

자기조정 퍼지제어기에 의한 전력계통 안정화에 관한 연구

Stabilization of Power System using Self Tuning Fuzzy Controller

鄭亨煥*, 鄭東一**, 朱碩珉**
Hyeng-Hwan Chung*, Dong-Il Chung**, Seok-Min Joo**

요 약

본 논문에서는 자기조정 퍼지제어기의 한 설계기법을 제안하고, 이를 전력계통 안정화에 적용하였다. 제안된 퍼지제어기의 파라미터는 최급강하법에 의하여 멤버십 함수의 중심치와 폭이 최적인 값으로 자기조정 되어진다. 이를 전력계통에 적용한 결과 제안된 제어기법이 종래의 제어기법보다 응답특성이 우수함을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed design technique of self tuning fuzzy controller and applied to power system stabilization. Parameters of the proposed fuzzy controller such as widths and center values of membership functions were optimally self-tuned by the steepest descent method. The related simulation results show that the proposed control technique are more powerful than the conventional ones for dynamic responses.

I. 서 론

최근 전력 계통은 전력 수요의 급증으로 계통이 복잡·대형화 되어감에 따라 기본적으로 요구되는 사항은 계통의 어떠한 변화에도 불구하고, 발전출력량과 그 품질에 대한 소비자의 욕구를 지속적으로 만족시켜야 한다는 것이다. 이같은 고신뢰, 양질의 전기에너지는 전압과 주파수를 허용 범위내로 수렴시킬 수 있는지의 여부에 달려있다고 볼 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 전력계통의 안정화장치(Power System Stabilizer : PSS)에 대한 연구가 활발하게 이루어져 오고 있다.

Hanson[1]은 전력계통의 응답특성을 개선하기 위하여 조속기 및 전압 조정기 등 발전기 제어부의 이득상수를 조정하여 계통의 안정도 향상에 기여하였으나 시행착오법으로 이득상수를 구하여 발전기를 제어하였기에 체계적인 접근방법을 제시하지는 못하였다.

Demello[2]는 전력계통 안정화 장치의 새로운 도입으로 안정도 문제의 체계적인 해를 구하는 방법을 제시하였다. 이후 Fleming[3], Gooi[4]에 의해 최적 파라미터 선정에 관한 연구가 활발히 진행되었고 Yu[5]는 위상보상 회로를 구성하여 감쇠 크기의 조정으로 PSS의 계수를 구하는 방법을 사용하였다. 그러나 전력 계통은 비선형 시

*正會員: 東亞大 工大 電氣工學科 教授 工博

**正會員: 東亞大 大學院 電氣工學科 博士課程

시스템으로서 모델화가 어렵고 부하 및 발전기 운전 상태 등이 다양하게 변화하므로 이에 대하여 광범위한 영역에서 동작되는 안정한 제어를 설계한다는 것은 곤란하였다.

최근 시스템의 선형, 비선형성을 불문하고 제어대상의 정확한 모델화 없이도 전문가의 지식 및 경험만을 기초로한 제어규칙으로부터 퍼지추론을 행하여 제어 동작을 결정하는 퍼지제어가 공학의 여러분야에서 적용되고 있으며, Iskandar[6]와 Ishigame[7] 등은 퍼지제어를 전력계통에 적용하여 동특성 응답을 개선시켰다. 그러나, 퍼지제어는 언어적 제어규칙만 적용함으로써 수학적 모델링이 불가능한 경우라도 제어가 가능하지만 부하변동에 따른 강인성 또는 정상상태의 잔류편차 등이 발생하는 문제점이 있다.

이러한 문제점의 해결 방법으로 프로세스가 미리 정해진 영역내에 들어올 때 제어 규칙 또는 스케일 팩터를 조절하는 윈도잉 기법과 시스템의 상태를 ROM 테이블화하여 제어하는 방법, 퍼지제어와 PID제어를 혼합한 하이브리드제어법 및 자기동조 제어법 등이 있다. 그러나, 일반적으로 많이 사용되고 있는 ROM 테이블방식에서는 제어시간이 단축되지만 데이터의 수량화에 따른 오차가 발생하고, 수량화 레벨을 작게하면 그만큼 데이터 메모리 용량을 많이 차지하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 종래의 퍼지제어(Fuzzy Logic Controller : FLC)시 과제인 정상상태의 잔류편차의 잔존 문제를 해소하고자 각 퍼지변수의 중심치 및 폭을 최급강하법(Steepest Descent Method)으로 반복학습하여 자기조정 하였다. 반복학습의 기존 학습 데이터는 종래 퍼지제어의 입·출력 쌍을 이용함으로써 최적의 파라미터를 얻을수 있었다.

이를 전력계통의 전압 및 주파수 제어에 적용하여 종래의 PSS 및 퍼지제어보다 제어성능면에서 우수함을 시뮬레이션을 통해 고찰해 보았다.

II. 계통 방정식

동기 발전기 단자에서의 전압과 전류를 직축과 횡축성분으로 표현하면 식(1)~(6)과 같이 나타낼 수 있다.[5~10] 단, 전기자 저항과 교류선로의 저항은 무시한다.

$$V_d = \frac{x_q V_b}{x_e + x_q} \sin \delta \quad (1)$$

$$V_q = \frac{x_e}{x_e + x_d'} E_q' + \frac{x_d' V_b}{x_e + x_d'} \cos \delta \quad (2)$$

$$i_d = \frac{E_q' - V_b \cos \delta}{x_e + x_d'} \quad (3)$$

$$i_q = \frac{V_b}{x_e + x_q} \sin \delta \quad (4)$$

$$V_t^2 = V_d^2 + V_q^2 \quad (5)$$

$$i_t^2 = i_d^2 + i_q^2 \quad (6)$$

여기서 δ 는 발전기의 회전각, E_q' 는 계자쇄교자속에 비례하는 전압, V_b 는 무한대 무선 전압, V_t 와 i_t 는 발전기 단자전압과 전류, x_d' 는 과도리액턴스, x_e 는 선로리액턴스, x_d 와 x_q 는 동기리액턴스의 직축 및 횡축성분을 나타낸다.

그림 1은 전력계통의 안정화를 위한 여자기와 조속기 제어모델 계통의 블록선도이다[6, 7]

그림 1을 기초로 한 여자기와 조속기계의 상태방정식은 식(7)과 같다. 여기서, u_e 와 u_g 는 여자기와 조속기의 제어 입력이다.

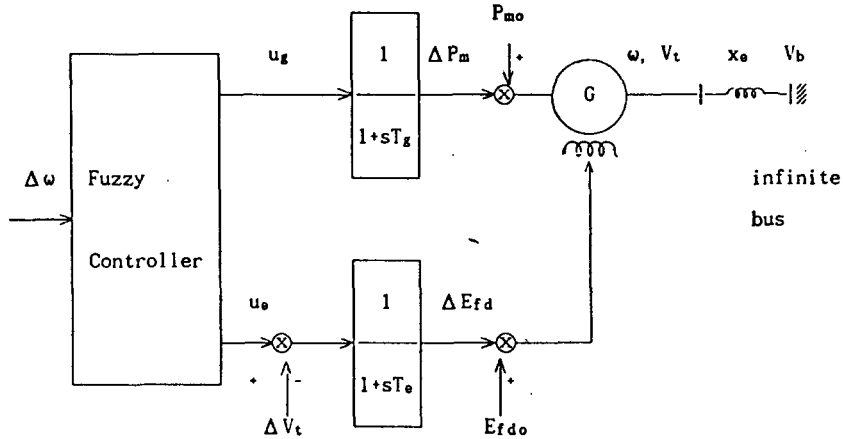


그림 1 전력계통의 안정화를 위한 모델계통
Fig. 1 Model system for power system stabilization

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\Delta\delta}{dt} &= \Delta\omega \\
 M \frac{d\Delta\delta}{dt} + D \cdot \Delta\omega &= \Delta P_m - \Delta P_e \\
 \frac{d\Delta E_q'}{dt} &= \frac{1}{T_{do}'} [\Delta E_{fd} - \Delta E_q' - (x_d - x_d') \Delta i_d] \\
 \frac{d\Delta E_{fd}}{dt} &= -\frac{1}{T_e} \Delta E_{fd} - \frac{1}{T_e} \Delta V_t + \frac{1}{T_e} u_e \\
 \frac{d\Delta P_m}{dt} &= -\frac{1}{T_g} \Delta P_m + \frac{1}{T_g} u_g
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

III. 자기조정 퍼지제어 기법

3-1. 퍼지추론

퍼지제어기에서는 언어적인 형태로 기술된 퍼지제어의 규칙을 적용하기 위해서 논리적인 실행 과정이 필요하다. 이를 퍼지추론이라 하며 몇 가지의 퍼지명제에서 어느 한 명제를 도출하는 것으로, 이는 인간이 행하고 있는 추론법과 유사하다. 퍼지제어 시스템의 일반적인 구성은 그림 2와 같이 사실과 결론을 If-Then 형식으로 조작모델을 서술하는 퍼지제어 룰부와 퍼지입력으로부터 얻어진 결과를 합성하여 아나로그 출력을 연산하는 퍼지 추론부 및 퍼제어 프로세스부로 크게 나눌 수 있다.[6, 7, 12~14]

입력 변수를 x_1, x_2, \dots, x_n , 출력 변수를 y 라고 하면 퍼지추론 물은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_p : \text{If } x_1 \text{ is } A_{p1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{p2} \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{pn} \text{ Then } y \text{ is } B_p \quad (8)$$

($p=1, 2, \dots, r$)

여기서, R_p 는 p 번째의 룰이고, $A_{p1}, A_{p2}, \dots, A_{pn}$ 은 입력변수의 퍼지변수, B_p 는 출력변수의 실수치를 나타낸다.

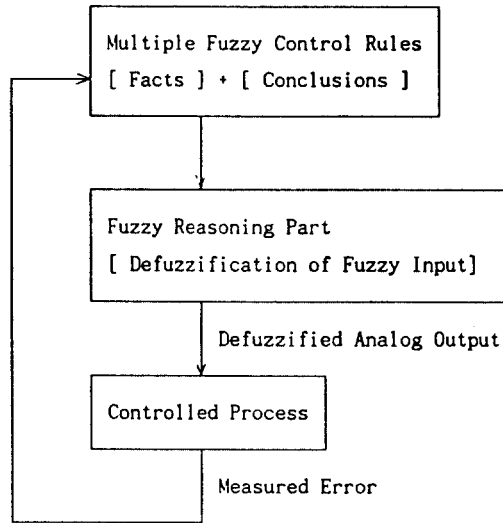


그림 2 퍼지제어 알고리즘의 블록선도
Fig. 2 Block-diagram of fuzzy control algorithm

입력 데이터 쌍 $(x_i, y) = (x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ 에 대해 식(8)의 추론 결과는 식(9)와 같다.

$$\mu_p = \prod_{i=1}^n \mu_{A_{pj}}(x_j) \tag{9}$$

여기서, $\mu_{A_{pj}}(x_j)$ 는 퍼지변수 A_{pj} 의 멤버십 함수를 나타낸다.

비퍼지화 방법으로는 최대면적법, 최대높이법, 최대평균법, 중력중심법 등이 있지만, 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용되는 Braae-Rutherford의 중력중심법(Center of Gravity Method)을 사용하였으며, 비퍼지화에 의한 최종 출력값 y^* 는 식(10)으로 나타내어진다.

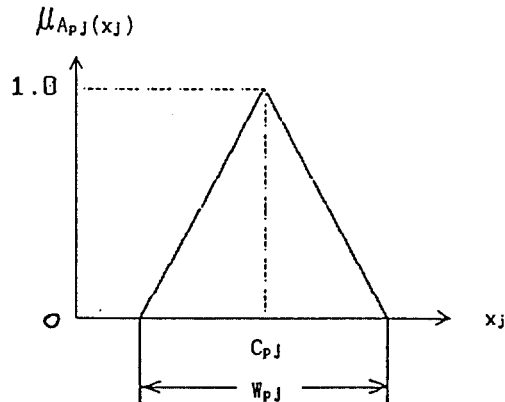


그림 3 멤버십 함수
Fig. 3 Membership function

$$y^* = \frac{\sum_{p=1}^r \mu_p \cdot B_p}{\sum_{p=1}^r \mu_p} \quad (10)$$

퍼지제어를 하기 위해서는 우선 퍼지화에 따른 멤버십 함수가 정의되어야 한다. 멤버십 함수는 삼각형, 사다리형, 종형 등이 있으며, 여기서는 일반적으로 많이 사용되고 계산하기에 편리한 삼각형의 멤버십 함수를 사용하였다.

그림 3은 멤버십 함수를 발생시키기 위한 모형이다.

여기서, C_{pj} 는 멤버십 함수의 중심값으로 적합도(grade)가 최대가 되는 값이고, W_{pj} 는 멤버십 함수의 폭을 나타낸다.

삼각형 멤버십 함수의 파라미터 $\mu A_{pj}(x_j)$ 의 결정은 식(11)에서 간단하게 계산된다.[13~16]

$$\mu A_{pj}(x_j) = 1 - \frac{2|x_j - C_{pj}|}{W_{pj}}, \quad (j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (11)$$

3-2. 최급강하법에 의한 자기조정 알고리즘

퍼지제어의 결과로부터 얻어진 입·출력 데이터 쌍(x_j, y) 즉, 각속도 편차 $\Delta\omega$ 와 그 미분치 $d\Delta\omega/dt$ 를 입력으로 한 퍼지제어기의 출력 u_g, u_e 를 얻게 된다. 이들 얻어진 입·출력 데이터 쌍을 이용하여 추론규칙에 포함되는 전건부는 각 퍼지 변수의 중심치 및 폭을 최급강하법에 의해 자기조정시켜 얻고, 후건부는 실수로 퇴화시켜 조정되는 값을 취한다. 조합이 가능한 모든 초기 추론규칙으로부터 학습이 종료됨으로 자동동조된 각 퍼지변수의 중심치 및 폭을 갖는 최적화된 추론규칙이 생성된다. 퍼지추론을 제어분야에 적용할 경우, 후건부의 퍼지변수를 실수로 퇴화시킨 간략 퍼지추론이 많이 사용된다. 후건부를 실수로 정의함으로써 조정 파라미터의 수가 감소하고, 조정 알고리즘이 용이하게 되는 이점이 있다. 또한 실수로 퇴화시키더라도 추론치는 통상의 퍼지추론과 크게 차이가 없다. 그래서 여기서는 최급강하법을 이용한 퍼지추론의 자기조정 수법으로 전건부의 멤버십 함수의 폭과 중심치 및 후건부의 파라미터를 식(12)의 E가 최소가 되도록 반복 학습하여 동조시킨다.

$$E = \frac{1}{2} (y - y^*)^2 \quad (12)$$

최급강하법에서는 입력 데이터 x_j 가 입력된 경우, 퍼지추론의 추론치 y^* 와 출력치 y 와의 추정오차의 제곱 E가 최소로 되도록 최적화한다.

이때 각 조정 파라미터에 대해 E의 값이 최대로 감소하는 방향을 나타내는 벡터는 식(13)과 같고, 식(14)~(16)과 같은 학습법칙으로 동조한다.

$$\left[-\frac{\partial E}{\partial C_{pj}} \quad -\frac{\partial E}{\partial W_{pj}} \quad -\frac{\partial E}{\partial B_p} \right] \quad (13)$$

$$C_{pj}(t+1) = C_{pj}(t) - G_{Cj} \cdot \frac{\partial E}{\partial C_{pj}} \quad (14)$$

$$W_{pj}(t+1) = W_{pj}(t) - G_{Wj} \cdot \frac{\partial E}{\partial W_{pj}} \quad (15)$$

$$B_p(t+1) = B_p(t) - G_B \cdot \frac{\partial E}{\partial B_p} \quad (16)$$

단,

$$\frac{\partial E}{\partial C_{pj}} = \frac{\mu_p}{\sum_{p=1}^r \mu_p} \cdot (y-y^*) \cdot (B_p-y) \cdot \text{sgn}(x_j-C_{pj}) \cdot \frac{2}{W_{pj} A_{pj}(x_j)}$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{pj}} = \frac{\mu_p}{\sum_{p=1}^r \mu_p} \cdot (y-y^*) \cdot (B_p-y) \cdot \frac{1-\mu_{A_{pj}}(x_j)}{\mu_{A_{pj}}(x_j)} \cdot \frac{1}{W_{pj}}$$

$$\frac{\partial E}{\partial B_p} = \frac{\mu_p}{\sum_{p=1}^r \mu_p} \cdot (y-y^*)$$

여기서 G_{Cj} , G_{Wj} , G_B 는 각 벡터량에 따라 정해지는 학습계수이며, 식(14)~(16)은 충분한 학습횟수에 의해 수렴되는 것으로 하며, 부호함수는 식(17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{sgn}(z) = \begin{cases} 1 & (z \geq 0) \\ -1 & (z < 0) \end{cases} \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 논문에서 사용한 계통정수와 초기치 설정값은 표 1에 나타내었다.

표 1 시스템 파라미터와 초기값

Table. 1 System parameters and initial values

$T_e = 0.1$ [sec]	$T_g = 0.3$ [sec]	$M = 0.0138$ [sec ² /rad]
$V_b = 1.0$ [p.u]	$T_{do}' = 2.0$ [sec]	$D = 0.0138$ [sec/rad]
$X_d = 1.0$ [p.u]	$X_q = 0.6$ [p.u]	$X_d' = 0.4$ [p.u]
$X_e = 0.33$ [p.u]	$Pe_o = 0.9186$ [p.u]	$Qe_o = 0.2981$ [p.u]
$I_{do} = 0.6054$ [p.u]	$I_{qo} = 0.6912$ [p.u]	$I_{to} = 0.9188$ [p.u]
$V_{do} = 0.4147$ [p.u]	$V_{qo} = 0.9658$ [p.u]	$V_{to} = 1.0511$ [p.u]
$E_{fo} = 1.5713$ [p.u]	$E_{qo} = 1.2080$ [p.u]	$\delta_o = 40.0$ [deg]

전력계통의 안정화를 위한 퍼지 제어를 설계하기 위해서는 먼저 일반적인 물이 생성되어야 한다. 본 시스템에서 사용한 퍼지 제어기의 구성도는 그림 4와 같다.

여기에 적용되는 퍼지제어 룰은 식(18)과 같은 형태이다.

$$\text{If } e \text{ is } A_1 \text{ and } ed \text{ is } A_2 \text{ Then } u_e \text{ is } B_1 \text{ and } u_g \text{ is } B_2 \quad (18)$$

여기서, e 는 $\Delta\omega$ 의 출력치와 목표치와의 오차, ed 는 $\Delta\omega$ 의 오차 변화율 그리고 u_e , u_g 는 여자기 및 조속기의 제어입력을 표시한다.

식(19)과 같은 부하변동이 생겼을 때 전진부와 후진부의 퍼지 변수는 오차와 오차변화율에 대해 각각 5개로 구성하였으며, 전체적인 제어규칙은 여자기와 조속기의 특성상 각속도 편차에 대한 의존성이 서로 상반되는 성질을 이용하여 표 2와 같이 선정하였다.

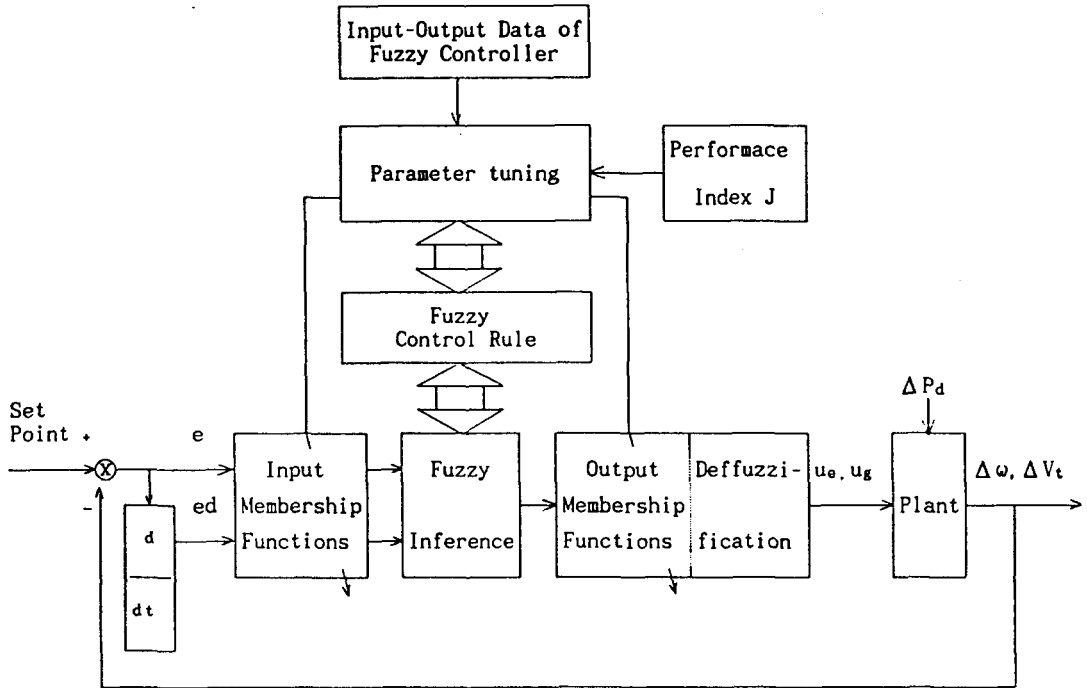


그림 4 안정화를 위한 퍼지제어 시스템의 블록선도
Fig. 4 Block-diagram of fuzzy control system for stabilization

표 2 제어규칙
Table. 2 Control rules
(a) 여자기
(a) Exciter

u_e		ed				
		PB	PS	ZO	NS	NB
e	NB	ZO	NS	NB	NB	NB
	NS	PS	ZO	NS	NB	NB
	ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
	PS	PB	PB	PS	ZO	NS
	PB	PB	PB	PB	PS	ZO

(b) 여자기
(b) Governor

u_g		ed				
		PB	PS	ZO	NS	NB
e	NB	ZO	PS	PB	PB	PB
	NS	NS	ZO	PS	PB	PB
	ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
	PS	NB	NB	NS	ZO	PS
	PB	NB	NB	NB	NS	ZO

PB : Positive Big PS : Positive Small ZO : Zero NS : Negative Small NB : Negative Big

$$\Delta P_d = \begin{cases} 0 & : t \leq 0.5, t > 0.6 \\ 0.03 \cdot P_{e0} [\text{p.u.}] & : 0.5 < t \leq 0.6 \end{cases} \quad (19)$$

$$P_{e0} = 0.9186 [\text{p.u.}]$$

제시된 제어규칙에 대한 여자기와 조속기의 전건부와 후건부의 멤버십 함수는 그림 5와 같으며, 표 3은 e, ed의 초기상태 멤버십 함수에 있어서 각각의 중심치와 폭을 나타낸 것이다.

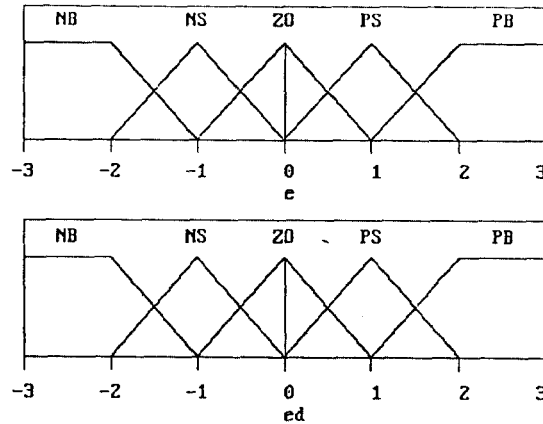


그림 5 멤버쉽 함수
Fig. 5 Membership functions

표 3 멤버쉽 함수의 초기값

Table. 3 Initial values of membership functions

	error (e)		change of error (ed)		B _p
	center (C _{p1})	width (W _{p1})	center (C _{p2})	width (W _{p2})	
NB	-2.0000E+00	2.0000E+00	-2.0000E+00	2.0000E+00	-2.0000E+00
NS	-1.0000E+00	2.0000E+00	-1.0000E+00	2.0000E+00	-1.0000E+00
ZO	0.0000E+00	2.0000E+00	0.0000E+00	2.0000E+00	0.0000E+00
PS	1.0000E+00	2.0000E+00	1.0000E+00	2.0000E+00	1.0000E+00
PB	2.0000E+00	2.0000E+00	2.0000E+00	2.0000E+00	2.0000E+00

먼저, 일반적인 퍼지제어의 결과로부터 얻어진 입·출력 데이터 쌍인 총 2000개의 데이터중 무작위로 200개만 취하여 반복 학습을 하였으며, 여기에 사용한 학습계수는 $G_{C1} = 0.02$, $G_{W1} = 0.15$, $G_{C2} = 0.007$, $G_{W2} = 0.054$, $G_B = 1.5$ 이다. 이때 각각의 중심치와 폭을 조정하는 학습 과정은 다음과 같다.

단계 1: 전건부 및 후건부 파라미터와 학습계수의 초기치를 설정한다.

$$(C_{pj}, W_{pj}, B_p, G_{Cj}, G_{Wj}, G_B), j = 1, 2$$

단계 2: 학습용 입·출력 데이터 쌍 (x_j, y) N개를 얻는다.

단계 3: 입력 데이터 x_j 에 대한 퍼지추론을 수행한다. 각 추론규칙의 적합도 μ_p 와 추론 결과 y^* 를 구한다.

단계 4: 후건부의 파라미터를 갱신한다.

단계 5: 갱신한 후건부 파라미터를 가지고 퍼지추론을 수행한다.

단계 6: 추론결과 y^* , 적합도 μ_p , 출력 데이터 y , 갱신한 후건부 파라미터를 이용하여 전건부 파라미터를 갱신한다.

단계 7: 오차 $E = \frac{1}{2} (y - y^*)^2$ 를 계산하고, N개의 데이터를 학습할 때까지 단계 2로 되돌아간다.

단계 8: 조정된 멤버쉽 함수중 E가 최소인 것을 선정한다.

단계 9: 선정된 멤버쉽 함수가 식(20)을 만족하면 학습과정을 종료하고, 만족하지 못하면 단계 2로 되돌아간다.

$$J = \int_0^T [\Delta V_i(t)^2 + \Delta \omega(t)^2 + \Delta \delta(t)^2] dt < \delta \tag{20}$$

그림 6은 제시한 학습과정에 따라 10회 학습 후 조정된 각각의 멤버십 함수이고, 표 4는 조정된 멤버십 함수의 중심치와 폭을 나타낸 것이며, 그림 7은 단자전압, 각속도 및 회전자각 편차를 반복 학습 횟수에 따라 나타낸 각각의 응답특성이다.

이들은 반복 학습 횟수를 많이 할수록 멤버십 함수의 파라미터인 중심치와 폭이 최적인 값으로 수렴되고, 응답 특성이 향상되어짐을 보여주고 있다.

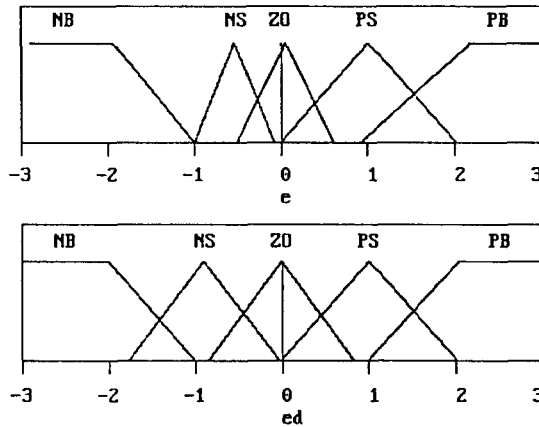
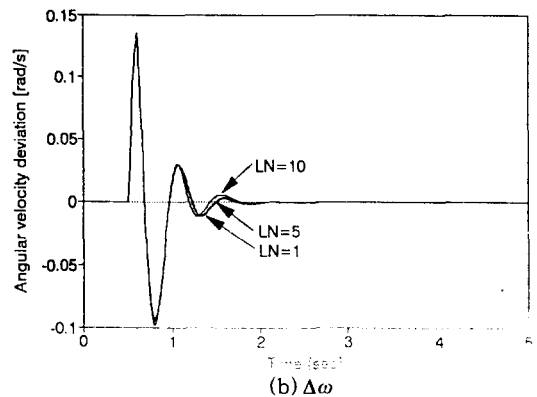
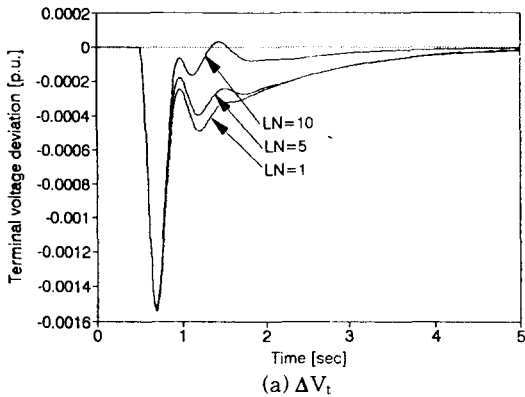


그림 6 조정된 멤버십 함수
Fig. 6 Tuned membership functions

표 4 10회 학습후의 멤버십 함수값

Table. 4 Values of membership functions(after 10th Learning)

	error(e)		change of error(ed)		B _p
	center(C _{p1})	width(W _{p1})	center(C _{p2})	width(W _{p2})	
NB	-1.9406E+00	1.8850E+00	-2.0016E+00	2.0046E+00	-2.0049E+00
NS	-5.3266E-01	9.1198E-01	-8.9308E-01	1.7338E+00	-1.0388E+00
ZO	5.3064E-02	1.1083E+00	6.2303E-06	1.6642E+00	-2.9066E-04
PS	1.0073E+00	2.0078E+00	1.0083E+00	2.0176E+00	1.0129E+00
PB	2.1837E+00	2.5157E+00	2.0364E+00	2.0713E+00	2.0000E+00



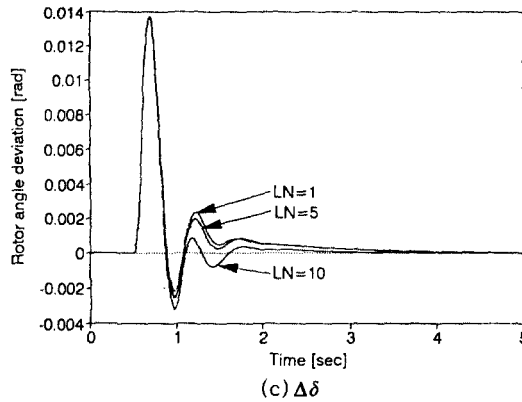


그림 7 학습횟수 따른 응답특성
 Fig. 7 Responses by iteration learning number
 (LN : Learning Number)

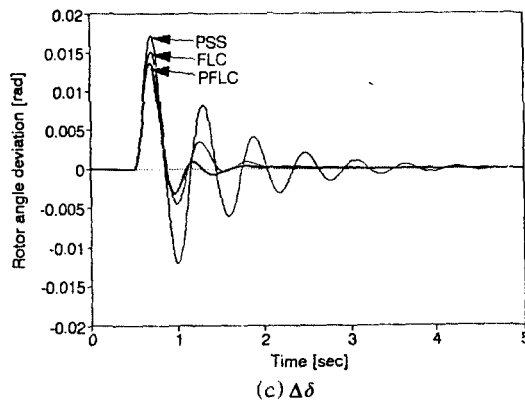
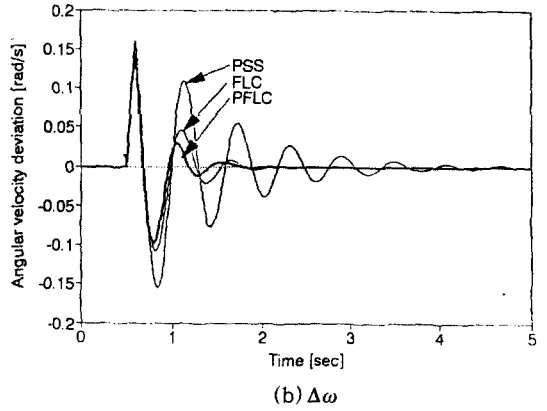
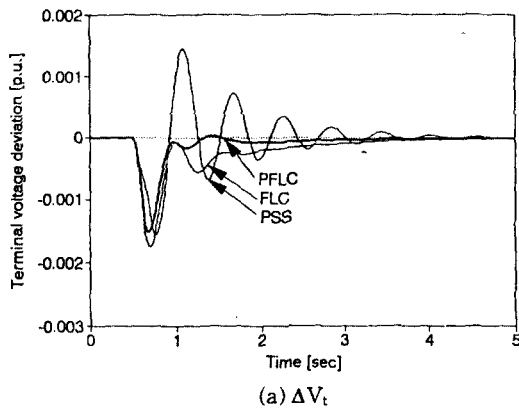


그림 8 제어기법에 따른 응답특성
 Fig. 8 Responses of control technique

그림 8은 종래의 제어기법인 PSS와 FLC 및 제안한 제어기법(Proposed Fuzzy Logic Controller : PFLC)에 의한 단자전압, 각속도 및 회전자각 편차에 대한 응답 특성이다. 이때 최급강하법의 학습 반복횟수는 10회일 때이다. 단자전압에 있어서 PSS의 응답특성은 큰 값을 가지고 장시간 진동하고 있으나 FLC에서는 진동없이 다소의 잔류편차를 가지고 수렴하였고, 최대편차량은 약 0.0001 [p.u.] 증가하였다. 반면에 PFLC는 최대편차량도 PSS보다 약 0.00005 [p.u.] 정도 감소시켰을 뿐만아니라 FLC보다 더 신속하게 정상상태로 수렴되고 잔류편차량도 최소화 시킬 수 있었다. 또한 각속도 편차 및 회전자각 편차 응답특성에서도 종래의 PSS 및 FLC보다 PFLC가 최대편차량과 정정시간 등을 더욱 감소 시킬 수 있음을 보여주고 있다.

이상의 결과로 부터 PSS의 응답특성이 장시간의 진동으로 수렴특성이 좋지 못한데 비해 FLC는 과도시 응답 뿐만아니라 수렴특성도 우수함을 볼 수 있었지만 잔류편차가 잔존하여 PFLC를 적용하므로써 이를 해소하고 수렴특성도 더욱 향상 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

전력계통에서 기본적으로 요구되는 사항은 계통의 어떠한 변화에도 불구하고, 발전출력량과 그 품질에 대한 소비자의 욕구를 지속적으로 만족시켜야 한다는 것이다. 이같은 고신뢰, 양질의 전기에너지는 전압과 주파수를 허용 범위내로 수렴시킬 수 있는나의 여부에 달려 있다.

따라서, 본 연구에서는 부하외란에 따른 전력계통의 안정도를 향상 시키기 위해 동기발전기의 여자제어계 및 조속기제어계의 제어기를 퍼지제어기로 구성하고, 최급강하법을 이용하여 퍼지변수의 전건부 및 후건부의 파라미터를 자기조정함으로써 더욱 개선된 제어성능을 보일 수 있음을 확인하였다. 이상 본 논문의 연구 결과를 요약 하면 다음과 같다.

첫째, 종래의 제어기법 PSS인 경우 부하외란에 대해 단자전압, 각속도 및 회전자각 편차의 특성에서 장시간의 진동으로 수렴 특성이 좋지 못한데 비해 퍼지제어기는 각각의 최대 편차량, 정정시간 등의 특성에서 우수함을 보였다. 그러나 정상상태에서 다소의 잔류편차가 잔존하고 있었다.

둘째, 최급강하법에 의해 퍼지변수의 중심치 및 폭을 반복 학습하여 최적의 퍼지 변수를 구할 수 있었다.

세째, 최급강하법을 이용하여 멤버십 함수의 폭과 중심치 조정으로 과도응답 뿐만아니라 정상상태에 있어서도 우수한 제어 효과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. O. W. Hanson, C. J. Goodwin, P. L. Dandeno, "Influence of Excitation and Speed Control Parameters in Stabilizing Intersystem Oscillations," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No. 5, pp. 1306-1311, 1968.
2. F. P. Demello, C. Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 1969.
3. R. J. Fleming et al., "Selection Parameters of Stabilizers in Multimachine Power System," IEEE Trans., Vol. PAS-100, No. 5, pp. 2329-2333, 1981.
4. H. B. Gooi et al., "Coordinate MultiMachine Stabilizer Settings Without Eigenvalue Drift" IEEE Trans., Vol. PAS-100, No. 8, pp. 3879-3887, 1981.
5. Yao-Nan Yu, "Electric Power System," pp. 65-94, Academic Press, 1983.
6. A. Ishigame, T. Imoto, S. Kawamoto, T. Taniguchi, "Combination of Fuzzy and Optimal Controls for Stabilizing Power Systems," IEE J. Vol. 110, No. 10, 1990.
7. M. A. Iskandar, "Stabilizing control of power system using Fuzzy control," IEE J., Vol. 112-B, No. 12, pp. 1111-1120, 1992.
8. P. M. Anderson, A. A. Fouad, "Power System Control and Stability," The IOWA State University

Press, 1977.

9. A. J. Wood, B. F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control," John Wiley & Sons Inc., 1984.
10. 김해재, "교류-직류 계통에 있어서 발전기에 대한 최적 PID제어기 적용에 관한 연구," 동아대학교 박사학위 논문, 1992.
11. Witold Pedrycz, "Fuzzy Control and Systems," John Wiley & Sons Inc., 1989.
12. Takashi, Hiyama, "Rule-Based Stabilizer for Multi-Machine Power System," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 2, (1990).
13. 정형환, 이준탁, 김해재, 정동일, 주석민, "2지역 전력계통의 부하주파수제어를 위한 퍼지추론 기법의 적용," 한국퍼지시스템학회 논문지, Vol. 2, No. 4, 1992.
14. 정형환, 이준탁, 정동일, 주석민, 김해재, 이광우, "전력계통의 안정화를 위한 퍼지제어의 적용," 대한전기학회하계학술대회 논문집(A), pp. 109-111, 1993.
15. A. Ishigame et al., "Power System Stabilizing Control Based on Simplification of Constructing Fuzzy Control Rules," IEE J, Vol. 113-B, No. 1, 1993.
16. 정형환, 이준탁, 정동일, 안병철, 주석민, "파라미터 자기조정 퍼지제어기를 이용한 부하주파수제어," 대한전기학회 투고증