

## GA를 이용한 전력시스템의 SPS제어기 설계

정형환† · 이창우\* · 왕용필\*

(원고접수일 : 2003년 11월 14일, 심사완료일 : 2004년 4월 20일)

### A Design of SPS Controller on Power System using Genetic Algorithm

Hyeng-Hwan Chung† · Chang-U Lee\* · Yong-Peel Wang\*

**Abstract** : A Design of GA-based SPS controller for power system stabilization was investigated in this paper. The design problem of SPS controller is formulated as an optimization problem using GA. The dynamic characteristic responses are considered to verify the performance of the proposed SPS under various disturbances and operation conditions. The simulation results show that the proposed SPS controller provides most of the damping and improves greatly the voltage profile of the system under two different disturbances.

**Key words** : SPS(정지형 위상 이동기), PSS(전력 시스템 안정화 장치), FACTS(유연송전시스템), GA(유전 알고리즘)

#### 1. 서 론

전력시스템은 대규모의 복잡한 연계시스템이고 전력수요의 증가에 따라 보다 신뢰성 있는 전력 공급이 요청되고 있다. 전력시스템에 전기 기계적인 모드와 연결된 저주파 진동은 나타났다가 사라질 수도 있지만 점점 더 증가하여 전력전송을 제한시키기도 한다. 그러한 저주파 진동을 억제하기 위한 효과적인 대책중의 하나는 자동 전압 조절기의 전압 기준 입력에 보조 신호를 주입하는 피드백 제어기를 가지는 발전기를 설치하는 것이다. 이러한 장치를 전력시스템 안정화 장치(Power System Stabilizer : PSS)라 하고, 현대 전력

시스템에 광범위하게 사용되고 있으며 이에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다<sup>(1),(2)</sup>.

PSS가 시스템 제동을 향상시킴으로써 전력시스템 안정도 한계를 확장하였음에도 불구하고, PSS는 과도한 입력으로 인하여 전압파형에 큰 변화를 일으키기 쉬운 단점을 갖고, 극심한 외란 하에서 시스템 안정도를 잃을 수도 있다<sup>(3),(4)</sup>.

최근 전력전자분야의 발전으로 유연 송전 시스템(Flexible AC Transmission Systems : FACTS)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 FACTS는 오늘날의 기계적인 제어 한계를 극복하고, 고속 전자장치에 의해 전력시스템 안정도를 향상시킨다. 유망한 FACTS 장치중의 하나가

† 책임저자(동아대학교 전기전자컴퓨터공학부), E-mail : hhchong@mail.donga.ac.kr, T : 051)200-7733

\* 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

정지형 위상 이동기(Static Phase Shifter : SPS)이다. 최근 전력시스템 안정도 향상을 위한 SPS의 성능에 관한 여러 연구를 통하여 그 효율성이 입증되고 있다<sup>(5),(6)</sup>.

SPS제어기 설계에 관한 연구로는 Baker et al<sup>(7)</sup>가 확률적인 최적제어 이론을 사용하여 SPS에 대한 제어 알고리즘을 발전시켰으며, Edris<sup>(8)</sup>는 동일지역 표준에 근거한 단순제어 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 자연 생태계의 진화를 모의한 유전알고리즘<sup>(9)</sup>을 이용하여 SPS제어기를 설계할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 이의 성능 평가를 위해 기존의 설계방식을 이용한 PSS와 본 논문에서 도입한 GA를 이용하여 설계된 PSS 및 제안한 SPS제어기를 각각 적용한 경우에 대하여 비선형 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 다양한 동작 조건과 외란하에서 동특성 응답을 비교 및 검토하였으며, 제안한 SPS제어기가 기존의 PSS보다 전기 및 기계적인 모드의 우수한 제동을 제공하여 전력시스템 안정도의 향상에 기여하며 전압 동요를 억제하는데 매우 효과적임을 보이고자 한다.

## 2. 전력시스템 모델

### 2.1 발전기 및 여자기 모델

본 연구에서 사용된 SPS를 포함한 1기 무한대 모선 전력시스템 모델은 그림 1과 같다.

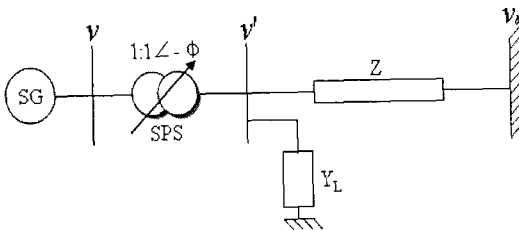


Fig. 1 Single machine infinite bus system with a SPS

SPS는  $1:1\angle-\phi$ 의 비율을 가지며, 유효전력조류는 (1)과 같다.

$$P_e = \frac{E'_q v_b}{X} \sin(\delta - \phi) \tag{1}$$

여기서,  $\phi$ 는 SPS의 위상 이동각,  $\delta$ 는 발전기의 회전자각,  $E'_q$ 는 발전기 내부전압,  $v_b$ 는 무한대 모선전압,  $X$ 는 선로 리액턴스를 나타낸다. 유효전력조류는 저주파 진동을 억제하기 위해 조정될 수 있고  $E'_q$ 나  $\phi$ 를 제어함으로써 전력시스템의 안정도를 향상시킨다. SPS는 각  $\phi$ 를 조정함으로써 발전기 단자전압과 무한대 모선전압 사이의 부하각을 제어할 수 있다.

발전기는 전기 및 기계적인 운동방정식과 발전기 내부 전압 방정식을 (2)~(4)와 같은 3차의 비선형 동특성 방정식으로 표현된다.

$$\dot{\delta} = \omega_{ref}(\omega - 1) \tag{2}$$

$$\dot{\omega} = -\frac{1}{M} E'_q i_q + (x_q - x'_d) i_d i_q \tag{3}$$

$$\dot{E}'_q = \frac{1}{T_{d0}} E_{fd} - (x_d - x'_d) i_d - E'_q \tag{4}$$

여기서,  $\omega_{ref}$ 는 기준각속도,  $\omega$ 는 각속도,  $E_{fd}$ 는 발전기 계자 전압,  $i_d, i_q$ 는 각각 발전기의 d축 및 q축 전류,  $M$ 는 관성 상수,  $T_{d0}$ 는 발전기 d축 과도 시정수,  $x_d, x_q$ 는 각각 발전기의 d축 및 q축 리액턴스,  $x'_d$ 는 발전기 d축 과도 리액턴스를 나타낸다. (2), (3)은 발전기 동요방정식(swing equation)으로서 발전기의 전기 및 기계적인 동특성을 나타내고, (4)는 발전기의 전기적인 부분을 나타낸다.

본 논문에서 선정된 여자기 시스템은 IEEE Type-ST1이며 (5)로 나타낼 수 있다.

$$\dot{E}'_{fd} = \frac{1}{T_A} K_A (V_{ref} - v + U_{PSS}) - E_{fd} \tag{5}$$

여기서,  $V_{ref}$ 는 발전기의 기준전압,  $v$ 는 발전기 단자전압,  $U_{PSS}$ 는 PSS의 제어입력,  $T_A$ 는 여자기 시스템의 시정수,  $K_A$ 는 여자시스템의 이득,  $E_{fd}$ 는 계자 전압에 해당하는 고정자의 유기 기전력을 나타내며, 전기적 출력 전력은 (6)과 같다.

$$P_e = v_d i_d + v_q i_q \quad (6)$$

여기서  $v_d, v_q$ 는 각각 단자전압의 d축 및 q축 성분을 나타내며 (7)~(11)과 같고, (12)~(13)은 SPS를 포함한 단자전압의 d축 및 q축 성분이다.

$$i_d = \frac{RC_1 + XC_2}{R^2 + X^2} v_d' + \frac{XC_1 - RC_2}{R^2 + X^2} v_q' - v_b \sin \delta \quad (7)$$

$$i_q = \frac{RC_2 - XC_1}{R^2 + X^2} v_d' + \frac{XC_2 - RC_1}{R^2 + X^2} v_q' - v_b \cos \delta \quad (8)$$

$$v = (v_d^2 + v_q^2)^{1/2} \quad (9)$$

$$v_d = x_q i_q \quad (10)$$

$$v_q = E_q' - x_d' i_d \quad (11)$$

$$v_d' = E_q' \sin \Phi + x_q i_q \cos \Phi - x_d' i_d \sin \Phi \quad (12)$$

$$v_q' = E_q' \cos \Phi - x_d' i_d \cos \Phi - x_q i_q \sin \Phi \quad (13)$$

여기서,  $R$ 은 선로저항,  $X$ 는 선로 리액턴스,  $C_1, C_2$ 는 각각 (14)~(15)와 같이 정의된다.

$$1 + RG - XB = C_1 \quad (14)$$

$$RB + XG = C_2 \quad (15)$$

여기서,  $G$ 는 선로 병렬부하의 컨덕턴스,  $B$ 는 선로 병렬부하의 서셉턴스를 나타낸다.

### 2.2 SPS제어기 모델

SPS제어기는 종래의 lead-lag 형태의 제어기 구조를 가지며 SPS제어기의 블록다이어그램을 그림 2에 나타내었다.

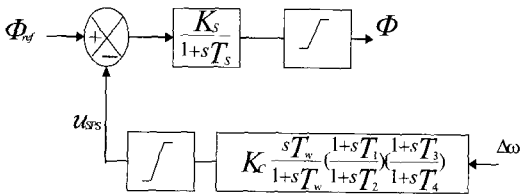


Fig. 2 SPS with lead-lag controller

여기서,  $T_w$ 는 washout 시정수,  $T_1, T_2, T_3, T_4$ 는 제어기의 시정수,  $K_{SPS}$ 는 제어기의 이득이다.

위상 이동각  $\Phi$ 에 대한 동특성 방정식은 (16)과 같다.

$$\dot{\Phi} = \frac{1}{T_S} K_{S(\Phi_{ref} - U_{SPS})} - \Phi \quad (16)$$

여기서,  $\Phi_{ref}$ 는 기준각,  $T_S$ 는 SPS의 시정수,  $K_S$ 는 SPS의 이득,  $U_{SPS}$ 는 SPS의 제어입력을 나타낸다.

### 2.3 안정도 해석용 선형화 모델

PSS와 SPS제어기의 설계에 있어서, 대개 정상 동작점 부근의 선형화된 증분의 모델이 사용되어 진다. 위에 나타낸 모델을 선형화하면, (17)과 같은 전력시스템 모델이 산출된다.

$$\begin{pmatrix} \Delta \dot{\delta} \\ \Delta \dot{\omega} \\ \Delta \dot{E}_q' \\ \Delta \dot{E}_{fd}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 377 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ -\frac{K_4}{T_d} & 0 & -\frac{K_3}{T_d} & \frac{1}{T_d} \\ -\frac{K_A K_5}{T_A} & 0 & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \omega \\ \Delta E_q' \\ \Delta E_{fd}' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{PSS} \\ \Delta \Phi \end{pmatrix} \quad (17)$$

여기서,  $D$ 는 발전기의 제동 상수이며,  $\Delta \delta, \Delta \omega, \Delta E_q', \Delta E_{fd}'$ 는 각각 (2), (3), (4), (5)를 선형화한 표현이다. 간략하게, 선형화된 시스템 모델은 (18)과 같다.

$$\Delta \dot{X} = A \Delta X + B \Delta U \quad (18)$$

여기서, 상태벡터  $\Delta X$ 는  $[\Delta \delta \ \Delta \omega \ \Delta E_q' \ \Delta E_{fd}']^T$  이고 제어벡터  $\Delta U$ 는  $[U_{PSS} \ \Delta \Phi_{ref}]^T$ 이다.

그림 3은 동기기 및 여자기 모델을 종합한 블록 선도를 나타내고 있다. 이 모델은 기계적 입력을

고정시킨 후 평형 상태에서 선형화 한 것이다. 일반적으로 전력시스템의 안정도 해석에 사용되며, 특히 저주파수 진동을 해석하기 위한 모델이다<sup>[3]</sup>.

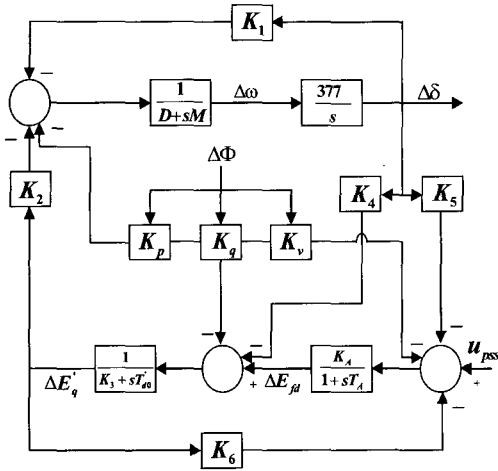


Fig. 3 Block diagram of the linearized power system model

여기서  $K_1 \sim K_6$ ,  $K_p$ ,  $K_q$  그리고  $K_v$ 는 선형화 계수이다.

### 3. 유전 알고리즘을 이용한 SPS제어기 설계

#### 3.1 유전 알고리즘

일반적으로 GA는 최적화 하고자 하는 파라미터들을 2진 문자열로 표현하여 사용하였으나 높은 정밀도가 요구되는 경우 문자열의 길이는 매우 길어지고 이 같은 문제점 때문에 많은 연산시간과 기억용량이 필요하며 이는 수렴속도를 저하시키는 하나의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 파라미터를 유한 길이로 코딩하는 절차가 필요 없이 변수 그 자체로 최적화하는 실 변수 GA를 이용하였다. 실 변수로 코딩되어진 염색체의 구성은 각 개체의 문자열을 변수의 상·하한치 내에서 랜덤하게 발생시켜 탐색할 각각의 변수를 실제 값으로 구성한다. 이 실 변수 GA로 최적화함으로써 코딩 시간을 감소하고 정확성을 유지 할 수 있다. 실 변수 유전알고리즘의 흐름도는 그림 4와 같다.

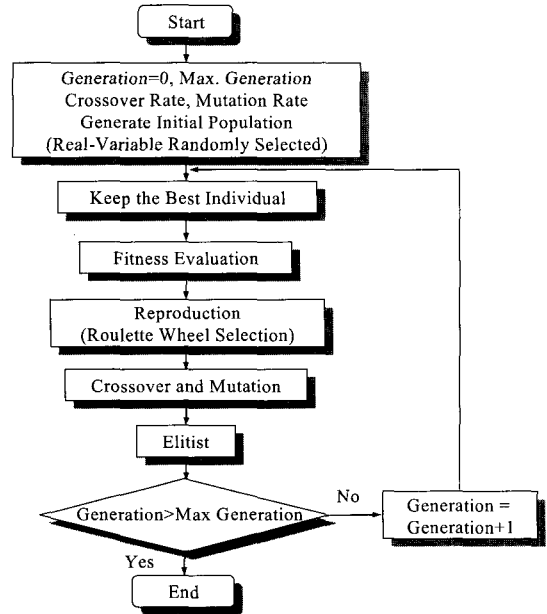


Fig. 4 Flowchart of real variable elitist genetic algorithm.

#### 3.2 GA를 이용한 SPS제어기와 PSS설계

본 논문에서 사용된 SPS제어기의 구조는 기존의 진·지상 형태의 구조를 가지며, (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SPS(s) = \left(\frac{sT_w}{1+sT_w}\right) \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2}\right) \left(\frac{K_c(1+sT_3)}{1+sT_4}\right) \quad (19)$$

(19)의 수식에서 최적화 하고자 하는 파라미터는  $K_c$ ,  $T_w$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ 가 되고, 이를 염색체로 표현하면 그림 5와 같다.

Chromosome 1	$K_c$	$T_w$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
Chromosome 2	$K_c$	$T_w$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Chromosome N	$K_c$	$T_w$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$

Fig. 5 Construction of solution population

GA의 해 탐색 절차에서 상대적으로 환경에 잘 적응하는 개체를 평가하기 위한 수단으로서 사용되는 목적함수는 (20)과 같이 선정하였다.

$$J = \int_0^{T_f} (|t \cdot \Delta\delta| + |t \cdot \Delta v_d|) dt \quad (20)$$

여기서,  $T_f$ 는 최종시간이다.

평가함수를 최소화하는 스트링을 평가하기 위한 적합도를 (21)과 같이 선정하였다. 이렇게 정의되어진 적합도 함수는 각 개체가 다음 세대에 생존할 가능성의 척도가 되며 이를 최대로 하기 위해서는 평가함수가 최소가 되어야하므로 이때의 평가함수를  $J_{min}$ 로 나타내었다.

$$Fitness = \frac{1.0}{1.0 + J_{min}} \quad (21)$$

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

제안한 SPS제어기의 강인성을 평가하기 위해서, 표1에서 주어진 두 개의 다른 부하 조건들이 고려되었다. 더욱이, 다양한 외란이 발생한 경우에 대하여 비선형 시뮬레이션을 통하여  $Y_u^{(3)}$ 가 제안한 (22)와 같은 전달함수를 가진 CPSS (Conventional Power System Stabilizer)와 GA를 적용한 PSS와 비교, 검토한다.

$$U_{PSS} = 7.091 \left( \frac{5s}{1+5s} \right) \left( \frac{1+0.685s}{1+0.1s} \right) \Delta\omega \quad (22)$$

본 논문에서 사용한 1기 무한대 모선 전력시스템의 동기기, 여자기 및 선로 정수와 시스템의 초기 상태는 표1과 같으며, PSS와 SPS제어기의 최적 설계를 위해 사용되어진 유전 알고리즘의 파라미터는 표2와 같다.

**Table 1 System parameters**

발전기 정수	$M=9.260, D=0.00, T_{d0}'=7.76$ $x_d=0.973, x_d'=0.19, x_q=0.55$
여자기 정수	$K_{A=50}, T_A=0.05$
선로 정수	$R=-0.034, X=0.997,$ $G=0.249, B=0.262$
초기 상태	$P_{d0}=1.00, Q_{d0}=0.015$ $V_{d0}=1.05, \phi(^{\circ})=0.0$

**Table 2 Initial parameters**

Generations number	Population size	Crossover rate	Mutation rate
100	100	0.85	0.01

유전 알고리즘을 이용하여 설계되어진 PSS와 SPS의 파라미터는 표3과 같다.

**Table 3 Optimized parameters**

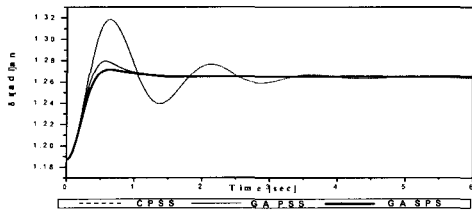
CPSS	$K_c=$	$T_{cs}=$	$T_1=$	$T_2=$		
	7.091	5	0.685	0.1		
GA-based PSS	$K_{pss}=$	$T_{cs}=$	$T_{1pss}=$	$T_{2pss}=$	$T_{3pss}=$	$T_{4pss}=$
	33.545	14.353	0.182	0.0479	0.3017	0.2969
GA-based SPS	$K_{spss}=$	$T_{cs}=$	$T_{1spss}=$	$T_{2spss}=$	$T_{3spss}=$	$T_{4spss}=$
	98.921	14.065	0.1983	0.0352	0.0352	0.1040

#### 4.1 정상 부하시

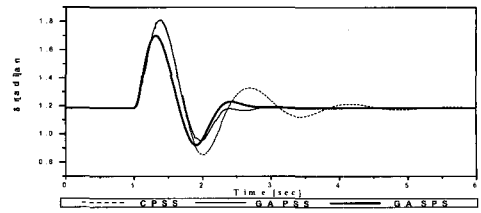
제안한 SPS제어기의 외란 억제 성능과 강인성을 평가하기 위해서 정상 부하시( $P_{d0}=1.0(p.u), Q_{d0}=0.015(p.u)$ )에 기계적 토크 입력  $T_m$ 이 변동한 경우, 1초 후에 무한대 모선 부근에서 3상 단락이 100[ms]동안 지속되다가 제거되는 경우 및 발전기의 초기 위상각  $\delta$ 가 변동한 경우에 대한 비선형 시뮬레이션을 수행하여 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기를 설치한 경우에 대하여 동특성 응답을 비교 및 고찰하였다. 이때 PSS입력과 SPS제어기의 입력 신호는 각각  $-0.2(p.u) \leq u \leq 0.2(p.u)$ 와  $-10^{\circ} \leq \phi \leq 10^{\circ}$ 로 제한하였다.

그림 6은 정상 부하시 발전기의 기계적 토크를 0.1[p.u.] 만큼 변동시켰을 경우 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기의 경우에 대해 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.

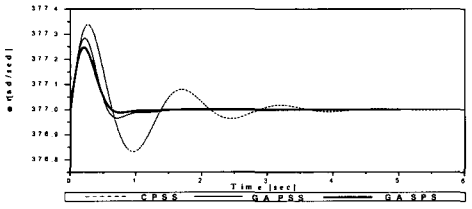
그림 7은 정상 부하시 1초 후에 무한대 모선 부근에서 3상 단락이 100[ms]동안 지속되다가 계통 구성 변경 없이 제거되는 경우에 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기의 경우에 대해 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.



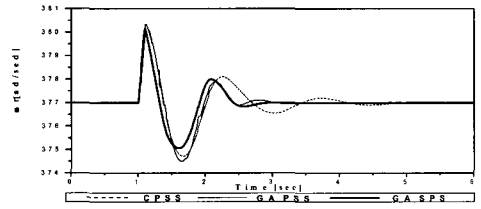
(a) Rotor angle



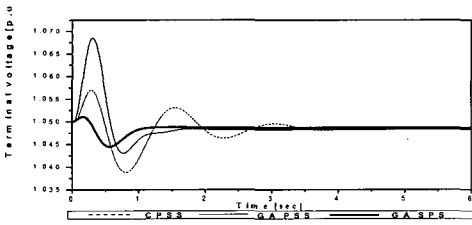
(a) Rotor angle



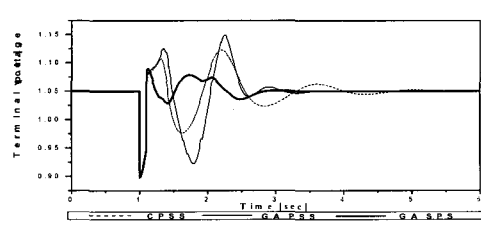
(b) Angular velocity



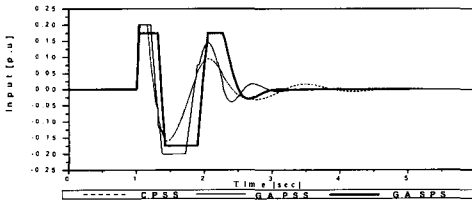
(b) Angular velocity



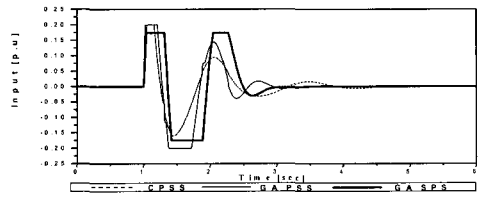
(c) Terminal voltage



(c) Terminal voltage



(d) Control input



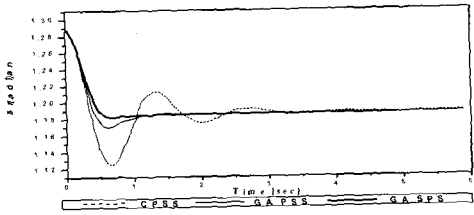
(d) Control input

**Fig. 6 Responses to increasing mechanical torque under normal load**

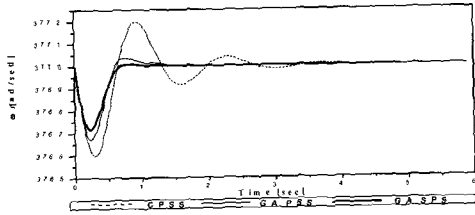
**Fig. 7 Responses to three-phase fault under normal load**

그림 8는 정상 부하시 발전기의 초기 위상각을 0.1[rad] 만큼 변동시켰을 경우 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제한한 SPS제어기의 경우에 대해 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.

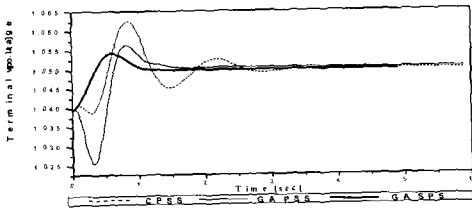
그림 7과 그림 8의 회전자각과 전압과형에 있어서 SPS가 PSS보다 첫 번째 동요에서의 제동에 있어서 뛰어나다는 것을 알 수 있으며, 이것은 SPS의 속응성에 기인한다고 보여진다.



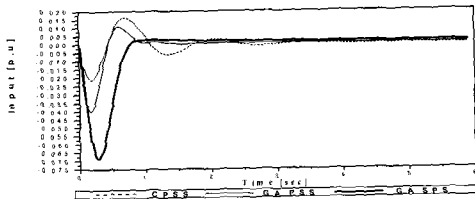
(a) Rotor angle



(b) Angular velocity



(c) Terminal voltage



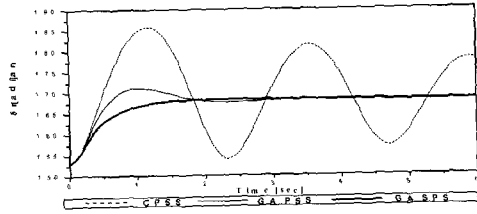
(d) Control input

**Fig. 8 Responses to increasing rotor angle normal load**

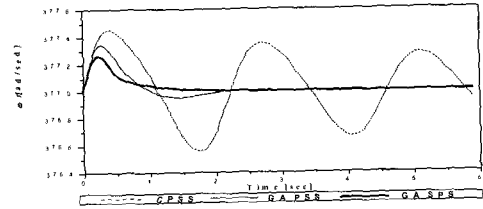
4.2 중 부하시

제한한 SPS제어기의 외란 억제 성능과 강인성을 평가하기 위해서 중부하시 ( $P_d = 1.10$ [p.u],  $Q_d = 0.40$ [p.u])에 기계적 토크 입력  $T_m$ 이 변동한 경우, 1초 후에 무한대 모션 부근에서 3상

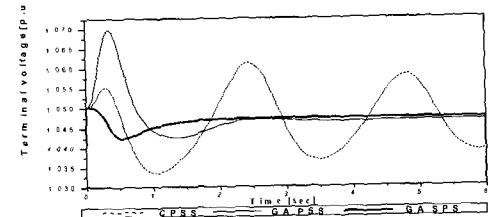
단락이 50[ms]동안 지속되다가 제거되는 경우 및 발전기의 초기 위상각  $\delta$ 가 변동한 경우에 대한 비선형 시뮬레이션을 수행하여 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제한한 SPS제어기의 경우에 대해 동특성 응답을 비교 및 고찰하였다. 이때 PSS입력과 SPS제어기의 입력 신호는 각각  $-0.2$ [p.u]  $\leq u \leq 0.2$ [p.u]와  $-10^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$ 로 제한하였다.



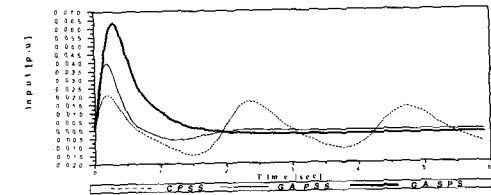
(a) Rotor angle



(b) Angular velocity



(c) Terminal voltage

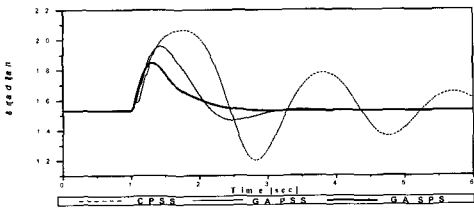


(d) Control input

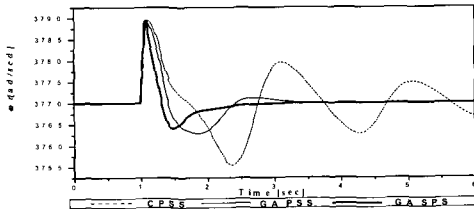
**Fig. 9 Responses to increasing mechanical torque under heavy load**

그림 9는 중 부하시 발전기의 기계적 토크를 0.1[p.u.] 만큼 변동시켰을 경우에 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기의 경우에 대해 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.

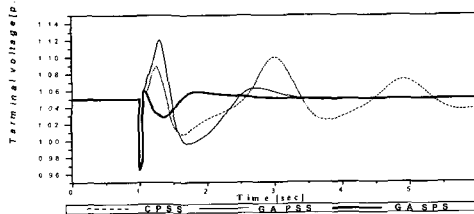
근에서 3상 단락이 50[ms]동안 지속되다가 계통 구성 변경 없이 제거되는 경우에 기존의 PSS, GA를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기의 경우에 대한 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.



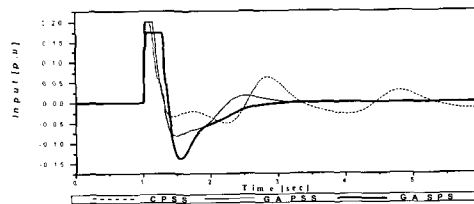
(a) Rotor angle



(b) Angular velocity



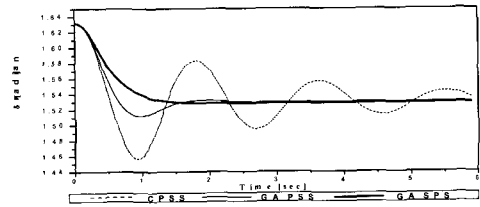
(c) Terminal voltage



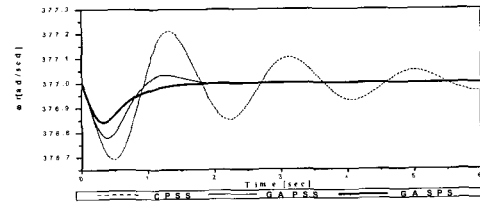
(d) Control input

**Fig. 10 Responses to three-phase fault under heavy load**

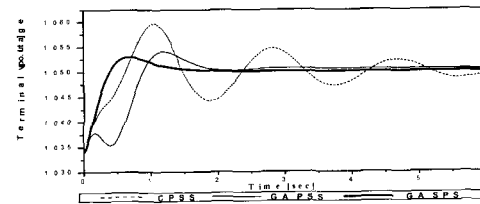
그림 10은 중 부하시 1초 후에 무한대 모션 부



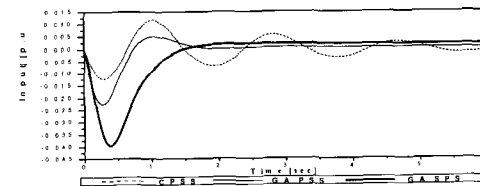
(a) Rotor angle



(b) Angular velocity



(c) Terminal voltage



(d) Control input

**Fig. 11 Responses to increasing rotor angle under heavy load**

그림 11은 중 부하시 발전기의 초기 위상각을 0.1[rad] 만큼 변동시켰을 때 기존의 PSS, GA



를 이용한 PSS 및 제안한 SPS제어기의 경우에 대해 발전기의 위상각, 각속도, 단자전압 및 제어 입력의 동특성 응답을 나타내었다.

그림 9와 그림 10에서 제안한 SPS제어기의 경우 회전자각에서의 첫 번째 동요를 억제하고 전압 파형의 오버슈트와 정정시간(settling time)이 크게 향상되었다. 따라서 SPS의 동특성 응답이 PSS의 동특성 응답보다 우수하게 나타났다. 특히, PSS는 매우 큰 외란과 중 부하시에 단자전압 응답이 현저히 떨어졌음을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 제안한 SPS가 기존의 PSS보다 다양한 동작조건과 외란에 대해 저주파 진동을 효율적으로 억제함을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 전력시스템의 안정도 향상을 위하여 저주파 진동 억제에 강인성을 가진 SPS제어기의 최적 파라미터를 GA를 이용하여 선정하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 SPS제어기는 다양한 외란과 동작조건에 대하여 기존의 설계방식을 이용한 PSS 및 GA를 이용하여 설계한 PSS와 비교 및 검토하였다.

본 논문의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) SPS제어기의 설계 문제를 해결하기 위해 실 변수로 코딩하는 유전 알고리즘을 이용함으로써 계산 시간을 줄일 수 있었으며 정확성을 유지하였다.

(2) SPS 제어기는 기존의 PSS보다 저주파 진동을 억제하는데 매우 우수한 제어성능을 보였고, 특히 전압의 동요를 현저히 향상시킬 수 있었다.

(3) 다양한 동작조건과 넓은 범위에 걸친 다양한 외란에 대해서 제안한 SPS의 강인성을 확인하였다.

끝으로 SPS제어기를 실제의 전력시스템에 적용하여 다양한 부하 외란에 대한 동특성 해석과 안정도 해석이 필요하며, 유전알고리즘 뿐만 아니라 진화계획법(Evolutionary Programming : EP), 진화기법(Evolution Strategy : ES) 등

과 같은 진화연산을 이용하여 대규모 전력시스템 최적화 문제에 적용 방안을 수립하고 이에 대한 비교를 하는 것이 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

- [1] P. Kundur, Power system stability and control, McGraw-Hill Inc, 1994.
- [2] 정형환, 이정필, 박희철, 왕용필, "유전 알고리즘을 이용한 강인한  $H_{\infty}$ -QFT PSS설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제 52권, 8호, pp. 371-380, 2003.
- [3] Yu Y. N, Electric power system dynamics, New York Academic Press, 1983.
- [4] Mahran A. R, Hogg B. W, Al-Sayed M. L, "Coordinated control of synchronous generator excitation and static var compensator", IEEE Trans Energy Conversion, Vol. 7, No. 4, pp. 615-22 1992.
- [5] Wang H. F, Swift F. J, Li M, "Analysis of thyristor-controlled phase shifter applied in damping power system oscillations", Int. J. Electro Power Energy Systems, Vol. 19, No. 1, pp. 1-9, 1997.
- [6] Jiang F, Choi S. S, Shrestha G, "Power system stability enhancement using static phase shifter", IEEE Trans PWRs, Vol. 12, No. 1, pp. 207-14, 1997.
- [7] Baker R, Guth G, Egli W, Eglin O, "Control algorithm for a static phase shifting transformer to enhance transient and dynamic stability of large power systems", IEEE Trans PAS, Vol. 101, No. 9, pp. 3532-42, 1982.
- [8] Edris A, "Enhancement of first-swing stability using a high-speed phase shifter", IEEE Trans PWRs, Vol. 6, No. 3, pp. 1113-1118, 1991.
- [9] Varsek A, "Genetic algorithms in controller design and tuning", IEEE

Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol 23, No 5, pp. 1330-1339, 1993.

## 저 자 소 개



### 정형환 (鄭亨煥)

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



### 이창우 (李昌祐)

1976년 7월 14일, 2002년 동아대 공대 전기공학과 졸업, 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한국수력원자력(주) 울진원자력 본부 제2 발전소.



### 왕용필 (王龍泌)

1966년 8월 25일생, 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999-2001년 뉴질랜드 Canterbury University (Post-Doc). 현재 동아대 전기전자컴퓨터공학부 BK 교수.