

PSS 최적설치 발전기 선정 및 적용 연구

김용학\*, 김태균, 신정훈 전력연구원

The Optimal Generator Selection and Application of PSS

Kim Yong-Hak, Kim Tae-Kyun, Sin Jeong-Hoon KEPRI of KEPCO

**Abstract** - 전력계통에서 발생하는 저주파 동요에 대해서 가장 효과적인 제동력 향상방안으로 알려진 PSS의 최적 설치지점을 결정하기 위하여 NSE(Normalizing Speed Eigenvectors), SPF(Speed Participation Factors), TFR(Transfer Function Residues) 및 주파수 응답법을 각각 비교분석 하였다. 분석결과 SPF는 제어/입력 행렬을 포함하지 않는 상태행렬만을 고려하기 때문에 PSS의 제어특성을 반영하지 못하는 단점이 있었으며 TFR은 여자기 이득에 민감하여 최적위치 선정에 있어서 문제점을 보였다. 본연구에서는 SPF법을 이용하여 PSS 설치 후보지를 선정하고 이를 후보지에 대해서 TFR법과 주파수 응답법으로 최적의 발전기를 결정하도록 하였으며 PSS를 설치하여 그 효과를 검증하였다.

민감하여 신뢰도가 저하되는 경우가 발생할 수 있다. TFZ법은 제동특성을 개선하고자 하는 모드에 근접하는 정도를 나타내고 근접하는 경우에는 PSS 설치대상 후보지에서 제외하는 방법이며 주파수 응답법은 전달함수의 주파수응답 크기가 임의의 주파수 대역에서 크면 발전기는 이러한 주파수 대역의 진동모드 제동에 가장 효과적이지만 정량적 평가가 어렵다는 단점이 있다.[6]

따라서 본 논문에서는 Sample 계통에 대하여 NSE법 및 SPF법으로 PSS 설치 후보지를 선정하고 TFR법 및 주파수 응답법을 사용하여 PSS 최적 설치지를 결정하고 PSS를 설치하여 효과를 검증하였다.

2. 전력계통 선형모델

전력계통은 식 (1.1)과 같은 미분방정식으로 표현될 수 있으며 선형상태방정식이라 한다.[6]

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{1.1}$$

x:상태벡터(n), y:출력벡터(m), u:입력벡터(r)  
A:상태행렬(n×n), B:제어/입력 행렬(n×r)  
C:출력행렬(m×n), D:입/출력행렬(m×r)

식 (1.1)을 Laplace 변환하여 해를 구하면

$$\bar{x} = (sI - A)^{-1} [x(0) + B\bar{u}] = \frac{Adj(sI - A) [x(0) + B\bar{u}]}{Det(sI - A)} \tag{1.2}$$

그리고,

$$\bar{y} = C(sI - A)^{-1} [x(0) + B\bar{u}] + D\bar{u} \tag{1.3}$$

$\bar{x}$ 의 극점은  $Det(sI - A) = 0$ 의 근이며 식 (1.4)로 표현할 수 있다.

$$Det(A - sI) = 0 \tag{1.4}$$

일반적으로 극점은 상태변수와 동일한 개수로 나타나며 식 (1.4)를 만족하는 s의 값을 상태행렬의 고유치라 하고 각각의 고유치( $\lambda_i$ )에 대해 식 (1.5)를 만족하는 열벡터( $t_i$ )를 우고유벡터, 식 (1.6)을 만족하는 행벡터( $v_i$ )를 좌고유벡터라 한다.

$$At_i = \lambda_i t_i \tag{1.5}$$

$$v_i A = \lambda_i v_i \tag{1.6}$$

만약, 상태행렬이 대칭이면  $v_i = t_i^T$ 의 관계가 성립하고 동일한 고유치가 존재하지 않으면 벡터 곱은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v_j t_i &= k_j \quad j=i \\ &= 0 \quad j \neq i \end{aligned} \tag{1.7}$$

$v_i$ 와  $t_i$ 를  $k_i = 1, (i=1, 2, \dots, n)$ 이 되도록 정규화

1. 서 론

최근의 전력계통은 전력수요의 증가로 인하여 대용량의 전력설비가 사용되고 있으며 상대적으로 계통 리액턴스가 증가되었고 아울러 환경문제로 인하여 새로운 전력설비에 대한 입지확보가 어려워 가능한 기존의 전력설비를 이용하여 전력회사들은 많은 전력을 공급하고자 한계 값에 가깝게 중부하로 운전하고 있다. 이로인하여 전력회사들은 계통의 운전조건 변화에 대해 안정도 여유를 증가시키기 위하여 속응형 여자시스템을 도입하였지만 속응형 여자는 동기화 토크를 증가시켜 과도안정도를 향상시키나 저주파 진동을 유발하는 경향이 있다.[1]

이와같이 전력계통은 취약하게 제동되는 진동모드와 관련된 0.2~2.0Hz 주파수 영역에서 저주파 진동문제에 직면하고 있으며 일반적으로 PSS(Power System Stabilizer)가 저주파 진동을 억제하는데 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 전력계통에서 임의의 불안정 모드에 제동력을 증가시키기 위하여 PSS를 도입하기 위해서는 PSS의 최적위치를 결정해야 하고 이러한 최적위치를 결정하는 방법으로는 NSE(Normalizing Speed Eigenvector)법, SPF(Speed Participation Factor)법, TFR(Transfer Function Residue)법, TFZ(Transfer Function Zero)법 및 주파수 응답법 등이 사용되고 있다.[2][3][4]

NSE법은 진동모드의 영향을 우고유벡터의 정규화된 회전자 속도를 비교하여 PSS 위치를 선정하고 NSE의 크기가 가장 큰 발전기에 PSS를 설치하여 최대의 제동 효과를 얻는 방법이며 SPF법은 진동모드에 대한 상태변수의 상대적인 참여도를 나타내므로 SPF가 가장 큰 발전기에 PSS를 설치하는 것이 진동모드의 제동특성을 최대로 얻을 수 있는 방법이다. 그러나 NSE법과 SPF법은 발전기의 입력행렬을 고려하지 않고 상태행렬만을 고려하기 때문에 PSS에 대한 제어효과를 정확히 반영할 수 없다는 단점이 있다. PSS가 설치되는 페루프의 고유치 변화는 TFR의 크기에 비례하므로 TFR법은 진동모드의 고유치를 좌반평면의 안정영역으로 이동시키기 위한 지표로 활용될 수 있지만 TFR이 여자기 이득에

하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} VT &= I \text{ 또는 } V = T^{-1} \\ T &= [t_1, t_2, \dots, t_n] \\ V &= [v_1^T, v_2^T, \dots, v_n^T]^T \end{aligned} \quad (1.8)$$

식 (1.1)의 상태방정식을 대각화 하기 위하여 새로운 변수  $z(t)$ 를 도입하면

$$x = Tz \quad (1.9)$$

$$\dot{z} = T^{-1}ATz + T^{-1}Bu = \Lambda z + B'u \quad (1.10)$$

$$y = CTz + Du = C'z + Du$$

여기서,

$$\begin{aligned} \Lambda &= T^{-1}AT : \text{Diagonal matrix} \\ B' &= T^{-1}B : \text{Controllability matrix} \\ C' &= CT : \text{Observability matrix} \end{aligned}$$

식 (1.10)에서 입력이 존재하지 않으면

$$\dot{z} = \Lambda z \text{ 또는 } \dot{z}_i(t) = \lambda_i z_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1.11)$$

윗식을 시간함수로 표현하면

$$z_i(t) = e^{\lambda_i t} z_i(0) \quad (1.12)$$

여기서,  $z_i(0)$ 는  $z_i$ 의 초기값이다.

식 (1.9)로부터 상태벡터에 대한 응답은

$$\Delta x(t) = Tz(t) = \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ \vdots \\ z_n(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

식 (1.12)과 식 (1.13)로부터 식 (1.14)을 얻을 수 있다.

$$x(t) = \sum_{i=1}^n t_i z_i(0) e^{\lambda_i t} \quad (1.14)$$

식(1.13)에서  $t=0$ 일 때  $z_i(0) = v_i x(0) = k_i$ 이므로 식 (1.14)는

$$x(t) = \sum_{i=1}^n k_i t_i e^{\lambda_i t} \quad (1.15)$$

따라서  $i_{th}$ 상태변수에 대한 시간응답은 다음과 같다.

$$x_i(t) = k_1 t_{i1} e^{\lambda_1 t} + k_2 t_{i2} e^{\lambda_2 t} + \dots + k_n t_{in} e^{\lambda_n t} \quad (1.16)$$

### 3. PSS 위치선정 방법

#### 3.1 NSE법 및 SPF법

우고유벡터는 진동모드에 대하여 상태변수의 상대적인 동작(Mode Shape)을 나타낸다. 즉,  $i_{th}$ 진동모드에서 상태변수  $x_k$ 의 동작은 우고유벡터( $t_i$ )의  $k_{th}$ 성분인  $t_{ki}$ 에 의해서 결정된다. 이에반하여 좌고유벡터( $v_i$ )는  $i_{th}$ 진동모드에서 나타나는 상태변수의 결합력을 보여준다. 따라서 우고유벡터  $t_{ki}$ 는  $i_{th}$ 모드에서 상태변수  $x_k$ 의 동작을 의미하고 좌고유벡터  $v_{ik}$ 는  $i_{th}$ 모드에 대한 동작의 기여도를 의미한다.

미소신호안정도 해석에서는 회전자 속도의 변화가 가장 중요한 요소이므로 각각의 발전기에 대한 특정모드의 영향력이 우고유벡터 요소중에서 각 발전기의 정규화된 회전자 속도에 해당하는 우고유벡터의 크기로 표현된다.

이러한 우고유벡터의 크기를 비교하여 PSS의 위치를 결정하는 NSE법은 NSE의 크기가 가장 큰 발전기에 PSS를 설치하는 방법이다.

SPF법으로 PSS의 위치를 결정하기 위해서는 상태행렬 요소중에서  $k_{th}$ 행과  $j_{th}$ 열 요소인  $a_{kj}$ 에 대하여 식 (1.5)를 편미분 한다.

$$\frac{\partial \Delta}{\partial a_{kj}} t_i + \Delta \frac{\partial t_i}{\partial a_{kj}} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kj}} t_i + \lambda_i \frac{\partial t_i}{\partial a_{kj}} \quad (1.17)$$

위의 식 (1.17)의 양변에 좌고유벡터를 곱하여 간략화하면

$$v_i \frac{\partial \Delta}{\partial a_{kj}} t_i = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kj}} \quad (1.18)$$

여기서,

$$\frac{\partial \Delta}{\partial a_{kj}} \text{의 } k_{th} \text{행과 } j_{th} \text{열 요소는 1이고 그외의 요소는}$$

영이 되므로 고유치  $\lambda_i$ 에 대하여 식 (1.19)과 같이 고유치 감도로 표현된다.

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kj}} = v_{ik} t_{ji} \quad (1.19)$$

즉, 상태행렬의  $a_{kj}$ 요소에 대한 고유치  $\lambda_i$ 의 감도는 좌/우 고유벡터의 곱으로 표현될 수 있으며  $i_{th}$ 모드에 대한 참여율  $p_i$ 는 식 (1.20)과 같다.

$$p_i = \begin{bmatrix} p_{i1} \\ p_{i2} \\ \vdots \\ p_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{i1} v_{i1} \\ t_{i2} v_{i2} \\ \vdots \\ t_{in} v_{in} \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

참여율  $p_{ni}$ 는  $i_{th}$ 모드에 대한  $n_{th}$ 상태변수의 상대적인 참여도를 나타내며 또한 상태행렬의 대각요소인  $a_{mm}$ 에 대한 고유치  $\lambda_i$ 의 감도를 나타낸다. 따라서 SPF가 가장 큰 발전기에 PSS를 설치하는 것이  $i_{th}$ 모드의 제동특성을 가장 크게 향상시킬 수 있다.

그러나 SPF법은 진동모드에 대하여 가장 큰 영향을 주는 상태변수를 판별할 수 있고 진동모드에 관련된 상태변수가 하나 이상일 경우에 우고유벡터로 판별할 수 없는 문제점을 해결하는 장점이 있지만 NSE법과 SPF법은 발전기의 입력행렬을 고려하지 않고 상태행렬만을 고려하기 때문에 PSS에 대한 제어효과를 정확히 반영할 수 없다는 단점이 있다.[2][3][4][6]

#### 3.2 TFR법 및 주파수 응답법

전달함수를 이용하여 PSS의 최적위치를 선정을 하기 위해서는 식 (1.1)을 Laplace 변환하여 전달함수를 구하고 이를 임/출력에 관하여 해를 구하자.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (sI - A)^{-1} B \bar{u} \\ y &= [C(sI - A)^{-1} B + D] \bar{u} = G(s) \bar{u} \end{aligned} \quad (1.21)$$

여기서,  $G(s)$ 는 전달함수이며 전달함수의 극점은 상태행렬의 고유치와 동일하다.

전달함수를 부분분수로 확장하면 식(1.22)와 같으며 이를 전달함수로 표현하면 식 (1.23)과 같다.

$$\frac{\bar{y}}{\bar{u}} = R_0 + \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{s - \lambda_i} \quad (1.22)$$

여기서,  $R_i = \lim_{s \rightarrow \lambda_i} (s - \lambda_i) G(s)$

$$G(s) = \frac{\bar{y}}{u} = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{Ct_i v_i B}{s - \lambda_i} + D \right] \quad (1.23)$$

식 (1.23)로부터 유수(Residue)를 계산하면

$$R_i = \lim_{s \rightarrow \lambda_i} (s - \lambda_i) G(s) = (Ct_i) (v_i B) \quad (1.24)$$

$R_i$ 는  $i_{th}$  고유치와 관련한 유수이며 이와같은 TFR은 진동모드의 고유치를 좌반평면의 안정영역으로 이동시키기 위한 지표로 활용될 수 있기 때문에 TFR이 가장 큰 발전기 PSS를 설치하는 것이 바람직하지만 여자기 이득에 민감하여 신뢰도가 저하되는 경우가 발생할 수 있다. 주파수 응답법은 전달함수의 주파수 응답의 크기가 임의의 주파수 대역에서 크면 발전기는 그러한 주파수 대역의 진동모드에 제동효과가 크다는 것을 나타낸다. 그러나 이와같은 주파수 응답법은 정량적인 평가가 어렵다는 단점을 갖고 있다. (2)(3)(4)(6)

#### 4. Sample 계통에 대한 PSS 적용

그림 4.1은 Two-area의 Sample 계통으로 동일한 발전기 모델과 속응형 여자기 모델로 구성되었으며 Area 1에서 Area 2로 약 401MW의 전력을 공급하고 있으며 부하는 Area 1과 Area 2에 각각 970MW와 1770MW이다. Sample 계통은 표 4.1과 같이 0.63Hz의 광역모드와 1.15Hz와 1.17Hz의 지역모드를 갖는 3개의 전기기계적 진동모드가 존재하고 있다.

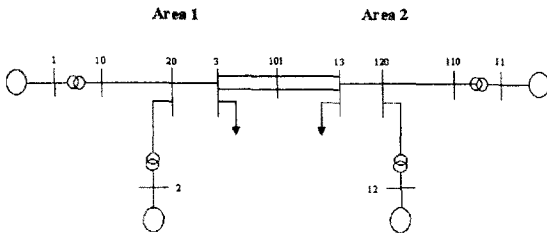


그림 4.1 Two-area sample system

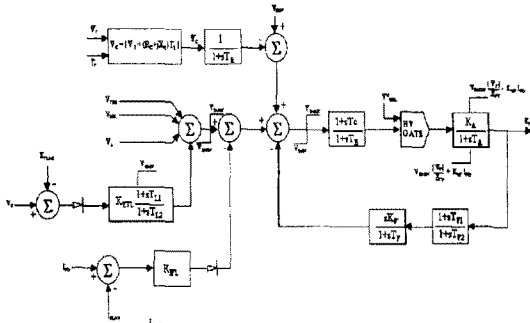


그림 4.2 여자기 모델

표 4.1 Sample 계통의 전기기계적 진동모드

Mode	고유치	주파수	제동비	SPR	비고
2	-0.0477+j3.9754	0.6327Hz	0.0120	0.9274	광역모드
5	-0.5839+j7.1967	1.1454Hz	0.0809	0.6006	지역모드
7	-0.5882+j7.3564	1.1708Hz	0.0797	0.6051	지역모드

따라서 각각의 진동모드에 대하여 PSS를 설치하기 위한 NSE 및 SPF법의 결과는 표 4.2와 같으며 광역모드에 대해서는 NSE와 SPF의 크기가 Gen 1, Gen

11, Gen 12, Gen 2 순위로 나타났고 Area 1의 지역모드 경우에는 Gen 2, Gen 1, Area 2의 지역모드에서는 Gen 12, Gen 11의 순위로 나타났다. SPF법은 상태행렬에서 대각행렬 요소의 변화에 대한 고유치 감도를 나타내므로 관심모드에 대하여 효과적으로 제어하기 위한 PSS의 설치점을 제공해준다.

표 4.2 진동모드에 대한 NSE 및 SPF 크기

Mode 2			Mode 5			Mode 7		
:-0.0477+j3.9754			:-0.5839+j7.1967			:-0.5882+j7.3564		
Gen.	NSE	SPF	Gen.	NSE	SPF	Gen.	NSE	SPF
Gen. 1	1.0000	0.9997	Gen. 1	0.9473	0.8513	Gen. 1	0.2933	0.0499
Gen. 2	0.6920	0.6182	Gen. 2	1.0000	1.0000	Gen. 2	0.3512	0.0906
Gen.11	0.9919	0.9639	Gen.11	0.2569	0.0957	Gen.11	0.9317	0.8500
Gen.12	0.9124	0.8404	Gen.12	0.1820	0.0506	Gen.12	1.0000	1.0000

표 4.3에서는 입력 ( $V_{ref}$ )과 출력 ( $\omega$ ) 사이의 전달 함수에 대한 유수의 크기를 보여주고 있으며 광역모드에 대한 유수는 4.7984이며 지역모드 5에 대한 유수는 Area 1의 Gen 2에서 24.9484이고 지역모드 7에 대한 유수는 26.2293으로 나타났다. 이러한 결과는 Area 1과 Area 2의 발전기들이 동일한 모델이지만 Area에 따라 서로 다른 발전기 관성으로부터 기인한다. 즉, 하나의 Area에 설치된 PSS가 다른 Area의 지역모드에 대한 제동효과가 작음을 나타낸다. 표 4.3의 결과는 각각의 진동모드에 대하여 PSS를 어느 발전기에 설치하는 경우에 가장 효과적인가를 보여주고 있으며 유수에 의한 최적위치는 Mode 2에 대해서는 Gen 1, Gen 2, Gen 12, Gen 11의 순위로 나타나 NSE법 및 SPF법과 다소 오차가 있었지만 Mode 5와 Mode 7의 경우에는 Gen 2와 Gen 12의 유수가 가장 크게 나타나고 있어 NSE법 및 SPF법의 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

표 4.3 입/출력 ( $V_{ref} / \omega$ )에 대한 유수

Gen.	Residue			Controlability Factor			Observability Factor		
	Mode2	Mode5	Mode7	Mode2	Mode5	Mode7	Mode2	Mode5	Mode7
Gen 1	4.7984	23.9296	1.3001	3.393	17.860	3.134	1.414	1.340	0.415
Gen 2	4.3157	24.9484	2.7799	4.409	17.640	5.597	0.979	1.414	0.497
Gen 11	3.3223	1.5400	26.2040	2.368	7.818	19.890	1.403	0.363	1.318
Gen 12	3.3276	1.1648	26.2293	2.579	4.526	18.550	1.290	0.258	1.414

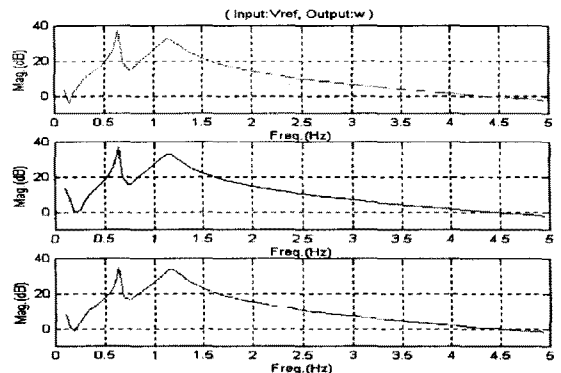


그림 4.3 Gen 1, Gen 2 및 Gen 12의 입/출력 대한 주파수 응답

그림 4.3은 NSE법, SPE법 및 TFR법에서 크기가 큰값으로 나타난 Gen 1, Gen 2, Gen 12에 대하여 여자기 입력을 입력으로 하고 발전기 회전자 속도를 출력으로 하는 전달함수의 주파수 응답을 보여준다. 광역모드 및 지역모드에 대하여 모든 발전기의 이득이 비슷하여 각 발전기에 PSS를 설치하면 유사한 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 주파수 응답에서 0.6Hz와 1.2Hz 부근에서 전달함수의 이득이 크기 때문에 이러한 주파수 대역의 진동모드를 개선하는데 효과적이라 할 수 있다.

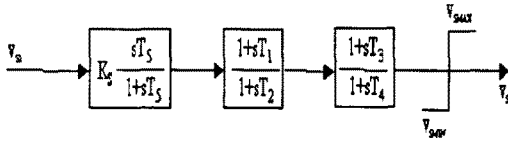


그림 4.4 PSS 모델(IEEE Type)

그림 4.4는 진동모드에 대하여 제동력을 향상시키기 위해서 사용된 IEEE Type의 PSS1A 모델이다. 표 4.4는 광역모드에 대해서 NSE법, SPF법 및 TFR법의 결과에 따라 PSS를 Gen 1에 설치하는 경우의 고유치 변화를 보여준다. 주파수가 0.64Hz에서 제동비를 PSS를 설치하여 약 4배 정도 개선하였으며 SPR의 측면에서는 0.9274에서 0.7586으로 상당량의 개선효과를 얻을 수 있었다. 지역모드의 경우에는 Gen 2와 Gen 12에 PSS를 설치하는 것이 가장 효과적으로 나타났으며 PSS 설치효과는 표 4.5와 표 4.6과 같으며 지역모드의 경우에서도 SPR이 0.7744와 0.8085로 개선됨을 보였다. 그러나 PSS를 발전기에 설치하여 제동력을 다소 향상시킬 수 있었지만 제동비가 0.1 이하로 나타나기 때문에 추가적인 PSS의 설치가 필요하다고 생각된다.

결론적으로 표 4.4 - 표 4.6은 NSE법, SPF법 및 TFR법의 위치선정 결과와 동일하게 Gen 1에 PSS를 적용하는 것이 진동모드에 가장 효과적임을 보여준다.

표 4.4 PSS가 Gen 1에 설치된 경우의 고유치 및 SPR (광역모드)

Mode	고유치	주파수	제동비	SPR
2	-0.1759 + j4.0000	0.6366 Hz	0.0439	0.7586
5	-0.5855 + j7.3478	1.1694 Hz	0.0794	0.6061
7	-1.3031 + j7.5962	1.2090 Hz	0.1691	0.3403

표 4.5 PSS가 Gen 2에 설치된 경우의 고유치 및 SPR (지역모드)

Mode	고유치	주파수	제동비	SPR
2	-0.1625 + j3.9943	0.6357 Hz	0.0406	0.7744
5	-0.5833 + j7.3397	1.1681 Hz	0.0792	0.6073
7	-1.3631 + j7.6727	1.2212 Hz	0.1749	0.3275

표 4.6 PSS가 Gen 12에 설치된 경우의 고유치 및 SPR (지역모드)

Mode	고유치	주파수	제동비	SPR
2	-0.1353 + j3.9994	0.6335 Hz	0.0338	0.8085
5	-0.5884 + j7.2010	1.1461 Hz	0.0814	0.5985
7	-1.3542 + j7.8016	1.2417 Hz	0.1710	0.3360

주파수 응답의 결과에 대해 고찰하면 PSS를 Gen 1

에 설치하는 경우에 광역모드에 대한 SPR이 위에서 고찰한 바와 같이 상당량의 개선이 되었다. 이에반하여 지역모드에 대하여 Gen 2와 Gen 12에 PSS를 설치하면 SPR은 0.6001에서 0.6073과 0.6051에서 0.3360으로 나타나므로 모드 5의 제동력을 향상시키기 위한 Gen 2에 PSS의 설치 효과는 거의 없었다. 결과적으로 전달함수의 크기가 특정 발전기에서 큰값으로 나타나지만 제동력이 개선되지 않고 있음을 보여주며 모드 7에서는 SPR이 크게 변하므로 Gen 12에 PSS를 설치하는 것이 보다 효과적이다.

표 4.7 PSS가 모든 발전기에 설치된 경우의 고유치 및 SPR 크기

Mode	고유치	주파수	제동비	SPR
2	-0.5273 + j3.9659	0.6312 Hz	0.1318	0.4337
5	-2.0296 + j8.1846	1.3026 Hz	0.2407	0.2105
7	-2.1093 + j8.4615	1.3467 Hz	0.2419	0.2088

## 5. 결론

PSS는 일반적으로 전기기계적 진동을 억제하는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있으며 이와같은 저주파 진동에 대하여 PSS를 도입하기 위해서는 PSS를 설치할 최적의 발전기 선정이 선행되어야 한다. 여기서는 소규모 계통에 대한 PSS 최적위치 선정 방법의 적용 가능성과 PSS 설치효과를 검증하기 위해 검토되었으며 PSS의 최적 설치점을 결정하기 위해서 NSE법, SPF법, TFR법 및 주파수 응답법을 사용하여 최적의 위치를 결정하였으며 PSS를 간단한 Sample 계통에 도입하여 계통의 제동력 향상을 도모하였다.

진동모드에 대하여 고유벡터의 정규화된 회전자 속도를 비교하는 NSE법과 상태행렬의 대각요소 변화에 대한 고유치의 감도를 제공하는 SPF법은 효과적인 제어가 가능한 PSS의 적절한 위치를 선정할 수 있었으며 TFR법은 진동모드의 고유치를 좌반평면의 안정영역으로 이동시키기 위한 지표로 활용될 수 있음을 확인하였고 주파수 응답법은 특정 주파수 대역에서 주파수 응답의 크기가 크면 그러한 주파수 대역의 진동모드의 제동에 효과적임을 보였다. 그러나 Sample 계통에 대하여 최적위치 선정방법으로 PSS를 투입하고 진동모드에 대하여 제동력 향상을 도모하였지만 뚜렷한 제동력 향상이 없었다. 이러한 결과는 Sample 계통에서 사용된 발전기, 여자기 및 PSS 모델이 모두 동일하기 때문이라 생각되기 때문에 대규모 계통에서 확대적용할 계획이다.

## [참고 문헌]

- [1] F.P. de Mello, P.J. Laskawski, and J.M. Undrill, "Coordinated Application of Stabilizers in Multimachine Power Systems" IEEE Trans. Vol. PAS-99, No. 3, 1980
- [2] M. Klein, G.J. Rogers, P. Kundur, "A Fundamental Study of Inter-area Oscillations in Power Systems", IEEE Trans. Vol. 6, No. 3, 1991
- [3] P.Kundur, M.Klein, G.J. Rogers, "Applications of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability", IEEE Trans. Vol. 4, No. 2, 1989
- [4] M.Klein, G.J. Rogers, S. Moorthy, P. Kundur, "Analytical Investigation of Factors Influencing Power System Stabilizers Performance", IEEE Trans. Vol. 7, No. 3, 1992
- [5] E.V. Lasen, D.A. Swann, "Applying Power System Stabilizers Part I: General Concepts", IEEE Trans. Vol. PAS-100, No. 6, 1981
- [6] P.K. Kundur, G.J. Rogers, D.Y. Wong, S. Arabi, L. Wang, Small Signal Stability Analysis Program Ver3.1, Volume 2: User's Manual, EPRI, 1994