

Lyapunov 함수를 적용한 서보 시스템의 퍼지제어에 관한 연구

(Fuzzy Control of Servo System with Lyapunov Function)

李五杰* · 宋鎬臣* · 이준탁** · 禹靖仁**

(Oh-geul Lee · Ho-Shin Song · Joon-Tark Lee · Jung-In Woo)

요 약

본 논문에서는 신속하고 정확한 등특성 응답이 요구되는 직류 서보 전동기의 위치제어용 퍼지제어기의 설계 문제를 다루었다. 제안된 퍼지제어기는 PC 80386 마이크로 컴퓨터에 의한 Lyapunov 함수 연산부와 퍼지제어 루틴부로 구성되었다. 직류 서보 시스템에 적용시킨 결과, 종래의 P 및 PID 제어기동에 비해 도달시간과 오버슈트, 외란특성등의 제어 성능이 크게 향상되었다.

Abstract

In this paper, a design approach of fuzzy position controller for DC servo motor which requires the faster and accurate dynamics is presented. The proposed a fuzzy controller consist of a Lyapunov function routine and a fuzzy inference routine with PC 80386 microcomputer. In comparison to conventional P, PID controllers, the control performances of proposed the fuzzy controller such as reaching time, overshoot, and disturbance adaptability are substantially improved.

1. 서 론

산업분야에서 자동화가 가속됨에 따라 여러가지의 복잡한 시스템이 등장하고 있으나, 제어 대상의 모델화가 어렵고 비선형성이 높을 경우, 종래의 선형제어 이론으로는 만족한 성능을 얻지 못할 뿐만 아니라 수학적 모델이 적합하지 않으면 더욱 제어하기 어려워진다. 또한, 현재까지의 일반적인 선형제어는 PID제어나, 최적제어 등을 이용하고 있지만, 대부분의 실제 시스템에서는

주위 환경에 따른 외란에 대한 적응성이나 비선형성 때문에 많은 계산 시간이 요구되는 최적제어 및 적응제어 등의 복잡한 제어이론이 부가되어야 하는 문제점을 안고 있다.

최근 제어대상의 모델이 난이하고, 비선형성이 높은 시스템의 한 제어기법으로써 1965년 Zadeh 교수에 의해 제안된 퍼지제어가 산업현장에서 많이 응용되고 있다. 이는 외란이 부가된 비선형 시스템은 물론 내외부적인 요건에 의한 영향에도 강인성이 우수하며, 오차와 오차율만의 함수로 제어량이 주어지며, 복잡한 계산이 필요하다.¹⁾ 그러나, 기존의 PID제어기는 부하변화에 따른 오차를 보상하기 위하여 비례 이득을 크게 설정하게 되고, 너무 크게 설정 할 경우 조그마한 외란에

* 正會員 : 동아대학교 전기공학과 시간강사

** 正會員 : 동아대학교 전기공학과 교수

接受日字 : 1993年 3月 15日

대해서도 시스템은 큰 오버슈트나 진동이 발생하여 불안정하게 된다. 그리고, 속응성 및 고정도제어가 요구되는 서보 시스템의 퍼지제어기는 모든 파라메타값을 알고 있는 경우에 오차의 변화율에 대한 Lyapunov 함수를 선정하여 퍼지 규칙을 결정하는 방법을 제시하고 있지만 이는 최적 규칙을 선정하기 위해서 많은 시행착오를 거쳐야 하고, 제어 변수의 양자화에 따른 정상 상태의 편차가 존재한다.²⁾ 또한, 외란에 대해 견실성을 갖도록 하기 위하여 제어량의 스케일 팩터를 증가시켜야 하는데, 이 때에도 역시 최적한 스케일 팩터가 되지 못 할 경우 미소 외란에도 불안정하게 되는 문제점이 따르기 때문에 안정성을 가지는 제어기법이 요구된다.³⁻⁵⁾

따라서, 본 논문에서는 먼저 퍼지제어의 멤버십 함수 및 제어규칙 생성알고리즘을 제시한 후, 이를 기초로 하여 퍼지 제어기에 비선형 시스템의 안정성 해석에 유용한 Lyapunov 함수의 안정성 이론을 도입하며, 서보 시스템의 위치제어에 이를 적용하고 제어성능과 외란을 부가하였을 때의 안정성에 대해 고찰하여, 이에 강인성 있는 제어기를 설계 하고자 한다.

2. 퍼지 알고리즘 및 수학적 배경

2.1 퍼지제어 이론

퍼지집합(Fuzzy Set)이란, 현상의 불확실한 상태를 수량적 정보로 다루는 수학적 기법의 일종으로서, 인간의 사고나 판단의 애매 모호함을 정량적으로 나타낸 것이다.¹⁾

임의의 전체집합 U에 있어서 퍼지 집합 A의 특성을 나타내는 멤버십 함수 μ_A 에 의해 특성된 집합으로

$$\mu(x) : u \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

로 정의되고, 요소 $x \in U$ 에 대한 값 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 는 x 가 퍼지집합 A에 속하는 등급(degree)을 나타낸다.

퍼지추론은 직접법을 사용하였으며, 이는 주어진 함의(implication)와 입력에 대하여 결론부 추론은 다음과 같이 합성 연산자를 사용하여 얻는다.⁶⁻⁷⁾

$$\begin{aligned} \text{함의} &: A \rightarrow B \\ \text{입력} &: A' \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{추론} : B' = A' \cdot (A \rightarrow B)$$

단, ‘·’는 max-min composition 연산자이다.

식(2)는 A와 $A \rightarrow B$ 로 부터 직접 B’를 추론하는 방법으로 $A' \cong A$ 이면 $B' \cong B$ 라는 성질을 갖고 있으며, A, A', B, B’는 퍼지 술어이다.

여기서, 입력 A’가 함의의 전전부와 같을 때, B’의 추론은 $A \rightarrow B$ 라는 함의로부터

$$\mu_{B'}(y) = \max_x [\mu_A(x) \wedge \mu_{A'}(x)] \wedge \mu_B(y) \quad (3)$$

로 된다. 여기서, \wedge 는 Minimum Operator이며, 위식에서 B’의 멤버십 함수 α 는 식(4)로 되고,

$$\alpha = \max_x [\mu_A(x) \wedge \mu_{A'}(x)] \quad (4)$$

B이 멤버십 함수 크기를 α 로 커트(cut)한 것으로

$$\mu_{B'}(y) = \alpha \wedge \mu_B(y) \quad (5)$$

와 같이 간단히 계산이 된다.

또한, 비퍼지화 방법은 Braae와 Rutherford⁸⁾의 무게중심법을 사용하였다. 이 방식은 일반적인 PID제어기와 비슷한 특성을 가지며, 가장 많이 사용되고 있다. 제어량은 식(6)과 같이 계산 된다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^n \mu(u_j)} \quad (6)$$

여기서, n =제어 변수 전체집합의 이산화 준위 또는 등급(quantization level), $\mu(u_j)$ =멤버십 함수의 α -cut(grade), u_j =퍼지변수의 중심값이다.

2.2 멤버십 함수의 발생 알고리즘

퍼지제어를 하기 위해서는 우선 퍼지화에 따른 멤버십 함수가 정의 되어야 한다. 기본적인 멤버십 함수를 발생시키기 위한 모형을 그림 1에 나타냈었다.⁹⁾

그림 1에서 NS는 Negative Small, ZO는 Zero, PS는 Positive Small로서 퍼지 언어 변수이다. a는 멤버십 함수의 언어적 변수 폭을 나타내며, b는 그레이드(grade)의 높이를 나타낸다. 또한, c는

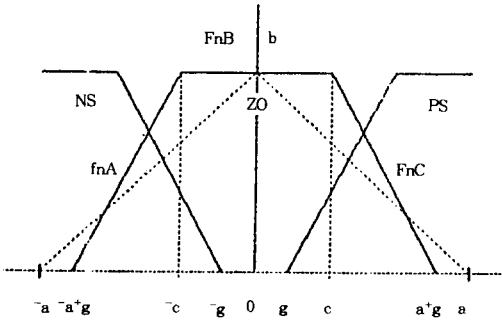
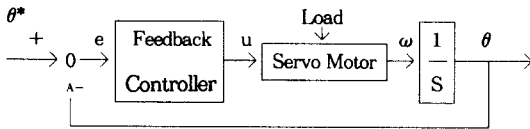
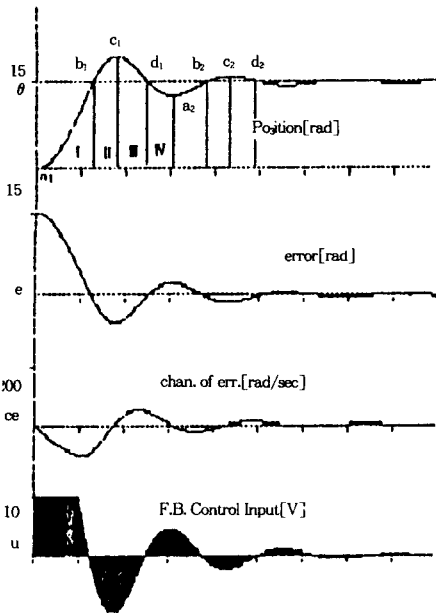


그림 1. 멤버쉽 함수의 발생 알고리즘
Fig. 1. Algorithm for generation of Membership function



(a) Servo System



(b) Dynamic Responses

그림 2. 직류 서보 시스템의 피드백 제어기와 동특성 응답
Fig. 2. DC Servo System with Feedback Controller and Dynamic Responses (209 [ms/div])

크리스프(crisp)한 정도를 나타내고, g 는 멤버쉽 함수의 폭이 중첩되는 비율이며, 멤버쉽 함수 F_N , B , $F_N C$ 는 식(7)로 표현된다.

$$F_N A(a, b, c, d, g, x) = b(-x+a-d-g)/(a-c-g)$$

$$F_N B(a, b, c, d, g, x) = b \tag{7}$$

$$F_N C(a, b, c, d, g, x) = b(-x+a-d-g)/(a-c-g)$$

여기서, d 는 $(-1)^{(i-1)} \cdot m \cdot a$, m 은 $INT(i/2)$, ($i = 1, 2, \dots, n$), n 은 제어 규칙의 갯수이다.

3. 서보 시스템이 응답특성 및 퍼지제어 기법

3.1 서보 시스템의 응답특성

서보 전동기 계통의 상태 방정식은 다음과 같은 벡터 행렬식(8)로 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d\theta(t)}{dt} \\ \frac{d\omega(t)}{dt} \\ \frac{di_a(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B_m}{J_m} & \frac{K_i}{J_m} \\ 0 & -\frac{K_b}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta(t) \\ \omega(t) \\ i_a(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} V_b(t) - \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J_m} \\ 0 \end{bmatrix} T_L(t) \tag{8}$$

단,

- L_a : 전기자 인덕턴스[H]
- R_a : 전기자 저항[Ω]
- $i_a(t)$: 전기자 전류[A]
- K_i : 토오크 상수[kg cm/A]
- $K_b(t)$: 역기전력 상수[V/rad/s]
- B_m : 점성 마찰계수[kg m/rad/s]
- J_m : 전동기의 회전자 관성[kg m²]
- $\omega(t)$: 회전자 각속도[rad/s]
- $\theta(t)$: 회전자의 각변위[rad]
- $T_L(t)$: 부하 토오크[kg cm]
- $V_b(t)$: 전동기의 역기전력[V] 이다.

식(8)의 동특성 상태 방정식을 이용하여 그림 2(a)와 같은 피드백 제어를 한 결과의 응답특성은 그림2(b)와 같다.

- 단, θ^* : 각도의 지령치 [rad]
- $\theta(t)$: 각도의 측정치 [rad]
- $e = \theta^* - \theta(t)$: 오차
- $ce = e(t) - e(t-1) = \theta(t-1) - \theta(t)$: 오차의

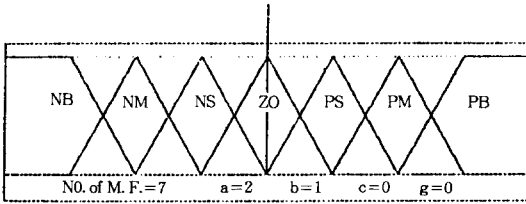


그림 3. 7개의 멤버십 함수
Fig. 3. Membership functions of 7 rules.

표 1. 퍼지제어 규칙

Table 1. Fuzzy rule table

Decrease overshoot →

	e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
ce	u							
PB		NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
PM		NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
PS		NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NS		NM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB
NM		NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
NB		ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

↑
Decrease rise time

변화이다.

그림 2(b)에서는 회전각도의 지령치를 15[rad]으로 하였을 때의 퍼드백 제어된 결과이며, 이 특성에서 오차 e와 오차의 변화율 ce를 구하여 초기 퍼지제어 규칙설정에 적용된다.

서보 전동기의 특성에 의해 + (0.6[V]이하에서 -0.6[V]이상)은 불감(Dead) 영역으로서 구동력이 없으므로 영(Zero)으로 간주하였다.

3.2 퍼지제어 규칙이 생성 알고리즘

직류 서보 시스템의 퍼지 제어를 설계하기 위하여, 우선적으로 실 시스템에 알맞은 퍼지제어 규칙을 찾아야 하며, 그림 2을 기초로 하여, 본 논문에서 사용한 Mamdani의 추론법은 전건부 변수를 e 및 ce로 하고 후건부 변수는 조작량 U로 한다. 또한, 그림 2(b)에서 오차와 오차의 변화율이 각각 영(Zero)으로 되는 시점을 나누어 고찰하기로 한다.

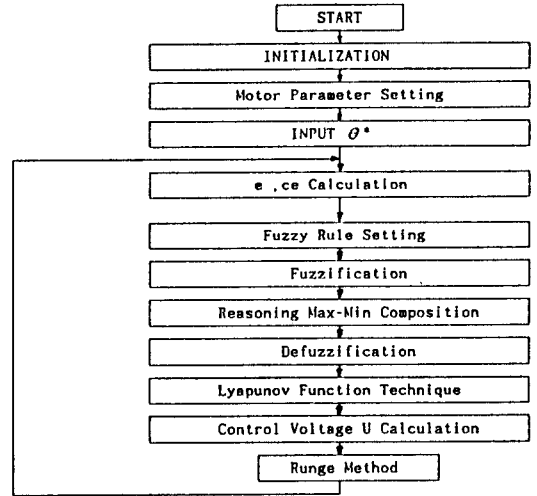


그림 4. 시뮬레이션 순서도
Fig. 4. Simulation Flow Chart

그림 2(b)에서 1 사이클째 보다 출력의 크기는 적지만 반복됨을 알 수 있다. 1 사이클째의 상태 I의 a₁부근에서는 오차 e가 최대이고, 시스템의 출력은 거의 동작하지 않았기 때문에 ce는 0에 가까우므로 제어규칙은 “e=PB and ce=ZO”라는 전건부와 조작량 “u=PB”로 되는 퍼지변수를 설정할 수 있다. 같은 방식으로 상태 II의 점 b₁, 상태 III의 점 c₁, 상태 V의 점 d₁ 등의 부근을 주목하여 제어 규칙을 설정하면 다음과 같다.

- a₁ : if e=PB and ce=ZO then u=PB
- b₁ : if e=ZO and ce=NB then u=NB
- c₁ : if e=NB and ce=ZO then u=NB
- d₁ : if e=ZO and ce=PB then u=PB

2사이클째의 상태 a₂, b₂등의 점 근처에서는 a₁, b₁에 비해 오차 및 오차변화량 e 또는 ce의 절대치가 상대적으로 작게 되어 있기 때문에 조작량 u의 값도 그만큼 작게 하면 된다. 즉,

- a₂ : if e=PM and ce=ZO then u=PM
- b₂ : if e=ZO and ce=NM then u=NM

로 된다.

식(7)의 알고리즘으로 부터 직류 서보 시스템의 멤버십 함수를 생성시킨 결과는 그림 3과 같다.

단, NB : Negative Big NM : Negative Medium

표 2. 직류 서보 전동기의 정수

Table 2. Specification of DC Servo Motor

$R=1.3 [\Omega]$	$L=0.00145[H]$
$J=0.00045[\text{kg}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}^2]$	$B=J\cdot 0.5128[\text{kg}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}]$
$K_b=0.06829[V\%/s/\text{rad}]$	$K_T=K_f=0.695[\text{kg}\cdot\text{cm}\cdot\text{A}]$
Rated Voltage $U_n=15[V]$	Rated Torque $T_n=2.35[\text{kg}\cdot\text{cm}]$
Rated Current $I_n=2.65[A]$	Rated Speed $N_n=3000 \text{ rpm}$
Rated Power $P_n=60[W]$	$T_L=0.5\text{Sin}(\omega t)[\text{kg}\cdot\text{cm}]$

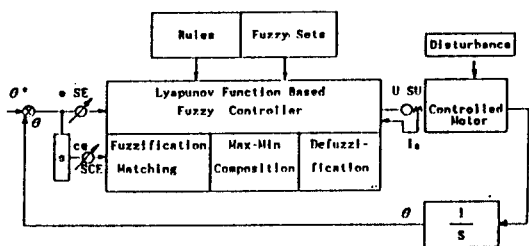


그림 5. 퍼지 제어를 부가한 DC 서보계의 블록도
Fig. 5. Block Diagram of DC Servo System with Fuzzy Controller

- NS : Negative Small ZO : Zero
- PS : Positive Small PM : Positive Medium
- PB : Positive Big

제어규칙은 그림 2(b)의 응답에 따라 그림 3과 같은 7개의 멤버십 함수를 이용하여 제어상태를 탐색하며, 상태 $a_1-d_1, a_2-d_2, a_3-d_3, a_4-d_4$ 의 순으로 적용되어 간다.

이상을 기초로 하여 전 구간에 규칙을 설정하여 표1과 같은 퍼지 규칙을 얻는다.

서보제어의 가장 바람직한 방법은 출력이 갑자기 변하지 않고 유연하면서도 빠른응답을 가지도록 하는 것이다. 따라서, 표 1의 2상한에서는 목표점 근방의 규칙이 적용되는 영역이므로 퍼지추론의 전건부 변수를 오른쪽과 아래로 이동시킬수록 오버슈트가 감소하게 되고, 4상한에서는 제어의 초기에 규칙이 적용되는 영역이므로 전건부 변수를 위로 이동시킬수록 상승시간이 빨라진다.

3.3 Lyapunov 함수 적용 알고리즘

외란에 대한 견실성을 갖도록 하기 위하여 제어량이 스케일 팩터를 조정하여야 되는데, 이 때 적절한 스케일 팩터가 되지 못 할 경우 미소 외

란에도 불안정하게 되므로 안정성을 가지는 제어 기법이 요구된다.¹⁰⁾

따라서, 비선형 시스템의 안정성 해석에 유용한 Lyapunov함수의 이론을 도입하여 안정성있는 제어량을 구하고자 한다.

조작량 U는 e 및 ce의 상태로 부터 퍼지 추론을 이용하여 결정되므로 비선형함수 식(9)로 표시된다.¹¹⁾

$$U = g(e, ce) \tag{9}$$

또한, 식(8)에서 페루프계가 안정하게 되도록 퍼지 제어 규칙을 결정해야 하며, 식(10)과 같이 Lyapunov 함수로 정의시킨다.

$$V(e, ce) = E^T E \tag{10}$$

단, $E = \begin{bmatrix} e \\ ce \end{bmatrix}$ 이다.

식(10)에서 V에 대해 미분하면,

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= 2ce \left(e - \frac{B}{J} \left(\frac{U - L_a \frac{di_a}{dt} - R_a i_a}{K_b} + \frac{K_T}{J} i_a - \frac{T_L}{J} \right) \right) \\ &= 2ce f(e, U, i_a) \end{aligned} \tag{11}$$

로 되며, V(e, ce)는 항상 음이어야 안정하므로 $ce > 0$ 인 경우

$$U > \frac{J K_b}{B} \left(e + \frac{K_T}{J} i_a - \frac{T_L}{J} \right) + L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a \tag{12}$$

$ce < 0$ 인 경우

$$U < \frac{J K_b}{B} \left(e + \frac{K_T}{J} i_a - \frac{T_L}{J} \right) + L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a \tag{13}$$

인 조건을 만족하도록 제어량을 선택하면 된다.

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

앞에서 논한 퍼지제어의 기법을 기초로 하여 시스템이 안정하게 제어되게 하기 위하여 퍼지제어에 Lyapunov 함수를 적용한 기법에 대해 고찰하고자 한다.

본 시뮬레이션(Simulation)에 사용한 순서도는 그림 4와 같다.

그림 4는 퍼지-Lyapunov 함수를 적용한 제어 흐름도이며, 먼저 직류 서보 전동기의 정수를 설정하고, 제어 지령치 θ^* 를 입력한다. 시스템 동특

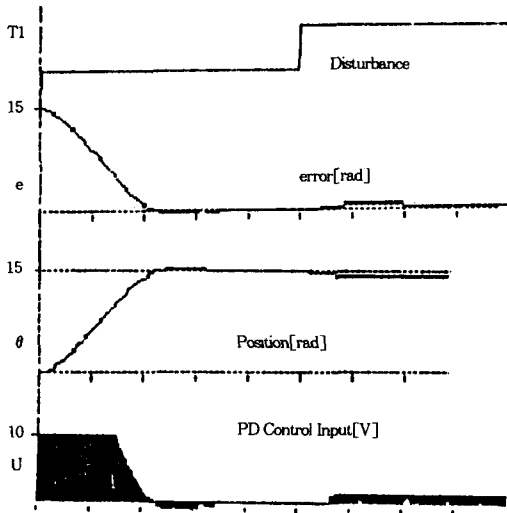


그림 6. 부하 부가시 PID제어의 동특성 응답 (100[ms/div])
Fig. 6. Dynamic Responses at PID Control with Load

성의 해는 식(8)에서 Runge-Kutta해법에 의해 회전각 θ 를 구하고, 설정 위치각 θ^* 와의 값으로부터 오차 및 오차의 변화율을 구한다.

시뮬레이션에 사용한 직류 서보 전동기의 각 정수들은 표2와 같으며, Lyapunov 함수를 부가한 직류 서보 시스템의 퍼지제어 블록선도는 그림 5와 같다.

그림 5에서는 퍼지제어기와 Lyapunov 함수를 부가한 직류 서보 시스템의 블록도로서, e 와 ce 및 u 에 대한 크기를 조정하는 스케일 팩터를 각각 SE와 SCE 및 SU로 나타내며, 퍼지제어인 경우는 제어규칙만 적용하므로써 간단하게 제어가 가능하지만 이때의 외란에 대한 견실성 또는 정상상태의 잔류편차 등의 문제점을 보상하기 위해서 오차 변화율의 값에 따라 Lyapunov의 안정 조건인 식(12)와 식(13)을 이용하여 제어량 U 를 결정한다.

부하가 접속된 서보 시스템에 PID제어 및 퍼지제어 또한 퍼지 Lyapunov 제어시의 동특성 응답을 아래에 나타 내고 있다.

그림 6은 시동 후 정상상태가 된 500[ms]이후부터 부하를 부가했을 때 PID제어의 동특성 응답으로서, 도달시간은 205[ms]이고, 오버슈트는

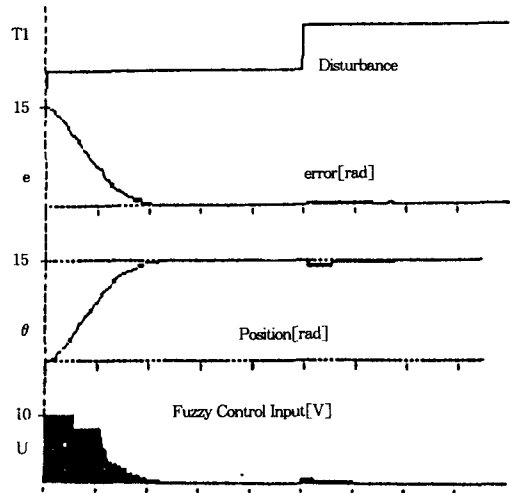


그림 7. 부하 부가시 퍼지 제어의 동특성 응답 (100[ms/div])

Fig. 7. Dynamic Responses at Fuzzy Control with Load

약 5.28[%]정도로 정상상태의 편차에 비해 상당히 크게 나타났으며, 정상상태의 편차는 0.81[%]로 거의 나타나지 않았다. 또한, 약 2[V]의 잔류전압이 계속 남아 있었다.

PID제어시 제어계수를 반복 실험에 의해 조정하였지만 무부하에서 플랜트의 파라메타나 특성을 정확하게 알고 계수를 선정할 때는 정상상태의 편차가 거의 없이 안정한 제어가 가능하지만 부하를 부가한 때에는 응답특성이 아주 악화됨을 알 수 있었다. 또한, 외란이나 주위의 환경에 따라 시스템의 정수가 변화 할 경우 제어계수를 변화시켜야 하는 문제점이 따르며, 이를 해결하기 위해서는 적응제어나 최적제어 등을 부가해야 하고, 시스템은 복잡해진다. 따라서, 이를 보상하는 기법으로 본 논문에서는 퍼지제어에 Lyapunov 함수를 적용하였다.

그림 7은 퍼지제어 시 동특성 응답의 Simulation 결과로서, 도달시간은 205[ms]이며, PID제어보다 10[ms]이상 단축되었다. 또한, 오버슈트도 1.107[%]로서 PID제어에 비해 아주 미소하게 나타났다.

그림 8은 부하가 가해진 경우 스케일 팩터값이 적절하지 못하여 불안정 상태를 나타내고 있다.

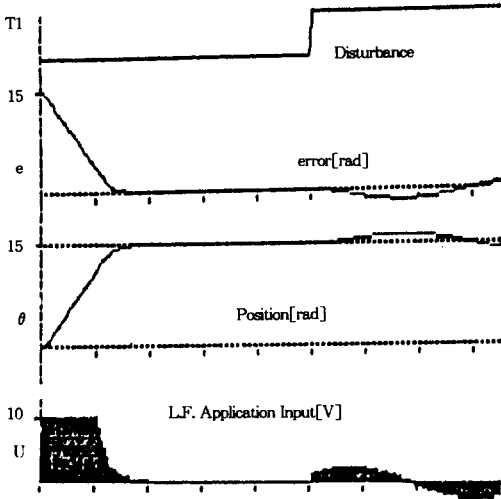


그림 8. 부적당한 스케일 팩터를 가진 퍼지 제어의 불안정 상태 (100[ms/div])
 Fig. 8. Unstable State of Fuzzy Control with Incorrect Scale Factor

따라서, 안정한 제어를 하기 위한 기법이 필요하다.

그림 9는 퍼지-Lyapunov제어를 한 결과로서 도달시간이 185[ms]이며, PID제어보다 30[ms] 단축되었고, 오버슈트는 0.458[%]로 PID제어에 비해 아주 작게 나타났다. 외란을 부가한 때는 최대 위치 편차량은 0.157[%]로서 퍼지제어만 하였을 때 보다 3.543[%]로 감소되었다.

즉, PID제어에서는 부하를 부가한 경우 응답 진동이 크지만, 퍼지-Lyapunov 제어에서는 부하를 부가하였을 때에도 극히 미소한 응답이 나타나고 있다.

이상의 결과를 요약하면 표 3과 같다.

여기서, 괄호안은 최고위치에 도달한 시간이며, P 제어시는 목표점에 도달하지 못할뿐만 아니라 정상상태의 오차도 크게 나타나고 있고, 부하를 부가하였을 때는 정상상태 편차가 더욱 증가하였다. PID 제어인 경우 오버슈트는 다소 보이고 있지만 도달시간과 정상상태 편차가 많이 감소되었으며, 퍼지제어시는 제어의 특성 때문에 정상상태 편차가 존재하지만, 퍼지-Lyapunov

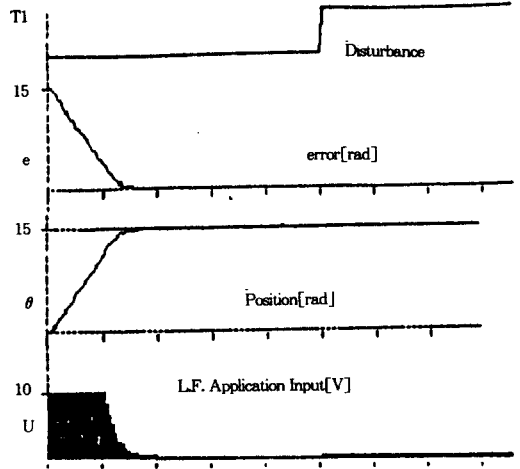


그림 9. 부하 부가시 퍼지-Lyapunov제어의 동특성 응답 (100[ms/div])
 Fig. 9. Dynamic Responses at Fuzzy-Lyapunov Control With Load

표 3. 시뮬레이션 결과

Table 3. Simulation Results

제어	구분	R.T. [ms]	O.V. [%]	S.S. error [%]	E _{max} .D. error [%]
P.	S.L	(260)	-	6.890	15.780
PID.	S.L	215	5.280	0.810	5.26
Fuzzy	S.L	205	1.107	2.710	3.700
F.L.F.	S.L	185	0.458	0.117	0.157

제어에서는 정상상태 편차가 거의 없이 안정한 제어가 가능함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지제어에 부가적으로 Lyapunov 함수의 안정 이론을 적용하였다. 종래의 제어 이론에 근거한 PID 제어의 경우 내·외부 외란에 대한 위치 편차의 증가와 일반적인 퍼지제어 시의 데이터의 양자화에 따른 정상상태의 위치편차를 보상하기 위하여 안정한 제어입력을 결정하고, 이를 직류 서보 시스템에 적용한 결과, 목표점에 도달하는 시간의 단축과 정상상태의 오차도 퍼지 제어만 하였을 경우 보다도 현저히 감소되었으며, 오버슈트도 약 0.5[%]이하로 거의

나타나지 않았고, 부하를 부가한 경우에도 PID제어보자 현저한 견실성을 갖는 안정한 제어 기법이 됨을 확인 할 수 있었다.

그러나, 향후 외란이나 주의환경 및 내부요건에 따른 과도상태에서도 시스템에 합당한 제어규칙을 스스로 생성할 수 있는 Self Organizing 기능이든가 Neural Network을 부가한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Zadeh, L.A., "Fuzzy Algorithm", Information and Control, vo.; 12, pp.94-102, 1968.
- 2) H. Chris Tesng, Victor Hwang & Sung Lep Lui, "Fuzzy Servo Controller: The hierarhical Approach", IEEE Trans. Auto. Con. Vol.36, pp.623-631, 1992.
- 3) Y.F, Li and C.C, Lay, "Develpement of Fuzzy Algorithms for Servo System", IEEE, controll Systems Magazin, pp. 65-72 april. 1989.
- 4) 版和正敏, "ファシイ 理論의 基礎と 應用", 森北出版 株式會社, 1989.
- 5) 廣田 薰, "특집 ファシイ 制御", 콘히ュー트ロー, No.28, 1989.
- 6) 水本雅晴, "Fuzzy 論理と 近似的 推論, 數理科學別冊", vol.10, pp.101-112, 1988.
- 7) chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Cintrol Systems:Fuzzy Logic Controller-Part I", IEEE Trans., vol. 20, no.2, pp. 404-417, march. 1990.
- 8) M.Braae and D.A.Rutherford, "Theoretical and Linguistic Aspects of the Fuzzy Logic Controller", Automatica, Vol. 15, pp.553-577. 1979.
- 9) 朴玟用, 崔恒植 譯, "퍼지시스템의 응용입문", 大英社, 1990.
- 10) 市橋 秀友, 田中英夫, "PIDと Fuzzy의 하이브리트型 컨트롤러", ファジイシステム シンポジウム, p. 97, 1988.
- 11) 松永信智, 川路茂保, "DC 모터의 ファジー-하이브리트制御", 日本電學論D, Vol.111, no.3, pp.195-200, 1991.