

A Novel Network Reduction Method based on Similarity Index between Bus Pairs

李 東 洙[†] · 全 瑩 煥^{*}
(Dong-Su Lee · Yeong-Han Chun)

Abstract - Transmission zones can be defined based on LMPs. Each zone consists of nodes with similar LMPs, and zonal price is determined by average nodal prices in each zone.[1] Network reduction is still important for the analysis of zonal systems under electricity market environments, even though the computing capability of computer system can deal with entire power systems. The Similarity Index is a good performance measure for the network reduction.[2] It can be applied to the network reduction between zones categorized by the nodal prices. This paper deals with a novel network reduction method between zones based on the similarity Index. Line admittances of reduced network were determined by using the least square method. The proposed method was verified by IEEE 39 bus test system.

Key Words : Zonal Pricing, 모선별 한계가격, 유사지수, 최소자승법, Network Reduction

1. 서 론

전력계통에서 송전제약이 발생하면 지역별 가격이 서로 다르게 나타난다. 송전제약으로 인해 모선별 한계가격이 다르게 나타나며 지역별 가격체제에서는 이러한 송전제약으로 인한 모선별 한계가격의 차이를 송전혼잡비용으로 산정하고 있다. 그러나 특정한 경우, 송전제약이 특정선로에만 발생할 때에는 시장 가격이 크게 두 지역으로 나뉘어 나타날 수 있다.

본 논문은 이러한 Zonal Pricing 체제에서 모선별 한계가격의 차이로 나누어진 Zone을 바탕으로[1], Zone과 Zone 사이의 계통의 물리적 특성을 유지하면서 Zone 내부의 송전계통을 간단히 축약하는 축약계통을 어떻게 만들 것인가에 대해 연구한 것이다. 본 논문에서는 기존의 모선 간 유사지수(Similarity Index)를 이용하여 모선별 한계가격으로 나누어진 Zone 안의 모선 간 유사성(Similarity)을 판정하고[2], 이를 바탕으로 축약계통을 구성한다. 또한 본 논문의 축약알고리즘은 원시계통의 선로조류를 만족하며, 계통 운전조건이 변할 경우에도 축약계통이 원시계통의 선로조류를 만족하도록 구성되는 새로운 축약 알고리즘이다.

본 논문에서는 Zonal Pricing 체제 하에서 계통축약을 효율적으로 수행할 수 있는 방법론을 제시하고, 이 방법론의 검증에 위해 사례연구에서 IEEE 39모선 테스트 시스템을

사용하여 그 효율성을 입증하였다.

2. 유사지수를 이용한 송전계통축약

2.1 유사지수의 개념

유사지수는 임의의 두 모선의 물리적 변화가 전력계통에 미치는 영향이 얼마나 유사한가를 판단하는 지수이다[2]. 본 논문에서는 모선 한계 가격의 차이로 발생하는 Zone에서, 각 Zone의 내부 모선의 물리적 변화가 다른 Zone의 모든 선로조류(Line Flow)에 얼마나 영향을 미치는가를 판단하는 도구로써 유사지수가 사용되고 있다. 즉, 같은 Zone의 임의의 두 모선의 물리적 변화가 다른 Zone에 얼마만큼의 영향을 주고 있는지를 유사지수로 판단하는 것이다. 또한 두 모선이 유사한 영향을 준다고 판단될 때 이 두 모선은 유사성이 있다고 본다. 여기서 물리적 변화는 모선의 유효전력의 변화를 의미한다.

2.2 계통축약 알고리즘

2.2.1 기존알고리즘

기존의 알고리즘은 모선간의 유사지수를 이용하여 유사모선집단을 구하고, 이 중에 가장 큰 유사모선집단(Similar Buses Group)을 등가모선(equivalent node)로 만들어 축약계통을 구성하는 방법을 사용하고 있다[2]. 기존 알고리즘에서 모선 간 유사지수를 구하고 유사모선집단을 구성하는 과정은 본 논문에서 그대로 사용하고 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 2.3에서 하기로 한다.

[†] 교신저자, 正會員 : 弘益大學校 電氣電子工學科 副教授 · 工博
E-mail : yhchun@hongik.ac.kr

^{*} 學生會員 : 弘益大學校 電氣電子工學科 碩士課程
接受日字 : 2006年 1月 16日
最終完了 : 2006年 3月 2日

2.2.2 개선된 알고리즘

개선된 알고리즘은 유사모선집단을 구하는 과정까지는 동일하다. 그러나 그 다음 과정부터 다르다. 가장 많은 모선을 가진 유사집단만을 등가모선(equivalent node)로 만드는 기존 알고리즘과는 달리, 개선된 알고리즘에서는 모든 유사모선집단(2개이상의 모선쌍을 가지는 유사모선집단)을 등가모선으로 만들어 축약계통을 구성한다. 그리고 기존알고리즘에서는 축약계통의 선로어드미턴스는 물리적으로 등가화(어드미턴스병렬합)하는데 반해, 개선된 알고리즘에서는 원시계통의 선로조류를 축약 계통에서도 그대로 유지하게끔 목적함수를 정하고 축약계통의 선로 어드미턴스를 최소자승법을 이용하여 구하게 된다. 그리고 계통의 운전조건이 바뀔 경우에도 축약계통을 만족할 수 있도록 축약계통의 선로 어드미턴스를 정하게 된다.

위에서 설명한 개선된 알고리즘을 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 모든 유사모선집단을 등가모선화 한다.
2. 원시계통의 선로조류를 유지하게끔 선로어드미턴스를 최소자승법을 이용하여 구한다.
3. 계통의 운전조건이 변할 경우에도 적용될 수 있는 좀더 보편화된 축약계통을 구성한다.

2.3 개선된 알고리즘 단계

Step 1 : 지역의 구분

초기 데이터를 바탕으로 해서 OPF수행한 후, 이 결과 각 모선별 한계가격이 유사한 모선끼리 묶어서 지역을 만드는 작업을 한다.[1]

Step 2 : 기준 설정(Base-case set up)

정상상태의 전력조류를 풀어서 각 라인의 퍼센트 선로조류를 계산한다. 이때 기준은 관심선로(focus-lines, 축약될 지역을 제외한 선로 즉, 연결선로와 기타 지역의 모든 내부선로)의 퍼센트 선로조류가 된다. 퍼센트 선로조류는 식(2.1)과 같으며, 선로조류의 고려 대상은 유효전력에 한한다.

(여기서, 연결선로는 지역과 지역을 연결하는 선로를 말함)

$$\% P_{\text{focusline}} = \frac{P_{\text{focusline}}}{\sum_{k=1}^n P_k} \quad (2.1)$$

focusline : 축약될 지역을 제외한 선로와 연결선로

$P_{\text{focusline}}$: 관심선로에 흐르는 유효전력

P_k : k-번째 선로에 흐르는 유효전력

n : 전체 시스템의 선로 개수

Step 3 : 모선 N_m 과 N_n 의 편차계수(Deviation Factor) 계산

축약할 지역의 발전기 모선 : $N_{G1}, N_{G2}, \dots, N_{GN}$

축약할 지역의 부하 모선 : $N_{L1}, N_{L2}, \dots, N_{LM}$ 일 때,

i) 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선일 경우

: 먼저 모선 N_m 의 발전량을 ΔP 만큼 증가시키고 지역의 부하모선 N_{L1} 의 부하를 ΔP 만큼 증가시키고 연결선로 및 기타 지역의 내부 선로의 퍼센트 선로조류를 계산한다. 그리고 이때 계산값과 Step 2에서 기준의 퍼센트선로조류와의 차이를 계산하게 되는데 이것이 모선 N_m 의 모선 N_{L1} 에 대한 편차계수라고 한다.

이번에는 모선 N_n 의 발전량을 ΔP 만큼 증가시키고 부하모선 N_{L1} 의 부하를 ΔP 만큼 증가시키고 연결선로 및 기타 지역의 내부 선로의 퍼센트 선로조류를 계산한다. 그리고 이때 계산값과 Step 2에서 기준의 퍼센트 선로조류와의 차이를 계산하게 되는데 이것이 모선 N_n 의 모선 N_{L1} 에 대한 편차계수라고 한다.

ii) 모선 N_m 과 N_n 이 부하모선일 경우

: 먼저 모선 N_m 의 부하를 ΔP 만큼 증가시키고 지역의 발전기모선 N_{G1} 의 발전량을 ΔP 만큼 증가시키고 연결선로 및 기타 지역의 내부 선로의 퍼센트 선로조류를 계산한다. 그리고 i)과 같이 편차계수를 계산한다.

이번에는 모선 N_n 의 부하를 ΔP 만큼 증가시키고 발전기모선 N_{G1} 의 발전량을 ΔP 만큼 증가시키고 연결선로 및 기타 지역의 내부 선로의 퍼센트선로조류를 계산한다. 마찬가지로 편차계수를 계산한다.

Step 4 : 이중편차계수(Double-Deviation Factor) 계산

i) 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선일 경우

Step 3에서 모선 N_m 과 N_n 이 부하모선 N_{L1} 에 대해서 계산된 관심선로(focus-lines)의 편차계수의 차이를 모선 N_m 과 N_n 의 이중편차계수라고 한다.

ii) 모선 N_m 과 N_n 이 부하 모선일 경우

i)과 마찬가지로 Step 3에서 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선 N_{G1} 에 대해서 계산된 관심선로(focus-lines)의 편차계수의 차이를 모선 N_m 과 N_n 의 이중편차계수라고 한다.

Step 5 : 최대이중편차계수

(Maximum Double-Deviation Factor)

i) 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선일 경우

Step 4에서 모선 N_m 과 N_n 이 부하모선 N_{L1} 에 대해서 계산된 관심선로(focus-lines)의 이중편차계수 중 최대값을 최대이중편차계수라고 한다.

ii) 모선 N_m 과 N_n 이 부하 모선일 경우

Step 3에서 모선 N_m 과 N_n 이 발전기모선 N_{G1} 에 대해서 계산된 관심선로(focus-lines)의 이중편차계수 중 최대값을 최대이중편차계수라고 한다.

Step 6 : 최대이중편차계수 행렬구성

i) 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선일 경우

Step 3~5의 과정을 부하모선 N_{L2}, \dots, N_{LM} 에 대해서 반복한다.

ii) 모선 N_m 과 N_n 이 부하 모선일 경우

Step 3~5의 과정을 발전기모선 N_{G1}, \dots, N_{GN} 에 대해서 반복한다.

Step 7 : 유사지수

i) 모선 N_m 과 N_n 이 발전기 모선일 경우

Step 6에서 계산된 최대이중편차계수행렬에서의 최대값(Maximum value)이 발전기 모선 N_m 과 N_n 사이의 유사지수가 된다.

ii) 모선 N_m 과 N_n 이 부하 모선일 경우

i)에서와 마찬가지로 Step 6에서 계산된 최대이중편차행렬에서의 최대값(Maximum value)이 부하모선 N_m 과 N_n 사이의 유사지수가 된다.

Step 8 : 모든 모선쌍(bus pair)의 유사지수 계산

지역 안의 모든 발전기 모선쌍과 부하 모선쌍에 대해서 Step 3 ~ 7까지의 과정을 반복하여 각 모선쌍에 대한 유사지수를 계산한다.

Step 9 : 유사모선집단(Similar Buses Group) 구성

Step 7, 8에서 계산된 모선쌍의 유사지수를 바탕으로 하여 오차계수 (Error Factor, 유사지수의 최대허용값, 이하 EF) 보다 작은 지역 내부의 발전기모선쌍과 부하모선쌍을 각각 유사모선집단으로 묶는다. 여기서 오차계수는 임의로 정한 것이며, 각 계통의 특성마다 운용자가 경험적으로 판단해야 할 것이다. 오차계수가 클 경우에는 축약의 정도가 큰 반면에 목적함수의 오차가 크게 발생하며, 오차계수가 작을 경우에는 축약의 정도가 미미한 반면 목적함수의 오차가 작다.

그리고 3개 이상 모선을 가진 유사집단(Similar Group)은 다음과 같은 알고리즘을 적용한다.

지역 안에 모선 A, 모선 B, 모선 C가 있다고 가정하자.

Case 1) A-B 모선쌍이 유사성이 있고 B-C 모선쌍이 유사성이 있고 C-A 모선쌍이 유사성이 있을 경우, A-B-C 모선쌍은 유사성이 있다고 판정하며 하나의 유사모선집단으로 묶을수 있다.

Case 2) Case 1)의 경우에서 어느 하나의 모선쌍라도 유사성이 없으면 A-B-C 모선쌍은 유사성이 없다고 한다. 이때 유사성이 있는 두 개의 모선쌍에서 공통적으로 포함된 모선의 경우 두 모선쌍중 유사지수가 더 작은 모선쌍을 선택한다. 예를 들어 A-C 모선쌍의 유사성이 없고 A-B, B-C 모선쌍이 유사성이 있는 경우 A-B 모선쌍 유사지수가 B-C 모선쌍보다 더 작다면 A-B 모선쌍을 유사모선집단으로 묶고 모선 C는 그대로 남게 된다.

Step 10 : 축약계통의 모선의 전압크기와 위상각계산

Step 9에서 구한 유사모선집단을 바탕으로 축약계통을 구성하면, 계통의 형태가 변하여 선로조류가 변하게 된다. 원시계통의 선로조류를 유지하는 축약계통을 위해 축약계통의 모선의 전압의 크기와 위상각을 최소자승법을 사용하여 구한다.[3]

Step 11 : 축약계통의 선로 어드미턴스 계산

Step 10에서 구한 모선의 전압 크기와 위상각을 바탕으로 다시 원시계통의 선로조류를 만족하는 축약계통의 선로 어드미턴스를 계산한다. 이 경우 계통의 운전조건이 변화했을 때에도 축약계통이 만족하기 위해서 초기운전조건인 경우(1), 전체 발전량과 부하를 각각 20%증가했을 경우(2), 20% 감소했을 경우(3)를 모두 만족하는 최적 어드미턴스를 구한다. 이때 최적 어드미턴스는 각 경우의 목적함수의 합을 최소자승법을 사용하여 최소화하는 방법으로 구하게 된다.

그리고 이러한 송전축약알고리즘의 단계를 간단하게 그림으로 나타내면 다음과 같다.

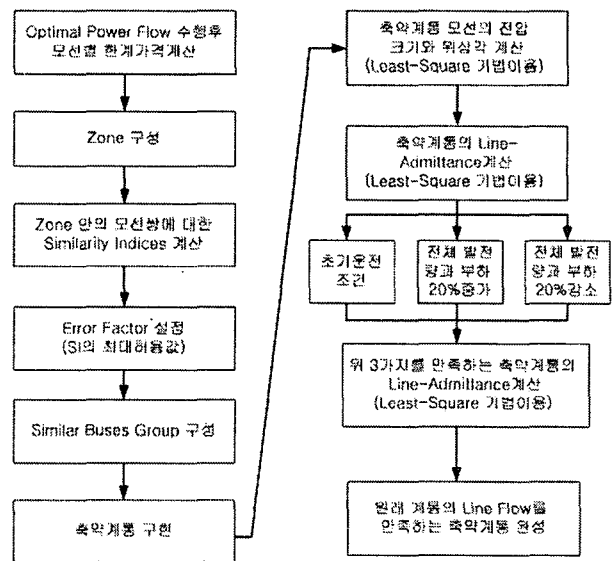


그림 1 계통축약알고리즘의 흐름도
Fig. 1 Network reduction algorithm's flowchart

2.3.1 축약계통의 모선전압 보정

본 논문에서는 일단 유사모선집단이 구성되게 되면, 모두 하나의 등가모선으로 바뀐다. 그리고 계산의 편의를 위해 한 모선에 부하와 발전기가 동시에 있는 경우는 유사모선집단에서 제외하였다. 이때 유사모선집단이 발전기모선집단일수 있고 부하모선집단일수 있다. 이렇게 유사모선집단을 등가모선으로 만들게 되면 유사모선집단에서 제외된 모선과 선로는 그대로 유지된다. 그러나 축약계통은 원시계통과 상황이 달라지기 때문에 모선 전압의 크기와 위상각이 보정되어야 한다. 이것은 본 논문의 축약알고리즘의 목적함수가 원시계통에서 보존된 선로의 전력조류의 변화를 최소화 하는 것이기 때문이다. 그리하여 원시계통의 선로조류를 만족하기 위해 앞에서 만들어진 축약계통의 등가모선과 보존된 모선들의 전압 크기와 위상각을 최소자승법을 사용하여 구하게 된다.[3] 이때 축약된 계통의 보존선로의 어드미턴스는 원시계통의 어드미턴스를 사용한다. 아래 식(2.2)는 축약계통의 모선전압의 크기와 위상각을 구하기 위한 목적함수이며, 식(2.3)는 모선 i 와 j 에 흐르는 유효전력을, 식

(2.4)는 무효전력을 나타낸다.[5][6]

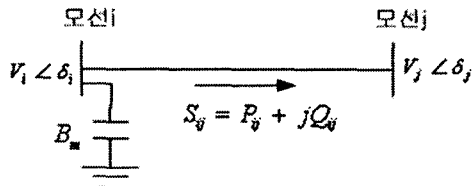


그림 2 예제 그림
Fig. 2 Example

$$\min \sum [(P_{ij} - P'_{ij})^2 + ((Q_{ij} - Q'_{ij})^2] \quad (2.2)$$

$$P_{ij} = (V_i^2 - V_j \cos \delta_j V_i \cos \delta_i - V_j \sin \delta_j V_i \sin \delta_i) y_r + (V_j \cos \delta_j V_i \sin \delta_i - V_j \sin \delta_j V_i \cos \delta_i) y_m \quad (2.3)$$

$$Q_{ij} = -(V_i^2 - V_j \cos \delta_j V_i \cos \delta_i - V_j \sin \delta_j V_i \sin \delta_i) y_m + (V_j \cos \delta_j V_i \sin \delta_i - V_j \sin \delta_j V_i \cos \delta_i) y_r - V_i^2 B_m \quad (2.4)$$

- P_{ij} : 모선 i 에서 j 로 흐르는 유효전력
- Q_{ij} : 모선 i 에서 j 로 흐르는 무효전력
- V, δ : 전압의 크기와 위상각
- y_r : 선로어드미턴스의 실수값
- y_m : 선로어드미턴스의 허수값

2.3.2 축약계통의 선로어드미턴스보정

앞에서 구한 모선전압의 크기와 위상각을 통하여 이번에는 다시 축약계통의 선로어드미턴스를 보정하게 된다. 목적함수는 동일하게 식(2.2)로 표현되며, 식(2.3)과 식(2.4)에서 미지수는 선로어드미턴스가 되며, 기지수는 모선전압의 크기와 위상각이 된다. 본 논문에서는 계통의 운전조건이 변할 경우를 고려한 축약계통을 구현하기 위해 노력하였다. 그래서 초기조건인 경우(1)와 계통의 발전량과 부하를 20% 증가했을 경우(2), 20%감수했을 경우(3), 3가지의 경우를 고려하여 가장 최적의 선로어드미턴스를 구하였다. (2)의 경우는 발전기모선의 발전량을 20%증가, 부하모선의 부하를 20%증가시키고, 유사모선집단을 등가 모선화 한 후에 앞에서 말한 것처럼 축약계통의 모선 전압의 크기와 위상각을 구하고, 이것을 바탕으로 다시 목적함수를 만족하는 선로어드미턴스를 구하게 된다.(3)의 경우도 (2)와 마찬가지로 구하게 되며, 종합적으로는 (1),(2),(3)에서의 목적함수의 합을 최소화하기 위해 다시 최소자승법을 사용한다.

2.4 사례연구

본 논문에서는 유사지수를 이용한 송전계통 축약기법의 적용을 위해 다음과 같은 (그림 3) IEEE 39 BUS Test System을 사용하였다.

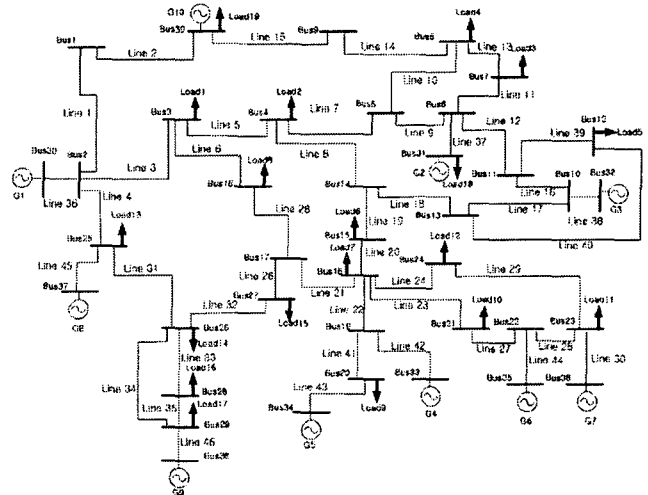


그림 3 IEEE 39 모선 테스트 계통
Fig. 3 IEEE 39-bus test system

위 IEEE 39 모선 계통을 AC-OPF 를 수행하면, 다음 표1과 같이 모선별 한계가격이 계산된다[4]. 여기서 모의 수행한 계통에서는 항상 송전 혼잡이 발생하는 선로가 정해져 있다는 것을 가정하였다. 위 테스트계통 그림에서 Line 31에서 송전용량제약으로 송전혼잡이 발생한다고 가정하여 AC-OPF를 수행하여 Zone을 구성하면 그림 4와 같이 계통이 두 개의 Zone으로 구분된다.

표 1 AC-OPF 수행후 모선별 한계가격
Table 1 Shadow price of each bus after AC-OPF

모선	모선별한계가격 (단위: 원/kW)
BUS1	29.20645
BUS2	28.52812
BUS3	31.40224
BUS4	32.77701
BUS5	37.56585
BUS6	38.26418
BUS7	37.80529
BUS8	37.34641
BUS9	30.56311
BUS10	40
BUS11	39.42139
BUS12	40
BUS13	40.57861
BUS14	41.73582
BUS15	43.78892
BUS16	45.84201
BUS17	47.89511
BUS18	46.39576
BUS19	45.84201

모선	모선별 한계가격 (단위: 원/kW)
BUS20	45.84201
BUS21	45.84201
BUS22	45.84201
BUS23	45.84201
BUS24	45.84201
BUS25	24.97568
BUS26	55
BUS27	51.44755
BUS28	55
BUS29	55
BUS30	28.52812
BUS31	38.26418
BUS32	40
BUS33	45.84201
BUS34	45.84201
BUS35	45.84201
BUS36	45.84201
BUS37	24.97568
BUS38	55
BUS39	29.88478

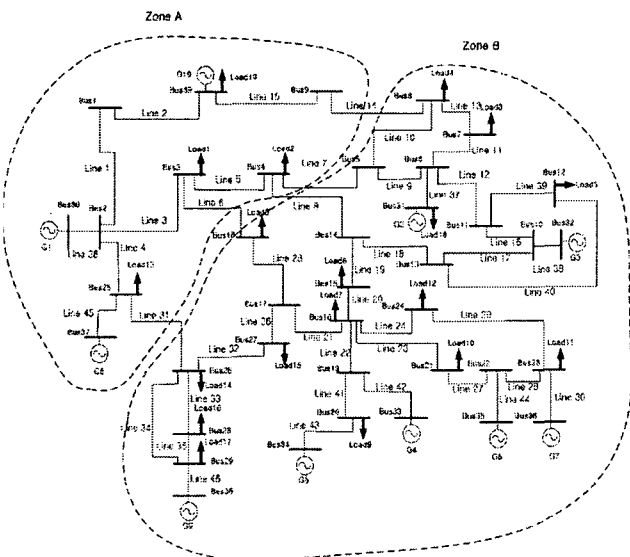


그림 4 모선별 가격을 이용한 Zone의 구분
Fig. 4 Network Reduction Algorithm

2.4.1 송전손실을 고려하지 않은 경우 송전축약알고리즘 적용

지역 B를 내부계통(Internal Network)로 보고 구분된 지역 A에서의 모선 간 유사지수를 계산하면 아래 표와 같다.

표 2 지역 A의 유사지수

Table 2 Similarity Index in Zone A

발전기 모선쌍	유사지수	부하 모선쌍	유사지수
G1-G8	0.0671	L1-L2	0.1740
G1-G10	0.1713	L1-L13	0.1740
G8-G10	0.0671	L1-L19	0.1740
		L2-L13	0.1996
		L2-L19	0.1996
		L13-L19	0.1754

반대로 지역 B의 유사지수를 같은 방법으로 구하면 아래 표와 같다.

표 3 Zone B의 유사지수

Table 3 Similarity Index in Zone B

발전기 모선쌍	유사지수	부하 모선쌍	유사지수
G1-G8	0.0671	L1-L2	0.1740
G1-G10	0.1713	L1-L13	0.1740
G8-G10	0.0671	L1-L19	0.1740
		L2-L13	0.1996
		L2-L19	0.1996
		L13-L19	0.1754

L	L	유사지수	L	L	유사지수
3	4	5.684	3	5	0.1514
4	5	5.723	4	6	5.6665
5	6	0.21192	5	7	0.27065
6	7	0.07631	6	8	0.24659
7	8	0.17572	7	9	0.0002057
8	9	0.17587	8	10	0.17585
9	10	6.51E-05	9	11	8.21E-05
10	11	0.0001133	10	12	0.0001473
11	12	0.0002587	11	14	0.27566
12	14	0.2759	12	15	0.15817
14	15	0.11772	14	16	0.0007235
15	16	0.11845	15	17	0.11859
16	17	0.0001415	16	18	0.38838
3	8	0.45607	3	9	0.3758
4	9	5.6515	4	10	5.6515
5	10	0.27061	5	11	0.27059
6	11	0.076277	6	12	0.076309
7	12	7.83E-06	7	14	0.2759
8	14	0.30656	8	15	0.21315
9	15	0.15802	9	16	0.27644
10	16	0.27648	10	17	0.27663
3	12	0.37598	3	14	0.38451
4	14	5.607	4	15	5.6211
5	15	0.36087	5	16	0.37708
6	16	0.29694	6	17	0.29708
7	17	0.27676	7	18	0.374
3	6	0.36231	3	7	0.37598
4	7	5.6516	4	8	5.6331
5	8	0.43969	5	9	0.2706
6	9	0.076285	6	10	0.076289
7	10	0.00015436	7	11	0.0002665

8	11	0.17594	8	12	0.17573
9	12	0.00020277	9	14	0.27572
10	14	0.27576	10	15	0.15805
11	15	0.15799	11	16	0.27638
12	16	0.27662	12	17	0.27676
14	17	0.00086496	14	18	0.3884
15	18	0.38474	17	18	0.38838
11	17	0.27652	11	18	0.37375
3	10	0.37584	3	11	0.37574
4	11	5.6515	4	12	5.6516
5	12	0.27065	5	14	0.37709
6	14	0.29622	6	15	0.1785
7	15	0.15818	7	16	0.27662
8	16	0.30729	8	17	0.30743
9	17	0.27658	9	18	0.37382
10	18	0.37386	12	18	0.37399
3	15	0.38269	3	16	0.38462
4	16	5.6069	4	17	5.6069
5	17	0.37707	5	18	0.14844
6	18	0.36032	8	18	0.46043
3	17	0.38464	3	18	0.021403
4	18	5.7054			

(L: Load 번호)

G2-G3	0.14839	G2-G4	0.37381
G3-G4	0.2706	G3-G5	0.2706
G4-G5	4.93E-07	G4-G6	7.93E-05
G5-G6	7.98E-05	G5-G7	0.0001369
G6-G7	5.86E-05	G6-G9	0.27655
G7-G9	0.27651	G2-G7	0.3737
G2-G5	0.37382	G2-G6	0.37375
G3-G6	0.27059	G3-G7	0.27058
G4-G7	0.0001364	G4-G9	0.2766
G5-G9	0.2766	G3-G9	0.37707
G2-G9	0.38838		

(G: 발전기 번호)

위의 유사지수를 바탕으로 지역A와 지역B의 유사모선집단을 구성하면 다음 표와 같다. 여기서는 EF=0.25로 정하였다.

표 4 유사모선집단 (EF=0.25)

Table 4 Similar Buses Group (EF=0.25)

지역 A 유사모선집단	
Group 1	G 1,8
Group 2	Load 1,2,13
지역 B 유사모선집단	
Group 1	G 4,5
Group 2	G 6,7
Group 3	Load 3,5
Group 4	Load 6,7,8,10,11,12
Group 5	Load 14,15,16,17

위의 유사모선집단을 바탕으로 축약계통을 구성하면 아래와 각 경우별로 아래 그림과 같은 축약계통을 얻을 수 있다.

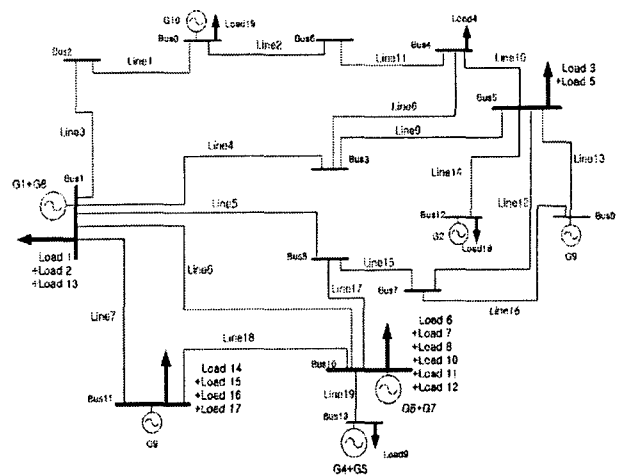


그림 5 EF=0.25일때 축약계통

Fig. 5 Reduced network (EF=0.25)

위 축약계통을 2.4의 Step10, Step11의 과정을 거쳐서 원시계통의 선로조류를 만족하는 축약계통의 선로어드미턴스를 구하면 아래 표와 같다.

표 5 EF=0.25일때 축약계통의 선로어드미턴스(단, 선로번호는 그림5의 축약계통의 선로번호)

Table 5 Line-admittance in reduced network (EF=0.25) (where the line number is that of Fig.5)

선로 번호	원시계통 어드미턴스	축약계통 어드미턴스(1)	축약계통 (발전량과 부하 20%증가) (2)	축약계통 (발전량과 부하 20%감소) (3)	최적 어드미턴스(4)
1	-j40	-j71.189	-j76.863	-j74.672	-j74.34
2	-j40	-j6.6944	-j6.0205	-j4.9777	-j5.9868
3	-j24.331	-j24.28	-j23.637	-j18.134	-j22.48
4	-j78.125	-j11.727	-j55.74	-j56.381	-j48.823
5	-j77.519	-j205.93	-j137.8	-j136.85	-j149.58
6	-j75.188	-j80.956	-j49.748	-j38.234	-j49.328
7	-j30.96	-j67.131	-j24.076	-j24.933	-j25.782
8	-j89.286	-j865.7	-j812.56	-j786.54	-j822.35
9	-j384.62	-j422.38	-j434.3	-j431.6	-j429.77
10	-j217.39	-j130.21	-j129.59	-j131.21	-j130.13
11	-j27.548	-j16.747	-j11.737	-j18.529	-j14.95
12	-j1000	-j913.46	-j926.56	-j963.57	-j933.91
13	-j232.56	-j233.26	-j233.4	-j233.71	-j233.42
14	-j1000	-j1000	-j1000	-j999.98	-j1000
15	-j99.01	-j165.1	-j135.52	-j130.92	-j141.34
16	-j232.56	-j231.75	-j231.59	-j231.37	-j231.59
17	-j46.083	-j34.93	-j19.884	-j44.572	-j29.801
18	-j57.803	-j32.478	-j60.581	-j60.388	-j59.567
19	-j51.282	-j51.282	-j51.282	-j51.282	-j51.282

2.4.2 기존 알고리즘과의 비교

본 논문의 알고리즘에 의해 구한 축약계통의 선로어드미턴스와 기존 알고리즘과의 원시계통의 선로조류에 대한 차이를 비교해 보면 다음 표와 같다. (단, 여기서 고려대상은

선로의 유효전력)

표 6 원시계통과 축약계통의 선로조류 비교(EF=0.25)
Table 6 Comparison table for original network and reduced network (EF=0.25)(where the line number is that of Fig.5) (base:100MW)

선로 번호	원시계통(pu)	기존방법(pu)	제안된 방법(pu)
1	1.447	0.673	0.937
2	0.043	0.817	0.553
3	1.447	0.673	0.937
4	1.584	1.891	1.166
5	2.619	1.242	2.527
6	0.398	0.297	0.409
7	0.594	0.198	0.606
8	3.264	1.255	3.713
9	4.848	3.146	4.879
10	1.998	4.782	2.059
11	0.043	0.817	0.553
12	0.310	1.306	0.407
13	3.311	3.397	3.306
14	5.640	5.640	5.640
15	2.878	1.797	2.786
16	3.188	3.103	3.193
17	0.259	0.555	0.258
18	0.201	0.597	0.188
19	4.600	4.600	4.600

3. 결 론

본 논문에서 제안한 축약기법은 기존의 유사지수를 이용한다. 그러나 기존의 방법과는 달리 축약계통이 원시계통의 선로조류를 그대로 유지하는 선로어드미턴스를 수학적 기법을 통하여 구하고, 계통의 운전조건이 변할 경우에도 이것을 만족하는 축약계통을 구현하였다.

이 새로운 축약기법은 사례연구를 통해서 원시계통의 선로조류와 거의 일치함을 알 수 있었고, 기존 방법과 비교했을 때 원시 계통의 선로조류를 보다 정확히 유지하고 있음을 확인하였다. 그러나 특히 2번 선로와 같이 전체 계통의 조류에 비해 극히 미약하게 흐르는 선로조류의 경우에는 축약계통과 원시계통에서 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

앞으로는 이러한 선로에 대한 처리방법에 관하여 더 연구되어야 할 것이며, 선로손실을 고려한 경우 축약알고리즘의 적용에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-B-112)주관으로 수행된 과제의 지원에 의한 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] M. I. Alomoush and S.M.Shahidehpour, "Fixed Transmission rights for zonal congestion management", IEE Proc.-Gener., vol.146,No.5, pp. 471-476,September 1999

[2] H. K. Singh, and S. C. Srivastava, Senior Member IEEE, "A Sensitivity based Network Reduction Technique for Power Transfer Assessment in Deregulated Electricity Environment", IEEE, pp. 1976-1981,2002

[3] Dennis G. Zill, Michael R. Cullen, "Advanced Engineering Mathematics", PWS PUBLISHING COMPANY, pp. 465-472, 1996

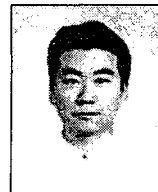
[4] 김발호 "최적조류계산의 이론과 응용" 2001

[5] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, And Control", John Wiley & Sons, Inc., pp. 453-479, 1996

[6] Hadi Saadat, "Power System Analysis", WCB McGraw-Hill, pp. 212-239, 1999

[7] Charles A. Gross "Power System Analysis", John Wiley & Sons, Inc., pp.255-280,1986

저 자 소 개



이 동 수 (李 東 洙)

1977년 11월 4일생. 2003년 홍익대 공대 전자전기공학부 졸업. 2004년~현재 동대학원 전기정보제어학과 석사과정
 Tel : 02-320-1620
 Fax : 02-320-1110
 E-mail : damawoang@nate.com



전 영 환 (全 瑩 煥)

1961년 2월 8일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1985~1994년 한국전기연구소 근무. 1997년~1998년 동경대 조수 역임. 1998년~2002년 한국전기연구원 그룹장. 2002년~현재 홍익대 전자전기공학부 교수
 Tel : 02-320-1620
 Fax : 02-320-1110
 E-mail : yhchun@hongik.ac.kr