

상태변수들의 관계지수를 이용한 전력시스템 동적 축약기법 연구

論 文

56-8-4

A Study on Coherency Aggregation Method Using Relation Index of State Variables in the Power System

李 丙 河[†] · 白 正 明^{*}

(Byung Ha Lee · Jung-Myoung Baek)

Abstract - The modern large electric power system has made power system analysis much more complex and difficult. For effective analysis of the power system, model reduction and aggregation is required. In this paper, a new relation index to identify the coherency among the generators is presented and also a new aggregation method is presented to aggregate the coherent generators in the large scale power system while matching the power flow. In order to demonstrate the effects of this aggregation method, it is applied to the IEEE 39 bus test power system and to the 2006 summer power system of Korea Electric Power Corporation, and the simulation results are compared with those of the original system.

Key Words : Coherency Aggregation Method, Relation Index, Coherency, State Variable

1. 서 론

현대의 전력시스템은 갈수록 대형화, 복잡화되어 가고 있는 추세인데다, H_{∞} 제어 및 LQG/LTR 제어 등의 다변수 제어기법을 포함하는 최신 제어 이론들은 제어기가 복잡하게 되고 차수가 크게 증가하는 등의 문제가 있으므로, 효과적으로 최신제어기법들을 적용하기 위해서는 전력시스템의 동적인 특성을 등가적으로 표현하면서도 간략화하기 위한 축약기법을 적용하여야 한다. 대규모 전력시스템에 복잡한 현대제어기법들을 적용하는데 지장이 없도록 축약하는 기법과 이에 근거해서 현대의 고급제어이론들을 보다 용이하고 효과적으로 적용하는 기법들을 확립하여 전력시스템의 안정도를 더욱 향상시키는 연구가 필요하다. 대규모의 연계된 전력시스템의 수많은 안정도 연구들을 수행하는 것은 계산적으로 방대하고 엄청난 시간과 노력이 요구된다. 대규모 전력 시스템에 대하여 많은 시나리오들이 분석되어야 할 때 계산적인 노력을 줄이기 위하여 동적 등가가 널리 사용되어 왔고, 이에 적합한 동적등가기법에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 왔다 [1]-[3].

최근의 주목할 만한 논문으로서 모드에 기반을 둔 로우터와 전압의 역학을 둘 다 고려하는 coherency 확인 기법이 제안되었다[4]. 이 논문은 하나의 좋은 방법을 제시하나 모우드에 기반을 두고 있어 실계통 적용이 용이하지 않다는 점이 있다. 이외에 모드를 찾지 않고 상태행렬로부터 직접 밀접한 그룹을 찾는 실계통에 유용한 기법이 제안되었다[5]. 이 기법은 실계통 축약에 좋은 기법이지만 전압 동특성의 효과가 반영이 되어 있지 않다.

본 논문에서는 여자계 전압의 영향을 고려하면서 모드를 구하지 않고 상태행렬과 초기 값으로부터 직접 밀접한 그룹을 찾는 새로운 관계지수를 제안하고, 계통을 축약할 때 선로 조류를 그대로 유지하도록 만들어 줌으로써 계통 축약 시스템의 시뮬레이션 결과가 축약 이전의 시뮬레이션의 결과와 더 근접하게 되도록 하는 축약기법이 제시된다. 이를 IEEE 39 모선 테스트 시스템과 2006년도 하계의 한전의 전력시스템에 적용하여 그 효과를 보여 주고, 축약 기법 적용 전후의 시뮬레이션 결과를 비교, 분석한다.

2. 동적 축약

2.1 발전기의 동적 모델링

대부분의 coherency 확인 기법들은 역학을 표현하기 위하여 고전적인 발전기 모델을 사용하지만, 발전기 전압이 일정하게 유지된다고 가정하는 고전적인 발전기 모델보다는 전압변화가 발전기들의 coherency에 미치는 영향을 모델링하고 분석하기 위하여 시스템 전압과 전압제어장치들을 포함하는 모델로 확장되는 것이 바람직하다. 발전기의 동적 특성을 묘사하기 위하여 IEEE-Type I 여자기를 갖고 있는 2축 모델의 발전기 i 의 미분방정식들을 표현하면 아래와 같다.

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_s, \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$M_i \frac{d\omega_i}{dt} = P_{Mi} - (E'_{qi} - X'_{di} I_{di}) I_{qi} - (E'_{di} - X'_{qi} I_{qi}) I_{di} - D_{\omega i} (\omega_i - \omega_s), \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$T'_{di} \frac{dE'_{di}}{dt} = -E'_{di} - (X_{di} - X'_{di}) I_{di} + E_{fdi}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$T'_{qi} \frac{dE'_{qi}}{dt} = -E'_{qi} + (X_{qi} - X'_{qi}) I_{qi}, \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

[†] 교신저자, 終身會員: 仁川大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

E-mail : bhlee@incheon.ac.kr

^{*} 學生會員 : 仁川大 工大 電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 2007年 6月 7日

最終完了 : 2007年 6月 25日

$$T_{Ei} \frac{dE_{fdi}}{dt} = -(K_{Ei} + S_E(E_{fdi}))E_{fdi} + V_{Ri}, \quad i=1, \dots, m \quad (5)$$

$$T_{Ai} \frac{dV_{Ri}}{dt} = -V_{Ri} + K_{Ai}R_{fi} - \frac{K_{Ai}K_{Fi}}{T_{Fi}}E_{fdi} + K_{Ai}(V_{refi} - V_i), \quad i=1, \dots, m \quad (6)$$

$$T_{Fi} \frac{dR_{fi}}{dt} = -R_{fi} + \frac{K_{Fi}}{T_{Fi}}E_{fdi}, \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

2.2 Coherency 확인 위한 새로운 관계지수

선형화된 전력시스템 모델을 사용하여 발전기들의 coherency를 분석한다. 운전점에서 앞 절에서의 식들을 선형화하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d\Delta X}{dt} = A\Delta X + B\Delta Y \quad (8)$$

$$0 = C\Delta X + D\Delta Y \quad (9)$$

여기서

$$X = [X_1^T, \dots, X_m^T]^T \\ = [\delta_1, w_1, E_{q1}, E_{d1}, E_{fd1}, V_{R1}, R_{f1}, \dots, \delta_m, w_m, E_{qm}, E_{dm}, E_{fdm}, V_{Rm}, R_{fm}]^T \\ = [X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, \dots, X_{m1}, X_{m2}, X_{m3}, X_{m4}, X_{m5}, X_{m6}, X_{m7}]^T$$

m은 발전기의 수이고, Y는 모선 전압의 크기와 위상각, 발전기 전기자 전류 등을 포함하는 회로방정식 변수들의 벡터이고, Δ는 증분을 나타내며 T는 전치행렬을 나타낸다.

그리고, X_m은 발전기 m에 해당하는 상태변수들의 벡터(7×1 차원)이고, X_{m2}는 발전기 m에 해당하는 상태변수들의 벡터인 X_m의 2번째 요소를 나타내며 w_m에 해당한다.

위 식들에서 ΔY를 소거하여 간단히 하면 아래의 식을 얻는다.

$$\frac{d\Delta X}{dt} = (A - BD^{-1}C)\Delta X = \tilde{A}\Delta X \quad (10)$$

이 식의 해는 아래의 식 (11)으로 표현된다.

$$\Delta X(t) = e^{\tilde{A}t}\Delta X(0) \quad (11)$$

위의 상태공간 모델에 기초하여 발전기 i와 j를 관련짓는 방정식들은 아래와 같이 주어진다.

$$\frac{d\Delta X_i}{dt} = \tilde{A}_{i1}\Delta X_1 + \tilde{A}_{i2}\Delta X_2 \dots + \tilde{A}_{im}\Delta X_m \quad (12)$$

$$\frac{d\Delta X_j}{dt} = \tilde{A}_{j1}\Delta X_1 + \tilde{A}_{j2}\Delta X_2 \dots + \tilde{A}_{jm}\Delta X_m \quad (13)$$

여기에서 \tilde{A}_{im} 은 발전기 i와 발전기 m의 상태변수들 사이를 관련 지워주는 차원이 (7×7)인 행렬이다. 그리고,

$$\Delta X_m = [\Delta X_{m1}, \Delta X_{m2}, \dots, \Delta X_{m7}]^T \\ = [\Delta\delta_m, \Delta w_m, \Delta E_{qm}, \Delta E_{dm}, \Delta E_{fdm}, \Delta V_{Rm}, \Delta R_{fm}]^T$$

이다.

식(12)와 (13)은 ΔX_i, ΔX_j의 시간에 대한 변화율을 나타내므로 이 식으로부터 \tilde{A}_{ij} 는 j의 발전기의 변화가 발전기i에

미치는 영향을 나타내는 행렬이라는 것을 설명해 주고, \tilde{A}_{ji} 는 그 역이다. 발전기 i의 관점에서 발전기 j의 변화는 \tilde{A}_{ij} 의 정도로 발전기i의 변화에 영향을 미치고, 역으로 발전기 i의 변화는 발전기 j에 \tilde{A}_{ji} 의 정도로 영향을 미친다.

그리고 발전기의 위상각이 가까운 그룹이 서로 보다 더 밀접한 영향을 미친다. 한편의 시스템에서도 같은 발전단에 6기 또는 8기까지 발전기들이 연결되어 있는 발전단지가 여러 곳 있는데 이러한 경우 우선적으로 그룹핑(grouping)되는 것이 타당하다. 또, 위의 식 (11)에서 보듯이 발전기의 응답특성은 전력시스템의 외란을 반영하는 각 상태변수들의 초기조건에 영향을 받는다.

이러한 점들을 모두 고려하여 발전기 j가 발전기 i에 영향을 미치는 관계 계수 R_{ij}는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$R_{ij} = \left[\sum_{k=1}^7 |\tilde{A}_{ik,j1}| \cdot \Delta X_{j1}(0) + \sum_{k=1}^7 |\tilde{A}_{ik,j2}| \cdot \Delta X_{j2}(0) + \dots + \sum_{k=1}^7 |\tilde{A}_{ik,j7}| \cdot \Delta X_{j7}(0) \right] \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (14)$$

여기서 $\tilde{A}_{ik,j1}$ 은 발전기 j의 1번째 상태변수의 변화가 발전기i의 k번째 상태변수의 변화에 미치는 \tilde{A} 행렬의 요소를 나타내고 이는 \tilde{A}_{ij} 행렬의 k번째 행과 1번째 열을 나타낸다. 그리고, ΔX_{j1}(0)은 전력시스템의 외란을 반영하는 j번째 발전기의 1번째 상태변수(δ_j)의 변화의 초기조건을 나타내며, δ_i는 i번째 발전기의 로우터의 위상각을 나타낸다. 수식 내의 항 양쪽의 수직선은 절대 값을 나타낸다. 관계 계수 R_{ij}는 관계 계수 R_{ji}와 역의 의미를 가진다.

따라서, 발전기i와 발전기j 사이의 관계 지수(Relation Index) RI_{ij}는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$RI_{ij} = \sqrt{R_{ij}^2 + R_{ji}^2} \quad (15)$$

이 관계지수는 두 기기들이 얼마나 밀접하게 관련되어 있는가의 척도이다. RI_{ij} > RI_{ik} 이면, 발전기i는 발전기k보다 발전기j에 더 밀접한 관련이 있다고 말할 수 있다. 전형적인 coherency 확인 척도는 모드에 기반을 두고 있는 기법들이 많은데, 전력시스템과 같은 초대형 시스템의 경우 전체의 상태변수들의 고유값에 대한 참여벡터들을 구하는 것이 어려울 뿐만 아니라 시간이 많이 걸리고 복잡하다. 그리고, 상태행렬로부터 직접 밀접한 그룹을 찾는 기존 기법은 여자기 시스템의 전압제어 장치들의 전압 동특성의 효과를 고려하지 않고 있다. 이에 반하여, 본 논문에서는 여자계의 전압 동특성을 고려하고 있으며, 제시된 관계지수 식의 변수들의 값들은 이미 알고 있는 값이거나 쉽게 구하여지는 값이므로 이 관계지수를 사용하여 아주 효과적으로 발전기들의 밀접성을 판별할 수 있다.

관계지수를 사용하여 밀접한 그룹들을 확인하고 원하는 그룹의 수가 될 때까지 그룹핑 하는 과정은 아래와 같다.

- 가) 시스템의 상태공간 모델식과 초기조건을 구한다.
- 나) 식 (15)를 사용하여 발전기 간의 관계지수를 결정한다.
- 다) 가장 큰 관계지수를 선택한다.

라) 선택된 관계지수를 가지는 두 기기들 i, j를 같은 밀접 그룹으로 지정한다. 밀접 그룹이 선택되면 밀접 그룹 G_{RA}는 G_{RA} = G_{RA} ∪ G_{RB}로서 경신된다. 여기서 G_{RA}, G_{RB}는 각각

기기 i, j 와 밀접한 기기들이 있는 세트들이고 G_{RB} 는 삭제된다.

- 마) 밀접한 그룹들의 수가 지정된 수와 같으면 멈춘다.
- 바) 다음의 가장 큰 관계지수를 선택한다.
- 사) 단계 라)로 돌아간다.

2.3 발전기 축약을 위한 전력조류 부합 기법

Coherency 기법들의 등가화 과정은 두 가지 주요 단계로 구성된다. 두 단계는 coherency 확인과 시스템 축약의 과정이다. 어떤 전력시스템에서 발전기들의 밀접한 그룹들이 확인되면, 같은 그룹에 있는 발전기들은 축약되고 하나의 등가 발전기로 감축된다. 기존 기법에서 특히 지리적으로 멀리 떨어진 그러한 발전기들이 관성 축약 기법을 사용하여 축약될 때 원래의 시스템의 전력조류 조건들이 감축된 동적 등가에서는 유지되지 않는다.

이 논문에서는 계통을 축약할 때 선로 조류를 그대로 유지하도록 만들어 줌으로써 계통 축약 시스템의 시뮬레이션 결과가 축약 이전의 시뮬레이션의 결과와 더 근접하게 되는 선로조류 유지기법을 적용한다. 집적 후에 모선 i 와 j 를 PQ 모선보다는 PV모선으로 취급함으로써 동일한 전력조류 조건이 구하여질 수 있다. 모선 i 와 j 의 발전기들을 축약하는 경우 전력조류를 유지시키는 동일조건을 만들어 주기 위하여 축약 이전의 모선들은 그대로 두되, 모선 i 와 j 의 모선의 유효발전력은 영으로 두고 모선 i 와 j 에 연결되는 가상모선 k 를 추가하여 축약전의 모선 i 와 j 의 유효발전력의 합을 발전하는 것으로 하고, 이 발전기에 모선 i 와 j 의 기기들의 관성을 모두 합하여 하나의 등가 기기의 관성으로 환산하여 집적시킨다. 발전기의 리액턴스와 파도 리액턴스는 병렬로 연결된 회로의 리액턴스로 계산하여 적용한다. 가상모선 k 에 등가 축약된 발전기가 연결되며, 이 모선에서 축약되어 유효 발전량이 없는 모선 i 로 전송되는 모선 i 에서의 전력으로 표현하면 아래와 같이 된다.

$$S_{ki} = \overline{V_i} \overline{I_{ki}}^* = \overline{V_i} \left(\frac{\overline{V_k} - \overline{V_i}}{Z_{ki}} \right)^* \quad (16)$$

$$= \frac{\overline{V_i} \overline{V_k} - |V_i|^2}{Z_{ki}^*}$$

여기서 Z_{ki} 는 모선 k 와 i 사이의 선로 임피던스를 나타내고 변수 위의 윗줄은 페이저를 나타낸다. 선로 임피던스를 저항과 리액턴스로 나누고, 선로 임피던스와 전압의 페이저를 각각 직각 좌표계와 극좌표계로 표현하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\overline{Z_{ki}} = r_{ki} + jX_{ki} \quad (17)$$

$$\overline{V_i} = V_i e^{j\theta_i} \quad (18)$$

$$\overline{V_k} = V_k e^{j\theta_k} \quad (19)$$

여기서 V_i, θ_i 는 각각 모선 i 의 전압의 크기와 위상각을 나타낸다.

이 식들을 위의 식 (16)에 대입하여 정리하면 Z_{ki} 선로를 통하여 k 모선으로부터 i 모선에 송전되는 유효전력과 무효전력은 아래와 같다.

$$P_{ki} = \frac{(V_i V_k \cos(\theta_i - \theta_k) - V_i^2) r_{ki} - V_i V_k X_{ki} \sin(\theta_i - \theta_k)}{r_{ki}^2 + X_{ki}^2} \quad (20)$$

$$Q_{ki} = \frac{(V_i V_k \cos(\theta_i - \theta_k) - V_i^2) X_{ki} + V_i V_k r_{ki} \sin(\theta_i - \theta_k)}{r_{ki}^2 + X_{ki}^2} \quad (21)$$

축약된 동적 등가 시스템의 모선 i 에서의 전력조류방정식을 고려하면 아래와 같다.

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (22)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (23)$$

여기서 P_i 와 Q_i 는 모선 k 로의 전력 주입은 제외한 모선 i 의 순 유효/무효전력 주입이고, n 은 축약되기 전의 모선수이다. 식(22)와 식(23)에서 모든 전압의 크기와 위상각은 축약 이후에도 동일한 값을 갖도록 하여 대입하고, 아래의 식을 만족하도록 Z_{ki} 의 값을 결정한다.

$$P_{ki} = P_i \quad (24)$$

$$Q_{ki} = Q_i \quad (25)$$

축약 후에 모선 i 와 j 를 PQ 모선보다는 PV모선으로 취급함으로써, 식(24)와 (25)를 만족시키는 Z_{ki} 의 선로를 축약 발전기 모선 k 로부터 PV모선 i 로 연결시키고 동일한 과정을 거쳐서 Z_{kj} 의 선로를 축약 발전기 모선 k 로부터 PV모선 j 로 연결시키면, 축약 이전과 동일한 전력조류 조건이 구하여질 수 있다.

그리고, 축약된 그룹의 등가 관성과 등가 전력은 아래의 식을 적용한다.

$$H_e = \frac{\sum_i H_i \cdot MVA_i}{MVA_e} \quad (26)$$

$$MVA_e = \sum_i MVA_i \quad (27)$$

여기서, MVA_i 는 어떤 그룹에 속한 발전기 i 의 전력(겉보기전력), MVA_e 는 이 발전기그룹의 등가 전력, H_i 는 어떤 그룹에 속한 발전기 i 의 관성정수, H_e 는 이 발전기그룹의 등가 관성정수이다.

이렇게 계통을 축약할 때 선로 조류를 그대로 유지하도록 만들어 줌으로써 계통 축약 시스템의 시뮬레이션 결과가 축약 이전의 시뮬레이션의 결과와 더 근접하게 되도록 할 수 있다.

3. 사례 분석

3.1 IEEE 39 모선 테스트 시스템에 적용

본 논문에서 제시하는 관계지수를 이용하는 축약기법을 전력시스템 축약에 적용하기 위해 IEEE 39 모선 테스트 시스템을 사용하였다(그림1). 이 전력 시스템에는 10기의 발전기가 있으며 29개의 부하모선이 있다. MATLAB을 사용하여 coherency 확인 및 전력시스템을 축약하는 프로그램과 안정도 해석 프로그램을 개발하고, 이를 사용하여 시뮬레이션을 수행한다.

이 IEEE 39 모선 시스템의 동적 특성을 시뮬레이션하기 위하여 모선 3의 부하 차단기가 작동하여 모선 3의 부하로부터 100 MW의 전력이 0.5 초의 시점에서 탈락되는 경우를 가정하였다.

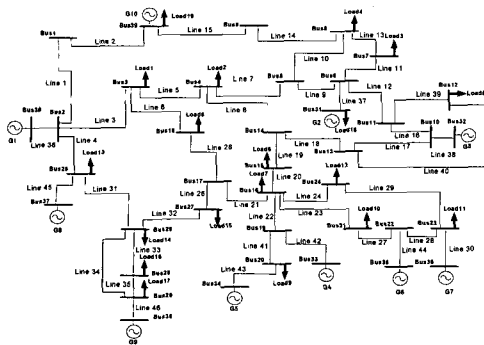


그림 1 IEEE 39 모선 테스트 시스템
Fig. 1 IEEE39 bus test system

이에 대하여 발전기 간의 관계지수를 계산하여 10위 까지 나타내 보면 표 1과 같다.

표 1 발전기 간의 관계지수

Table 1 The relation index among the generators

No	발전기 그룹 (발전기 번호)	RI ($\times 10^{-3}$)
1	6 7	2.35856
2	1 8	2.31224
3	4 5	2.30215
4	2 3	1.36949
5	8 9	0.11373
6	4 6	0.78277
7	5 6	0.75418
8	1 9	0.67402
9	1 2	0.66906
10	4 7	0.63061

표 1에서 가장 밀접한 관계를 갖는 것은 발전기 6과 7이라는 것을 알 수 있고, 3순위까지 등가 축약그룹을 만드는 것으로 하여 테스트한다.

본 논문에서 제안하는 기법으로 발전기들을 축약하는 것으로 하여 등가 축약 시스템을 구성하고 이 축약시스템의 유효성을 테스트하기 위하여 앞에서 언급한 사고 발생시에 대하여 시뮬레이션을 수행한다. 그리고, 축약하기 전의 원 시스템의 시뮬레이션의 결과와 비교하는 것과 더불어 기존의 기법과의 비교를 위해 [5]에서 제시한 기법에 의한 시뮬레이션 결과와도 비교한다. 발전기 2의 로우터 각 변화의 축약 전후의 궤적을 나타낸 것이 그림 2에 제시되어 있다. 실선으로 그려진 것이 축약하기 전의 원 시스템의 시뮬레이션의 궤적이고, 작은 구슬로 그려진 것이 본 논문에서 제안한 기법에 의한 시뮬레이션 궤적이며, 파선으로 그려진 것이 [5]에서 제시한 기존 기법에 의한 시뮬레이션 궤적이다. 본 논문에서 제안한 기법이나 기존 기법 모두 원 시스템의 시뮬레이션 궤적에 근접하는 양호한 결과를 보여 주고 있음을 알 수 있으나, 여차기 시스템의 전압의 동특성 효과를 반영하는 본 논문에서 제안한 기법이 좀 더 근접한 궤적을 보여줌을 나타내 준다.

그리고 발전기 6의 로우터 각 변화의 축약 전후의 궤적과 기존기법에 의한 궤적을 비교하여 나타낸 것이 그림 3에 제시되어 있다. 그림 2와 유사한 결과를 나타내 주며 모두 축약되기 전의 궤적에 상당히 잘 근접된 결과를 보여준다.

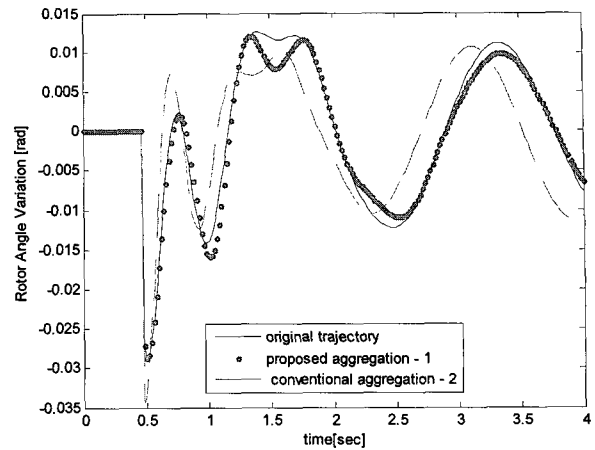


그림 2 발전기 2의 로우터 각 변화의 궤적 비교
Fig. 2 Comparison of trajectories of generator 2 rotor angle variation

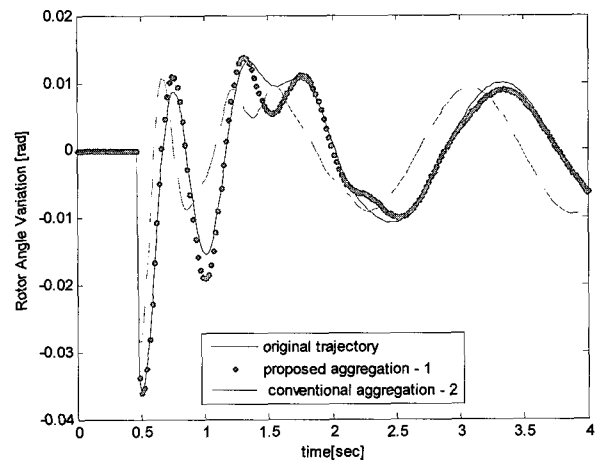


그림 3 발전기 6의 로우터 각 변화의 궤적 비교
Fig. 3 Comparison of trajectories of generator 6 rotor angle variation

3.2 한전 실계통에 적용

대규모 전력시스템 모델로서 2006년도 하계의 한전의 전력시스템을 사용하여 분석한다. 이 전력 시스템은 154kV 이상의 설비에 대하여 모선수 1095개, 송전선로 1703선로, 발전기 217기와 부하 57,549MW를 가지고 있다.

이 시스템에서 의정부 345kV S/S(모선번호 1500)와 신가평 345kV S/S(모선번호 11200) 간의 송전선로에 상정사고가 발생한 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 위와 동일한 과정으로써 축약기법을 적용한다. 2초의 시점에서 상정사고가 발생하고 2.1초의 시점에서 제거되는 것으로 가정하였다. 이에 대하여 발전기 간의 관계지수를 계산하고 30위까지의 순위에 대하여 나타내어 보면 표 2와 같다. 모든 발전기들에 대하여 이러한 순서를 매길 수가 있으며, 몇 개의 그룹으로 축약할 지는 상황에 맞추어서 적절히 조절을 하여야 한다. 여기서는 축약의 정도를 평가할 목적이므로 217기의 발전기를 발전기 간의 관계지수의 순위대로 축약하여 150개의 그룹으로 된 경우에 대하여 동일한 상정사고의 발생에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 본다.

축약하기 전의 한전 전력시스템과 본 논문에서 제시한 축약기

법에 의하여 축약한 후의 한전 전력시스템에 대하여 345kV S/S(1500)와 신가평 345kV S/S(1200) 간의 송전선로에 상정사고가 발생 시의 동적 안정도를 PSS/E 및 IPLAN 프로그램을 사용하여 수행하고 그 결과를 MATLAB 프로그램으로 플로팅하였다. 상정사고 발생 선로에 비교적 가까운 발전소인 팔당 수력발전소의 발전기와 화천 수력발전소의 발전기의 로우터각의 궤적을 그림으로 그린 것이 각각 그림 4와 5에 보여져 있다. 그림 4에서 축약하기 전의 팔당 수력발전소의 발전기1의 궤적이 실선으로 표시된 궤적이고 축약한 후의 궤적이 작은 구슬로 그려진 궤적이인데, 거의 유사한 운동 궤적을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 5에서 축약하기 전, 후의 화천 수력발전소의 발전기1의 궤적들이 제시되어 있는데 팔당 수력발전소의 발전기1의 궤적과 거의 유사하다. 이 시뮬레이션의 결과들을 검토하여 볼 때, 본 논문에서 제안된 coherency를 확인하는 발전기 사이의 관계 지수를 계산하는 기법이 우수한 축약 결과를 산출함을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 coherency를 확인하는 발전기 간의 관계지수는 대규모 전력 시스템의 경우 다루기가 힘든 모드를 구하지 않고 상태행렬과 초기 값으로부터 용이하게 밀접한 그룹을 찾을 수 있고 여자기 시스템의 전압변화가 발전기들의 coherency에 미치는 영향을 고려할 수 있다. 제안된 관계지수 식의 변수들의 값들은 이미 알고 있는 값이거나 쉽게 구하여지는 값이므로 이 관계지수를 사용하여 아주 효과적으로 발전기들의 coherency를 판별할 수 있다.

표 2 2006년도 한전 전력시스템의 발전기 간의 관계지수
Table 2 The relation index among the generators of 2006 KEPCO power system

No	발전기 그룹 (발전기 모선번호)		RI
1	25151	25152	5.84
2	25152	25153	5.13
3	25151	25153	5.08
4	23431	23432	4.04
5	23353	23355	3.93
6	23353	23356	3.92
7	23353	23361	3.91
8	23353	23354	3.91
9	25621	25622	3.89
10	23352	23353	3.83
11	23351	23353	3.83
12	23355	23356	3.58
13	23355	23361	3.58
14	23354	23355	3.57
15	23356	23361	3.57
16	23354	23356	3.56
17	23354	23361	3.56
18	26201	26202	3.55
19	23352	23355	3.45
20	23351	23355	3.45
21	23352	23356	3.44
22	23351	23356	3.44
23	23352	23361	3.44
24	23351	23361	3.44
25	23352	23354	3.44
26	23351	23354	3.43
27	26205	26206	3.35
28	21821	21822	3.25
29	25152	25154	2.96
30	25151	25154	2.94

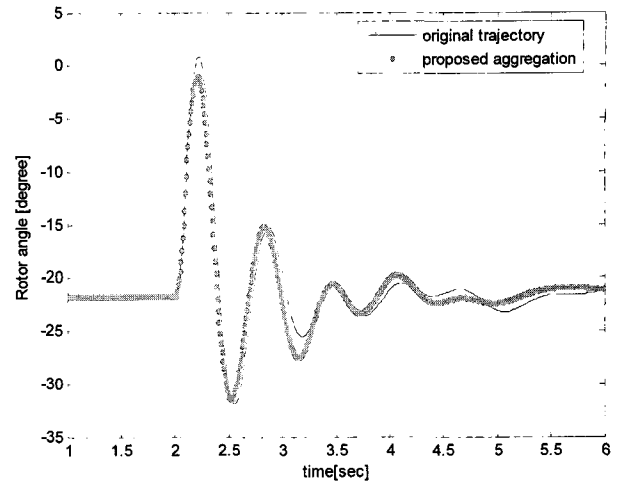


그림 4 팔당 발전기(모선번호 21721) 1의 로우터 각의 궤적 비교
Fig. 4 Comparison of trajectories of generator 1 rotor angle of Paldang

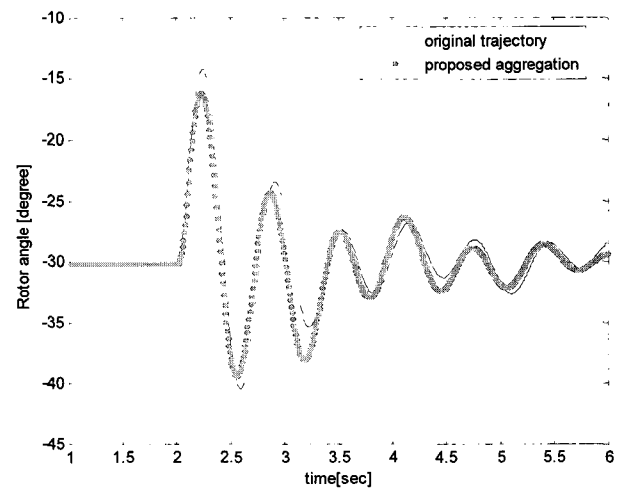


그림 5 화천 발전기(모선번호 25436)1의 로우터 각의 궤적 비교
Fig. 5 Comparison of trajectories of generator 1 rotor angle of Hwachun

4. 결 론

현대의 전력시스템은 갈수록 대형화, 복잡화되어 가고 있는 추세인데다, 다변수 제어기법을 포함하는 최신 제어 이론들은 제어기가 복잡하게 되고 차수가 크게 증가하는 등의 문제가 있으므로, 효과적으로 최신제어기법들을 적용하기 위해서는 전력시스템의 동적인 특성을 등가적으로 표현하면서도 간략화하기 위한 축약기법을 적용하여야 한다.

본 논문에서는 여자기의 전압효과도 반영하면서 대규모 전력 시스템의 경우 다루기가 힘든 모드를 구하지 않고 상태행렬과 초기 값으로부터 용이하게 밀접한 그룹을 찾는 새로운 관계지수를

제시하여, 전력시스템을 축약하는데 적합한 여자기 시스템의 전압 동특성을 반영하는 새로운 축약 기법을 제안하였다.

제안하는 기법으로 발전기들을 축약하여 등가 축약 시스템을 구성하고, IEEE 39 모선 테스트 시스템과 2006년도 하계의 한전의 전력시스템에 대하여 적용하여 시뮬레이션 결과들을 비교함으로써 제안하는 축약기법의 효용성을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-103) 주관으로 수행된 과제입니다.

참 고 문 헌

- [1] G. Troullinos, J. Dorsey, H. Wong, J. Myers "Reducing the order of very large power system models", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, pp. 127-133, Feb. 1988.
- [2] J.H. Chow, R. Galarza, P. Accari, and W. Price, "Inertial and slow coherency aggregation algorithms for power system dynamic model reduction", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, pp. 19-29, May 1995.
- [3] L. Wang, M. Klein, S. Yirga, P. Kundur, "Dynamic reduction of large power systems for stability studies", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, pp. 889-895, May 1997.
- [4] S.K. Joo, C.C. Liu, L.E. Jones, J.W. Choe, "Coherency and aggregation techniques incorporating rotor and voltage dynamics", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, pp. 1068-1075, May 2004.
- [5] H. Kim, G. Jang, K. Song, "Dynamic reduction of the large-scale power systems using relation factor", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, pp. 1696-1699, August 2004
- [6] 이동수, 전영환, "모선 간 유사지수에 근거한 새로운 계통축약 기법", 대한전기학회 논문지 Vol. 55A, pp 156-162, Apr. 2006.
- [7] J. Machowski, J.W. Bialek, J.R. Bumby, "Power system dynamics and stability", John Wiley & Sons, NY. 1998.

저 자 소 개

이 병 하(李 丙 河)



1954년 7월 12일생. 1978년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1980년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 The Pennsylvania State Univ. 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1979년~1994년 한전 기술연구원 선임연구원. 1994년~현재 인천대학교 전기공학과 교수.

Tel : 032-770-8437

E-mail : bhlee@incheon.ac.kr

백 정 명(白 正 明)



1980년 5월 5일생. 2007년 인천대학교 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 석사과정.

Tel : 032-770-4325

E-mail : baekguy96@nate.com