

위치형과 속도형 제어규칙을 갖는 가변구조 퍼지 제어기

A Fuzzy Variable Structure Controller composed of Position-type and Velocity-type Control Rule

박 헌 수*, 이 지 흥*, 채 석*
Hunsoo Park*, Jihong Lee*, and Seog Chae*

ABSTRACT

A class of fuzzy controller based on the variable structure system(VSS) technique in which different structures of controllers are fuzzily switched according to the switching rules is proposed. The structure of proposed controllers was motivated by the characteristics of position type fuzzy controller and velocity type fuzzy controller; the former generally gives good performance in transient period and the latter are capable of reducing steady state error of response. To show the usefulness of the proposed controller, it is applied to several systems that is difficult to stabilize or difficult to get satisfactory responses by conventional fuzzy controllers.

I. 서 론

1965년 미국 버클리 대학의 Zadeh 교수[1]에 의해 퍼지집합에 대한 이론이 제안된 이후, 퍼지 이론은 퍼지 제어, 퍼지 전문가 시스템, 퍼지 신경망, 퍼지 컴퓨터 등 여러 분야에서 활발히 응용되어지고 있다. 퍼지 제어는 퍼지 이론의 가장 성공적인 응용분야의 하나로서 수질의 제어[2], 원자로 제어[3], 비행기 제어[4] 등 기존의 제어 방법으로는 제어하기 힘든 다양한 시스템에 적용되어 왔었다.

퍼지 제어는 제어하고자 하는 대상 시스템에 대한 숙련자의 지식과 인간의 사고방식과 유사한 논리체계인 퍼지 논리에 기초로하여 이루어진다. 퍼지 논리는 기존의 논리체계보다 인간의 사고 방식과 논리체계에 보다 가까우며, 불확실성과 애매한 사실을 표현하고자 할 때와 이러한 애매한 사실들에 근거하여 추론을 할 때 매우 효과적이다. 따라서 제어 대상 시스템에 대한 정보가 언어적인 방법으로써만 표현이 가능하거나 시스템에 대한 수학적인 모델을 만드는 것이 매우 어려운 경우 퍼지 제어가 유용하게 사용될 수 있다.[5,6]

해석적인 연구가 많이 이루어지고 있는 퍼지제어기의 형태는, 측정된 편차로부터 제어 입력 자체를 구하는 형태인 위치형 퍼지제어기(position-type fuzzy controller)와 측정된 편차로부터 제어 입력의 증가분을 구하는 형태인 속도형 퍼지제어기(velocity-type fuzzy controller)로 분류할 수 있으며 대상 시스템의 특성에 따라 선택적으로 적용된다. 퍼지제어기 형태에 따라 제어규칙을 비롯하여 여러 퍼지변수 등 제어기의 특성을 결정하는 요소들을 off-line 또는 on-line으로 결정하는 방법에 관한 연구가 지금까지의 퍼지제어기의 연구의 주류를 이루고있다.

위치형 퍼지제어기는 각 파라미터의 튜닝이 쉽고 과도응답 특성이 좋지만 부하가 존재하는 경우나, 어떤 종류의 시스템(예를 들어 내부에 적분기를 포함하고 있지 않은 제로형 시스템(type 0 system))에 대해서는 일정한 정상상태 오차를 극복하지 못하는 단점이 있으며, 속도형 퍼지제어기는 정상상태 오차를 줄이는 능력은 탁월하지만 과도응답을 개선하기가 2차 이상의 시스템인 경우에는 매우 어려울 때가 많은데 이는 위치형 퍼지제어기가 PD제어기로 속도형 퍼지제어기가 PI제어기로 등가화될 수 있으므로[7] 일반적인 PD, PI제어기에서의 장단점과 일치한다.

*국립 금오 공과대학교, 전자제어공학과

본 논문에서는 상태(state)에 따라 제어기의 형태(structure)를 바꾸어 줌으로써 원하는 제어 목적을 달성하고자 하는 가변 구조(variable structure)제어이론을 이용한[8] 새로운 형태의 퍼지제어기를 제안한다. 제안된 제어기의 구조를 보면 빠른 상승 시간과 적절한 오버슈트를 가져오는 위치형 퍼지제어기와 정상상태 오차를 줄이는 능력이 뛰어난 속도형 퍼지제어기로 구성되고 스위칭 규칙에 의해 과도응답 특성에 대해서는 위치형 퍼지제어기로, 정상상태 응답 특성에 대해서는 속도형 퍼지제어기로 대처 하도록 제어기의 구조를 바꿈으로써 제어 성능을 개선시킬 수 있도록 구성한다. 그리고 스위칭 규칙을 어떻게 정하느냐에 따른 시스템의 성능에 미치는 영향에 대해서 조사한다. 본 논문의 핵심인 스위칭 규칙을 퍼지하게 표현하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

If error is ZERO^{ms} and change of error is ZERO_e^{ms} then a velocity-type fuzzy controller is applied, otherwise a position-type fuzzy controller is.

제안된 가변구조형 퍼지제어기를 기존의 퍼지제어기로는 안정시키기 힘든 시스템의 경우나 응답의 개선이 어려운 시스템의 경우에 대해 컴퓨터 시뮬레이션(simulation)을 수행하고 그 결과를 고찰하고자 한다.

2장에서 위치형과 속도형 퍼지제어기 그리고 새로운 형태의 가변구조형 퍼지제어기를 소개하고, 3장에서는 여러 형태의 스위칭 규칙을 2차 시스템과 제어기에 적용기능이 포함되어 있지 않으면 정상상태 오차를 가져오는 4차 시스템에 대해 시뮬레이션한 결과를 보이며, 4장에서는 결론을 맺도록 하겠다.

II. 가변구조형 퍼지제어기

가변 구조 제어는 제어기의 구조를 상태에 따라 의도적으로 바꾸어 줌으로써 원하는 제어 목적을 달성하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 위치형 퍼지 제어기(position type FLC), 속도형 퍼지 제어기(velocity type FLC)와 스위칭 기구(switching mechanism)로 구성된 가변구조형 퍼지제어기를 제안한다.

제어 초기에는 적절한 상승 시간을 유지하고 오버슈트를 개선할 수 있는 위치형 퍼지제어기로 동작시키고, 편차와 편차변화가 작은 경우는 속도형 퍼지제어기로 작동하도록하여 정상상태 오차를 효과적으로 줄이도록 한다. 이때 제어 알고리즘의 스위칭은 퍼지 스위칭 규칙을 사용하여 구현된다. 사람도 편차가 큰 경우는 위치형 제어를 하고 편차가 작은 경우에는 속도형 제어를 한다고 이해할 수 있으며 스위칭도 퍼지 스위칭으로 모델하는 것으로 이해하여도 무리가 없을 것이다.

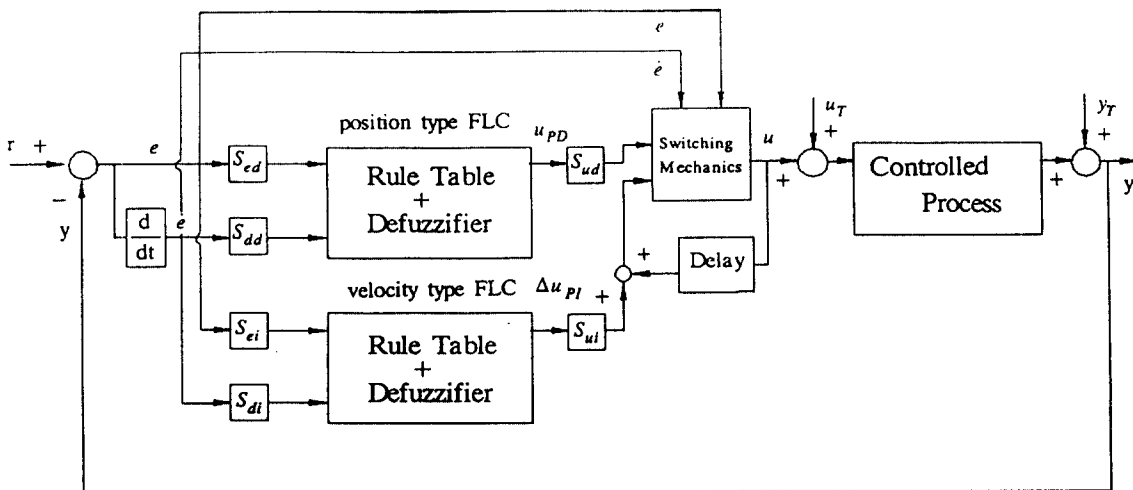


Fig.1 Overall block diagram of proposed controller.

그림 1의 S_{ed} , S_{dd} , S_{ud} 와 S_{ei} , S_{di} , S_{ui} 는 각각 위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지 제어기에서 사용되는 스케일링 계수(scaling factor)로서 실질적으로 입출력 변수의 퍼지 분할에 관계하는 양으로 제어성능과 밀접한 관계를 갖고 있다. 이 계수를 구하는 것은 제어 대상 시스템의 운전을 통해 조정한다든지 또는 자체 조정 방법등에 의해 개선된 성능이 나오도록 하는 방법등을 사용할 수 있다. 스케일링 계수를 사용하면 입출력 변수의 퍼지 분할에 어떤 표준적인 형태를 사용할 수 있다는 장점이 있다.

2.1 위치형 퍼지제어기(position-type fuzzy controller)

위치형 퍼지제어기는 측정된 편차와 편차변화로부터 제어 입력 u_{PD} 자체를 구하는 형태이고 그 의미를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(e, \Delta e) \rightarrow u_{PD} \quad (2-1)$$

e , \dot{e} 그리고 u_{PD} 의 언어값과 그들의 멤버십 함수를 그림 2와 같이 정의하면 표 1과 같은 제어 규칙을 작성할 수 있으며 k-번째 제어규칙은 다음과 같이 기술된다.

$$R_k : \text{If } e \text{ is } A_k \text{ and } \dot{e} \text{ is } B_k, \text{ then } u \text{ is } C_k \quad (2-2)$$

여기서 A_k , B_k , C_k 는 각각 그림 2에서 정의된 퍼지집합들이다. 입력 퍼지변수들은 제어규칙에 의해 출력변수와 연결되고 마지막으로 비퍼지화를 통해 실질적으로 시스템에 가해질 제어입력이 구해진다. 비퍼지화에도 여러 방법이 있지만 여기서는 구현이 쉬운 단순화된 COG방법을 채택한다[10,11]. 편차 및 편차 변화율이 주어질때 k번째 규칙의 적합도 w_k 는 다음의 식에 의해 계산하며,

$$w_k = \min(\mu_{A_k}(e), \mu_{B_k}(\dot{e})), \quad (2-3a)$$

퍼지추론 결과 C'_k 는 다음의 식으로 구하고,

$$\mu_{C'_k}(u_{PD}) = \min(w_k, \mu_{C_k}(u_{PD})), \quad (2-3b)$$

k-번째 규칙에 의한 추론 결과 $u_{PD,k}$ 는 보통의 무게중심법(COG)을 사용하여 아래와 같이 구한다.

$$u_{PD,k} = COG(C'_k) \quad (2-3c)$$

전체 제어 규칙에 의한 제어입력 u_{PD} 는

$$u_{PD} = \frac{\sum_{k=1}^N w_k u_{PD,k}}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (2-3d)$$

으로 계산된다.

이 위치형 퍼지제어기는 보통의 PD제어기처럼 순간적인 기울기를 측정하고 미리 큰 오버슈트를 예측하여 실제로 오버슈트가 생기기 전에 적절한 교정효과를 제공하여 과도응답 부분 즉, 상승 시간, 오버슈트 그리고 수렴시간(settling time)을 적절하게 하는 것이 가능한 반면 보통의 PD제어기가 갖고 있는 정상상태 오차에 대처할 수 없는 단점을 갖고 있다. 이러한 현상은 위치형 퍼지제어기가 슬라이딩 모드를 갖는 가변구조 제어기와 유사하다는

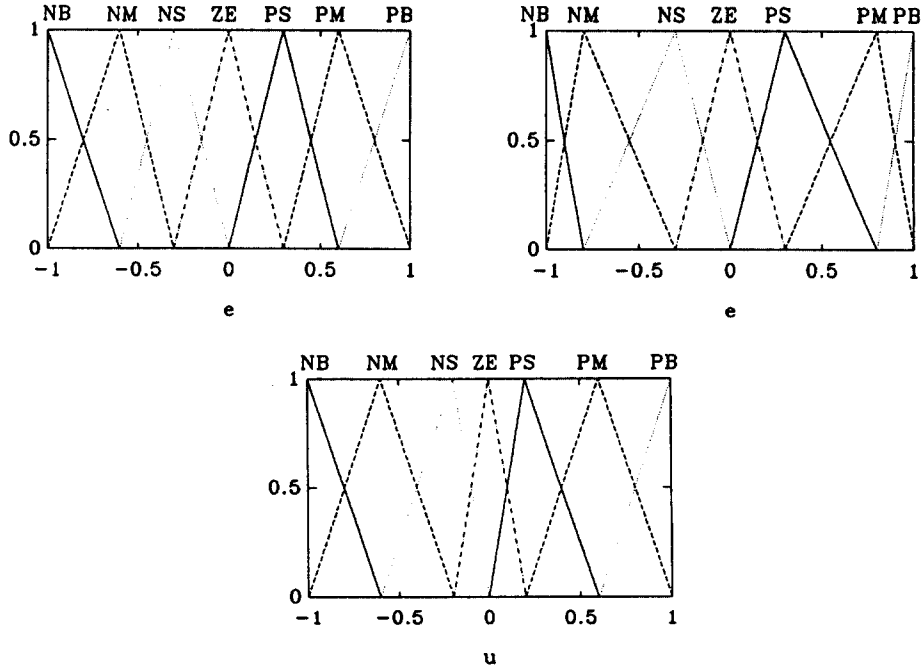


Fig.2 Fuzzy sets used in simulation (position-type).

Table 1. Rule table for calculating of u_{PD} .

\dot{e}	e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB	PB

것으로 해석할 수 있다.[12]

2.2 속도형 퍼지제어기(velocity-type fuzzy controller)

앞 절에서 기술한 위치형 퍼지제어기는 측정된 편차와 편차변화로부터 제어 입력 자체 u_{PD} 를 구하는 형태인 반면, 측정된 편차와 편차변화로부터 제어 입력의 증분 Δu_{PI} 를 구하는 형태의 제어기를 속도형 퍼지제어기라 하며 다음의 수식으로 그 의미를 표현할 수 있다.

$$(e, \Delta e) \rightarrow \Delta u_{PI} \tag{2-4}$$

퍼지제어기가 사람이 일반적으로 사용하는 제어 규칙을 근간으로 한다는 측면에서 보면, 위의 속도형 퍼지제어기는 사람의 경우 주어진 $(e, \Delta e)$ 에 대하여 제어입력의 증분 Δu 를 결정하는데 익숙하다는 관찰과 일치하고, 부하와

시스템의 특성을 잘 모르는 상황에서 정상상태의 오차를 없앨수 있다는 장점을 지닌 제어기 구조라 볼 수 있다. e , \dot{e} 그리고 Δu_{PI} 의 언어값과 그들의 멤버십 함수를 그림 3와 같이 정의하면 표 2와 같은 제어 규칙을 작성할 수 있다.

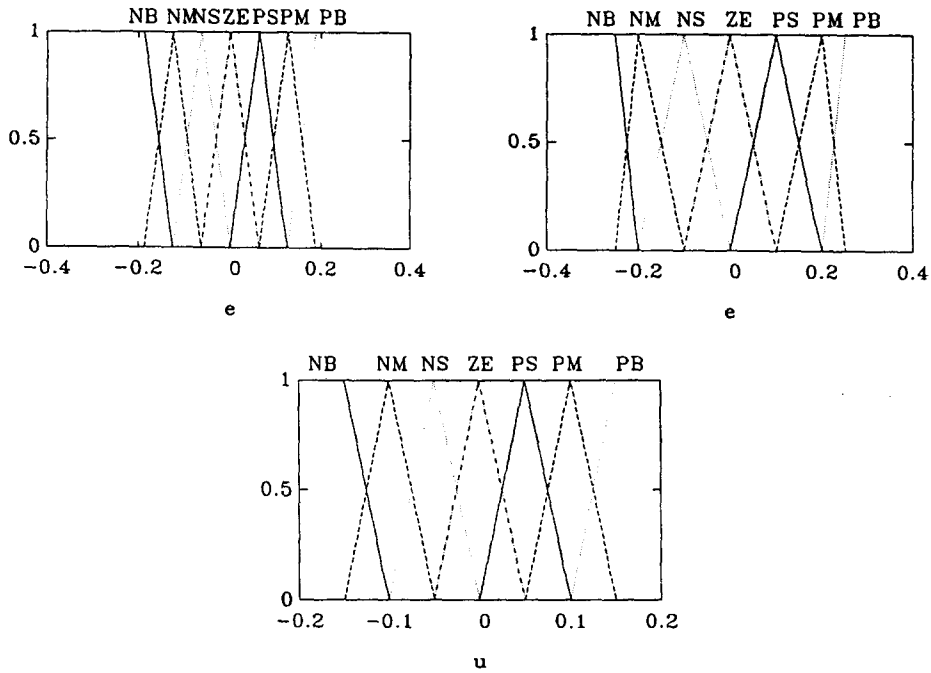


Fig.3 Fuzzy sets used in simulation (velocity type).

Table 2. Rule table for calculating of Δu_{PI} .

\dot{e} / e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

속도형 퍼지제어기에서 필요한 제어 입력 증분 는 위치형 퍼지제어기에서 를 구하는 과정과 동일한 방법을 사용한다. 즉, 다음의 규칙으로부터

$$R_k : \text{If } e \text{ is } A_k \text{ and } \dot{e} \text{ is } B_k, \text{ then } \Delta u \text{ is } C_k \quad (2-5a)$$

w_k , μ_{C_k} , $\Delta u_{PI, k}$ 를 아래와 같이 구하고,

$$w_k = \min(\mu_{A_k}(e), \mu_{B_k}(\dot{e})) \quad (2-5b)$$

$$\mu_{C'_k}(u_{PI}) = \min(w_k, \mu_{C_k}(u_{PI})), \Delta u_{PI,k} = COG(C'_k) \quad (2-5c)$$

전체 제어 규칙에 의한 제어 입력 증가분 Δu_{PI} 는

$$u_{PI} = \frac{\sum_{k=1}^N w_k \Delta u_{PI,k}}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (2-5d)$$

으로 구한다.

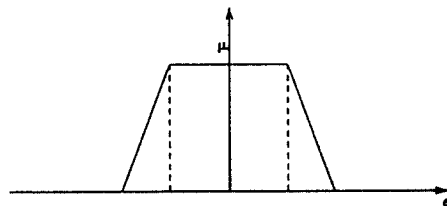
속도형 퍼지제어기는 앞서 언급한 바와 같이 그 구조상의 특성으로 PI형 퍼지제어기라 불리우며 보통의 PI제어기가 가지고 있는 특성을 가진다고 볼 수 있다. 즉, 정상상태 오차를 줄이는 능력은 탁월하지만 적절한 상승 시간과 오버슈트를 개선하기가 2차 이상의 시스템(물리적으로 관성을 갖는 시스템)인 경우에는 매우 어려울 때가 많다[13].

2.3 퍼지 스위칭 기구(fuzzy switching mechanism)

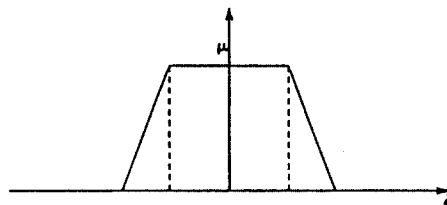
제어기가 편차와 편차변화가 작은 경우는 속도형 퍼지제어기로 작동하도록 하고 편차 또는 편차가 큰 경우에는 위치형으로 작동하도록 하며 위치형에서 속도형으로의 스위칭은 아래와 같은 퍼지 스위칭규칙에 의한다.

If error is ZERO^{pos} and change of error is ZERO^{pos} then a velocity-type fuzzy controller is applied, otherwise a position-type fuzzy controller is.

위의 스위칭 규칙에 나타나는 ZERO^{pos}와 ZERO^{neg}의 멤버쉽 함수를 그림 4과 같이 정의하면 퍼지 스위칭 평면은 그림 5의 사선부분으로 표시된다. 그림 4에서 ZERO^{pos}와 ZERO^{neg}의 멤버쉽 함수의 support는 위치형 퍼지제어에서 편차와 편차변화의 “ZERO” 멤버쉽 함수의 support와 같다.



(a) ZERO^{pos}의 멤버쉽 함수



(b) ZERO^{neg}의 멤버쉽 함수

Fig.4 Membership function of ZERO^{pos} and ZERO^{neg}.

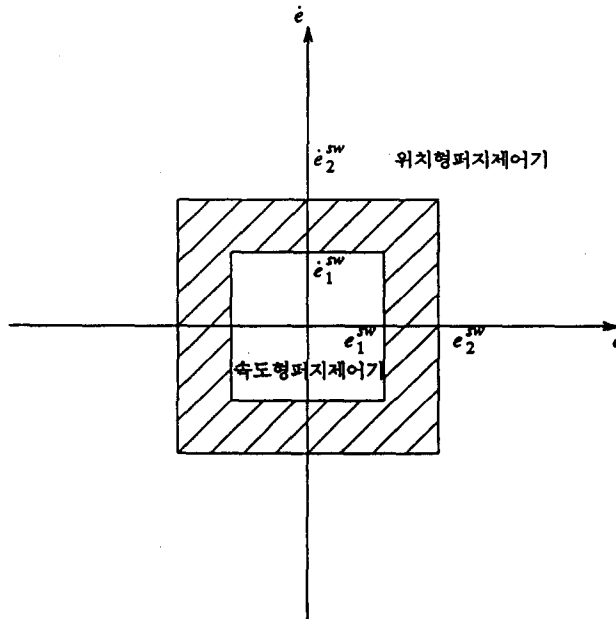


Fig.5 Fuzzy switching planes.

주어진 (e, \dot{e}) 에 대하여 α 를 아래의 식으로 정의하고,

$$\alpha = \mu_{ZERO}^{sw}(e) \wedge \mu_{ZERO}^{sw}(\dot{e}) \quad (2-6)$$

제어 입력 u 는 다음의 (2-7)식과 같이 결정된다. u_{PD} 는 식(2-3)으로, u_{PI} 는 식(2-5)으로, 그리고 α 는 식(2-6)으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} u &= (1-\alpha)u_{PD} + \alpha u_{PI} \\ u_{PI} &= u + \Delta u \end{aligned} \quad (2-7)$$

그림 5에서, $|e| > |e_2^{sw}|$ 또는 $|\dot{e}| > |\dot{e}_2^{sw}|$ 인 경우이면 $\alpha=0$ 이고 이때에는 위치형 퍼지 제어 알고리즘이 적용된다. 편차가 클 경우 사람의 제어 행위는 편차와 편차변화를 고려하여 제어 입력을 결정하는 위치형 제어 알고리즘으로 이해될 수 있기 때문에 편차가 큰 경우의 사람의 제어 행위와 유사한 동작을 하는 경우이다.

$|e| > |e_1^{sw}|$ 이고 $|\dot{e}| > |\dot{e}_1^{sw}|$ 인 때에는 $\alpha=1$ 이고 속도형 퍼지 제어 알고리즘이 적용된다. 편차가 작을 경우 사람의 제어 행위는 편차와 편차변화를 고려하여 제어량의 증분을 결정하는 속도형 제어 알고리즘으로 이해될 수 있기 때문에 편차와 편차변화가 작은 경우 사람의 제어 행위와 유사하다. $0 < \alpha < 1$ 인 경우는 퍼지 스위칭 영역으로 제어량을 식(2-7)과 같이 u_{PD} 와 u_{PI} 의 linear weighting으로 결정한다. 그러므로 사람이 편차가 큰 경우는 위치형 제어를 하고 편차가 작은 경우는 속도형 제어를 하는 것이며 또한 사람의 스위칭 행위를 퍼지 스위칭으로 모델하는 것으로 이해될 수 있다.

만약 $|e_1^{sw}| = |e_2^{sw}| = e^{sw}$ 이고 $|\dot{e}_1^{sw}| = |\dot{e}_2^{sw}| = \dot{e}^{sw}$ 이면 일반적인(crisp) 스위칭이 되며, 이것은 퍼지 스위칭의 특별한 경우이다.

III. 적용예

제안된 제어기를 퍼지 스위칭의 여러 형태와 퍼지 스위칭의 특별한 경우로 1형 계통의 2차 시스템과 단위계단 입력에 대해 정상상태 오차를 갖는 0형 계통의 4차 시스템에 대해서 각각 적용한다.

제어 입력 u_{PD} 을 계산하기 위한 규칙은 표 1와 같으며 제어 입력 증분 Δu_{PI} 을 계산하기 위한 규칙은 표 2와 같다. 위치형과 속도형 퍼지제어기에서 사용된 퍼지 변수들은 각각 그림 2과 그림 3과 같다. 일반적으로 퍼지 제어에서는 제어 입력을 구하는 규칙과 퍼지 변수들이 제어 성능에 큰 영향을 미치므로 제어 대상에 따라 조정해야 하지만 여기서는 제안된 제어기의 개념 전달을 위해 각 제어 대상에 대해 동일한 규칙과 퍼지 변수를 사용한다. 그리고 시뮬레이션에 사용된 퍼지 스위칭 규칙은 멤버십 함수 모양이 사다리꼴인 경우(a)와 지수함수 형태인 경우(b,c), 그리고 퍼지 스위칭의 특별한 경우(d,e)로 정하며 이것을 그림 6에 나타내었다.

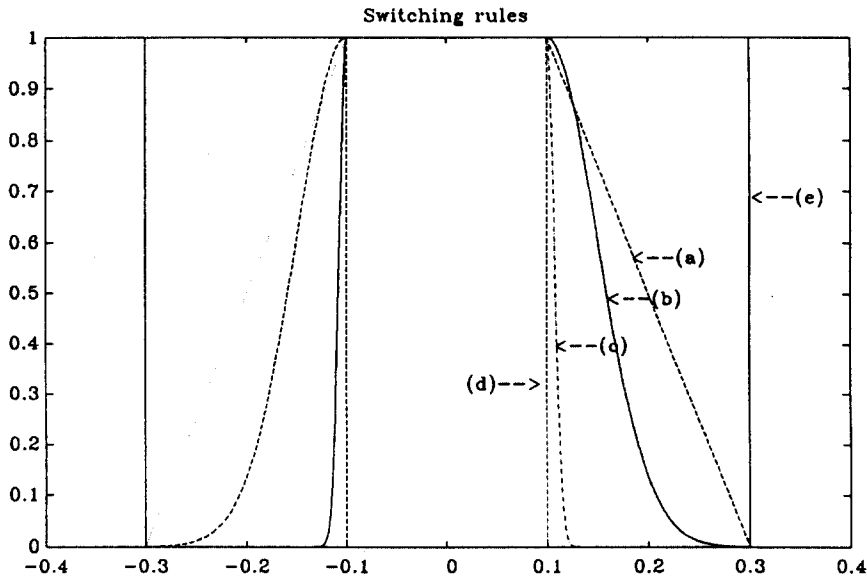


Fig.6 An example of fuzzy swithing rules.

여기서 $|e_1^{(2)}|$ 와 $|\dot{e}_1^{(2)}|$ 가 0.1이고 $|e_2^{(2)}|$ 와 $|\dot{e}_2^{(2)}|$ 는 0.3이다.

3.1 1형 계통의 2차 시스템

제안된 제어기를 아래의 (3-1)식으로 기술되는 시스템에 적용하여 보자.

$$G_1(s) = \frac{1}{s(s+1)} \tag{3-1}$$

여기서 s는 Laplace 변환 변수이다.

이것은 스텝(step) 입력에 대해 정상상태의 오차가 없다고 알려져 있으며 s-domain의 원점에 고유치를 가지고 있기 때문에 제어하기가 까다로운 시스템이라 할 수 있다. 또한 2차이고 물리적 관성을 갖고 있어 속도형 퍼지제

어에 의해 진동을 유발할때가 많다[12]. 먼저 d의 스위칭 규칙에 의해 위치형 퍼지제어로 과도응답 특성을, 속도형 퍼지제어로 정상상태응답 특성을 만족시키는 각 스케일링 계수 $(S_{ei}, S_{di}, S_{ui}) = (1, 8, 30)$, $(S_{ed}, S_{dd}, S_{ud}) = (1, 0.4, 15)$ 를 몇번의 시운전을 통해 얻을 수 있었다. 이러한 스케일링 계수는 다섯가지의 스위칭 규칙에 대해 동

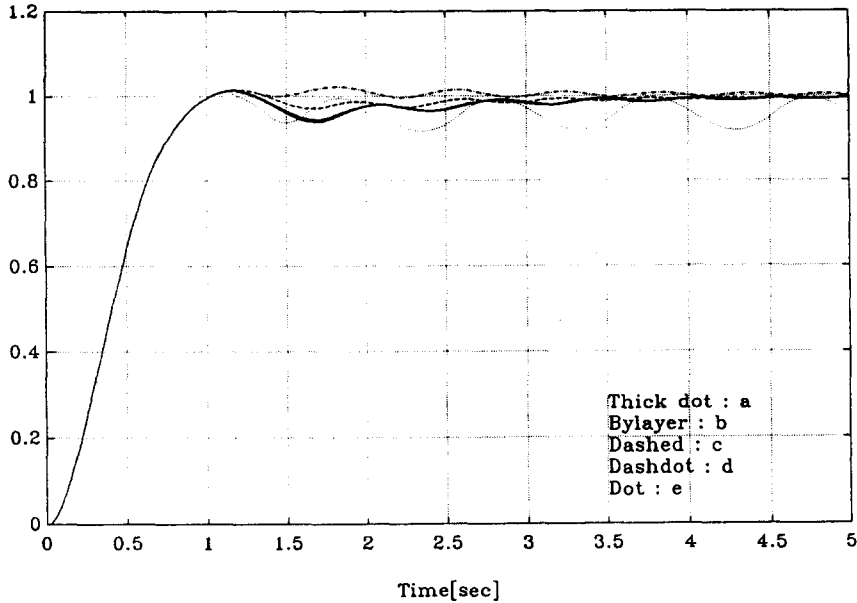


Fig.7 Response of (3-1) with proposed controller.

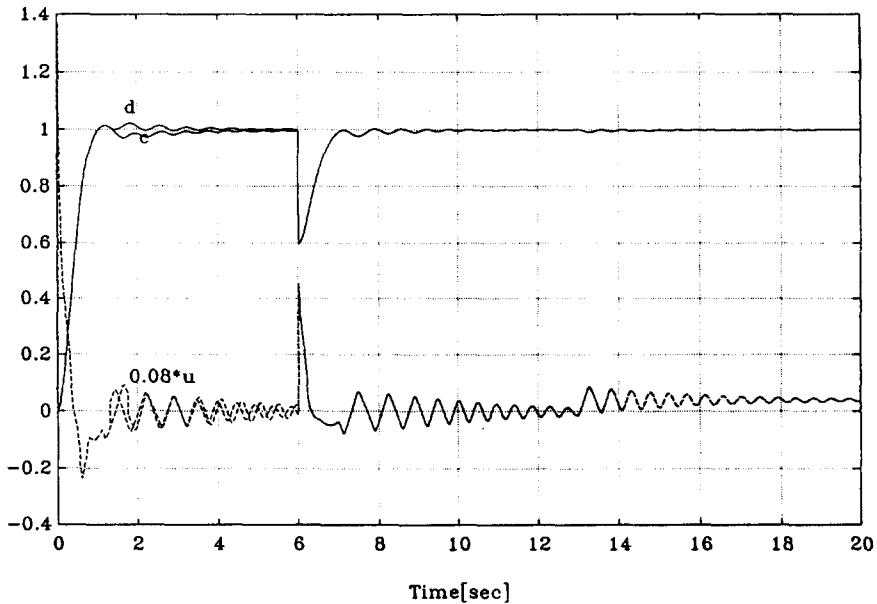


Fig.8 Response of (3-1) with proposed controller, (take a load)

일하게 사용된다. 각각의 스위칭 규칙에 의한 적용결과를 그림 7에 나타내었다. 결과에서 e를 제외한 나머지의 응답특성을 보면, 제어 초기 상태에 위치형 퍼지 제어기가 빠르게 스위칭 경계에 도달시키고 경계내에서 속도형 퍼지제어기가 지속적으로 스위칭 평면을 유지하도록 하면서 응답을 설정치에 도달하게 하고있다. 사다리꼴의 a와 지수함수꼴의 b는 거의 같은 응답특성을 보이며 지수함수 형태가 b에서 c로 변환될수록 응답특성이 좋아짐을 볼 수 있다. 또한 e의 경우는 속도형 퍼지제어기가 진동을 유발하여 불안정한 응답특성을 볼 수 있다.

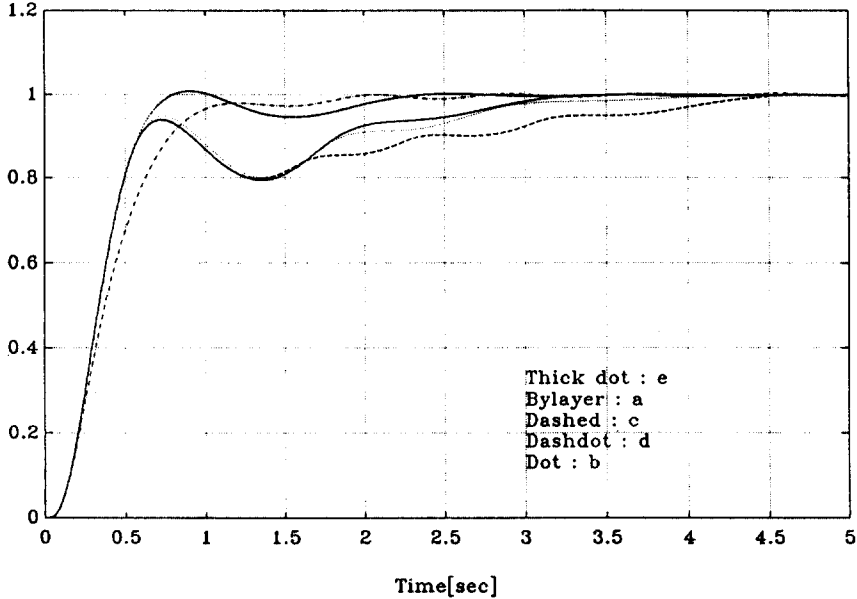


Fig.9 Response of (3-2) with proposed controller.

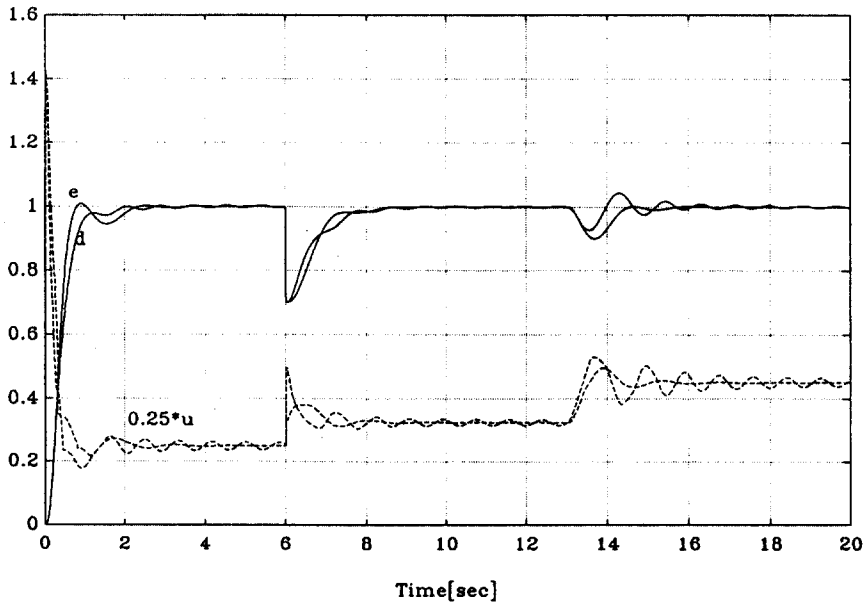


Fig.10 Response of (3-2) with proposed controller, (take a load)

그림 8은 6초후 출력단에 부하, $y_T = -0.4$ 인 경우와 13초후 제어 입력에 외란, $u_T = -0.5$ 인 경우에 대해서 c와 d의 스위칭 규칙으로 적용한 결과로서 부하의 변동에도 대처함을 볼 수 있다.

3.2 0형 계통의 4차 시스템

제안된 제어기가 적용된 제어대상 시스템의 전달함수는 식(3-2)과 같다.

$$G_2(s) = \frac{1}{(1+s)(1+0.2s)(1+0.05s)(1+0.01s)} \quad (3-2)$$

이 시스템은 제어기에 적분기능이 포함되어 있지 않으면 스텝 입력에 대해 정상상태 오차를 보이므로 속도형 퍼지제어기의 기능이 강화되도록 하여 정상상태 오차를 없앨 수 있도록 한다. d의 스위칭 규칙으로 $(S_{ei}, S_{di}, S_{ui}) = (1, 1, 10)$ 와 $(S_{ed}, S_{dd}, S_{ud}) = (1, 0.05, 5)$ 의 스케일링 계수를 여러번의 시운전을 통해 얻었으며, 각각의 스위칭 규칙으로 제로형이며 4차 시스템에 적용한 결과를 그림 9에 나타내었다. 속도형 퍼지제어의 기능이 강화될수록 더욱 안정한 응답을 결과에서 볼 수가 있다. 즉 위치형 퍼지제어기가 과도응답 특성 상태에서 빠르게 정상상태 응답 특성이 되도록 하며 이 후, 속도형 퍼지제어기가 정상상태 응답을 유지하도록 한다. 그림 10은 6초후 $y_T = -0.3$ 인 경우와 13초후 $u_T = -0.5$ 인 경우에 대해 d와 e의 스위칭 규칙으로 적용한 결과로서 부하의 변동에 대처함을 볼 수 있다.

IV. 결 론

위치형 퍼지제어기와 속도형 퍼지제어기가 갖고 있는 장점을 동시에 이용하고자 제어기의 형태(structure)를 상태에 따라 바꾸어 주는 가변구조형 퍼지제어기를 제안했으며 위치형에서 속도형 퍼지제어로의 스위칭에 대한 규칙을 어떻게 정하느냐에 따른 시스템의 성능에 미치는 영향에 대해 조사했다. 빠른 상승 시간과 적절한 오버슈트를 가져오는 위치형 퍼지제어기와 정상상태 오차를 줄이는 능력이 뛰어난 속도형 퍼지제어기로 구성되고 스위칭 규칙에 의해 과도응답 특성에 대해서는 위치형 퍼지제어기로, 정상상태 응답 특성에 대해서는 속도형 퍼지제어기로 대처 하도록 제어기의 구조를 바꿈으로써 제어 성능을 개선시킬 수 있도록 제어기를 구성했다. 결국 다음의 제어 규칙을 추가함으로써 제어 성능 지수를 만족시키며 안정한 제어를 할 수 있었다.

*If error is ZERO^{***} and change of error is ZERO^{***} then a velocity-type fuzzy controller is applied, otherwise a position-type fuzzy controller is.*

제안된 가변구조형 퍼지제어기는 2차 이상의 시스템과 시스템 자체가 정상상태 오차를 갖고 있는 제로형 제어 대상에 적용해본 결과, 만족할 만한 제어 성능 지수를 얻을 수 있었다. 각 system에 대해 동일하게 했던 제어규칙과 퍼지 변수들을 조정하고 속도형과 위치형 퍼지제어기에 대한 제어 규칙도 각각에 대해서 조정을 함으로써 개선할 수 있고 더욱더 정밀하고 안정한 제어가 될 것이며 또한 실제 시스템(모터등)에 적용하여도 그 유용성을 나타내리라 생각되며 계속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Informt. Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
2. O. Yagishita, O. Itch and M. Sugeno, "Application of Reasoning to the Water Purification Process," Industrial Application of Fuzzy Control, M. Sugeno Ed., Amsterdam, North-Holland, pp. 19-39, 1985.
3. H. L. Akin and V. Altin, " Rule-Based Fuzzy Logic Controller for a PWR-Type Nuclear Power Reactor," IEEE Trans. on Nuclear Science, vol. 38, no. 2, April 1991.

4. L. I. Larkin, "A Fuzzy Logic Controller for Aircraft Flight Control," Industrial Application of Fuzzy Control, M. Sugeno Ed., Amsterdam, North-Holland, pp. 87-103, 1985.
5. H. J. Zimmermann, "Fuzzy Set Theory and Its Application," Kluwer-Nijhoff Pub., Hingham, MA, USA, 1985.
6. C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Controller-Part I,II," IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 20, no. 2, pp. 404-435, 1990.
7. S. Yamada, H. Fujikawa, A. Fuji, and J. Yamakawa, "A Tuning Method for a Fuzzy Controller," Proc. Int'l Conf. Fuzzy Logic and Neural Networks, pp. 397-400, 1990.
8. V. I. Utkin, "Variable Structure Systems with Sliding Modes," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. AC-22, no. 2, pp. 212-222, 1977.
9. S. Kawaji, T. Maeda, and N. Matsunaga, "Design of Fuzzy Control System based on PD Control Scheme," IFSA'91 Brussels, vol. 'Engineering', pp. 77-80, 1991.
10. M. Maeda, T. Sato and S. Murakami, "Design of the Self-Tuning Fuzzy Controller," Proc. Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks, pp. 393-396, Iizuka, Japan, 1990.
11. M. Sugeno and G. T. Kang, "Structure Identification of Fuzzy Model," Fuzzy Sets and Systems, vol. 28, pp. 15-33, 1988.
12. R. Palm, "Sliding Mode Fuzzy Control," Int. Conf. on Fuzzy Systems'92, vol. 1, pp. 519-526, 1992.
13. 이 지홍, "제어량의 크기를 조건부에 포함하는 PI형 퍼지 제어기," 제30권, B편, 제5호, pp. 109-119, 1993 대한 전자 공학회 논문지.