 모든 상황변화를 보상함으로써 서보제어계의 강인성을 증가시키는 매우 중요한 역할을 담당하므로 현재 채택되고 있는 고정이득의 PID제어방식보다는 상황변화에 대한 적응력과 파라미터 변화 등에 대한 강인성을 동시에 가진 제어기법의 도입이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 가속도제어기법에 의한 위치제어계의 성능향상을 위한 가속도기준입력 정정량 발생기구로서 자기동조 퍼지 PID제어 방식을 제안하였으며 실험을 통하여 그 유용성을 보이기로 하였다. 본 논문의 내용은 다음과 같다.

먼저 제2절에서는 기존의 가속도제어기법에 의한 위치제어계의 응답특성을 간단히 기술하고 제3절에서는 퍼지 자기동조 PID 제어기법에 근거한 위치제어계의 도입 필요성 및 알고리즘을 제안하였으며 제4절에서는 제안된 기법의 우수성을 보이기 위한 실험결과를 수록하였다.

II. 직류전동기 위치제어계

본 절에서는 기존의 가속도제어루프를 포함한 위치제어계의 특성을 간단히 기술한다. 전류 대신 가속도항을 상태변수로 설정한 직류 서보전동기의 블록선도는 그림 1이며, 전동기를 포함한 위치제어계의 구성은 그림 2와 같

고 해석결과는 다음과 같다.

기준입력발생기는 위치저령(θ^*)으로부터 위치기준입력을 발생하는 저역통과필터(LPF)와 속도 및 가속도 기준입력을 발생하는 두개의 미분기로 구성되어 있으며 제한제어계는 가속도제어루프와 상황변화에 따라 적절한 기준가속도($\ddot{\theta}_{ref}$)를 산출하도록 측정된 위치변화와 그 미분, 적분치에 근거하여 가속도 기준입력 정정량($\ddot{\theta}_f$)을 발생시켜주는 PID형 가속도기준입력 정정루프로 구성되어 있다.

위에서 언급한 LPF는 계단형 기준입력을 투입한 경우 발생할 수 있는 전력변환장치의 파괴를 방지하며 동시에 원활한 기준입력 발생을 위해 도입된 것이고 가속도제어루프는 그림 2에 보인 바와 같이 가속도 추정을 위한 근사적 미분기와 PI제어기를 포함하고 있다. PI제어기에서 임의 선정 가능한 가속도제어기의 적분시간(T_e)은 직류 서보전동기의 전기적인 극점을 상쇄하도록 $T_e (= L_a/R_a)$ 와 같게 설정하였다.

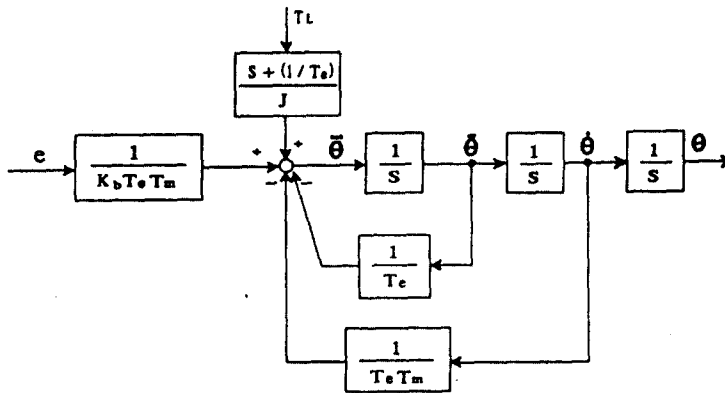


그림 1. 직류서보전동기의 블럭선도 (단, $B \cong 0$)
Fig. 1 Block diagram of a DC servo motor

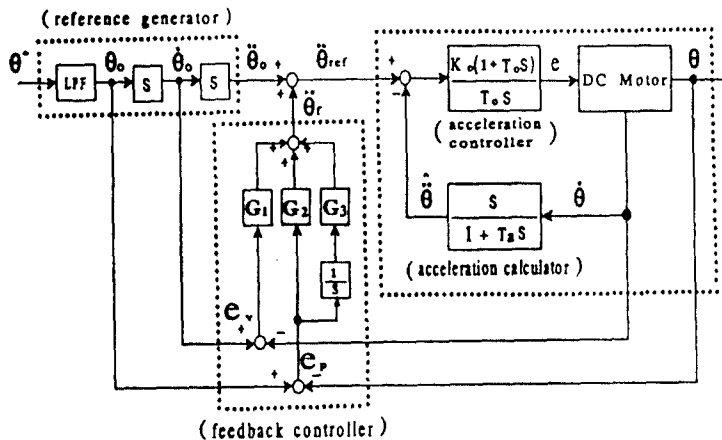


그림 2. 가속도 제어기법에 의한 위치제어계
Fig. 2 Position servo system based on acceleration control

2.1 기준가속도와 실제가속도

가속도 제어기법에 근거한 위치제어계에서 기준가속도에 대한 실제가속도의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{\ddot{\theta}}{\ddot{\theta}_{ref}} = \frac{T_0 s + 1}{T'_m T_0 s^2 + (T'_m + T_0) s + T'_m / T_m + 1} \quad (1)$$

여기에서 $T_m = JR_a / K_t K_b$ 로 전동기의 기계적 시정수이고, $T'_m = K_b T_e T_m / K_o$ 이다.

식(1)에서 T_0 를 T_e 와 같게 놓고, $T_e \ll T_m$, $K_b T_m / K_o \ll 1$ 을 가정하면 기준가속도에 대한 실제가속도의 전달함수는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\ddot{\theta}}{\ddot{\theta}_{ref}} \cong 1 \quad (2)$$

식(2)에서 위의 세가지 가정을 만족하도록 K_o 를 비교적 크게 선정하면 가속도가 효과적으로 제어될 수 있음을 알 수 있다.

2.2 외란에 대한 응답특성

가속도제어에 근거한 위치제어계의 외란 제거성능은 다음의 전달함수로부터 알 수 있다.

$$\frac{\theta}{T_L} = \frac{1}{J s^2} \frac{T'_m s (1 + T_a s)}{1 + T'_m s + T'_m T_a s^2} \quad (3)$$

$T_a \ll T'_m$ 이라고 가정하면 다음의 결과를 얻는다.

$$\frac{\theta}{T_L} \cong \frac{1}{J s^2} \frac{T'_m s}{1 + T'_m s} \quad (4)$$

그러므로 K_o 를 비교적 크게 선정하여, T'_m 를 작게하면 외란에 대한 위치응답 특성을 개선시킬 수 있다.

2.3 PID 이득의 결정

가속도제어에 근거한 서보 위치제어계의 제어법칙은 가속도 피드포워드항($\ddot{\theta}_o$)과 궤환제어항의 두부분으로 구성되어 있으며 식(5)와 같다.

$$\ddot{\theta}_{ref} = \ddot{\theta}_o + G_1(\dot{\theta}_o - \dot{\theta}) + G_2(\theta_o - \theta) + G_3 \int (\theta_o - \theta) dt \quad (5)$$

K_o 를 적절하게 선정하여 $\ddot{\theta}_{ref} = \ddot{\theta}$ 이면 식(5)는 다음과 같이 된다.

$$(s^2 + G_1 s^2 + G_2 s + G_3)(\theta_o - \theta) = 0 \quad (6)$$

식(6)은 원하는 위치에 대한 위치편차의 수렴특성을 나타내주며, G_1 , G_2 , G_3 는 위치 추적오차를 제거해 줄 수 있도록 선정해야 한다.

Ⅲ. 자기동조 퍼지 PID 제어기법에 근거한 가속도제어 위치제어계

3.1 새로운 위치제어계의 도입배경 및 구조

제어시스템은 외란뿐 아니라 예기치 못한 입력이나 환경의 변화 등이 발생한 경우에도 제어목적을 충실히 수행할 수 있어야 한다. 그러나 기존의 가속도 제어기법에 근거한 위치제어계의 성능은 주로 식(6)으로 표현되는 궤환제어기 이득에 의해 결정되므로 고정된 이득의 PID 제어방식의 경우 그러한 영향에 대한 보상능력을 갖지 못

한다. 특히, 실제계통과 수학적 모델간에 큰 불확정성이 존재하거나 관성모멘트가 크게 변화하는 환경하에서 식 (2)는 더이상 성립하지 않으며 이들 사이에 존재하는 불확정성을 해석적으로 고찰하면 다음처럼 기술될 수 있다.

기존의 가속도 제어기법에 근거한 위치제어계에서 기준가속도($\ddot{\theta}_{ref}$)에 대한 실제가속도($\ddot{\theta}$)의 전달특성인 식 (1), (2)를 다시 쓰면 각각 식(7), (8)과 같은 모델의 불확정성을 포함한 이들 사이의 관계는 식(9)와 같다.

$$\tilde{G}(s) = \frac{(1 + T_0 s)}{s^2 \frac{T_0}{K_0} \frac{JL_a}{K_t} + s \left(\frac{T_0}{K_0} \frac{JR_a}{K_t} + T_0 \right) + \left(\frac{T_0}{K_0} K_b + 1 \right)} \quad (7)$$

$$G(s) = 1 \quad (8)$$

$$\tilde{G}(s) = (1 + \Delta_m(s)) G(s) \quad (9)$$

따라서 모델의 불확정성, 즉 모델링 편차는 다음처럼 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta_m(s) &= \frac{\tilde{G}(s) - G(s)}{G(s)} \\ &= \frac{s^2 \frac{T_0}{K_0} \frac{JL_a}{K_t} + s \frac{T_0}{K_0} \frac{JR_a}{K_t} + T_0 + \frac{T_0}{K_0} K_b}{s^2 \frac{T_0}{K_0} \frac{JL_a}{K_t} + s \left(\frac{T_0}{K_0} \frac{JR_a}{K_t} + T_0 \right) + \left(\frac{T_0}{K_0} K_b + 1 \right)} \end{aligned} \quad (10)$$

고정된 제한제어기 이득을 갖는 기존의 가속도제어기법에 근거한 위치제어계는 실제계통과 이론적인 수학적모델 간의 존재하는 식(10)으로 표현되는 불확정성으로 인하여 실제계통 제어시 만족스러운 성능을 보장하지 못한다.

따라서 본 연구에서는 모델의 불확실성에 대한 강인성을 갖으며 플랜트의 수학적 모델링이 요구되지 않는 제어 구조가 간단한 자기동조 퍼지 PID제어기를 가속도기준입력 정정기구로 도입하였으며 이를 포함한 새로운 위치제어계는 그림 3과 같다.

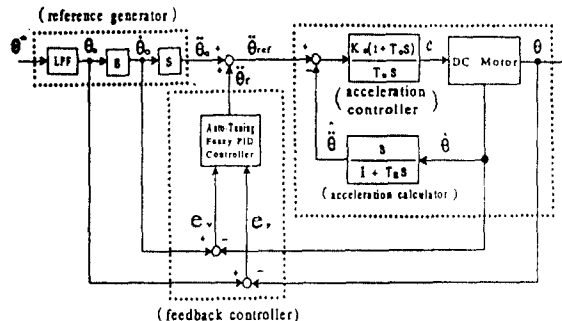


그림 3. 제안된 위치제어계의 구조

Fig. 3 Block diagram of the proposed position servo system

3.2 퍼지 자기동조 PID기법에 의한 가속도기준입력 정정기구

본 절에서는 가속도제어 위치제어계의 성능개선을 위하여 가속도기준입력 정정기구로 도입된 고정이득의 PID 제어기 대신 퍼지 자기동조 기능을 가진 PID제어기를 설계한다. 제안된 자기동조 PID제어기는 통상 PD제어기

고 동작하며 과도한 외란, 파라미터 변화등으로 인해 정상상태편차가 발생한 경우에만 crisp한 I-동작을 사용한다. 이 발생기구 설계의 핵심은 자동조정기구이며 효과적인 자동조정을 위해서는 특징량의 보정, 조정규칙기반조성 및 퍼지 추론알고리즘 설정이 매우 중요하다.

(1) 특징량

이득조정규칙의 전건부 즉, 퍼지추론엔진의 입력인 특징량을 제동비, 오버슈트 또는 언더슈트의 두가지로 선정하였으며 정상상태편차로부터 I-동작의 사용 여부를 결정한다. 모든 특징량은 위치기준입력 θ_0 와 실제위치 θ 와의 편차계적인 그림4에서 추출된다. 각 특징량은 다음과 같이 정의된다.

㉔ 제동비(f_1)

P_2/P_1 또는 U_2/U_1 . 여기에서 제동비를 이처럼 정의하였을때 응답특성이 상대적으로 우수한 경우와 보다 나쁜 경우(예를 들면 $P_1=0.0002, P_2=0.0001$ 과 $P_1=0.002, P_2=0.001$)에 대해서 제동비는 동일하게 되므로 이를 고려하여 가중치를 부여한다. 단, 가중치의 최대값은 1로 한다.

㉕ 오버슈트 또는 언더슈트(f_2)

P_1 또는 U_1

여기에서 P_1 과 P_2 는 각각 첫번째, 두번째 오버슈트이고 U_1 과 U_2 는 각각 첫번째, 두번째 언더슈트이다.

㉖ 정상상태편차

과도기가 지난후 직류전동기의 실제 위치(θ)와 위치 기준입력(θ_0)의 편차이다.

즉, $e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$ 이며, $e(t) = \theta(t) - \theta_0(t)$ 이다.

또한, 이득조정규칙의 후건부(출력)는 다음 전달함수로 표현되는 PID제어기의 이득중 K_P 및 T_d 의 수정량 m_k , m_p 이다.

$$G_{PID}(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$

이들을 1번째 이득조정단계에서의 추론결과라 할때 이득 수정식은 다음과 같다.

$$K_p^{i+1} = K_p^i \left(1 + \frac{m_k}{s_k} \right)$$

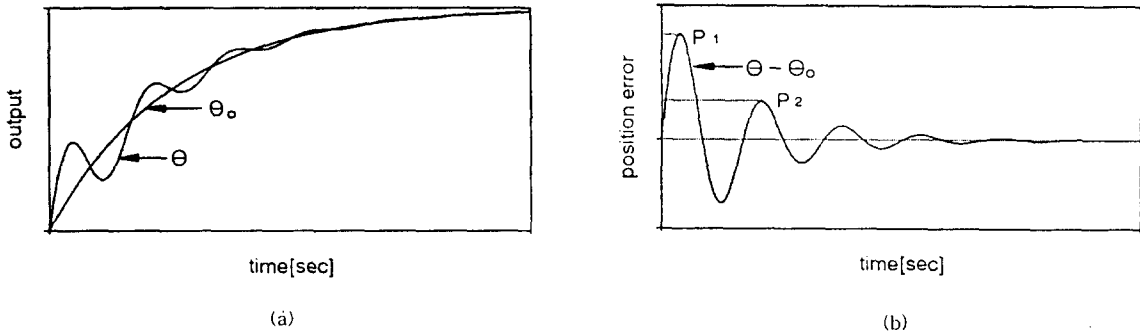


그림 4. 특징량의 추출(오버슈트의 경우)

(a) 위치 기준입력 과 실제 위치 (b) 실제 위치(θ) - 위치 기준입력(θ_0)

Fig. 4 Extraction of features(Overshoot case)

(a) Position reference and Real position (b) Real Position(θ) - Position Reference(θ_0)

$$\beta_D^{l+1} = \beta_D^l \left(1 + \frac{m_\beta}{s_\beta} \right)$$

여기에서 s_k, s_β 는 scale factor로서 다음 조건을 만족하도록 선정한다.

$$\left| \frac{m_k}{s_k} \right| < 1, \quad \left| \frac{m_\beta}{s_\beta} \right| < 1$$

다음식으로 부터 PD제어기 이득을 구한다.

$$K_p = K_P^{l+1}, \quad T_D = P_u \cdot \beta^{l+1}$$

여기에서 P_u 는 임계주기(Ultimate period)이다.

(2)이득조정규칙기반

추론결과 PID제어기의 이득조정량이 전적으로 규칙기반의 참조에 의해 결정된다는 입장에서 규칙기반은 자기 동조 퍼지 PID제어기 설계의 핵심을 이룬다. 그러나 많은 제어규칙은 실시간 제어시 실현경비를 증가시키며, 극 단적인 경우에 계산량 부담으로 실시간 제어가 불가능할 수도 있다. 따라서, 이러한 문제를 고려하여 가능한 적은 수의 규칙군을 설계하여야 하며, 또한 규칙의 완전성(completeness) 및 일관성(consistency)이 만족되어야 한다. 본 연구에서는 계통 제어시 발생할 수 있는 여러 상황을 포함할 뿐 아니라, 제어 규칙군 구축시 요구되는 상술된 문제를 고려하여 제어규칙을 개발하였으며 다음과 같다.

구체적인 이득조정규칙을 기술하기 위해 각 특징량 언어치를 다음과 같이 선정하였으며, 제안된 이득조정규칙을 표1에 기술하였다.

제동비	AZ	PS	PL		
오버슈트/언더슈트	NE	AZ	PO		
m_k	NM	NS	AZ	PS	PM
m_β	NE	AZ	PO		

표 1. 이득조정규칙
Table. 1 Gain control rules

No.	전 건 부		후 건 부	
	f_1	f_2	m_k	m_β
0	PL	NE	PM	PO
1	PL	AZ	AZ	AZ
2	PL	PO	NM	NE
3	PS	NE	PS	PO
4	PS	AZ	AZ	AZ
5	PS	PO	NS	NE
6	AZ	NE	AZ	PO
7	AZ	AZ	AZ	AZ
8	AZ	PO	AZ	NE

표1의 제어규칙 추출 배경은 다음과 같다.

Rule No.	제어규칙 추출 배경
0, 3	제동비가 존재하며 언더슈트가 발생한 경우로서 m_k 를 증가시켜 진동성 응답을 발생시키고, 이로부터 발생 가능한 오버슈트를 m_β 를 증가시킴으로써 감소시킨다.
1, 4	오버슈트나 언더슈트가 아닌 미소한 진동성 응답이 발생한 경우로 간주된다. 이경우는 어떠한 제어도 요구되지 않는다.
2, 5	제동비가 존재하고 오버슈트가 발생한 경우로 규칙 0, 3에 대응되며 진동성 응답을 제거하기 위해 m_k 를 감소시키고, 그 결과 느린 응답(sluggish response)이 얻어질 수 있으므로 m_β 를 감소시킨다.
6	단지 한번의 언더슈트가 발생한 경우로 m_β 만을 조금 증가시킴으로써 응답이 개선될 수 있다.
7	이상적인 경우로 달성하고자 하는 제어목적이 달성된 경우이므로 더이상 제어가 필요치 않다.
8	단지 한번의 오버슈트가 발생한 경우로 m_β 만을 감소시킴으로써 응답이 개선될 수 있다.

퍼지추론(연산)은 Mamdani의 MAX-MIN연산자를 사용하였으며, 비퍼지화는 잘알려진 무게중심법에 의해 수행하였다.

IV. 실험결과 및 검토

본 절에서는 제안된 위치제어계가 계통파라미터의 변화와 외란에 대해 강인성을 가짐을 확인하기 위하여 MS-150 직류서보전동기에 대해 그림 3과 같은 위치제어계를 구성하여 실험을 수행하였으며 하드웨어시스템을 포함한 전체적인 제어계의 블록 다이어그램은 그림5와 같다.

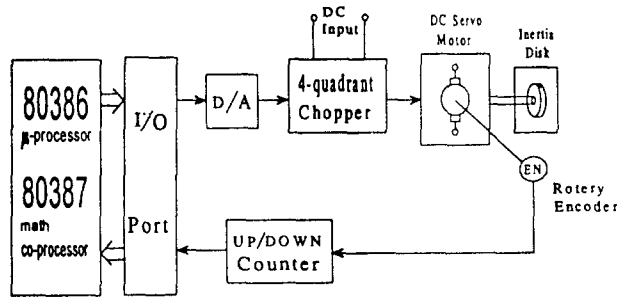


그림 5. 그림 5 하드웨어 블록다이어그램
Fig. 5 Schematic diagram of hardware system

전체 제어시스템은 제어 알고리즘을 계산하는 주프로세서인 IBM PC/386과 위치측정을 위한 로터리엔코더와 UP/DN 카운터, 전동기의 정역회전이 가능한 4상한 초퍼회로, 인터페이스회로 등으로 이루어져 있다.

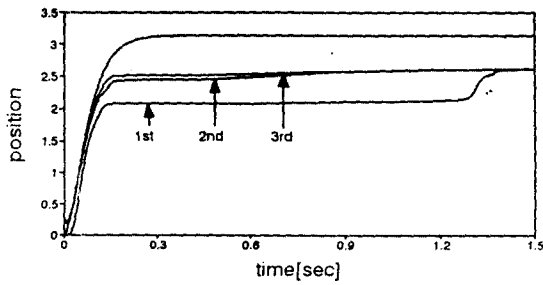
측정된 위치의 미분으로부터 레환제어기에서 요구되는 전동기의 속도를 얻었으며 관성모멘트 증가 방법으로 관성원판($412 * 10^{-6} \text{kg m}^2$)을 부착하였는데 공칭 모델의 관성모멘트($30 * 10^{-6} \text{kg m}^2$)에 비해 약14배에 해당된다. 그러나, 실제로는 관성원판 이외에도 전동기의 각종 상수의 불확실성, 히스테리시스와 같은 비선형성, 축손실 및 정지마찰력 등이 외란으로서 작용한다.

위치지령(θ^*)으로 부터 위치기준입력(θ_0)을 얻기 위한 저역통과필터(LPF)는 2차로 구성하였으며 필터시정수는 0.04[sec]로 하였고, PI가속도제어기의 비례이득 K_0 는 0.005, 적분시간 T_0 는 직류전동기의 전기적시정수와 동일하게 0.0026875[sec]로 채택하였으며, 가속도추정기의 시정수 T_a 는 0.005[sec]로 선정하였다. 또한 PID제어기의 초기 동조에 사용된 이득 및 Scale factor는 표2와 같다. 단, 적분이득은 정상상태 편차가 발생한 경우에 한하여 적용된다.

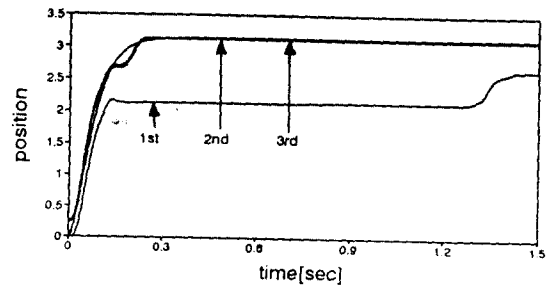
표 2. 위치제어를 위한 파라미터의 선정

Table. 2 Parameter selected for position control

궤환제어기의 초기 비례이득, K_p	6
궤환제어기의 임계주기, P_u	4[sec]
궤환제어기의 초기 미분시간, T_D	$P_u/3$ [sec]
궤환제어기의 적분시간, T_I	$2/P_u$ [sec]
궤환제어기의 scale factor, S_k	3
궤환제어기의 scale factor, S_β	6



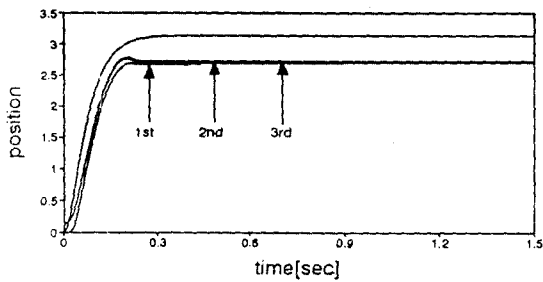
(a) 기존의 가속도제어 위치제어계의 응답
Response of the conventional acceleration controlled position control system



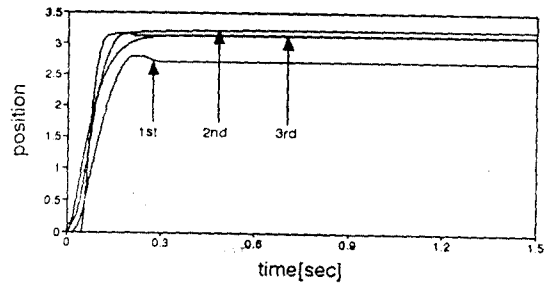
(b) 제안된 가속도제어 위치제어계의 응답
Response of the proposed acceleration controlled position control system

그림 6. 공칭모델의 위치 응답

Fig. 6 Position response of the nominal plant



(a) 기존의 가속도제어 위치제어계의 응답
Response of the conventional acceleration controlled position control system



(b) 제안된 가속도제어 위치제어계의 응답
Response of the proposed acceleration controlled position control system

그림 7. 관성원판을 부착한 경우의 위치 응답

Fig. 7 Position response of the plant with the inertia disk

그림 6의 (a), (b)는 공칭 모델의 경우, 그림 7의 (a), (b)는 관성원판을 부착한 경우의 위치 응답이며 각각에 대해 기존의 가속도제어계의 응답과 제안된 제어계의 응답을 나타내었다. 그림으로부터 기존의 가속도제어계의 응답은 다소의 위치편차가 존재하는 반면 제안된 제어계의 응답은 몇 회의 이득조정으로 외란 및 파라미터 변화의 영향이 즉시 제거됨으로써 우수한 성능이 보장됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 직류 서보전동기의 위치, 속도 및 토크 등의 제어기법중 외란에 대해 강인한 것으로 평가되고 있는 기존의 가속도 제어기법을 해석하고 그 결과 적용상의 문제점으로 판단되는 계통 파라미터 변화에 대한 강인성을 개선하기 위한 대책으로서 변경된 가속도제어 루프를 포함한 위치제어계를 제안하고 이를 직류전동기의 위치제어에 적용하였다. 제안된 제어계와 기존의 가속도제어계와의 근본적 차이점은 이 제어기법의 핵심 요소라 할 수 있는 가속도 기준입력 정정량의 발생기구로서 고전적 PID제어기를 자동조정하는 자기동조 PID 제어방식을 채택하였다는 점이다. 이 기준입력 발생기구를 도입한 직류전동기 위치제어계의 성능을 검토하기 위하여 그 응답특성을 기존의 가속도제어 위치제어계의 응답특성과 비교한 결과 파라미터 변화에 대한 강인성, 과도 특성 및 정상상태 특성면에서 제안된 제어계가 매우 우월한 성능을 가짐을 확인하였다. 따라서 제안된 제어기법은 기존의 가속도제어에 근거한 위치제어계의 성능을 개선시켜줌으로써 이 제어기법의 적용범위 확대에 기여하며 특히 모델의 불확정성이 크거나, 부하 등 운전환경이 크게 변화하는 악조건 하에서의 정밀한 위치제어에 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. A. De Luca and G. Ulivi, "Design of Exact Nonlinear Controller for Induction Motors", IEEE Trans. AC, Vol. 34, No. 12, pp. 1304-1307, 1989.
2. A. Teel, R. Kadiyala, P. Kokotovic, and S. Sastry, "Indirect Techniques for Adaptive Input-Output Linearization of Nonlinear Systems", Int. J. Con., Vol. 53, No. 1, pp. 193-222, 1991.
3. S. S. Ge and I. Postlethwaite, "Nonlinear Adaptive Control of Robots Including Motor Dynamics", Proc. ACC, San Francisco, pp. 1423-1427, 1993.
4. Y. S. Lu and J. S. Chen, "A self-organizing fuzzy sliding-mode controller design for a class of nonlinear servo systems", IEEE Trans. IE, Vol. 41, No. 5, pp. 492-502, 1994.
5. L. Malesani and P. Tenti, "A Novel Hysteresis Control Method for Current-Controlled VSI PWM Inverters with Constant Modulation Frequency", IEEE IAS Conf. Rec., pp. 851-855, 1987.
6. S. Meshkat and E. K. Persson, "Optimum Current Vector Control of a Brushless Servo Amplifier using Micro-processors", IEEE IAS Conf. Rec., pp. 451-457, 1984.
7. K. Ohnishi et. al., "Microprocessor Controlled DC Motor for Load-Insensitive Position Servo System", IEEE Trans. IE Vol. 34, No. 1, pp. 44-49, 1987.
8. M. Nakao et. al., "A Robust Decentralized Joint Control Based on Interference Estimation", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 326-331, 1987.
9. Y. Hori, "A Novel Servo System Design Method Based on the Acceleration Control", IEEE IECON'88 Record, pp. 447-452, 1988.
10. Y. Hori, "Position and Mechanical Impedance Control Method of Robot Actuators Based on the Acceleration Control", IEEE PESC'89 Record, pp. 423-430, 1989.
11. Y. Hori, "Disturbance Suppression on Acceleration Control Type DC Servo System", IEEE PESC'88 Record, pp. 222-229, 1988.
12. 이기상, 박태진, 류지수, 김일우, "자기동조 퍼지 PID기법에 근거한 가속도제어계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(B), pp. 611-614, 1994.
13. 이기상, 박태진, 류지수, "퍼지 가변구조 제어 및 가속도제어 루프를 포함한 위치제어계", KACC 논문집, pp. 1048-1052, 1994.