

## 전력 시스템의 동요 억제를 위한 TCSC용 안정화 장치 설계

(A Design of Power System Stabilization of TCSC System for Power system Oscillation Damping)

정형환\* · 허동렬 · 왕용필 · 박희철 · 이동철

(Hyeng-Hwan Chung · Dong-Ryol Hur · Yong-Peel Wang · Hee-Chul Park · Dong-Chul Lee)

### 요 약

본 논문에서는 FACTS 기기의 일종인 전력조류 극대화 및 제어 기능과 함께 외란에 의한 과도시의 전력계통 안정화 기능을 수행할 수 있는 TCSC용 전력시스템 안정화 장치 설계에 대하여 연구하였다. TCSC용 전력시스템 안정화 장치 설계시 파라미터 선정은 복잡한 수식이 필요 없고 계산시간을 감소시키며 적은 반복횟수로도 최적해를 찾을 수 있는 자연 생태계의 진화를 모의한 유전 알고리즘을 이용하였다. 전력 시스템의 저주파 진동에 강인성을 갖는 TCSC는 TCR(Thyristor Controlled Reactor)과 커패시터의 병렬구조에 의해 용량성과 유도성에 걸친 범위까지 연속적으로 제어할 수 있는 구조로 이루어져 있다. 이러한 제안된 방법의 강인성을 검증하기 위해 여러 가지 운전조건에 대해 전력계통 안정도 및 고유치를 해석하여 기존의 안정화 장치를 적용한 경우와 비교함으로써 유용성을 입증하였다.

### Abstract

In this paper, it is suggested that the selection method of parameter of Power System Stabilizer(PSS) with robustness in low frequency oscillation for Thyristor Controlled Series Capacitor(TCSC) using Genetic Algorithm(GA). A TCSC module consists of a series capacitor and a parallel path with a thyristor valve and a series inductor. Also in parallel, as is typical with series capacitor applications, is a metal-oxide varistor(MOV) for overvoltage protection. The proposed PSS parameters are optimized using GA in order to maintain optimal operation of TCSC which is expected to be applied in transmission system to achieve a number of benefits under the various operating conditions.

In order to verify the robustness of the proposed method, we considered the dynamic response of angular velocity deviation and terminal voltage deviation under a power fluctuation and rotor angle variation.

Key Words : Thyristor Controlled Series Capacitor(TCSC), Power System Stabilizer(PSS), Flexible AC Transmission System(FACTS), Genetic Algorithm(GA)

\* 주저자 : 동아대 공대 전기·전자·컴퓨터공학부 교수·공박

Tel : 051-200-7733, Fax : 051-200-7743

E-mail : hhchong@mail.donga.ac.kr

1차심사 : 2002년 2월 14일

접수일자 : 2002년 2월 5일

심사완료 : 2002년 3월 9일

### 1. 서 론

기존의 교류 송전 방식에서 고정되어 있는 선로의 임피던스와 계통의 조건에 의해 결정되어 지는 모선의 위상각 등을 대전력 반도체 소자 기술의 발달에

합입어 고전압 및 대전류의 전력 변환 기기의 구현이 용이해짐에 따라 전력 전자 기술을 이용해 연속적으로 실시간 제어하여 전력계통에 유연성과 제어 성능을 향상시킴으로써 운전 효율과 신뢰도를 극대화시키기 위한 방안으로써 유연송전시스템(Flexible AC Transmission System : FACTS) 기술이 개발되어 이를 계통에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 일환으로서 선로의 임피던스를 변경하기 위해 직렬 커패시터(Series Capacitor)가 사용되었으며, 모선의 전압을 유지하기 위해 전력용 콘덴서(Shunt Capacitor)가 사용되었다. 이들은 전력전자 기술과의 결합으로 한층 더 발전하여 사이리스터 제어 직렬 보상기(Thyristor Controlled Series Compensator : TCSC)와 정지형 무효전력 보상기(Static Var Compensator : SVC)의 실용화가 되고 있다[1-3].

본 논문에서 적용한 TCSC는 TCR(Thyristor Controlled Reactor)과 커패시터의 병렬구조에 의해 용량성과 유도성에 걸친 범위까지 연속적으로 제어할 수 있다. TCSC는 정상상태에서의 전력조류 극대화 및 제어 기능과 함께 외란에 의한 과도시의 전력계통 안정화 기능을 수행할 수 있다. 또한 기존의 기계적 스위칭에 의한 직렬 보상기가 내포하고 있는 저주파 공진(sub-synchronous resonance) 방지 기능과 커패시터 보호 및 재투입 기능을 부여할 수 있다[4-6].

TCSC의 전력계통 동요 억제 효과는 직렬 보상기의 임피던스가 얼마나 빨리 제어될 수 있는가에 달려 있다. 직렬 보상기의 제어 속도는 어떠한 전력전자 소자 및 제어 기술이 적용되느냐와 직렬 보상기의 구조 그리고 계통의 조건에 따라 변화한다. 따라서 TCSC 등과 같은 FACTS 기기만으로는 전력수요 증가에 따른 저주파 진동 현상, 경부하 심야 운전 중의 전압 상승 등 시스템 안정도 문제를 완벽히 해결할 수 없다. 이와 같이 전압 오차신호에 발전기의 속도, 주파수, 혹은 전력 등의 과도신호를 이용하여 추가적인 신호를 입력함으로써 실용적이며 효과적으로 동요를 억제할 수 있음이 알려져 있다. 이러한 전력 시스템의 저주파 진동을 억제하고 계통의 안정도 특성을 향상시키기 위한 장치의 일환인 전력계통 안정화 장치(Power System Stabilizer : PSS)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[7-10]. 그러나 기존의 PSS는 그 구조가 다양하고 설계방법이 복잡하여 설

계자의 경험 및 시행착오에 의해서 설계되었으며 이의 사용에 고도의 전문성이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 자연 생태계의 진화를 모의한 유전알고리즘(GA : Genetic Algorithm)을 이용하여 전력시스템의 동요 억제를 위하여 TCSC용 안정화 장치의 최적 파라미터를 선정하였다. 그러나 기존의 유전 알고리즘은 변수들을 유한 길이의 2진 스트링(string)으로 코딩(coding)하므로 인해 많은 계산 시간을 필요로 하고 정확성을 상실할 수도 있다. 또한 국부값에서 조기 수렴하는 현상이 발생하는 구조적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 변수의 코딩 절차 없이 실 변수(Real Variable)로 최적화 함으로써 코딩 시간을 감소하고 정확성을 유지하는 방법과 양질의 유전자를 보존하며 열성 유전자를 제거하여 보다 적은 반복 횟수로도 좋은 해를 찾아 나갈 수 있는 엘리트주의(Elitism)를 이용하였다. 즉 이상과 같이 기존의 유전 알고리즘을 개선한 방법으로 실 변수 엘리트주의 유전 알고리즘(RVEGA : Real Variable Elitism Genetic Algorithm)을 이용하였다.

이러한 제안된 방법의 강인성을 검증하기 위해 여러 가지 운전조건에 대해 전력계통 안정도를 해석하여 기존의 안정화 장치를 적용한 경우와 비교함으로써 유용성을 입증하였다.

## 2. 전력 시스템의 수학적 모델

### 2.1 발전기 모델

본 논문에서는 안정도 해석에 가장 널리 사용되는 2축 모델을 사용하여 발전기 모델을 수식화 하였으며[11], 이 모델은 과도 리액턴스 동특성을 가지는 내부전압을 상태변수로 나타내고 여자권선과 댐핑권선의 효과를 고려하며, 고전적 모델에서의 접근 방식을 적용하기 용이한 다음 식 (1)~(4)와 같다.

$$\dot{E}_q' = \frac{1}{T_{d0}'} \{-E_q' - (x_d - x_d')i_d + E_{FD}\} \quad (1)$$

$$\dot{E}_d' = \frac{1}{T_{d0}'} \{-E_d' + (x_q - x_q')i_q\} \quad (2)$$

$$\delta = \omega_0(\omega - 1) \quad (3)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H} \{ -(E_d' i_d + E_q' i_q - (x_q' - x_d') i_d i_q) - D(\omega - 1) + T_m \} \quad (4)$$



식(9), (10)에서  $x$ 는 발전기, 여자기 및 TCSC의 상태를 나타내고  $y$ 는 모선의 전압, 전류, 위상각 등의 매개변수를 나타내며  $u$ 는 입력을 나타낸다. 식(10)에서 부하가 일정 임피던스라 가정하면  $y$ 는 식(11)과 같이 나타낼 수 있고, 이를 식(9)에 대입하면 식(12)와 같이 하나의 미분 방정식 형태로 기술된다.

$$y(t) = z(x(t), u(t)) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} x(t) &= f(x(t), z(x(t), u(t))) \\ u(t) &= F(x(t), u(t)) \end{aligned} \quad (12)$$

본 논문에서는 TCSC에 의한 영향을 분석하는 첫 단계로서 1기 무한대 계통의 선로에 TCSC가 부착된 경우의 선형화 모델을 유도하였다. 1기 무한대 계통의 상태 변수는 8개가 되며, 이중 TCSC의 임피던스인  $X_c$ 를 제외한 나머지는 발전기와 그에 부착되어 있는 여자기의 상태 변수이다. 또한 입력은 TCSC의 보조 입력 신호이다. 상태 벡터  $x$ 와 입력  $u$ 는 식(13)과 같다.

$$x = [E_d \ V_F \ E_d' \ \delta \ \omega \ V_R \ E_{FD} \ X_c]^T, \quad u = X_s \quad (13)$$

발전기가 선로를 통해 무한대 모선에 연결되어 있을 때의 선로 전류는 식(14)와 (15)으로 나타낼 수 있다.

$$i_d = \frac{E_d' - V_\infty \cos(\delta - \theta_\infty)}{X_T} \quad (14)$$

$$i_q = \frac{-E_d' + V_\infty \sin(\delta - \theta_\infty)}{X_T} \quad (15)$$

여기에서  $X_T = X_l + X_c + x_d'$ 이고,  $V_\infty$ 와  $\theta_\infty$ 는 무한대 모선의 전압과 위상 각이며,  $X_l$ : 선로의 임피던스,  $X_c$ : TCSC의 임피던스,  $x_d'$ : d축 과도 리액턴스이다.

식(14)와 (15)에서 TCSC에 의한 d 축 및 q 축 전류에 대한 감도를 식(16)과 (17)로 구할 수 있다.

$$\Delta i_d = \frac{\partial i_d}{\partial E_d'} \Delta E_d' + \frac{\partial i_d}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial i_d}{\partial X_c} \Delta X_c \quad (16)$$

$$\Delta i_q = \frac{\partial i_q}{\partial E_d'} \Delta E_d' + \frac{\partial i_q}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial i_q}{\partial X_c} \Delta X_c \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \frac{\partial i_d}{\partial E_d'} &= \frac{1}{X_T} = k_1, \\ \frac{\partial i_d}{\partial \delta} &= \frac{V_\infty \sin \theta_\infty}{X_T} = k_2, \\ \frac{\partial i_d}{\partial X_c} &= -\frac{E_d' - V_\infty \cos \theta_\infty}{X_T^2} = k_3, \\ \frac{\partial i_q}{\partial E_d'} &= -\frac{1}{X_T} = -k_1, \\ \frac{\partial i_q}{\partial \delta} &= \frac{V_\infty \cos \theta_\infty}{X_T} = k_4, \\ \frac{\partial i_q}{\partial X_c} &= \frac{E_d' - V_\infty \sin \theta_\infty}{X_T^2} = k_5 \end{aligned}$$

이러한 과정을 통해 식(18)과 같은 선형 모델을 구할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \Delta x = A(x_0) \Delta x + B(x_0) \Delta u \quad (18)$$

위와 같은 선형 모델은 동작 점에서의 시스템의 특성과 각 상태들의 상호 작용, 그리고 제어 입력의 효과를 쉽게 해석할 수 있게 해준다. TCSC의 동 특성을 시스템의 상태로 추가한 경우의 시스템 행렬  $A$ 는 기존의 선형 모델과는 다른 모습을 띠게 된다. 이 시스템 행렬을 분석하면 TCSC의 동특성이 다른 요소에 미치는 영향을 정략적으로 알 수 있다.

### 3. GA를 이용한 TCSC용 전력시스템 안정화 장치 설계

#### 3.1 유전알고리즘

유전 알고리즘은 John Holland에 의해 1970년대에 집단이 가진 염색체가 세대에 따라 그들이 처한 환경에 대하여 생존과 번식에 적합한 활동을 위한 자연 선택(natural selection) 때문에 진화된다는 다윈의 진화 이론을 토대로 한 자연의 유전 원리를 모방하여 도입되기 시작하였다. 이 알고리즘은 최근 최적화 문제를 해결하는데 적용하고 있으며 해를 구하는 방법에서 종래의 방법과 비교할 때 강인한 탐색 방법이다[15-17].

유전 알고리즘은 평가함수(evaluation function), 유전 연산자(genetic operator), 그리고 문제의 해를

표현하는 염색체(chromosome)로 구성되며, 이 염색체들을 점진적으로 개선시켜 나감으로써 최적의 해를 얻게 된다. 유전 연산자는 복제(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation) 등이 있다. 교배는 두 염색체간의 임의의 난수 발생에 의해 구한다. 돌연변이는 부모의 염색체 중 임의의 비트가 현재 비트 값이 대립되는 값으로 바뀌는 것이다. 이와 같은 탐색 방법을 사용하는 유전 알고리즘은 다변수의 제약 조건이 많은 복잡한 비선형 최적화 문제에 특히 유용하다.

그러나 기존의 유전 알고리즘은 변수들을 유한 길이의 2진 스트링으로 코딩해야 하므로 더욱 정확한 해를 요구한다면 스트링의 길이는 매우 길어야 한다. 긴 스트링에 대한 코딩 절차는 많은 계산 시간을 필요로 하고 수렴 정도를 감소시킨다. 따라서 본 연구에서 변수를 유한 길이로 코딩하는 절차가 필요 없이 변수 그 자체로 최적화 하는 방법을 사용함으로써 코딩 시간을 감소하고 정확성을 유지할 수 있다.

또한 기존의 유전 알고리즘은 세대가 어느 정도 지나면 더 좋은 해가 도출되지 못하고 멈추어 버리는 조기 수렴(early convergence)의 문제가 종종 발생하는 구조적인 문제점이 있다. 이 문제점은 돌연변이 확률을 높임으로서 어느 정도 극복할 수 있으나, 이를 극복하는 데에는 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 제안한 엘리트주의 유전 알고리즘은 이 후손의 목적 함수 값이 원래의 집단 안에서 가장 열성인 유전자의 적합도 값과 비교하여 그 값보다 크면 그 집단에 가입시키고 이전 유전자는 버린다. 따라서 엘리트주의(Elitism)는 기존 알고리즘의 문제점 중 선택과 교배시의 한계점을 극복하고자 하는 시도이다. 이러한 과정을 통하여, 좋은 유전 배열을 가진 해들은 계속 보존되므로 이들이 선택 과정시 탈락되는 것을 방지하며, 교배시에 더 열성의 후손이 생성될 경우 이를 배제시키는 것이다. 따라서 본 논문에서는 이상의 방법을 결합한 실 변수 엘리트주의 유전 알고리즘(RVEGA)을 이용하였다.

### 3.2 GA를 이용한 TCSC용 안정화 장치의 설계

GA를 이용하여 PSS의 최적 파라미터를 구하기 위하여, 목적함수는 선형 2차 평가 함수로 식 (19)와 같이 표현한다.

$$J = \int_{t_0}^{t_f} (\alpha_1 |\Delta\omega| + \alpha_2 |\Delta V_t| + \alpha_3 |\Delta X_c|) dt \quad (19)$$

단,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  는 가중치이다.

평가함수의 최소화를 위한 각 PSS의 최적 파라미터를 구하는 문제는 제약 조건도 많고 계산량도 많은 복잡한 최적화 문제이다. 그러나, RVEGA는 단지 어떤 해에 대한 적합도만 계산하면 확률적인 방법으로 최적해, 즉 평가 함수가 최소가 되는 최적 파라미터를 구할 수 있다. 평가함수를 최소화하는 문제를 위한 스트링을 각 PSS에 따라 구성하면 그림 3과 같다.

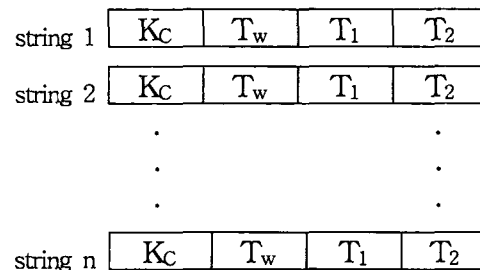


그림 3. 해 집단의 구조  
Fig. 3. Population Structure

따라서 각 스트링을 평가할 때 위에서 전술한 조건을 만족하도록 적합도를 식 (20)과 같이 선정하였다.

$$Fitness = \frac{1.0}{1.0 + \min.J} \quad (20)$$

본 논문에서 고찰하고자 하는 PSS의 구조는 회전자 속도 편차를 입력으로 사용하는 PSS로서 그림 4와 같으며, 전달 함수는 식 (21)과 같다.

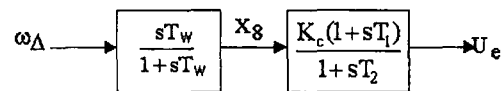


그림 4. PSS의 블록선도  
Fig. 4. Block diagram of PSS

$$PSS_o(s) = K_c \frac{sT_w}{1+sT_w} \frac{1+sT_1}{1+sT_2} \quad (21)$$

여기서,  $K_c$ 는 PSS의 이득이고  $T_w$ 는 washout 시정수,  $T_1 \sim T_2$ 는 PSS의 특성을 결정하는 시정수이다.

### 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

#### 4.1 시스템 해석 조건

본 논문에서 설계한 RVEGA를 이용한 TCSC용 PSS 파라미터를 최적화 하는 계통은 그림 5와 같다. 그림에서 보는 것처럼 TCSC용 PSS 제어기의 입력으로 발전기 각속도 오차를 사용하였다. 본 논문에서는 TCSC의  $X_{REF}$ 는  $-0.2$ [p.u.],  $X_s$ 의 초기값은  $0$ [p.u.]로 하였다. 또한 TCSC의 시정수를  $0.1$ 초로 하였고 계통의 주요 파라미터는 표 1과 같으며, RVEGA를 이용한 TCSC용 PSS의 최적 파라미터는 표 2와 같다. RVEGA를 이용한 TCSC용 PSS를 설계하기 위해서 집단수는  $100$ , 탐색과정에서 탐색체간의 국부적 동작을 통해 어버이보다 더욱 나은 전역적 성능을 얻을 수 있는 교배 확률은 일반적으로  $0.6 \sim 0.95$ 로 본 논문에서는  $0.8$ 로 선택하였으며, 돌연변이 확률은 너무 크게 하면 중요한 형질을 잃을 가능성이 있고, 또한 너무 적게 하면 국부 수렴 값에 빠질 염려가 있으므로 본 논문에서는  $0.1$ 로 하여 적용하였으며, 적합도는 그림 6과 같다. 제어성능은 목적함수의 요소에 가중치를 두어 상대적인 영향을 고려하였다.

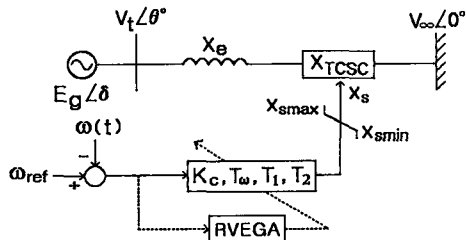


그림 5. RVEGA를 이용한 TCSC용 PSS 튜닝 구성도  
 Fig. 5. Configuration for the tuning of TCSC PSS using RVEGA

표 1. 시스템 파라미터  
 Table 1. System parameters

H	D	$x_d$	$x_o$	$x_d'$
3.01	1.0	1.3125	1.2578	0.1813
$x_o'$	$T_{\omega}'$	$T_{\omega}'$	$x_e$	$T_A$
0.1813	5.89	0.6	0.6	0.06
$T_E$	$T_F$	$K_A$	$K_E$	$K_F$
0.5	1.0	25.0	0.0445	0.16

표 2. PSS의 최적 파라미터  
 Table 2. Optimal parameter of PSS

Method \ Parameter	$K_c$	$T_w$	$T_1$	$T_2$
Yu 방법	7.09000	3.0000	0.6850	0.1000
RVEGA	14.3545	17.3639	0.8299	0.2443

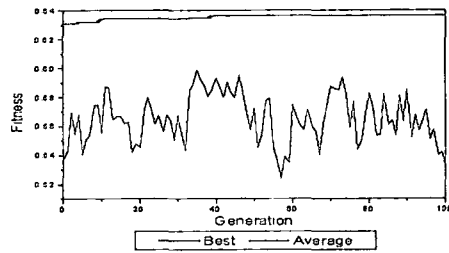


그림 6. 적합도  
 Fig. 6. Fitness

그림 7은 제어기가 없는 개루프 고유치, 고전적인 PSS 제어기를 적용한 경우 및 제안한 제어기를 적용한 페루프 시스템의 주요 진동모드의 고유치를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 제안한 제어기를 적용한 경우( $5.535\%$ )가 고유진동 모드의 제동비가 개루프 고유치( $0.762\%$ ) 보다는 약 7배 향상되었으며, 고전적인 PSS 제어기를 적용한 경우( $2.456\%$ ) 보다는 약 2배 향상되었음을 확인할 수 있다.

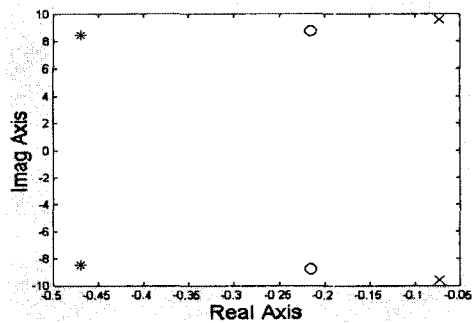


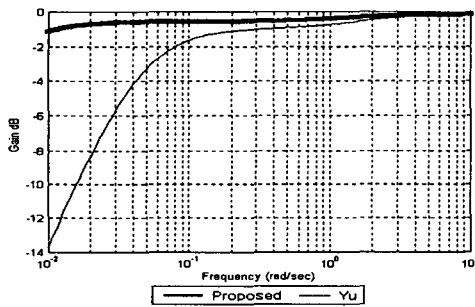
그림 7. 시스템 고유치  
 Fig. 7. System eigenvalues (\* : Proposed, O : Yu, x : No control)

#### 4.2 결과 고찰

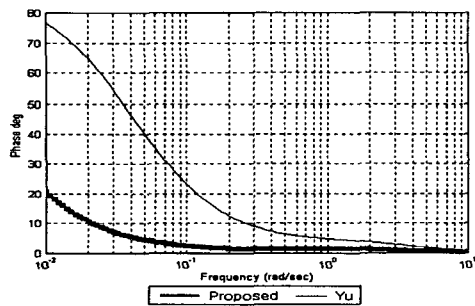
본 논문에서는 부하외란을 초기 기계적인 토크가  $3\%$  변동한 경우 및 초기 회전자각 편차가  $0.03$ [p.u.] 변동한 경우로 하여 시뮬레이션을 하였다.

전력 시스템의 동요 억제를 위한 TCSC용 안정화 장치 설계

제안한 제어기의 우수성을 입증하기 위해 Yu의 PSS 제어기와 본 논문에서 설계한 PSS의 주파수 응답을 그림 8에서 비교·고찰하였다. 또한 시스템의 동적 응답을 제어기 없는 개루프 시스템과 고전적인 제어기를 적용한 시스템과 비교·고찰하였다. 초기 기계적인 토크가 3[%] 변동한 경우의 그림 9와 같이 각 속도 편차 특성을 살펴보면 제안한 제어기의 정정시간이 1.00[sec]이고 고전적인 제어기(Yu-PSS)를 적용한 경우의 정정시간이 1.78[sec]로 나타났다. 또한 단자전압의 편차 특성 역시 제안한 제어기가 1.16[sec]로 고전적인 제어기 1.72[sec]보다 우수하게 나타났다. 그림 10에서 보는 것처럼 초기 회전자각 편차가 0.03[p.u.] 변동한 경우 역시 고전적인 제어기를 적용한 경우 보다 제안한 RVEGA를 이용한 TCSC용 PSS를 적용한 경우가 정정시간과 제동 효과 면에서 더 좋은 제어 성능을 나타냄을 알 수 있다.

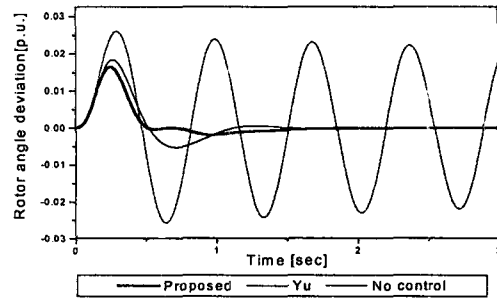


(a) Gain

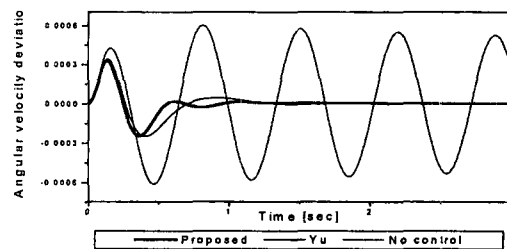


(b) Phase

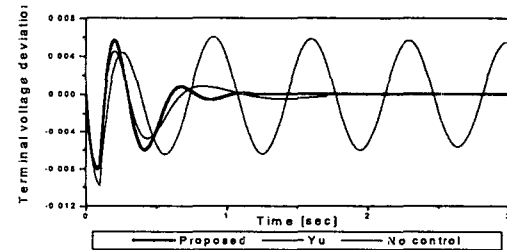
그림 8. PSS 주파수 응답  
Fig. 8. Frequency response of PSS



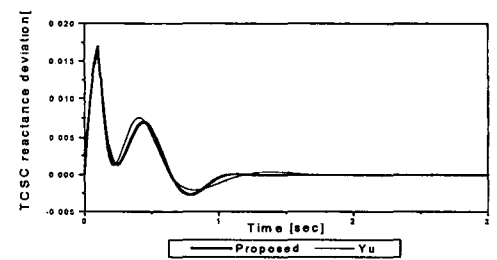
(a) Rotor angle  $\Delta\delta$



(b) Angular velocity  $\Delta\omega$



(c) Terminal voltage  $\Delta V_t$



(d) TCSC reactance  $\Delta X_C$

그림 9. 기계적인 토크가 3 [%] 변동한 경우의 응답  
Fig. 9. Response of generator when mechanical torque was changed as 3 [%]

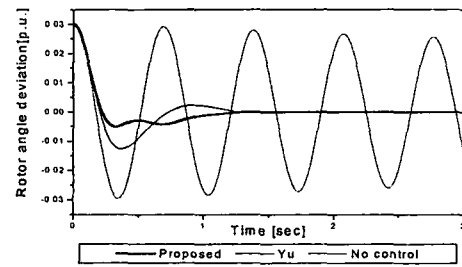
## 6. 결 론

본 논문에서는 FACTS 설비의 일종인 전력조류 극대화 및 제어 기능과 함께 외란에 의한 과도시의 전력계통 안정화 기능을 수행할 수 있는 TCSC용 전력시스템 안정화 장치 설계에 대하여 연구하였다. 또한 제어기 파라미터 설정시 기존의 일반적인 방법인 경험 및 시행착오에 의존하는 반복수행과는 달리, 복잡한 수식이 필요 없고 계산시간을 감소시키며 적은 반복횟수로도 최적해를 찾을 수 있는 자연 생태계의 진화를 모의한 유전 알고리즘을 이용하여 설계하였다. 제안한 기법의 타당성을 검증하기 위하여 1기 무한대 모선에 적용하여 다양한 부하 외란에 적용하였다. 시스템의 고유 진동 모드에 대한 고유치 및 제동비를 조사하였으며, 시뮬레이션을 통하여 시스템 응답특성을 비교하여 제안한 방법의 우수성을 입증하였다.

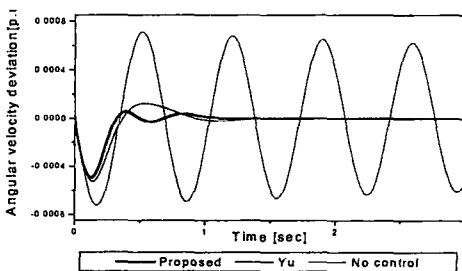
향후 제안한 기법이 효과적으로 실 계통에 적용하기 위해서는 대기 및 대규모 시스템에 대한 응용이 뒤따라야 하겠다. 또한 다양한 부하 외란 및 시스템 파라미터에 대한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

## References

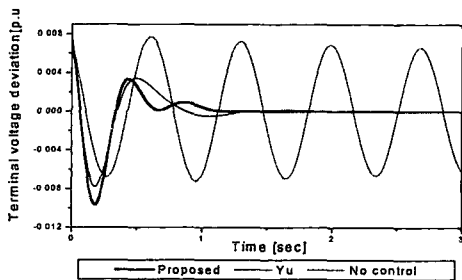
- [1] IEEE Special Stability Controls Working Group, "Static Var Compensator Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, pp. 229-240, 1994.
- [2] IEEE FACTS Working Group, FACTS Applications, IEEE Power Eng. Society, 1995.
- [3] K. M. Son, J. K. Park and B. H. Lee, "Power System Stabilization by Advanced Series Compensation Scheme", Trans. KIEE, Vol. 44, No. 5, pp. 685-687, 1995.
- [4] J. J. Paserba, E. V. Larsen, "A Stability Model for Thyristor-Controlled Series Compensator(TCSC)", EPRE FACTS Conference, Boston, May, 1992.
- [5] N. Christl, R. Hedin, P. E. Krause, P. Luetzelberger, S. M. A. H. Montoya, K. Sadra, D. R. Torgerson, "Advanced Series Compensation(ASC) with Thyristor Controlled Impedance", CIGRE paper 14/37/38-05, Paris, France, 1992.
- [6] P. M. Anderson and A. A. Found, "Power System Control and Stability", IEEE Press, New York, 1993.
- [7] Yao-nan Yu, "Electric Power System Dynamic", Academic Press, INC, 1983.
- [8] K. Bollinger et al, "Power System Stabilizer Design using Root-Locus Method", IEEE Trans. on PAS, Vol. 94, No. 5, pp. 1484-1488, 1975.



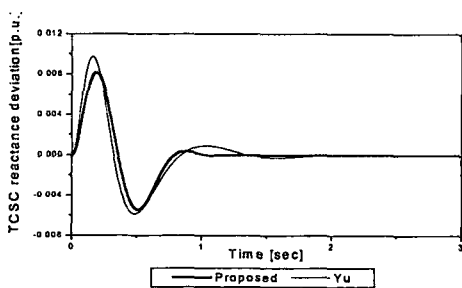
(a) Rotor angle  $\Delta\delta$



(b) Angular velocity  $\Delta\omega$



(c) Terminal voltage  $\Delta V_t$



(d) TCSC reactance  $\Delta X_c$

그림 10. 초기 부하각 편차가 0.03 [p.u.] 변동한 경우의 응답

Fig. 10. Response of generator when rotor angle was changed as 0.03 [p.u.]



- [9] O. H. Abdalla, et al, "Coordinated Stabilization of Multimachine Power System", IEEE Trans. on PAS, Vol. 103, No. 3, pp. 483-491, 1984
- [10] P. Kundur, N. Klein, G. J. Rogers and M. S. Zywno, "Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability", IEEE Trans. on Power System, Vol. 4, No. 2, 1989
- [11] P. M. Anderson, A. A. Foud, Power System Control and Stability, Iowa State Univ. Press, 1977
- [12] IEEE Committee Report, "Computer Representation of Excitation System", IEEE Trans. on PAS, Vol. 87, pp. 1460-1464, 1968
- [13] J. J. Paserba, N. W. Miller, E. V. Larsen, R. J. Piwko, "A Thyristor Controlled Series Compensation Model for Power System Stability Analysis", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, pp. 1471-1478, July, 1995
- [14] K. M. Son, H. G. Han, S. K. Lee, J. K. Park and B. H. Lee, "Analysis and Control of Thyristor Controlled Series Compensator for Power System Oscillation Damping", Trans. KIEE, Vol. 45, No. 4, pp. 484-489, 1996
- [15] J. J. Grefenstette, "Optimization of control parameters for genetic algorithms", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetic, Vol. SMC-16, 1986
- [16] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search Optimization & Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1989
- [17] K. E. Kinnear, "Advances in Genetic Programming", The MIT Press, 1994

◇ 저자소개 ◇

정 형 환 (鄭亨煥)

1941년 1월 19일생. 1964년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수.

허 동 렬 (許東烈)

1969년 11월 10일생. 1995년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학), 현재 동아대 정보기술연구소 특별연구원

왕 용 필 (王龍泌)

1966년 8월 25일생. 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 정보기술연구소 특별연구원

박 희 철 (朴熙徹)

1975년 4월 5일생. 2001년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

이 동 철 (李東喆)

1941년 3월 9일생. 1963년 연세대 전기공학과 졸업, 1983년 한국해양대 대학원 졸업(석사), 1992년 동 대학원 졸업(공학), 1984년-1985년 일본 동북대학 객원연구원, 1989년 일본 동북대학 방문교수, 현재 부경대 공대 전기공학과 교수