

유전 알고리즘을 이용한 퍼지형 안정화 제어기의 최적설계에 관한 연구

이흥재, 임찬호, 윤병규  
(광운대학교 전기공학과)

A Study on the Optimal Design Fuzzy Type Stabilizing Controller Using Genetic Algorithm

Heung-Jae Lee, Chan-Ho Lim, Byong-Gyu Yoon  
(Kwangwoon University)

**Abstract** - This paper presents an optimal fuzzy power system stabilizer to damp out low frequency oscillation. The fuzzy logic controllers has been applied to a power system stabilizing controllers. But the design of a fuzzy logic power system stabilizer relies on empirical and heuristic knowledge of human experts as well as many trial-and-errors in general.

This paper presents the optimal design method of the fuzzy logic stabilizer using the genetic algorithm, which is the optimization method based on the mechanics of natural selection and natural genetics. The proposed method tunes the parameters of the fuzzy logic stabilizer in order to minimize the consuming time during the design process. In this paper, the proposed method tunes the shape of membership function of the fuzzy variables.

The proposed system is applied to the one-machine infinite-bus model of a power system. Through the case study, the efficiency of the fuzzy stabilizing controller tuned by genetic algorithm is verified.

1. 서론

현대의 전력계통이 대형화되고 복잡해짐에 따라, 과도 안정도와 동태안정도의 향상은 계통운용의 신뢰성 확보 측면에서 매우 중요시 되고있다. 그러나 현재와 같이 대형화된 계통에서는 저주파 진동현상이 발생하여 계통의 동태안정도를 저하시키고 있으며, 계통의 안정운전을 크게 위협하고 있다. 저주파 진동현상은 정상상태에서 부하변동과 같은 계통조건이 변화되었을 때 관측되는 현상이며, 동기 발전기의 기계적 모드에 제동토크 성분이 부족하기 때문에 발생한다.

현재까지 해석적인 방법으로 전력계통의 저주파 진동을 억제시키기 위하여 다양한 연구들이 수행되어 왔다. [1-3] 그러나 전력계통이 근본적으로 비선형 시스템이므로 해석적인 방법으로 저주파 진동현상을 해결하기에는 여러 가지 문제점이 발생한다. 따라서, 최근에는 해석적인 방법의 단점을 극복하기 위하여 퍼지제어 이론 [4], 신경회로망 이론 [5] 등의 인공지능 기법을 전력계통 제어에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

퍼지형 안정화 장치는 기존의 수학적인 모델을 기초로 한 제어방식의 단점을 보완하고, 인간의 의사결정 방식을 도입한 비선형 제어방식으로서, 정확한 수학적인 지식 없이 단순하고 효율적으로 개발될 수 있는 장점이 있다. 그러나 퍼지 제어기를 설계하는 데 있어서 일반적인 체계가 정립되어 있지 않으므로, 퍼지 제어기는 설계자의 경험에 전적으로 의존한 시행착오법에 의하여 설계되어야 한다. 따라서 퍼지 제어기의 설계는 과도한 시간이 필요하다. 최근에는 이와 같은 설계과정에서의 단점

을 개선하기 위하여 신경 회로망을 이용한 퍼지 제어기의 계수 동조법이 시도된 바 있다. [6]

본 논문에서는 퍼지 제어기의 설계과정에서 단점으로 지적되고 있는 과도한 시간과 노력의 소모를 방지하고 우수한 성능의 퍼지 제어기를 설계하기 위한 방법을 제시하고 있다. 제안된 설계 방법에서는 확률적 탐색과 개체의 체계적인 정보교환을 기반으로 최적해를 조사하는 확률적 최적화 알고리즘인 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하고 있다. 유전 알고리즘은 여러 개의 잠재적인 해들로 구성된 개체를 운용하고 있으며, 이러한 개체에 자연선택과 선택교배, 돌연변이 등의 유전 연산자를 적용하여 최적해를 탐색한다. 본 논문에서는 소속함수의 꼭지점 위치를 개체로 선정하고 토너먼트 선택전략과 2점 교차를 이용하여 소속함수의 모양을 동조하였다.

유전 알고리즘으로 동조한 최적 퍼지 제어기의 성능을 시험하기 위하여 동조모듈이 없는 기존의 퍼지 제어기, 선형 최적제어기와 비교하여 그 성능을 검증하였다.

2. 시스템 모델링

본 논문에서는 1기 무한모선을 사용하여 제안된 제어기의 특성을 분석하였다. 본 논문에서 사용한 1기 무한모선은 그림 1과 같으며, 무한모선을 선형화하여 블록선도로 표시하면 그림 2와 같다. 그림 2의 모형은 기계적 입력을 고정시킨 후 평형상태에서 선형화한 모형이며, 저주파 진동을 해석하기 위한 일반적인 형태이다.

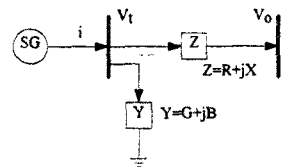


그림 1. 1기 무한모선

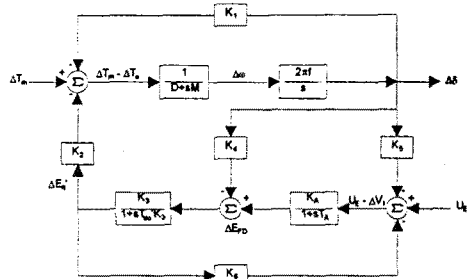


그림 2. 선형화된 1기 무한모선 모형

그림 2와 같은 1기 무한모선 모형은 식(1)과 같은 상태 방정식으로 표현된다.

$$Ax + Bu$$

$$y = cx$$

$$x = \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} D & -K_1 & -K_2 & 0 \\ M & M & M & 0 \\ 0 & K_2 & 1 & 1 \\ 0 & T'_{do} & T'_{do}K_3 & T'_{do} \\ 0 & K_A K_2 & K_A K_2 & 1 \\ T_A & T_A & T_A & T_A \end{bmatrix}$$

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

(1)

### 3. 유전 알고리즘을 이용한 안정화 제어기의 설계

본 논문에서 제안된 안정화 제어기는 그림 3과 같으며, 퍼지제어 모듈과 유전 알고리즘을 이용한 동조모듈로 구성되어 있다. 퍼지제어 모듈은 일반적인 형태의 퍼지 제어기로서 지식 베이스, 퍼지 추론기, 퍼지화기 그리고 비퍼지화기로 구성되어 있다. 유전 알고리즘 동조 모듈은 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기의 소속함수를 동조하는 부분이다.

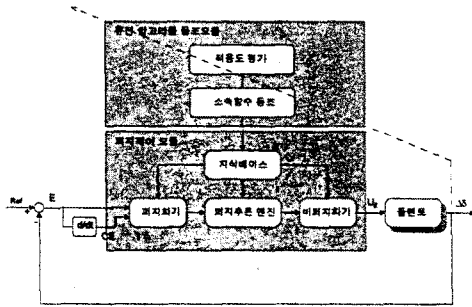


그림 3. 제안된 안정화 제어기의 구조

#### 3.1 유전자적 표현

유전자적 표현은 유전 알고리즘을 구축하는 첫 단계로서 문제의 잠재적인 해를 개체로 표현하는 과정이다. 본 논문에서는 이진벡터를 사용하여, ZO를 제외한 소속함수의 꼭지점 위치를 개체로 표현하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 8비트로 표현된 6개의 소속함수를 연결하여 하나의 개체로 정의하였다.

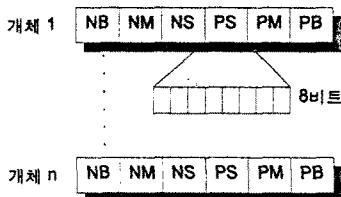


그림 4. 유전자적 표현

최적의 소속함수를 구하기 위하여 각 소속함수의 꼭지점 위치는 식(2)에 정의된 바와 같이 제한된다.

$$-6 \leq NB, NM, NS < 0 \quad ZO = 0 \quad 0 < PS, PM, PB \leq 6$$

$$NB < NM < NS, \quad PS < PM < PB \quad (2)$$

그림 5는 유전 알고리즘을 이용하여 동조된 소속함수를 도시하고 있다.

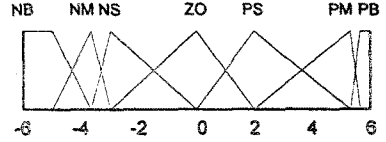


그림 5. 유전 알고리즘으로 동조된 소속함수

#### 3.2 평가함수

적응도는 자연개체의 생존능력을 나타내며 평가함수에 의해 평가된다. 본 논문에서는 식(3)과 같은 평가함수를 사용하였다.

$$eval(v) = \frac{1}{1 - \sum |error| \cdot dt} \quad (3)$$

여기서 v는 세대의 한 개체이고, error는 부하각 변위( $\Delta\theta$ )의 오차값이며, dt는 샘플링 주기이다.

#### 3.3 선택

선택은 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 과정이다. 본 논문에서는 토너먼트 선택전략을 사용하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 토너먼트 방법은 현재의 모집단에서 임의로 2개 이상의 개체를 선택하고, 적응도가 높은 개체를 이용하여 메이팅 풀을 구성한다.

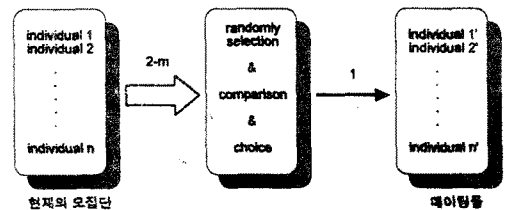


그림 6. 토너먼트 선택전략

본 논문에서는 토너먼트 선택방법과 병행하여 우수한 개체를 다음 세대에 보존하기 위한 개체 보존전략을 사용하였다. 개체 보존전략은 모집단 중에서 가장 적응도가 높은 개체를 다음 세대로 보존하는 방법이다. 이 방법은 그 시점에서 가장 우수한 해가 교차 등으로 인하여 파괴되지 않고, 수렴속도를 향상시킬 수 있다.

#### 3.4 유전 연산자와 매개변수

유전 연산자에는 선택교차(crossover)와 돌연변이(mutation)의 두 종류로 분류할 수 있다. 교차는 좋은 해를 이용하는 역할을 하며, 부모의 좋은 형질이 가능한 파괴되지 않고 자손에게 상속될 수 있어야 한다. 본 논문에서는 수렴특성이 비교적 우수한 이점 교차를 사용하였다. 이점교차는 2개의 교차위치를 선정하고 교차위치 사이의 유전자를 서로 교환하는 방법이다. 돌연변이는 조기수렴 문제를 방지하기 위해 적용되며 임의의 하나 또는 그 이상의 유전인자가 변화된다.

유전 알고리즘에 사용하는 매개변수는 모집단의 크기, 교차확률, 돌연변이 확률 등이 있으며, 본 논문에서 정한 매개변수는 표 1과 같다.

표 1. 유전자 알고리즘의 매개변수

매개변수	값
모집단의 크기	30
교차확률	0.6
돌연변이 확률	0.05
세대수	500

#### 4. 사례연구

유전 알고리즘으로 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을 검증하기 위하여 그림 2와 같은 선형화된 1기 무한 모션과 그림 5에서 표시한 소속함수를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 표 2는 본 사례연구에서 사용한 1기 무한모션 모형의 제정수를 나타내고 있다.

표 2. 1기 무한모션 모형의 제정수

$K_1 \sim K_6$	$K_1=0.5441$ $K_2=1.2067$ $K_3=0.6584$ $K_4=0.6981$ $K_5=-0.0955$ $K_6=0.8159$
발전기 정수	$M=9.26$ $D=0$ $T_{d0}'=7.76$ $x_d=0.973$ $x_d'=0.19$ $x_q=0.55$
여자기 정수	$K_A=50$ $T_A=0.05$

##### 4.1 기존 퍼지 안정화 제어기와 비교

본 절에서는 동조모듈이 없는 기존의 퍼지 안정화 제어기와 유전 알고리즘을 이용하여 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을 비교하였다.

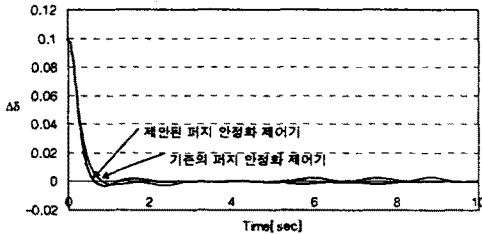


그림 7. 기존 퍼지 제어기와의 비교(Q=0.015)

그림 7에서 보는 바와 같이 유전 알고리즘을 이용하여 동조한 퍼지 안정화 제어기는 동조모듈이 없는 기존의 제어기보다 약간 향상된 응답특성을 보여주고 있으나 설계과정에서 소모되는 시간과 노력의 최소화를 고려할 때 우수한 성능의 향상이라고 할 수 있다.

##### 4.2 최적 선형 안정화 제어기와 비선형 특성 비교

본 절에서는 제안된 퍼지 안정화 제어기의 비선형성을 검증하기 위하여 운전조건을 변화시키면서 최적 선형 안정화 제어기와 비교하였다. 본 사례연구에서는 부하조건 변화로 무효전력(Q=0.15, 0.3, 0.35)이 커질 경우에 대하여 비교하였으며, 그림 8에서 보는 바와 같이 Q가 0.15인 경우는 선형 최적 제어기도 저주파 진동을 잘 상쇄시키고 있지만 제안된 안정화 제어기의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

그림 9, 10에서 보는 바와 같이 Q가 0.3과 0.35인 경우에는 기존의 선형 최적 제어기는 불안정 하지만 제안된 퍼지 안정화 제어기는 저주파 진동을 잘 상쇄시킴을 확인할 수 있다.

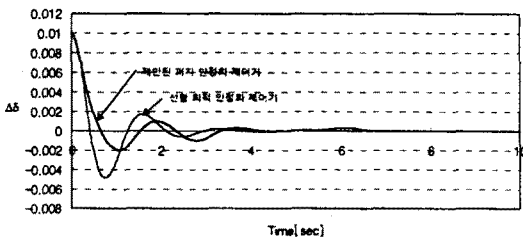


그림 8. Q가 0.15일 때의 시스템 출력

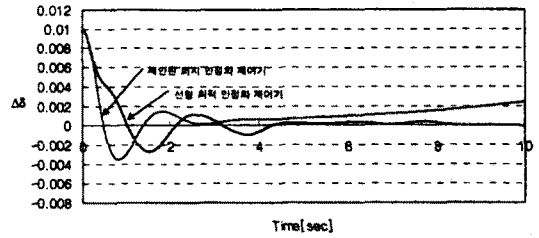


그림 9. Q가 0.3일 때의 시스템 출력

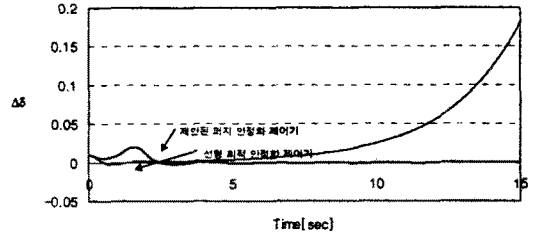


그림 10. Q가 0.35일 때의 시스템 출력

#### 5. 결론

본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 안정화 제어기의 새로운 설계방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 소속함수의 모양을 동조하여 퍼지 제어기의 설계과정에서 발생하는 시간과 노력의 파다한 소모를 최소화시키고 안정화 제어기의 성능향상을 도모하였다.

비선형 특성을 가지는 전력계통의 안정화 성능을 검증하기 위하여 여러 가지 조건에서의 선형화 모형을 구축하였고, 기존의 최적 선형 안정화 제어기와 유전 알고리즘으로 동조된 퍼지 안정화 제어기의 성능을 검증하였다. 사례 연구를 통하여 제안된 퍼지 안정화 제어기의 비선형 적응 특성을 확인하였으며, 강인성을 검증하였다.

##### [참고 문헌]

- [1] K. Bollinger, et al., "Power Stabilizer Design using Root-Locus Methods", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No. 5, pp. 1484-1488, 1975.
- [2] Yao-nan Yu, "Electric Power System Dynamics", Academic press, 1983, Chap3, pp. 65-135
- [3] 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.
- [4] H. J. Lee, Y. M. Park and C.H. Lim, "A Study on the Nonlinear Characteristics of the Fuzzy Type Stabilizing Controller", KJEE, Vol.42, No. 11, pp. 61-66, 1993
- [5] 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 PWRs, Vol 11, No. 4, pp. 1969-1975, 1996.
- [6] A. Kandel, "Fuzzy Control Systems", CRC Press, 1994.
- [7] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures=Evolution Programs", Springer.
- [8] 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