

무효 전력 보상 장치의 위치 선정을 위한 전력 계통 분할 방법의 연구

옥진우, 백영식
경북대학교

Research on location of reactive power compensator for area partition of power system

Jin-woo Ok, Young-Sik Baek
Kyungpook National University

Abstract - 기존의 전력 계통에서 전기적인 거리는 서로 다른 두 모선 사이의 물리적인 관계를 추정하여 분할하는 방법으로서, 인접한 영역의 상호 작용을 최소화 하여 분할하는 방법을 사용 하였다. 그러나 영역 간 상호 작용의 최소화를 고려했음에도 인접한 영역에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 이러한 문제점을, 파이선을 이용해서 분석하였고, 인접한 영역 간의 상호 작용을 고려하여 기존의 전력계통 분할 방법 보다 향상된 분할 방법을 파이선을 사용하여 제시 하였다.

1. 서 론

전력 계통에서 계통을 분리 하는 주된 목적은 모선 차단기의 차단 용량 한계를 넘지 않도록 억제, 상정 고장 시 설비 과부하를 방지, 무효 전력 보상 장치의 최적 위치 선정 등 여러 가지 이유가 있다. 계통을 분리 하는 방법에는 선로를 분리 하거나 모선을 분리 하는 방법이 있는데, 지금까지 계통 분리는 모선을 분리 하는 방법이 많이 사용 되어 졌다. 기존의 모선 분리 방법에서는 분리된 영역 간 상호 작용을 최소화 하여 영역을 구분 하였다. 그러나, 구분된 영역에서 상호 작용의 최소화를 고려했음에도 불구하고, 구분된 영역에서는 상호 작용으로 인한 문제점이 발생 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 파이선을 이용하여 분석하고, 상호 작용을 고려한 향상된 계통 분리 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전력 계통 분할

2.1.1 전기적인 거리(Electrical Distance)

전기 적인 거리는 전력계통 내 서로 다른 두 모선의 물리적인 관계를 추정하여 나타낸다.

$$\Delta V_i = \alpha_{ij} \Delta V_j \tag{1}$$

여기서,

$$\alpha_{ij} = [\partial V_i / \partial Q_j] / [\partial V_j / \partial Q_j] \tag{2}$$

만약 두 모선간의 관계가 다음 식(3)과 같을 지라도,

$$[\partial V_i / \partial Q_j] = [\partial V_j / \partial Q_j] \tag{3}$$

대부분의 관계에서 두 모선간의 관계는 $[\partial V_i / \partial Q_j] \neq [\partial V_j / \partial Q_j]$ 이다. 즉,

$$\alpha_{ij} \neq \alpha_{ji} \tag{4}$$

따라서, 전기적인 거리는 두 모선의 민감도를 이용하여 식(5)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$ed_{i,j} = -\log_{10}(\alpha_{ij} * \alpha_{ji}) \tag{5}$$

위 식(5)를 이용하여 전기적인 거리 맵을 작성 한다.

2.1.2 전력 계통 분할 알고리즘

전기 적인 맵 작성 후, 계통 분할을 하기 위해 주어진 r_d 값을 만족 하기 위해 다른 두 모선을 병합하여 하나의 가상 모선을 만들 수 있다. 가상 모선을 만들기 위한 수식은 다음과 같다.

$$ed_{i,j} = (ed_{i,j}^{\min} + ed_{i,j}^{\max}) / 2 \tag{6}$$

여기서, $ed_{i,j}^{\min}$ 와 $ed_{i,j}^{\max}$ 는 모선 i 와 j 사이의 전기적인 거리가 최소 와 최대이다. 전기 적인 거리의 증가는 r_d 의 증가를 나타내고, 차츰 실제 모선은 줄어든다.

2.1.3 분할 영역 수 결정

영역 수 결정은 r_d 에 의해서 결정되며,

$$r_d = -2\log_{10}\alpha_{kj} \tag{7}$$

이다.

여기서, α_{kj} 는 모선 k 와 j 의 전압 변화 비이다.

2.1.4 Pilot Bus 선택

계통이 분할되면, 분할된 영역의 pilot bus를 선택해야 하는데, 수식은,

$$\min_k \sum_{k \in S_i} ed_{i,k} \tag{8}$$

이다.

ED로 구성된 맵에 식(8)을 사용하여 각 영역의 pilot bus를 구할 수 있다.

2.1.5 전력 계통 분석

기존에는 영역 분할을 할 때 영역 간 상호 작용을 최소화 하여 영역 분할을 하였다. 그래서 분할된 영역 내 어느 한 모선에 이상이 생기면, 인접해 있는 영역에 영향을 최소화 하는지 확인 하기위해 분할된 영역 Area1의 i 모선에 무효 전력 (-)값을 공급 하여 Area1 과 Area2 내의 모선 전압을 확인 해 보았다. 그 결과, 인접해 있는 Area2 내의 모선이 Area1내의 모선 보다 영향을 더 크게 받는 모선이 발생 함으로써 구분된 영역의 문제점을 나타내게 된다.



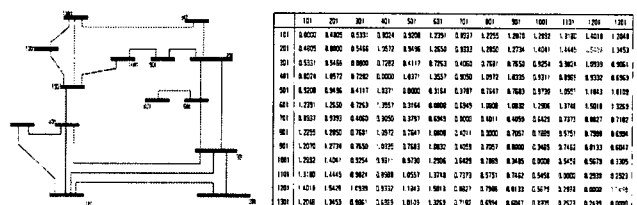
<그림1> 영역 간 상호 작용

이러한 문제점을 해결하기 위해 구분된 영역내의 각 모선의 민감도 (α_{ij})를 고려 해 기존에 구분된 영역의 민감도와 같이 고려해 줌으로써 문제를 해결 하였다.

2.2 시뮬레이션

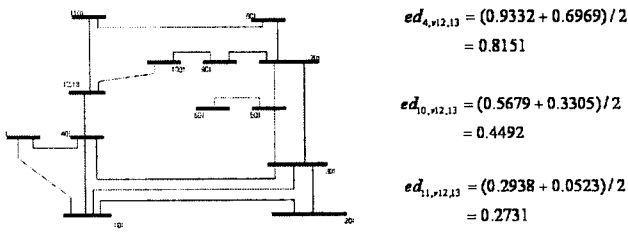
2.2.1 파이선(Python) 알고리즘

PSS/E 에서 파이선을 이용하여 조류 계산, 상정 사고, OPF 등 여러 가지 계산을 할 수 있도록 구성 되어 있다. 파이선을 이용하면 조류 계산 등, 여러 작업을 할 때 사용자가 일일이 손으로 하지 않아도 작성된 프로그램으로 사용자가 원하는 데이터를 얻을 수 있고, 이렇게 작성된 프로그램은 어느 한 계통에만 한정 되는 것이 아니라, 여러 계통에 적용 할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 장점이 있는 PSS/E 내 파이선을 이용하여 프로그램을 작성 확인 하였다.



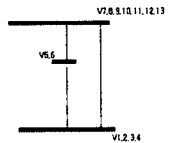
<그림2> IEEE 14BUS 와 전기적인 거리 맵

시험 계통은 IEEE 14 모선을 사용하였다. 파이선을 이용해서 <그림2>와 같은 전기 적인 거리 맵을 구한다.



<그림 3> 새로운 전기적인 거리

전기 적인 거리 맵에서 모선과의 거리가 가장 가까운 두 모선 12, 13모선을 병합함으로써 새로운 가상 모선을 만들고 이 가상 모선과 연계된 모선의 전기 적인 거리를 새롭게 구 할 수 있다. 이를 반복하여, <그림4> 와 같이 3개의 모선으로 계통이 병합 되었다.



<그림 4> 최종 병합된 모선

다음 표(표1)는 3개의 영역으로 계통이 분리된 후 한 영역 (Area1)의 pilot bus를 구한 표이다.

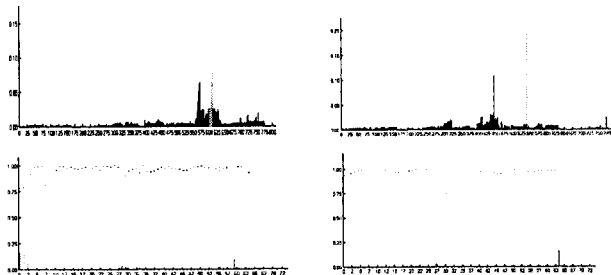
<표1> Area1의 pilot bus

Pilot Bus Selection for Control Area 1				
k	1	2	3	4
$\min_{i,k} \sum_{i,k} ed_{i,k}$	1.8161	2.0843	1.8078	2.5878

이렇게, 구분된 영역에서의 각 영역별 pilot bus를 구하면 3, 5, 13 모선이 각 영역의 pilot bus 임을 확인 할 수 있다.

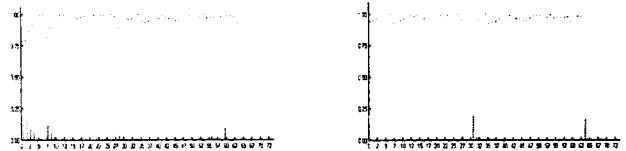
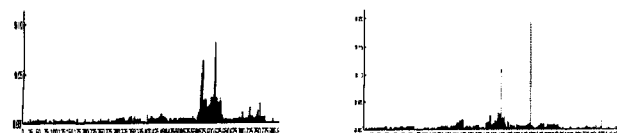
2.2.2 시뮬레이션 결과

지금 까지 방법으로 작성된 파이선 알고리즘으로 분할된 영역 문제 점을 확인하기 위해, 조금 더 큰 모선, IEEE 118모선 과 한전 데이터에 적용하였고, 다음 그래프는 그 결과들이다.



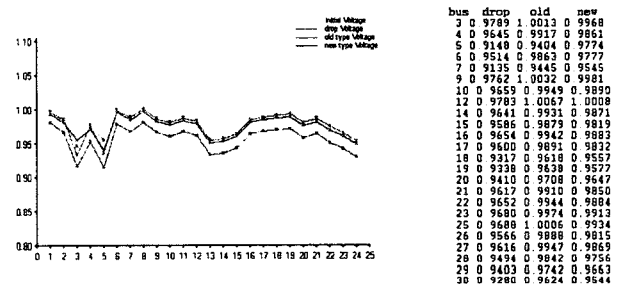
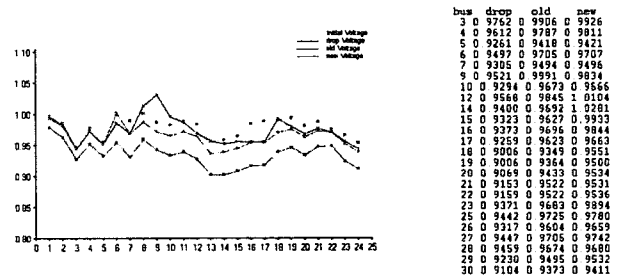
<그림5> 한전 모선(상), 118모선(하)

위 결과에서, 색깔 있는 부분이 구분된 영역을 나타내는데, 모선 이상 시, 구분된 영역의 문제점을 확인 할 수 있다. 다음 그래프는 이 문제점을 보완한 결과들이다.



<그림6>한전 모선(상), 118모선(하)

다음 결과(그림7)는 기존의 방법으로 구한 pilot bus 와 보완한 방법으로 구한 pilot bus에 무효 전력 보상 장치 설치 후, 무효 전력을 조정 했을 때 전압 변화를 확인하기 위해, 7번 모선(상)과 22번 모선(하)에 모선 이상을 주었다. 그리고 기존 방법과 보완된 방법으로 무효전력을 조정 하였고, 그 결과를 나타 낸 것이다. 시험 계통은 IEEE 30모선으로 하였다.



<그림7> 무효 전력 조정 후 결과

3. 결 론

기존의 시스템 분할 방법이 영역 간 상호 작용을 최소화 하여 영역 구분 을 하였지만, 실질적으로 모선 이상이 생겼을 때 인접해 있는 영역내의 모 선에 더 큰 영향을 줌으로써 영역 분할 방법에 문제가 있는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을, IEEE 14모선, IEEE30 모선, IEEE 118 모 선, 한전 모선 등을 파이선을 이용하여 PSS/E에서 시험 계통을 적용 하였 으며, 그 결과 상호 작용으로 인해 발생 하는 문제점을 확인 하였다. 그리 고 이러한 문제점을 개선 할 수 있는 방법을 제시 하여, 시험 계통에 적용 해 봄으로써, 상호 작용을 고려했음에도 불구하고 제시한 방법이 기존의 분 할 방법 보다 좀 더 향상됨을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Lagonotte, P., Sabonnadiere, J.C., Leost, J.-Y., Paul, J.-P. " Structural Analysis of the Electrical System: Application to Secondary Voltage Control in France" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.4, No.2, pp. 479-486, May 1989.
 [2] J.S. Thorp, M.Ilic-spong, " Optimal secondary voltage control using pilot point information structure ", IEEE CDC, Las Vegas, December. 1984,
 [3] Paul, J. P., Leost, J. Y., Tesseron, J. M., " Survey of the Secondary Voltage Control in France: Present Realization and Investigations, " IEEE Transactions on Power Systems, Vol.2, No.2, pp. 505-511, May 1987
 [4] Stankovic, A., Ilic, M., Maratukulam, D. " Recent Results in Secondary Voltage Control of power Systems," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No.1, pp. 94-101, February 1991