

# 다기 전력 시스템 동적 안정도 향상을 위한 분산 제어 기반 PSS 및 TCSC 제어기 설계

論 文

50A-1-3

## Decentralized Controller Design of PSS and TCSC to Enhance Multi-Machine Power System Dynamic Stability

李昇哲\* · 徐張哲\*\* · 文承逸\*\*\* · 朴鍾根.‡

(Seung-Cheol Lee · Jang-Cheol Seo · Seung-Il Moon · Jong-Keun Park)

**Abstract** - This paper deals with decentralized control scheme and its application to multi-machine power systems. Decentralized control scheme has several practical advantages, because power system has geographically distributed characteristics. In this paper, decentralized observer-based optimal Power System Stabilizer(PSS) and Thyristor-Controlled Series Capacitor(TCSC) controller are designed and tested in WSCC 9 bus system with one TCSC installed. Simulation results show that the proposed decentralized controller has satisfactory performances comparable to the centralized controller. In addition, using modal analysis, this paper shows that the proposed decentralized controller significantly affects only one pair of eigenvalues which have high participation with each generator, while slightly affects other eigenvalues. This result indicates that the application of the decentralized control scheme to enhance power system dynamic stability via excitation control have potential advantages because each low-damped mode occurs dominantly by each decentralized subsystem.

**Key Words** : Power System Stabilizer(PSS), Power System Dynamic Stability, Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC), Decentralized control, modal analysis

### 1. 서 론

전력 시스템은 대표적인 대규모 시스템으로서 넓은 지역에 분포하고 있다는 지리적인 특성을 지니고 있다. 이러한 전력 시스템의 대규모성과 지역적인 특성으로 인해 전력 시스템을 효과적으로 안정화하기 위해서는 시스템에 투입되어 있는 발전기들의 상호 영향에 대한 정보가 필요하므로, 원거리 통신망의 구축과 많은 정보를 처리해야 하는 고성능 하드웨어를 필요로 하지만, 이러한 부가적인 시스템은 전력 시스템 구축에 필요한 비용을 증가시키게 되어 경제성에 문제가 있을 수 있다. 특히, FACTS (Flexible AC Transmission System)와 같은 송전 설비들이 투입되는 경우를 상정해 볼 때, 전력 시스템의 지리적인 특성은 한층 강화되리라고 본다. 이러한 대규모 시스템의 실제적인 문제점을 고려한 제어 이론으로서 분산 제어 이론이 최근 들어 더 큰 주목을 받고 있는데[1], 분산 제어 이론은 대규모 시스템에 존재할 수 있는 현실적인 제약을 고려하여 대상 시스템의 입출력 구조를 분산화하여 각 제어기들이 각 제어기만의 입출력 구조를 이용하여 제어하는 기법[3,6,7,8]으로서, 전력 시스템 안

정화와 같은 실제 문제에 적용하기 위한 관점에서 보면 높은 유용성을 가진다[2, 3]. 이러한 분산 제어 이론의 전력 시스템의 적용은 초기 단계로서, 아직은 소수의 연구 논문이 발표되고 있는 상태이지만[1, 4, 5], 분산 제어 이론이 가지는 효용성을 고려할 때 전력 시스템 제어 분야의 연구자들에 의한 분산 제어 적용에 대한 연구가 활발히 이루어질 것으로 예상된다. 본 논문에서는 1기의 TCSC (Thyristor-Controlled Series Capacitor)가 장착된 WSCC (Western System Coordinating Council) 3기 9모선 시스템을 대상으로 하여, 시스템의 특성을 고려하여 제어 채널을 분산화하고, 발전기에 장착된 여자기와 TCSC를 제어함으로써, 전력 시스템의 동적 안정도를 향상하여 저주파 진동을 감쇄하는 분산 제어기 설계 및 다기 계통에의 적용을 다루고 있다. 또한 기존의 분산 제어 연구 성과[1, 4, 5]에서 고려하지 못했던 분산화된 제어 채널을 통한 시스템 안정화 여부, 또는 분산 제어기의 존재 여부와 설계된 분산 제어기들을 모드 해석(modal analysis)을 이용하여 해석한 사례 연구를 통해서 분산 제어 기법의 전력 시스템 적용에 관련된 문제들에 대한 논의와 해결 방안의 한 예를 제시하고자 한다.

### 2. 관측기 기반 분산 제어

#### 2.1 분산 제어 문제

분산 제어는 일반적으로 다음의 세 가지 규칙을 만족시

\* 正會員 : 서울대工大 電氣工學部 博士課程

\*\* 正會員 : LG 산전·工博

\*\*\* 正會員 : 서울대工大 電氣工學部 助教授·工博

‡ 正會員 : 서울대工大 電氣工學部 教授·工博

接受日字 : 2000年 6月 28日

最終完了 : 2001年 1月 10日

키는 제어 방법으로 이해될 수 있다[3].

- i) 시스템에 다수의 제어기가 존재한다.
- ii) 각 제어기가 측정할 수 있는 출력값에 다른 제어기들은 접근할 수 없다.
- iii) 각 제어기는 다른 제어기가 결정한 제어 입력 신호에 접근할 수 없다.

위 규칙에 의하면 분산 제어는 전체 시스템들을 이루고 있는 각 부시스템들은 서로 상호작용을 하지만, 각 제어기들은 서로의 입출력을 알지 못하는 상태, 즉, 전체 시스템에 장착된 다수 제어기의 입출력 구조가 분산화되어 있는 상태에서 전체 시스템을 제어하는 것으로 해석할 수 있다. 전체 시스템에 두 개의 제어 채널이 있는 경우에 분산 제어 방식과 집중 제어 방식의 개념적인 다이어그램을 그림 1이 보여주고 있다.

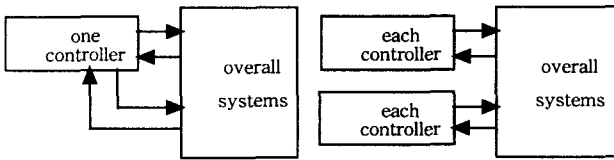


그림 1 제어 채널이 두 개인 시스템의 집중 제어 방식과 분산 제어 방식의 개념도

Fig. 1 Conceptual diagram of centralized vs. decentralized control scheme

2.2 분산 제어 문제의 정식화

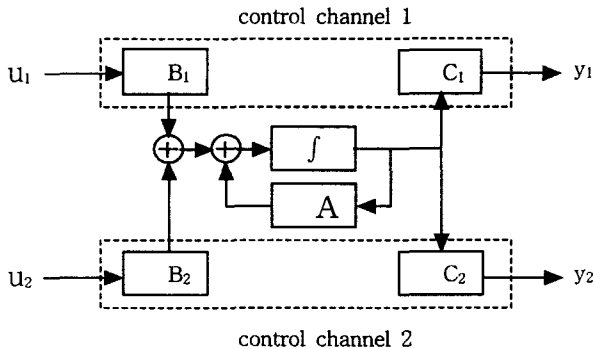


그림 2 두 개의 제어 채널을 가진 선형 분산 시스템  
Fig. 2 Decentralized linear system having two control channels

전체 시스템이  $n$ 개의 상태변수와  $l$ 개의 제어 채널을 가지는 시불변 선형 시스템이라고 하면, 분산 제어 문제에서 시스템을 기술하는 식은 다음과 같다.

$$\dot{x} = Ax + \sum_{i=1}^l B_i u_i \tag{1}$$

$$y_i = C_i x + \sum_{j=1}^l D_{ij} u_j \quad i=1, \dots, l \tag{2}$$

여기서  $x \in R^n, u_i \in R^{m_i}$  and  $y_i \in R^{p_i}$

그리고, 시스템의 입력값과 출력값의 총수는 각각 다음 식과 같다.

$$m = \sum_{i=1}^l m_i, \quad p = \sum_{i=1}^l p_i \tag{3}$$

제어 채널이 2개인 경우 식 (1)~(3)으로 표현되는 분산 제어 문제는 그림 2와 같은 블록선도로 표현할 수 있다. 그림 2에서 분산 제어 개념은 제어 채널 1의 제어 입력  $u_1$ 은 제어 채널 1의 출력  $y_1$ 에 의해서만 결정되며, 제어 채널 2의 제어 입력  $u_2$ 은 제어 채널 2의 출력  $y_2$ 에 의해서만 결정된다고 설명할 수 있다.

2.3 관측기 기반 분산 제어 알고리즘

집중 제어인 경우 시스템이 관측 가능하다면 관측기를 이용하여 모든 상태변수에 대한 정보를 얻을 수 있고, 시스템이 제어 가능하다면 관측기에서 구성한 상태변수를 이용하여 전체 시스템의 안정화가 가능하게 된다.

분산 제어인 경우에는 각 제어 채널에 장착되어 있는 제어기는 다른 제어 채널의 출력값에는 접근할 수 없고, 각 제어 채널의 출력값만을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 각 분산 제어기는 시스템의 모든 모드를 제어할 수 없고, 일부 모드에만 영향을 미칠 수 있다. 이러한 상황에서 각 제어 채널의 관측기는 각 제어 채널의 출력값에서부터 재구성할 수 있는 모드를 관측해내고, 분산 제어기는 관측기가 재구성해 낸 모드 중 영향을 미칠 수 있는 모드를 제어한다는 개념을 바탕으로 해서 집중 제어기의 역할을 각 분산 제어기로 배분하여 분산 관측기와 제어기를 설계하는 방법이 관측기 기반 분산 제어 방법이다[3].

Algorithm 2.3 (관측기에 기반한 분산 제어기 설계)

Step 1. 모든 상태변수 값을 사용할 수 있다는 가정 하에서 각 제어기가 필요한 성능을 만족하는 이득  $F_i$ 를 결정한다. 그러면 분산화된 구조를 가지는 시스템은 다음과 같은 식으로 기술할 수 있다.

$$\dot{x} = (A - \sum_{i=1}^l B_i F_i)x = A_F x \tag{4}$$

위 식은 각 제어기가 제어 노력을 분담해서 전체 시스템의 모드에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

Step 2. Step 1에서 설계한 제어기에서 필요한 전체 상태 변수 값에 대한 정보를 얻기 위해서 관측기를 설계해야 한다. 관측기는 다음과 같은  $A_F$  행렬에서 안정도를 판별할 수 있으며, 안정하면서도 적절한 시정수를 가지도록 설계되어야 한다.

$$A_H = (\bar{A} - H\bar{C}) \quad (5)$$

여기서

$$H = \text{diag}(H_1, \dots, H_l), \quad \bar{C} = \text{diag}(C_1, \dots, C_l)$$

여기서  $F_k$ 는 각 제어기의 이득이고,  $H_i$ 는 각 관측기의 이득

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A - \sum_{k=2}^l B_k F_k & B_2 F_2 & \dots & B_l F_l \\ B_1 F_1 & A - \sum_{k=1, k \neq 2}^l B_k F_k & \dots & B_l F_l \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_1 F_1 & B_2 F_2 & \dots & A - \sum_{k=1}^l B_k F_k \end{bmatrix}$$

Step3. 제어기와 관측기를 설계한 다음에는 이를 이용하여 전체 시스템을 다음과 같은 제어 규칙에 의해서 실현한다.

$$u_j = -F_j \hat{x}_j \quad (6)$$

$$\dot{\hat{x}}_j = (A - \sum_{k=1}^l B_k F_k) \hat{x}_j + H_j (y_j - C_j \hat{x}_j) \quad (7)$$

식 (6), (7)에서 각 제어기는 각 제어 채널의 출력값  $y_j$ 만을 이용하여 제어입력을 결정하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 전력 시스템 모델링

#### 3.1 발전기 모델링

전력 시스템의 회전자 각 안정도 문제를 다루기 위해서는 전력 시스템을 기술하는 식이 비교적 짧은 시간 영역에서의 동특성을 기술할 수 있어야 하므로 비교적 자세한 발전기 동특성식이 필요하게 된다. 일반적으로 발전기를 기술하는 식은 Park's 변환을 이용한 d-q 모델을 사용하며, 식의 차수는 모델링의 목적에 따라서 여러 차수가 존재하는데, 본 논문에서는 이른바 2축 모델이라고 불리는 발전기 기술 모델을 사용하였다[12]. 이 모델에서 발전기의 전기적인 특성은 2차의 미분 방정식으로 표현되며, 발전기의 기계적인 특성을 나타내는 2차의 비선형 미분 방정식인 동요 방정식을 포함하여 4차의 모델이 된다.

$$\tau_{d0}' \dot{E}_d' = -E_d' - (x_d - x') I_q \quad (8)$$

$$\tau_{d0}' \dot{E}_q' = E_{fd} - E_q' + (x_d - x') I_d \quad (9)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \dot{\omega} = T_m - D\omega - T_e \quad (10)$$

$$\dot{\delta} = \omega - \omega_s \quad (11)$$

$$\text{여기서 } T_e = E_d' I_d + E_q' I_q \quad (12)$$

발전기 수가  $n$ 개인 시스템이라면 변수는 모두  $6n$ 개인데, 식은  $4n$ 개이므로 위 변수를 결정하기 위해서는  $2n$ 개의 부가 방정식이 필요하다. 이  $2n$ 개의 부가방정식은 계통의 전압, 전류 관계식과 Y bus 행렬에서부터 도출된다. 계통을 기술하는 식은 대수방정식인데, 위에서 발전기를 기술하는 미분 방정식과 함께 DAE(Differential Algebraic Equations)라고 불린다.

$$E_{dq} = V_{dq} + jx_d' I_{dq} \quad (13)$$

$$I_{DQ} = Y_{reduced} V_{DQ} \quad (14)$$

$$\text{여기서 } x_d' = \text{diag}(x_{d1}', x_{d2}', \dots, x_{dn}') \quad (15)$$

$n$ 은 발전기수

위 식에서 dq 첨자는 각 발전기의 Park's 변환에 의함을 나타내고, DQ 첨자는 시스템 전체의 기준점으로 변환했음을 의미한다[12].

#### 3.2 여자기 모델링

여자기는 빠른 동특성을 가지고 있으며, 이를 통해서 전압의 변동을 제어하는 역할을 하는데, 여자기에 부가적인 제어 신호를 이용함으로써 저주파 진동을 억제하여 전력 시스템의 소신호 안정도를 향상시킬 수 있음이 알려짐으로써 [10]. PSS에 대한 연구가 본격화되었다. 여자기에는 다양한 모델들이 있는데, 본 논문에서는 빠른 응답을 가지는 여자기를 가정하여 간략화된 모델인 다음과 같은 1차 모델을 이용하였다[12].

$$T_E \dot{E}_{fd}' = K_E (V_{ref} - V_t) - E_{fd}', \quad E_{fd_{min}} \leq E_{fd}' \leq E_{fd_{max}} \quad (16)$$

#### 3.3 TCSC 모델링

FACTS 기기 중 하나인 TCSC는 사이리스터의 점호각을 조절함으로써 TCSC의 등가 임피던스를 변화시킬 수 있는 특성을 가지고 있다. 정상상태시에는 송전선에 직렬로 투입되어 송전선의 유도성 리액턴스를 보상함으로써 송전 용량 증대 등의 목적을 달성할 수 있으며, 시스템에 외란이 생겨 시스템이 저주파 진동을 하는 경우, 임피던스 값을 제어함으로써 시스템에 부가적인 댐핑을 가할 수 있는 기능도 가지고 있다[9]. TCSC의 모델링은 해석하고자 하는 목적에 따라 여러 모델이 존재하는데[9], 본 논문에서는 임피던스률 상태변수로 하는 다음 식을 사용하였다.

$$T_{TCSC} \dot{X}_{TCSC} = -X_{TCSC} + T_{TCSC} K_{TCSC} X_{ref} \quad (17)$$

$$X_{min} \leq X_{TCSC} \leq X_{max}$$

4. 사례 연구

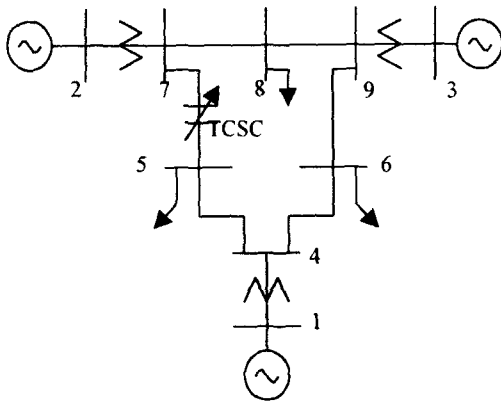


그림 3 1기의 TCSC가 장착된 WSCC 3기 9모선 시스템  
 Fig. 3 1 TCSC installed WSCC 3 generator 9 bus system

본 논문에서는 전 절에서 설명한 분산 제어 이론을 WSCC 3기 9모선 시스템[12]에 1개의 TCSC를 장착하여 적용해 보았다. 분산 제어기 설계는 크게 두 과정으로 나누어 지는데[3], 첫 번째 과정은 제어 채널을 설정하는 과정이다. 즉, 시스템을 어떻게 분산화할 것인가의 문제인데, 전력 시스템의 경우에는 각 발전기들이 대체로 멀리 떨어져 있는 경우가 많으며, TCSC와 같은 FACTS 기기도 일반적으로 발전기와 멀리 떨어져 설치될 경우가 많으므로 각 발전기, 각 FACTS 기기별로 분산화시키는 것이 전력 시스템의 지리적인 특성을 감안한 분산화 방법이 될 것이다.

분산 제어기 설계의 두 번째 과정은 위와 같이 선택된 입출력 구조 하에서 분산 제어기의 이득을 구하고, 제어기를 실현하는 것이다. 그림 3은 WSCC 3기 9모선 시스템에 1기의 TCSC가 장착된 시스템으로서, 부하 모델은 본 논문에서는 비교적 짧은 시간 영역에 관심을 가지고 있으므로 파워 플로 해석에서부터 나온 결과를 가지고 이들 부하를 정입파던스로 치환하여 시스템의 Y 모선 행렬에 포함시켜 수식화 하였다[12].

시스템 시뮬레이션은 두 가지의 외란을 가정하였는데, 비교적 작은 외란으로서 각 발전기의 기계적 입력이 2주기 동안 0.2 pu만큼 상승한 경우와 비교적 큰 외란으로서 4번 모선 근처에서 3상 지락 사고가 2 주기동안 발생한 경우에 대해서 시뮬레이션해서 제어기의 성능을 평가하였다. 제어기가 장착되지 않은 경우, 집중 제어기가 장착된 경우, 분산 제어기가 장착된 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 보면, 분산 제어 방식을 이용한 경우에도 집중 제어 방식과 거의 대등한 성능을 보이고 있다.

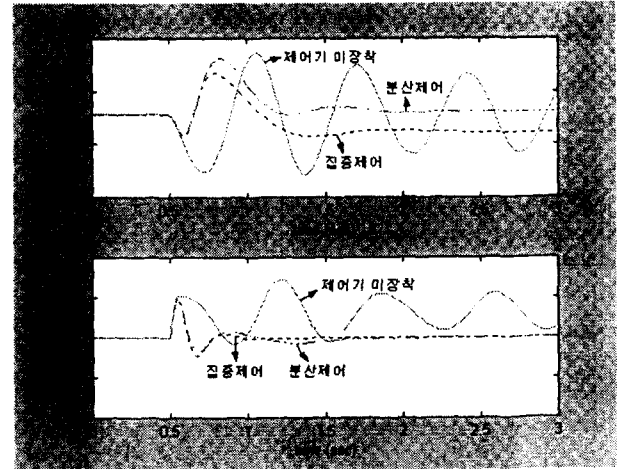


그림 4 각 발전기의 기계적 입력이 2주기 동안 0.2pu만큼 상승했을 때 발전기 1번, 2번 사이의 회전자 각과 2번 발전기의 회전자 각속도

Fig. 4 Rotor angle between generator #1 and generator #2, generator #2 rotor angular velocity of which disturbance is two cycle 0.2pu increase of mechanical torque

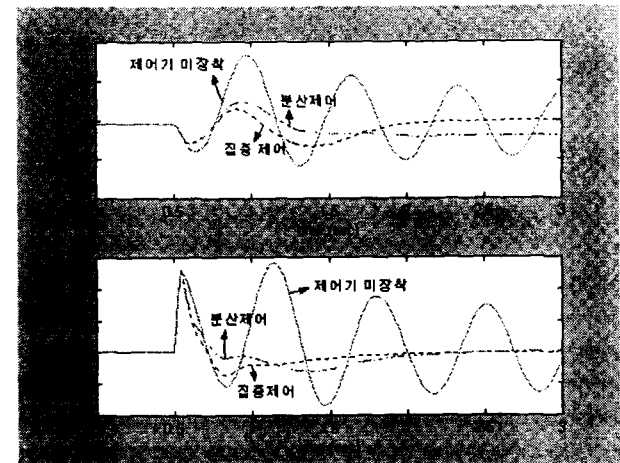


그림 5 4번 모선 부근에서 2주기 동안 3상 단락 사고가 발생한 경우 발전기 1번, 2번 사이의 회전자 각과 발전기 2번의 회전자 각속도

Fig. 5 Rotor angle between generator 1 and 2, and rotor angular velocity of generator 2 of which disturbance is 2-cycle 3-phase short near bus 4

5. 모드 해석법을 이용한 분산 제어기의 해석

본 논문에서 설계한 분산 제어기의 효과를 평가하기 위해 해석 모드 해석(modal analysis)을 이용한다. 먼저 상태변수와 고유값과의 연관성을 평가할 수 있는 지표를 주는 참여도 지수(participation factor)는 다음과 같이 정의된다[12].

$$p_{ki} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kk}} \quad (18)$$

위 식은 우측 고유벡터(right eigenvector)와 좌측 고유벡터(left eigenvector)의 곱으로 표현할 수 있다[12].

$$p_{ki} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kk}} = \frac{w_{ki} v_{ik}}{w_i^t v_i} \quad (19)$$

위 식에서  $w_i$ 는 대응되는 고유값의 좌측 고유벡터이고,  $v_i$ 는 우측 고유벡터이고,  $w_{ki}$ ,  $v_{ik}$ 는 각각  $k$ 번째 원소를 의미한다.

본 논문에서는 분산 제어가 시스템에 미치는 영향을 평가하여 분산 제어기의 동작을 알아보기 위해서 각각의 분산 제어가 시스템에 장착되었을 때 시스템의 고유값에 미치는 영향을 해석했다.

표 1은 대상 시스템에 제어가 투입되어 있지 않은 경우의 고유값과 이에 대응되는 참여도 값을 계산하여 가장 큰 값을 갖는 상태변수와 참여도 값을 보여주고 있다. 저댐핑 진동 모드는 공액으로 3개가 존재하는데, 1, 2, 3번 발전기 모두에 의해서 발생함을 알 수 있다.

표 2는 분산 제어가 2번 발전기에만 투입되어 있는 경우에 대해서 표 1과 동일한 방식으로 고유값, 참여도 지수, 대응 상태변수를 보여주고 있다. 표 2의 결과에서 2번 발전기와 연관되어 있는 고유값의 댐핑이 크게 증가한 반면, 다른 발전기와 연관성이 큰, 즉, 2번 발전기와 연관성이 작은 고유값에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있는데, 이는 분산 제어가 각자가 제어할 수 있는 고유값, 특히 각 발전기에 의해서 생긴 저댐핑 고유값을 크게 변화시킴으로써 전체 시스템의 안정화를 달성하고 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다. 이런 결과는 발전기 1, 발전기 3에 분산 제어가 장착되었을 때에도 확인해 볼 수 있는데, 이를 통해서 본 논문에서 제안된 분산 제어기는 각 제어가 자기가 제어하고자 하는 발전기와 참여도 지수가 높은, 즉, 극 배치(pole assignment)를 변화시킬 수 있는 제어성이 높은 고유값에 대해서만 제어를 하고 있으며, 참여도 지수가 낮은 고유값에는 큰 영향을 미치지 않고 있다. 이러한 해석을 통해서 분산 제어기는 집중 제어기의 역할을 나누어서 자신이 변화시킬 수 있는 모드에 대해서 제어하고 있으며, 이를 분산화된 제어 채널을 통해서 달성하고 있음을 알 수 있다.

표 1 제어가 투입되지 않은 WSCC 시스템의 고유값과 대응되는 상태변수 중 참여도 지수가 가장 큰 상태변수와 참여도 지수

Table 1 Eigenvalues, maximum associated participation factor and state variable when no controller is installed to WSCC system

Participation Factors	Associated State Variables	Associated Eigenvalues
0.46	Efd1	-47.67
0.50	Efd1	-48.57
0.56	Efd3	-48.94
0.38	W3	-0.8791 + j13.1417
0.38	W3	-0.8791 - j13.1417
0.30	Del2	-0.3079 + j9.1490
0.30	Del2	-0.3079 - j9.1490
0.46	Eq2	-6.88
0.19	Eq2	-3.83
0.31	Ed1	-3.1822 + j0.4080
0.31	Ed1	-3.1822 - j0.4080
0.35	W1	0.00
0.35	Del1	0.00
0.40	Ed1	-1.31
0.61	Ed3	-0.76
1.00	X_TCSC	-10.00

표 2 2번 발전기에 분산 제어가 투입된 경우의 고유값과 대응되는 상태변수 중 참여도 지수가 가장 큰 상태변수와 참여도 지수

Table 2 Eigenvalues, maximum associated participation factor and state variable when decentralized controller is installed to generator 2

Participation Factor	Associated State Variables	Associated Eigenvalues
0.46	Ed2	-25.8968 + j37.1046
0.46	Ed2	-25.8968 - j37.1046
0.40	Efd2	-59.25
0.57	Efd1	-47.86
0.59	Efd3	-48.64
0.41	W3	-0.7893 + j11.8538
0.41	W3	-0.7893 - j11.8538
0.49	Eq3	-6.92
0.34	Del1	-0.5516 + j2.4892
0.34	Del1	-0.5516 - j2.4892
0.52	Eq2	-4.16
0.91	Eq1	-3.25
0.66	Ed1	-1.83
0.50	W2	-2.19
0.79	Ed3	-0.73
1.00	X_TCSC	-10.00

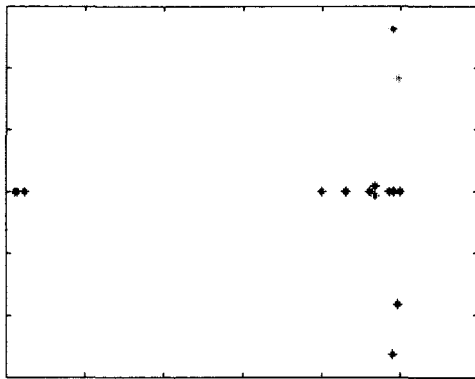


그림 6 제어기가 투입되지 않은 상태의 WSCC 시스템의 고유값

Fig. 6 Eigenvalues of non-controller installed WSCC system

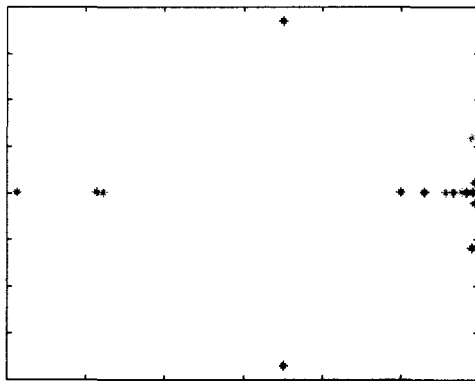


그림 7 발전기 2번에 분산제어기가 투입된 경우의 WSCC 시스템 고유값

Fig. 7 Eigenvalues of WSCC system when decentralized controller is installed to generator 2

### 6. 결 론

전력 시스템의 대규모성과 지리적인 특성을 고려하여, 본 논문에서는 각 제어기가 접근할 수 있는 출력값에 제한을 둔 분산화된 제어 채널을 통해서 전력 시스템의 저주파 진동 감쇄를 위한 분산 제어기 설계에 대해서 연구하였고, 이를 TCSC 1기가 장착된 WSCC 3기 9모선 시스템에 대해 적용하여 집중 제어기와 비교해 보았으며, 시뮬레이션 결과에서부터 분산 제어기가 집중 제어기에 비견할 만한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 그리고, 본 논문에서 설계한 분산 제어기를 모드 해석을 통해서 해석해 봄으로써, 각 분산 제어기는 분산화된 제어 채널에서 제어 가능한 모드는 크게 변화시키는 반면, 다른 모드에 대해서는 비교적 적은 영향을 미침을 확인하였고, 본 논문에서 설계한 분산 제어기들은, 집중 제어기의 역할을 각 분산 제어기가 나누어 분담하며 전체 시스템의 안정화를 달성하고 있음을 보였다. 이로써

전력 시스템이 가지고 있는 특성을 고려한 실제적인 안정화 방안으로서, 고성능 데이터 통신망이 갖추어지지 않더라도 지역적인 정보만을 이용하여 분산화된 제어 채널을 통해 전 시스템의 안정화를 달성하는 분산 제어 기법이 전력 시스템에 효과적으로 적용될 수 있음을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kei Ohtsuka and Yasuo Morioka, "A Decentralized Control System for Stabilizing a Longitudinal Power System Using Tieline Power Flow Measurements," *IEEE Trans.-PWRS*, Vol. 12, No. 3, 1997, pp.1202-1209
- [2] Sigurd Skogestad and Ian Postlethwaite, *Multivariable Feedback Control : Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996
- [3] R.A. Date, *Decentralized control: Stable factorization approach to parametrization and design*, Ph.D. dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, USA 1991
- [4] T.L. Huang, T.Y. Hwang and W.T. Yang, "Two-Level Optimal Output Feedback Stabilizer Design," *IEEE Trans.-PWRS*, Vol. 6, No. 3, 1991, pp. 1042-1048
- [5] A.J.A. Simoes Costa, F.D. Freitas and A.S. e Silva, "Design of Decentralized Controller for Large Power Systems Considering Sparsity," *IEEE Trans.-PWRS*, Vol. 12, No. 1, 1997, pp.144-152
- [6] E. J. Davison and Ü. Özgüner, "Characterizations of Decentralized Fixed Modes for Interconnected Systems," *Automatica*, Vol. 19, No. 2, 1983, pp. 169-182
- [7] Nils R. Sandell, JR., Pravin Varaiya, Michael Athans and Michael G. Safonov, "Survey of Decentralized Control Methods for Large Scale Systems," *IEEE Trans.-Automa. Cont.*, Vol. 23, No. 2, April 1978, pp. 108-128
- [8] Jan Lunze, *Feedback Control of Large-Scale Systems*, Prentice Hall, USA, 1991
- [9] Sasan G. Jalali, Robet H. Lasseter and Ian Dobson, "Dynamic Response of a Thyristor Controlled Switched Capacitor," *IEEE Trans.-PWRS*, Vol. 9, No. 3, 1994, pp.1609-1615
- [10] F. P. de Mello and C. Concordia, "Concept of Synchronous Machine Stability as Effected by Excitation Control," *IEEE Trans.-PAS*, Vol. 99, No. 3, May/June 1980, pp.892-901
- [11] Jang-Choel Seo, Tae-Hyun Kim, Jong-Keun Park and Seung-Ill Moon, "An LQG Based PSS Design for Controlling the SSR in Power Systems with Series-Compensated Lines," *IEEE Trans.-Energ. Conv.*, Vol.11, No.2, June 1996, pp. 423-428
- [12] P.W. Sauer and M.A. Pai, *Power System Dynamics and Stability*, Prentice Hall, New Jersey, USA 1998

저 자 소 개



이 승 철 (李昇哲)

1973년 10월 12일 생. 1997년 서울대 공대 전기공학부 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학부 박사과정

Tel : 02-880-7257, Fax : 02-878-1452

E-mail : sechlee@powerlab.snu.ac.kr



문 승 일 (文承逸)

1962년 2월 1일 생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 미국 오하이오 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993년~1997년 전북대 전기공학과 조교수.

1997년~현재 서울대 전기공학부 조교수

E-mail : moonsi@plaza.snu.ac.kr



서 장 철 (徐張哲)

1969년 12월 25일 생. 1993년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학). 현재 LG산전 전력연구소 근무

E-mail : scseo@lgis.com



박 중 근 (朴鍾根)

1952년 10월 21일 생. 1973년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 서울대 전기공학부 교수

E-mail : jkpark@plaza.snu.ac.kr