

MGPSS를 이용한 전력계통안정도 해석

이상근, 김규호

강릉대학교 원주캠퍼스, 안산공과대학

A Study on the Analysis of Power System Stability using MGPSS

Sang-Keun Lee, Kyu-Ho Kim

Kangnung Univ. Wonju Campus, Ansan College of Technique

**Abstract** - This paper presents a analysis method for power system stability using a Modified Genetic-based Power System Stabilizer(MGPSS). The proposed MGPSS parameters are optimized using Modified Genetic Algorithm(MGA) in order to maintain optimal operation of generator under the various operating conditions. To improve the convergence characteristics, real variable string is adopted. The results tested on a single machine infinite bus system verify that the proposed controller has better dynamic performance than conventional controller.

2. MGPSS 설계

2.1 수정 유전알고리즘

실 변수로 코딩하는 실변수 유전알고리즘의 기본요소는 탐색할 각각의 변수를 실제값으로 구성한다. 즉 스트링은 모든 변수를 포함하는 벡터로서 표현할 수 있다. 함수  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 를 최소화하는 경우에 변수들은 스트링  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ 로 나타낼 수 있고, 여기서  $R^n$ 은 n차원 탐색공간을 의미한다. 스트링 X를 하나의 개체(individual)라고 하며 개체들의 집합을 개체군이라 한다. 또한 이러한 문제점과 더불어 세대가 어느 정도 지나면 최적의 해가 도출되지 못하고 조기 수렴하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 엘리트주의와 마이크로 유전알고리즘을 적용하였다. 이런 수정 유전알고리즘은 최적해를 탐색하기 위한 작용자로서 복제(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)와 같은 3개의 기본적인 유전연산자가 있고, 이를 이용한 안정화장치 설계절차를 나타내면 다음과 같다.

1. 서 론

전력계통의 안정도를 향상시키기 위해서 이용하는 발전기 제어장치인 전력계통안정화장치들은 특정 운전조건에서 결정된 이득값을 이용함으로써 계통의 운전조건이 급격히 변화한 경우 우수한 제동특성을 갖는 것이 문제로 대두되고 있다[1,2].

이와 같은 문제점들을 개선하기 위해 운전조건의 변화를 추정하여 안정기의 이득을 온라인으로 자동 조절하는 적응제어 알고리즘을 이용한 전력계통안정화장치에 대한 연구가 진행되고 있다[3,4].

그러나 이러한 알고리즘을 이용한 전력계통안정화장치들은 마이크로프로세서를 이용함으로써 발생하는 여러 가지 제반문제 등으로 인해 실용화하는데 어려운 문제점들을 갖고 있다. 최근에는 인공지능기법과 유전알고리즘 등의 최적화기법을 이용한 안정화장치에 대한 연구가 진행되고 있다.

유전알고리즘은 전력계통의 여러 최적화 문제에 적용되고 있으며, 이 방법은 자연선택과 진화에 근거하여 세대가 변함에 따라서 전역적 최적해를 탐색할 수 있는 전역적 탐색 기법이다[5,6]. 그러나 유전알고리즘은 변수들을 유한 길이의 2진 스트링으로 코딩함으로써 다 변수인 경우 많은 계산시간이 소요되고, 정확도 및 수렴성에 문제가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 유전알고리즘의 단점을 개선하기 위해 양질의 유전자를 보존하며 열성유전자를 제거하여 아주 적은 반복횟수로 최적의 해를 찾아가는 엘리트주의와 조기 수렴현상을 극복하여 최적의 해를 빨리 찾는 마이크로 유전알고리즘을 결합한 수정 알고리즘을 이용하여 제어기를 구성함으로써 안정적이고 효율적인 제어성을 유지하도록 하였다.

이러한 개선된 수정 유전알고리즘을 이용한 안정화장치(Modified Genetic-based PSS : MGPSS)를 이용한 전력계통의 안정도 해석을 1기 무한대 모선계통에 적용하여 해석한 결과 기존의 안정화장치들을 적용한 경우에 비해서 안정도가 향상됨을 알 수 있었다.

1) 초기화

개체들의 유전자는 안정화장치의 매개변수를 랜덤하게 발생시킨다. 그림 1은 유전알고리즘의 개체군 구성도이며,  $x_{ij}$ 는 i번째 개체의 j번째 유전자를 나타낸다.

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$
$x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}$
$x_{31}, x_{32}, \dots, x_{3n}$
...
$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$

그림 1 개체군 구성도  
Fig. 1 Population Configuration

2) 적합도 함수(fitness)

적합도 함수는 목적함수를 최소화하면서 최대화되도록 설정하였으며 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$Fitness = \left[ \frac{\beta}{(a + objective)} \right] \quad (2.1)$$

여기서, a와  $\beta$ 는 적합도 함수를 조절하기 위한 매개변수이다.

3) 재생산(reproduction)

재생산은 적합도 평가에서 구한 적합도에 비례하여 개체를 생존시키는 연산자로서 비선형이고 불연속적인 양의 값을 갖는 함수를 적합도 함수로 정의한다. 정규화된 적합도는 다음 세대에 생존할 확률로서 적합도가 큰 개체는 다음 세대에 더 많은 자손을 발생시킬 가능성이 크

다. 즉 우성개체는 다음세대로 넘어가고 열성인 개체는 소멸된다. 본 연구에서는 다음 세대로 넘어갈 개체를 선택하기 위해서 적합도에 의해서 슬롯의 크기가 결정되는 룰렛 휠(roulette wheel) 을 사용하였다.

#### 4) 교배(crossover)

새롭게 복제된 개체들 중에서 교배확률에 따라 교배할 개체를 선정한다. 새로운 개체군을 이루는 각각의 개체들에는 재결합 작용자인 교배연산자를 적용한다. 본 연구에서는 산술연산자인 컨벡스 교배연산자를 이용하였다. 이 연산자는 두 벡터의 일차결합으로서 정의되고, 두 개체  $X_i^t$  와  $X_j^t$  를 교배시키면 자손  $X_i^{t+1}$  와  $X_j^{t+1}$  는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_i^{t+1} = a \cdot X_i^t + (1-a) \cdot X_j^t \quad (2.2)$$

$$X_j^{t+1} = a \cdot X_j^t + (1-a) \cdot X_i^t$$

여기서, 난수  $a$ 는  $a \in [0, 1]$  이고, 이런 관계는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림 2에서  $X_i^{t+1}$  와  $X_j^{t+1}$  는 부모인  $X_i^t$  와  $X_j^t$  사이의 직선영역에서 발생한다.

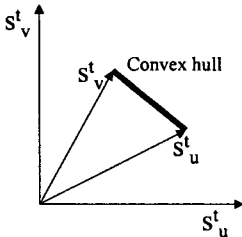


그림 2 컨벡스 교배연산자  
Fig 2 Convex crossover

#### 5) 돌연변이(mutation)

돌연변이는 불균등 돌연변이(non-uniform mutation)를 사용하였다. 주어진 부모  $X$ 에 대하여 유전자  $X_{ii}$  가 선택되어지면 돌연변이는 유전자의 값을 다음 식의  $X_{ii}'$ 와 같이 변형시킨다.

$$X_{ii}' = \begin{cases} X_{ii} + \Delta(t, X_{ii}^{\max} - X_{ii}) \\ X_{ii} - \Delta(t, X_{ii} - X_{ii}^{\min}) \end{cases} \quad (2.3)$$

어떤 개체에 대한 돌연변이가 적용여부 및  $X_{ii}'$  의 선택은 난수에 따라 결정된다. 함수  $\Delta(t, y)$ 는 다음 식과 같이  $[0, y]$ 의 값을 갖게되고,  $t$ (세대수)가 증가할수록 0에 접근한다. 이러한 성질은 연산자 탐색작업이 초기에는 비교적 넓은 범위에 대해 균등하게 행해지다가, 점차 지역적이 되도록 해준다.

$$\Delta(t, y) = y \cdot r \cdot (1 - \frac{t}{T})^b \quad (2.4)$$

여기서,  $r \in [0, 1]$ 이고,  $t$ 는 세대수,  $T$ 는 총 세대수,  $b$ 는 불균등 정도를 결정하는 매개변수이다.

#### 6) 엘리트주의(elitist)

엘리트주의(Elitism)는 세대가 어느 정도 지나면 최적의 해가 도출되지 못하고 초기 수렴하는 문제를 극복하기 위해 적용한 방법, 즉 돌연변이 확률을 높임으로서 어느 정도 문제점을 극복할 수 있으나, 이를 개선하는 데에는 한계점을 지니고 있다. 이러한 한계점은 후손의 목적함

수 값, 즉 원 집단내의 최소 적합도 값과 비교하여 그 값보다 크면 그 집단에 가입시키고 이 유전자는 버림으로서 선택과 교배시의 한계점을 극복하는 것이다. 이러한 과정을 통하여 좋은 유전 배열을 가진 해들은 계속 보존됨으로 이들이 선택과정시 탈락되는 것을 방지하며, 교배시에 더 열성의 후손이 생성될 경우 이를 배제시키는 것이다.

#### 7) 마이크로 유전알고리즘

마이크로 유전 알고리즘은 집단의 크기를 작게 고정하고, 새로운 개체의 집단을 규칙적인 간격을 사용하여 초기 수렴현상을 극복하고, 항상 양질의 개체를 복제하여 가능한 한 빨리 최적의 해를 찾는 알고리즘으로서, 이 방식은 진화과정에서 새로운 집단이 생성되는 것이다. 제시한 제어기에서는 이런 집단의 크기를 5개로 고정하여 사용하였다.

#### 2.2 전력계통의 수식화

수정 유전알고리즘을 이용한 안정화장치를 설계하기 위해서 적용한 모델계통은 1기무한대 모선계통을 선정하였고, 이 모델계통에서 이용한 발전기는 Park 모델을 사용하였다[3]. 선형화한 1기 무한대 모선 계통을 상태방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\dot{X} = A X + B U \quad (2.5)$$

여기서,

$X$  = 상태변수 벡터,  $U$  = 제어변수 벡터

$A$  = 계통행렬,  $B$  = 제어행렬

발전기의 제동특성을 향상시키기 위해서 사용하는 안정화장치는 각속도 입력방식으로서 블록선도와 출력은 다음과 같다.

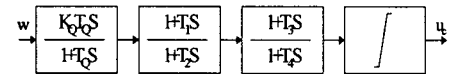


그림 3 각속도 입력방식 안정화장치 블록선도

Fig. 3 Block diagram of PSS model with angular velocity input

$$U_C = K_Q \frac{T_Q S}{1 + T_Q S} \frac{1 + T_1 S}{1 + T_2 S} \frac{1 + T_3 S}{1 + T_4 S} \Delta W \quad (2.6)$$

여기서,  $K_Q$ 는 안정화장치의 이득이고  $T_Q$ 는 washout 시정수,  $T_1 \sim T_4$ 는 PSS의 특성을 결정해 주는 시정수이다.

식 (2.5)의 동기발전기와 여자기를 포함하는 1기 무한대 모선계통의 상태방정식에 PSS를 추가할 경우의 상태방정식은

$$\dot{X} = A_{C1} X + B U_C = A_{C2} X \quad (2.7)$$

와 같이 되고, 여기서 상태변수 벡터는

$X = [ \Delta W, \Delta \delta, \Delta E'_q, \Delta E'_{fd}, \Delta x_5, \Delta x_6, \Delta u_c ]^T$  이다. 수정 유전알고리즘을 이용한 PSS를 설계하기 위해서 식 (2.6)의 PSS 출력에서 PSS 특성에 영향을 많이 주는 매개변수인  $K_Q, T_1, T_3$  를 최소화하도록 목적함수를 선정하면 다음과 같다.

$$\text{Min. } \left\{ J = \int_{t_0}^t (t e(t))^2 dt \right\} \quad (2.8)$$

여기서,  $e(t)$ 는 각속도 편차  $\Delta W$ 를 나타내고, 적합도 함수는 목적함수를 최소화하면서 최대화가 되도록 다음 식과 같이 선정하였다.

$$\text{Fitness} = \left[ \frac{\beta}{a + J} \right] \quad (2.9)$$

여기서,  $a$ 와  $\beta$ 는 적합도 함수를 조절하기 위한 매개변수를 나타낸다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 모델계통과 데이터

MGPSS를 적용해 전력계통의 안정도를 해석하기 위해 선정된 모델계통은 다음과 같고, 참고문헌[3]의 데이터를 이용하였다.

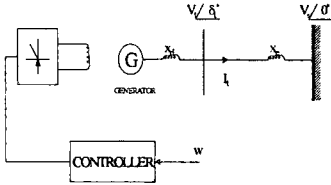


그림 4 1기 무한대 모선 모델계통  
Fig. 4 Single machine infinite bus model system

수정 유전알고리즘에서 사용되는 매개변수의 설정치는 다음과 같다.

- 스트링 표현 : 실수, 개체군의 크기 : 200 , 세대수 : 200
- 교배확률 : 0.9 , 돌연변이확률 : 0.02
- 불균등 정도용 매개변수  $b = 5$

#### 3.2 시뮬레이션 결과

전력계통의 안정도 해석을 여러 가지 부하조건 및 외란 형태에 대해서 시뮬레이션하여 기존의 안정화장치 (Conventional lead-lag power system stabilizer : CPSS)와 수정 유전알고리즘을 이용한 안정화장치 (Modified genetic-based power system stabilizer : MPSS)를 비교하였다.

그림 5는 기계적입력이 0.1 p.u 만큼 감소하였을 경우의 동요각특성 나타낸 것으로, 1초인 순간에 외란을 가해 0.1초후에 제거한 경우에 대해 시뮬레이션한 결과로서 CPSS는 점선과 같은 출력특성을 나타내었고, 동일한 운전조건하에서 본 논문에서 제시한 MGPSS는 직선과 같은 동요각 특성을 나타낸다. 여기서, 발전기의 동요각 특성은 제시한 MGPSS를 적용한 경우가 CPSS에 비해서 첫번째 동요폭이 약 10%정도로 줄었고, 수렴시간도 22% 정도 단축됨으로서 제동특성이 개선되어 전력계통의 안정도가 향상됨을 알 수 있다.

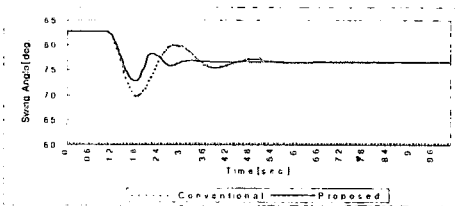


그림 5 동요각특성(Case 1)  
Fig. 5 Swing angle characteristics

그림 6은 경부하 조건에서 기계적 입력이 0.1 p.u 증가한 경우의 동요각특성을 표시한 것으로, 외란은 1초인 순간에 가해져 0.1초 후에 제거된 것으로 하였다. 이 경

우도 그림 5와 마찬가지로 CPSS(점선)에 비해서 본 연구에서 제시한 방식 (직선)을 적용한 경우가 제동특성이 개선되어 안정도가 향상됨을 알 수 있다.

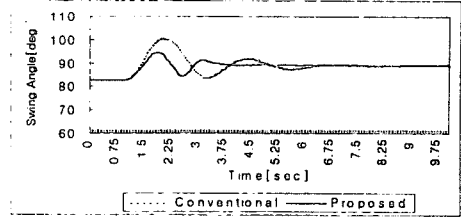


그림 6 동요각 특성  
Fig. 6 Swing angle characteristics

### 4. 결 론

본 연구에서는 MGPSS를 적용하여 전력계통의 안정도를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) MGPSS를 이용하여 전력계통의 안정도를 해석한 결과 광범위한 계통에서도 안정적인 제어성능을 나타냄으로서 안정도가 향상됨을 알 수 있었다.
- 2) MGPSS는 최적인 매개변수를 선정함으로써 발전기의 제동특성이 향상되어 전력계통의 상태변화에 효과적으로 대응함으로써 안정도가 향상됨을 알 수 있었다.
- 3) MGPSS를 이용하여 전력계통의 안정도를 해석한 결과 동요각 특성 및 수렴특성이 기존의 안정화장치를 적용한 경우에 비해서 개선됨으로서 안정도가 향상됨을 알 수 있었다.

마지막으로, 수렴특성을 향상시키기 위해 병렬처리를 유전알고리즘에 응용하는 연구가 요구된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] P. M. Anderson, A. A. Fouad, Power System Control and Stability, The Iowa State University Press, 1977
- [2] Y. N. Yu, Electric Power System Dynamics, Academic Press, 1983
- [3] 김준현, 이상근, "자기동조적용제어를 이용한 전력계통안정화장치실제" 대한전기학회 논문지, Vol. 42, No. 8, 1993
- [4] P. Ju, E. Handschin and F. Reyer, "Genetic Algorithm Aided Controller Design with Application to SVC", IEE Proc. Gener. Trans. Distrib. Vol. 143, No. 3, pp. 258 - 262, 1996
- [5] Z. Michalewicz, Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Program, Second Edition, Springer - Verlag, 1992
- [6] Seok-Ku You, Kyu-Ho Kim and Tae-Kyun Kim. "Optimal Economic Load Dispatch using Parallel Genetic Algorithms in Large Scale Power System", Trans. KIEE, Vol. 48A, No. 4, APR, 1999