

# 혼합형 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 안정화 제어기의 계수동조 기법에 관한 연구

論 文
49A - 12 - 3

## A Study on the Parameters Tuning Method of the Fuzzy Power System Stabilizer Using Genetic Algorithm and Simulated Annealing

李 興 載\* · 林 讚 鎬\*\*  
(Heung-Jae Lee · Chan-Ho Lim)

**Abstract** - The fuzzy controllers have been applied to the power system stabilizer due to its excellent properties on the nonlinear systems. But the design process of fuzzy controller requires empirical and heuristic knowledge of human experts as well as many trial-and-errors in general. This process is time consuming task.

This paper presents an parameters tuning method of the fuzzy power system stabilizer using the genetic algorithm and simulated annealing(SA). The proposed method searches the local minimum point using the genetic algorithm, which is on the adjacent of the global minimum point. And then this algorithm searches the global minimum point using the simulated annealing algorithm.

The proposed method is applied to the one-machine infinite-bus of a power system. Through the comparative simulation with conventional stabilizer and fuzzy stabilizer tuned by genetic algorithm under various operating conditions and system parameters, the robustness of fuzzy stabilizer tuned by proposed method with respect to the nonlinear power system is verified.

**Key Words** : Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Fuzzy Stabilizer, Parameter Tuning Method

### 1. 서 론

현대의 전력계통이 초대형화되고 복잡해짐에 따라, 동태 안정도의 향상은 계통운용의 신뢰성 확보를 위하여 매우 중요시되고 있다. 그러나 현재와 같이 상호 연계된 대규모 계통에서는 저주파 진동현상, 준동기 공진현상(SSR) 등과 같은 문제들이 발생하여 계통의 동태 안정도를 저하시키고 있으며, 계통의 안정운전을 크게 위협하고 있다.

저주파 진동현상은 발전기의 기계적 모드에 제동토크 성분이 부족하기 때문에 발생한다. 저주파 진동현상을 제거하고, 계통의 동태 안정도 향상을 위하여 해석적인 방법으로 다양한 전력계통 안정화 장치가 설계되어 왔다.[1-5] 그러나 전력계통이 근본적으로 고차의 비선형 시스템이므로 해석적인 방법으로 강인성을 확보하기에는 과중한 계산상의 부담 등 여러 가지 문제가 발생한다. 따라서 최근에는 이와 같은 해석적인 방법의 단점을 극복하고 비선형의 적응성을 유지시키기 위하여 퍼지제어, 신경회로망 등 인공지능 기법을 전력계통 제어에 응용하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다.[6-7]

퍼지 제어기는 정확한 수학적 지식 없이 개발될 수 있

으며, 과중한 계산상의 부담이 없으므로 윈-칩 마이크로프로세서를 이용하여 간단히 구현될 수 있다. 그러므로 비선형의 적응특성이 우수한 퍼지 안정화 제어기는 과중한 비용의 부담없이 실제계에 적용할 수 있을 것이다. 그러나 현재까지 퍼지 제어를 설계하는 일반적인 체계가 정립되어 있지 않으므로, 퍼지 제어기는 설계자의 경험에 의한 시행착오 방법(trial-and-error)으로 설계되어야 한다. 따라서 퍼지 안정화 제어기의 설계는 과다한 시간과 노력이 필요하며, 최적 퍼지 안정화 제어기의 구현은 현실적으로 매우 어려운 상황이다. 최근에는 퍼지 제어기의 설계과정에서 발생하는 단점을 극복하고 설계의 효율성을 확보하기 위하여 다양한 계수동조방법이 제시되고 있다.[9]

현재까지 제시된 퍼지 제어기의 계수 동조방법은 계수 추정기법과 자기동조 기법을 이용한 해석적인 방법과 신경회로망을 이용하는 방법 등이 있으며, 최근에는 확률적인 최적화 기법인 유전 알고리즘의 우수한 전역탐색 능력을 이용하여 퍼지 제어기의 계수를 동조하기 위한 연구가 진행되고 있다.[9] 그러나 유전 알고리즘의 문제는 국부탐색 능력이 부족하다는 점이다. 즉, 유전 알고리즘은 전역탐색 능력이 우수하여 전역 최소에 가까운 해를 제공하지만, 해 근처에서의 국부탐색 능력이 떨어져 전역 최소를 찾지 못할 가능성이 항상 존재한다. 따라서 유전 알고리즘의 이러한 특성을 보완하고 해의 질을 향상시키기 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

시물레이티드 어닐링(simulated annealing)은 확률적인 최적화 알고리즘으로서 국부탐색 능력이 우수하고 전역 최소를 보장하는 알고리즘이다. 본 논문에서는 시물레이티드 어

\* 正 會 員 : 光云大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 慶州大 컴퓨터電子工學部 專任講師 · 工博

接受日字 : 2000年 6月 19日

最終完了 : 2000年 11月 20日

닐링을 이용하여 유전 알고리즘의 국부탐색 능력을 향상시킨 하이브리드형 계수 동조방법을 제안하였다. 제안된 하이브리드형 동조방법에서는 전역탐색 능력이 우수한 유전 알고리즘을 이용하여 해의 부근까지 빠르게 검색하고, 해의 부근을 국부탐색 능력이 우수한 시뮬레이티드 어닐링을 이용하여 검색하도록 하였다.

본 논문에서는 운전조건과 발전 시스템의 제정수를 변화시키면서 제안된 동조방법의 효율성을 검증하였다. 즉, 제안된 동조방법으로 설계한 퍼지 안정화 제어기의 비선형 적응성을 검증하기 위하여 선형 제어기, 유전 알고리즘으로 동조한 퍼지 제어기와 비교 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 시스템 모델링

본 논문에서는 1기 무한모선(one-infinite bus)을 이용하여 발전 시스템의 저주파 진동현상을 해석하였으며, 발전 시스템의 선형화 모형은 그림 1과 같다. 그림 1의 모형은 기계적 입력을 고정시킨 후 평형상태에서 선형화시킨 모형이며, 저주파 진동현상을 해석하기 위하여 일반적으로 사용하는 4차의 블록선도이다.

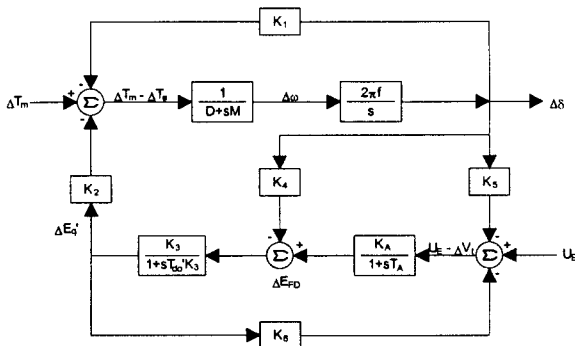


그림 1 선형화된 1기 무한모선 모형  
Fig. 1 A linearized one machine infinite-bus model

그림 1과 같은 1기 무한모선 모형을 상태 방정식으로 표현하면 다음과 같으며, 본 논문에서 고려한 제정수 및 초기치는 표 1과 같다.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = cx$$

$$x = \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta E'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -\frac{D}{M} & -\frac{K_1}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ 2\pi f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_4}{T'_{do}} & -\frac{1}{T'_{do}K_3} & \frac{1}{T'_{do}} \\ 0 & -\frac{K_A K_5}{T_A} & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} \quad C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

(1)

표 1 제정수 및 초기치

Table 1 Initial values and constants of the system

발전기	M=9.26	x <sub>d</sub> '=0.973	D=0
	x <sub>d</sub> '=0.19	x <sub>o</sub> '=7.76	x <sub>q</sub> '=0.55
여자기	K <sub>A</sub> =50	T <sub>A</sub> =0.05	
선로	R=-0.034	X=0.997	
	G=0.249	B=0.262	
초기상태	P <sub>eo</sub> =1.0	Q <sub>eo</sub> =0.015	V <sub>to</sub> =1.05

3. 퍼지 안정화 제어기

3.1 퍼지 안정화 제어기의 설계

본 논문에서 제안된 안정화 제어기는 그림 2와 같다. 그림 2에서 동조 모듈은 유전 알고리즘과 시뮬레이티드 어닐링을 하이브리드 형태로 연결한 구조를 가지고 있으며, 입출력 변수의 소속함수 모양을 동조한다.

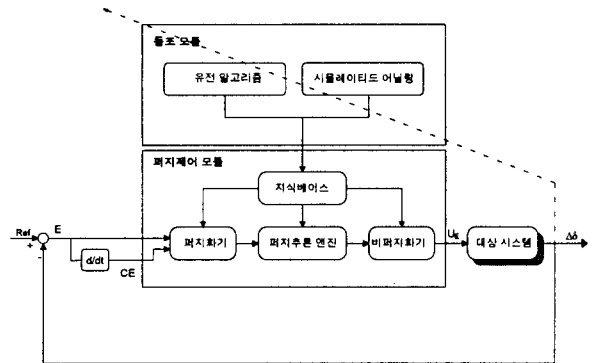


그림 2 퍼지 안정화 제어기와 동조모듈의 구조  
Fig. 2 The structure of the FPSS and tuning module

3.2 소속함수와 퍼지제어 규칙

본 논문에서는 그림 3과 같이 퍼지 안정화 제어기의 입출력 변수에 대하여 각각 7개의 언어변수를 정의하였다. 각 언어변수는 꼭지점을 이용하여 비대칭 삼각형 소속함수로 표현하였으며, 동조모듈에 의해서 최적의 상태로 동조된다.

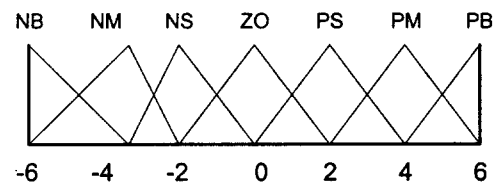


그림 3 E, CE, U<sub>δ</sub> 각각의 소속함수  
Fig. 3 The membership function of E, CE, U<sub>δ</sub>

퍼지규칙 베이스는 전문가의 지식을 반영하는 제어규칙으로 구성되어 있으며, 본 논문에서 제시한 제어규칙은 표 2와 같이 구성하였다.

표 2 퍼지제어 규칙

Table 2 The fuzzy control rules

E	CE						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NS	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB

4. 유전 알고리즘

4.1 유전자적 표현

본 논문에서는 그림 4에서 보는 바와 같이, 8비트로 표현된 각 언어변수의 꼭지점을 연결하여 하나의 개체로 정의하였다. 한 개체의 길이는 48비트로 표현되며, 표현된 각 언어 변수는 정의영역 사이의 실수로 디코딩 된다.

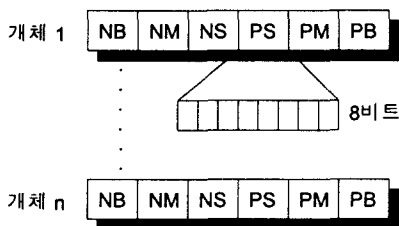


그림 4 유전자적 표현

Fig. 4 String structure of a variable

4.2 선택

본 논문에서는 토너먼트 선택전략을 사용하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 토너먼트 선택방법은 부모세대에서 임의로 2개 이상의 개체를 선택하여 평가하고, 그 중에서 적응도가 가장 우수한 개체를 이용하여 메이팅풀을 구성하도록 하였다. 이와 같은 과정은 메이팅풀의 개체수가 모집단의 수와 같을 때까지 반복되며, 자손세대는 메이팅풀의 개체에 유전 연산자를 적용하여 생성한다. 또한 본 논문에서는 부모세대의 가장 우수한 개체가 파괴되지 않고 자손세대에 보존되도록 우수 개체 보존전략을 병행하여 사용하였다.

4.3 유전 연산자와 매개변수

본 논문에서는 수렴특성이 비교적 우수한 이점 교차방법을 사용하였다. 또한 본 논문에서는 개체의 조기수렴을 방지하기 위하여 돌연변이 연산자를 사용하였으며, 한 개체에서 돌연변이 확률과 동일한 확률을 가지고 임의의 하나 또는 그 이상의 유전인자가 변화되도록 하였다. 본 논문에서 선정한 유전 알고리즘의 매개변수는 표 3에 표시하였다.

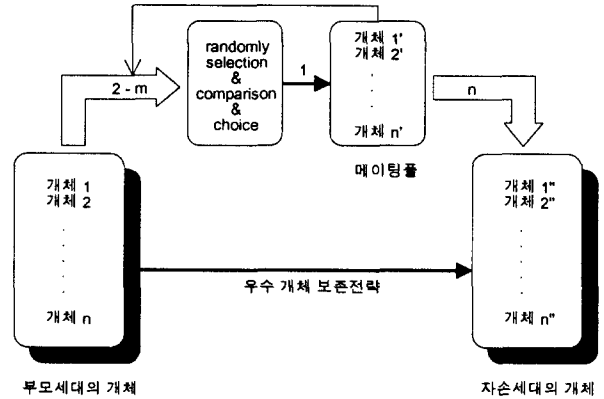


그림 5 토너먼트 선택전략

Fig. 5 Tournament selection method

표 3 유전 알고리즘의 매개변수

Table 3 The parameters of genetic algorithm

매개변수	값
모집단의 크기	30
교차확률	0.6
돌연변이 확률	0.05
세대수	50

5. 시뮬레이티드 어닐링

시뮬레이티드 어닐링(SA : Simulated Annealing)은 활성화되어 있던 물질이 냉각됨에 따라 기저 에너지 상태인 고도의 격자구조로 재정렬되는 어닐링 과정과 지역 최소점에서 벗어나 전역 최소점을 탐색하는 최적화 과정의 유사성에 착안하여 개발된 알고리즘이다. 시뮬레이티드 어닐링은 지역 최소점에서 벗어나도록 하기 위하여 확률적인 천이과정을 도입하고 있다. 즉, 시뮬레이티드 어닐링에서는 목적함수 값의 개선이 없는 경우에도  $\exp(-\Delta C/T)$ 의 확률로 현재의 해를 변경시키는 과정을 반복한다.  $\Delta C$ 는 목적함수 값이 나빠진 정도를 의미하며, T는 해의 허용비율을 설정하는 온도 파라미터로서 알고리즘이 수행되는 동안 고온에서 저온으로 점진적으로 변화된다. 또한 시뮬레이티드 어닐링에서는 수렴속도를 빠르게 하기 위해서 초기에는 T를 크게 설정하여 극소점에서 벗어날 확률을 높게 하고, 알고리즘이 진행되는 과정동안 T를 감소시켜 극소점에서 벗어날 확률을 낮게 한다. 그러므로 시뮬레이티드 어닐링은 해가 탐색공간의 지역 최소점에 빠지더라도 이를 벗어나 전역 최소점을 찾아갈 수 있는 가능성을 보장하고 있다.

5.1 냉각 스케줄

S. Geman 등은 이론적인 온도관리 스케줄링으로서 다음과 같이 제안하였다. 또한 해의 목적함수 값이 나빠지는 방향으로 천이할 확률이 불쓰만 분포를 따른다면, 이 스케줄링을 이용하여 시뮬레이티드 어닐링은 반드시 전역 최소점에 수렴할 수 있음을 증명하였다.

$$T(t) = \frac{k}{\log(1+t)} \quad (2)$$

Geman의 스케줄링을 사용할 경우 log항 때문에 실제로 무한대의 시간이 소모될 수 있으므로 본 논문에서는 다음과 같은 스케줄링을 사용하였다.

$$T(t) = \frac{T_0}{1+t \times 0.1} \quad (3)$$

여기서  $t$ 는 반복횟수이고,  $T_0$ 는 초기 온도이다.

### 5.2 목적함수

본 논문에서는 대상 시스템에 대하여 오프라인 시뮬레이션을 수행하고, 목적함수 값을 평가하였다. 즉, 표 1에 표시한 초기치 및 제정수를 1기 무한모선에 적용하고 10초간 시뮬레이션을 수행하였으며 다음 식과 같이 목적함수 값을 평가하였다.

$$C(i) = \sum_{t=0}^N (|error| \cdot dt \cdot t) \quad (4)$$

여기서 error는 부하각 변위( $\Delta\delta$ )의 오차값이며,  $dt$ 는 샘플링 주기로서 본 논문에서는 0.002로 설정하였다.  $t$ 는 시뮬레이션이 진행되는 시간을 의미하며, 해의 수렴성을 판단할 수 있는 기준으로서 추가하였다. 즉, 시뮬레이션 초기의 오차보다 정상상태에서의 오차에 가중치를 부여하기 위해 추가된 항목이다.

### 5.3 알고리즘의 수행절차

본 논문에서는 유전 알고리즘으로 전역 최적해 부근까지 빠르게 검색하고, 최적해 부근에서는 시뮬레이티드 어닐링을 이용하여 검색하도록 하였다. 시뮬레이티드 어닐링의 초기해는 유전 알고리즘이 최적해 부근까지 탐색한 해를 사용하도록 하였으며, 알고리즘의 수행시간 단축을 위하여 제약 조건을 설정하였다. 즉, 다음 식에서 보는 바와 같이 ZO는 0으로 고정시켰으며, 언어변수의 정의구역을 [-6, 6]으로 제한하였다. 또한 각 언어변수 사이의 대소관계를 제약조건으로 설정하였다.

$$\begin{aligned} -6 \leq NB, NM, NS < 0 & \quad 0 < PS, PM, PB \leq 6 \\ ZO = 0 & \\ NB < NM < NS & \quad PS < PM < PB \end{aligned} \quad (5)$$

시뮬레이티드 어닐링은 온도가 충분히 냉각되었을 때 종료된다. 그러나 낮은 온도에서 소모되는 시간이 과다하기 때문에 본 논문에서는 목적함수 값이 일정한 횟수 동안 개선되지 않으면 알고리즘을 종료하여 수행시간을 단축하도록 하였다. 즉, 해가 15회 이상 개선되지 않을 경우 종료하도록 설정하였다.

시뮬레이티드 어닐링의 수행과정은 그림 6에 도시하였다.

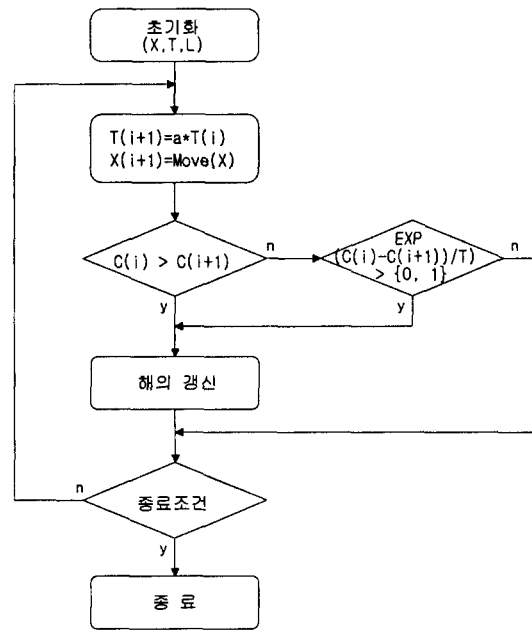


그림 6 시뮬레이티드 어닐링의 수행절차  
Fig. 6 The procedure of simulated annealing

## 6. 사례연구

본 논문에서 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을 검증하기 위하여 그림 1에 표시한 1기 무한모선을 사용하였다. 또한 본 논문에서는 표 1에 표시한 제정수와 초기치를 사용하여 퍼지 안정화 제어기의 계수를 동조하였으며, 동조된 소속함수 모양은 그림 7에 표시하였다.

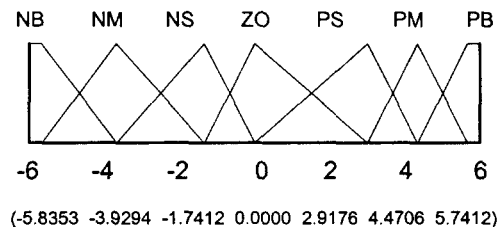


그림 7 E, CE, U<sub>E</sub> 각각의 동조된 소속함수  
Fig. 7 The tuned membership function

본 논문에서는 비선형의 적응성을 검증하기 위하여 운전 조건을 변화시키면서 최적 제어기, 유전 알고리즘으로 동조한 퍼지 제어기 그리고 본 논문에서 제시한 하이브리드형 동조방법으로 동조한 퍼지 안정화 제어기의 동작 특성을 비교하였다. 또한 여러 가지 발전 시스템에 적용할 수 있는 가능성을 검증하기 위하여 발전기의 관성계수를 변화시키면서 최적 제어기와 동작 특성을 비교하였다.

### 6.1 운전조건 변화

본 절에서는 제안된 동조방법의 효율성과 동조된 퍼지 안정화 제어기의 비선형 적응성을 검증하기 위하여 운전조건

을 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 운전조건의 변화로서 무효전력이 증가될 경우를 고려하였으며, 무효전력은 0.2[pu], 0.25[pu], 0.3[pu]으로 변화시켰다. 그림 8은 무효전력이 0.2인 경우의 시스템 출력을 도시한 경우이고, 그림 9와 10은 각각 무효전력이 0.25, 0.3인 경우이다.

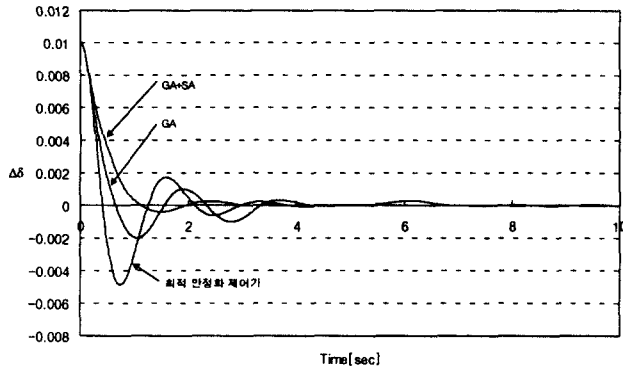


그림 8 시스템 출력(Q=0.2)  
Fig. 8 The system output(Q=0.2)

그림 8에서 보는 바와 같이 무효전력이 0.2[pu]인 경우에는 비교한 3가지 제어기 모두 저주파 진동 현상을 잘 상쇄하고 있음을 알 수 있다. 최적 제어기의 경우 진폭이 다른 제어기에 비하여 크게 발생하였으며, 유전 알고리즘의 경우 진폭은 작으나 수렴시간이 약간 늦고, 본 논문에서 동조한 퍼지 안정화 제어기는 진폭, 수렴시간, 진동수 등 다른 제어기에 비하여 가장 우수한 응답 특성을 보여주고 있다.

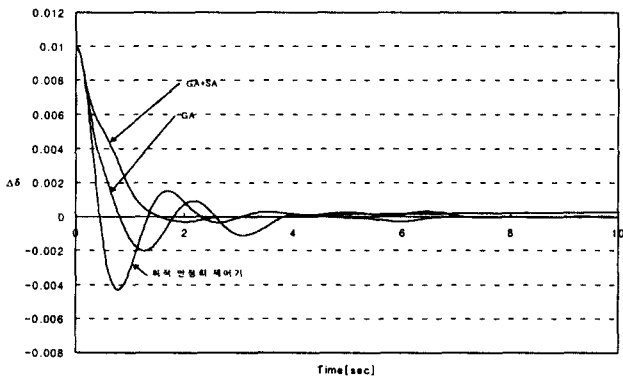


그림 9 시스템 출력(Q=0.25)  
Fig. 9 The system output(Q=0.25)

무효전력이 0.25[pu]의 경우에는 그림 9에서 보는 바와 같이 최적 제어기가 약간의 정상상태 오차를 보이고 있지만 무효전력이 0.2[pu]인 경우와 유사한 응답특성을 보이고 있다. 그러나 그림 10에서 보는 바와 같이 무효전력이 0.3[pu]으로 증가된 경우 최적 제어기는 저주파 진동을 상쇄시키지 못하고 발산하고 있으나, 두 가지 퍼지 안정화 제어기는 저주파 진동을 잘 상쇄시키고 있다. 특히 본 논문에서 동조한 퍼지 안정화 제어기의 동작특성이 더 우수함을 확인할 수 있다.

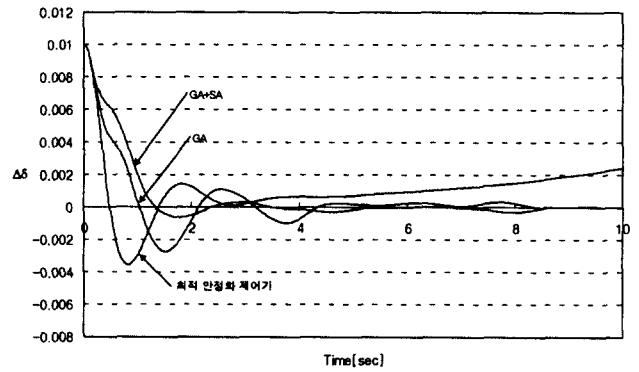


그림 10 시스템 출력(Q=0.3)  
Fig. 10 The system output(Q=0.3)

### 6.2 관성정수 변화

여러 가지 발전 시스템에 대해서도 발전기의 관성정수만이 다르다는 가정 하에 최적 제어기와 하이브리드형 동조방법으로 동조한 퍼지 안정화 제어기의 동작특성을 비교하였으며, 관성정수는 7, 12로 변화시켰다. 그림 11에는 관성정수가 7인 경우의 응답특성을 도시하였고, 그림 12는 관성정수가 12인 경우이다.

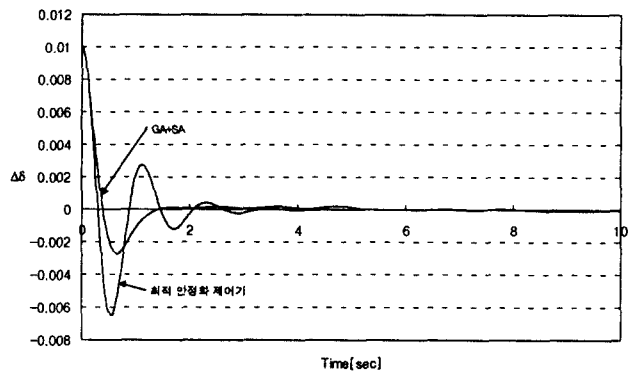


그림 11 시스템 출력(M=7)  
Fig. 11 The system output(M=7)

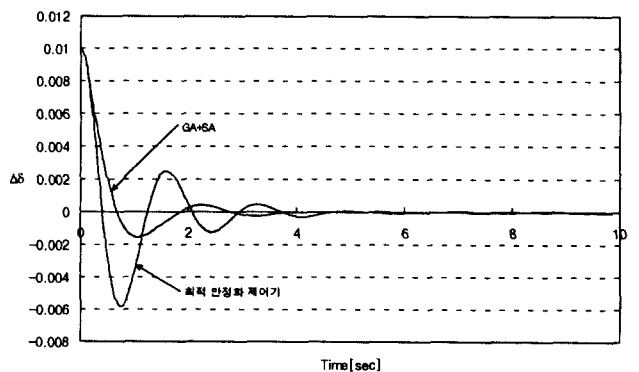


그림 12 시스템 출력(M=12)  
Fig. 12 The system output(M=12)

그림 11, 12에서 보는 바와 같이 관성정수 변화에 대하여 최적 제어기와 제안된 하이브리드형 동조방법으로 동조한 퍼지 안정화 제어기 모두 저주파 진동을 잘 상쇄시키고 있다. 그러나 최적 제어기와 퍼지 안정화 제어기의 성능을 비교하였을 때, 퍼지 안정화 제어기가 보다 우수한 응답특성을 보이고 있다. 퍼지 안정화 제어기는 최적 제어기에 비하여 진폭이 60%정도 감소하였으며, 진동이 거의 없음을 확인할 수 있다.

### 7. 결 론

비선형의 적응특성이 우수한 퍼지 안정화 제어기는 과중한 비용의 부담없이 실제통에 적용할 수 있다. 그러나 설계 과정에서 소모되는 과도한 시간과 노력으로 인하여 최적의 퍼지 안정화 제어기를 구현하기가 현실적으로 매우 어려운 상황이다.

본 논문에서는 퍼지 안정화 제어기의 효율적인 설계를 위하여 확률적인 최적화 기법인 유전 알고리즘과 시뮬레이터드 어닐링을 하이브리드 형태로 결합시킨 계수 동조기법을 제안하였다. 제안된 동조방법에서는 전역탐색 능력이 우수한 유전 알고리즘을 이용하여 전역 최적해 부근까지 빠르게 검색하고, 국부탐색 능력이 우수한 시뮬레이터드 어닐링을 이용하여 전역 최적해를 검색하도록 하였다.

운전조건과 발전 시스템의 관성정수 변화에 대한 비교 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제시한 방법으로 동조된 퍼지 안정화 제어기의 비선형 적응 특성이 향상되었음을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 1999년도 한국과학재단 목적기초 연구비 지원에 의한 결과임 (과제번호: 1999-2-30200-007-3)

#### 참 고 문 헌

[1] P. Kundur, et al., "Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability",

IEEE Trans. on PWRs, Vol. 4, No. 2, pp. 614-626, 1989.

[2] H. J. Lee, T. W. Kwon. "Optimal Selection of the parameters of power system stabilizers", IFAC, Seoul, pp. 387-392, 1989.  
 [3] Yao-nan Yu, "Electric Power System Dynamics", Academic press, 1983.  
 [4] A. A. Ghandakly, et al., "An Adaptive Synchronous Generator Stabilizer Design by Generalized Multivariable Pole Shifting(GMPS) Technique", IEEE Trans. on PAS, Vol. 7, No. 3, pp. 1239-1244, 1992.  
 [5] J. Y. Fan, et al., "Power System Stability Improvement with Multivariable Self-Tuning Control", IEEE Trans. on PD, Vol. 5, No. 1, pp. 227-234, 1990.  
 [6] H. J. Lee, Y. M. Park and C.H. Lim, "A Study on the Nonlinear Characteristics of the Fuzzy Type Stabilizing Controller", KIEE, Vol. 42, No. 11, pp. 61-66, 1993  
 [7] Y. M. Park, S. H. Hyun, J. H. Lee, "A Synchronous Generator Stabilizer Design Using Neuro Inverse Controller and Error Reduction Network", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No. 4, pp. 1969-1975, 1996.  
 [8] David E. Goldberg, "Genetic Algorithm", Addison-Welsey, 1989.  
 [9] 이흥재, 임찬호, 윤병규, 임화영, 송자윤, "유전 알고리즘을 이용한 퍼지형 안정화 제어기의 최적 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 48권 11호, pp. 1382-1387, 1999.  
 [10] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer, Chapter 1-8, pp. 11-178  
 [11] D.A. Linkens, H.O. Nyongesa, "Genetic algorithms for fuzzy control Part 1: Offline system development and application", IEE proc.-Control Theory Appl., Vol. 142, No. 3, 1995

## 저 자 소 개



#### 이 흥 재 (李 興 載)

1958년 1월 28일 생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년~1996년 미국 워싱턴 주립대 방문교수. 현재 광운대 전기공학과 교수

Tel : 02-940-5147

E-mail : hjlee@daisy.kwangwoon.ac.kr



#### 임 찬 호 (林 讚 鎬)

1968년 8월 11일 생. 1991년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999년~현재 경주대 컴퓨터전자공학부 전임강사

Tel : 054-770-5174

E-mail : chlim@kyongju.ac.kr