

우리나라 계통의 전압제어지역별 무효전력 예비율 산정

*김봉식, *최윤혁, *서상수, *이병준, **이흥재, ***송인준
고려대학교*, 광운대학교**, 한전 전력연구원***

The estimation of reactive power reserves of generators in voltage control areas of KEPCO systems

*Bong-sik Kim, *Yun-hyuk Choi *Sangsoo Seo, *Byoungjun Lee, **Heung-Jae Lee, ***Injun Song
Korea University*, Kwangwoon University**, KEPRI***

Abstract - Maintaining the voltages is important in the power systems and the voltage is closely associated with the reactive powers. Therefore, the voltages are maintained by controlling the reactive powers. However actually it is impossible to control reactive power for maintaining all bus voltages. Thus, Secondary Voltage Regulation was designed. It divides power systems into some control areas and controls pilot node with the included generators. The reactive powers of generators can control pilot bus voltage continuously and fast. Therefore we need to divide areas and select control generators for SVR with Electrical distance. Then estimation of the reactive power reserves of generators is needed in voltage control areas to control voltages of the pilot nodes.

전압제어지역을 나누는 기준값에 의해 전압제어지역의 개수와 대표모선이 변화하게 되는데 이 기준값을 변화시켜가면서 바뀌는 대표모선과 전압제어지역별로 발전기 무효전력 예비율을 산정해 보았다. 2차적 전압제어는 발전기의 무효전력 예비율을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로 선정되는 대표모선에 따라서 제어지역별로 제어발전기 또한 변화하게 된다. 따라서 제어지역의 대표모선 전압유지를 위해서는 분할된 제어지역별로 발전기의 무효전력의 여유량이 알아보는 것이 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 아래의 실험 결과들은 전압제어지역 분할 기준값을 0.1, 0.2, 0.4의 3가지 경우로 실험해보았고 각 경우에 대해 분할된 지역의 발전기 무효전력 예비율을 산정하였다. 전압제어지역과 발전기의 선정, 발전기 무효전력의 예비율은 C++/포트란으로 코딩된 프로그램을 사용하였다. 아래의 결과들은 개별적인 튜닝없이 프로그램을 통한 결과들이다.

1. 서 론

우리나라는 매년 5%이상의 전력 수요의 증가가 있어 왔다. 늘어난 전력 수요를 맞추기 위해서는 송전망의 확충과 발전설비의 보강이 필요하다. 그러나 이러한 설비의 보강은 여러 가지 환경 문제와 제약으로 인하여 어려움이 많은 실정이다. 그리고 지속적인 부하증가와 송전선의 장거리화 등으로 인하여 계통의 무효전력 손실이 점차 커지고 있다. 국내외 전압 불안정 현상은 무효전력 수급 불균형이 그 원인이라고 할 수 있는데 이에 대한 대비가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 설비의 무효전력 운영 측면에서 효율성을 높이고자 개발된 계통 제어 방안이 2차적 전압제어이다. 2차적 전압제어는 계통의 무효전력 특성을 고려하여 동일한 특성을 갖는 지역을 하나의 제어 지역으로 구분하고 이렇게 구분된 지역을 지역별로 제어를 하는 방식이다. 이 제어 방안에서 계통을 분할하는데 이용 되는 방안이 몇 가지가 있는데 이 중 대표적인 것이 전기적 거리 법[1]이다. 전기적 거리법은 프랑스의 EdF에서 사용된 방법으로 전력조류 방정식에 기초하고 있다. 본 논문에서는 이 방법들을 국내계통 적용하여 전압제어지역을 나누고 컨트롤이 가능한 발전기의 무효전력 예비율을 알아보기 위해 제어지역별로 발전기의 무효전력 예비율을 산정하여 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 전기적 거리법

프랑스EdF는 전압제어지역의 선정 방법으로 전기적 거리에 의한 방법을 사용하고 있다. 전기적 거리란 Information 이론의 관점에서 두 모선사이의 얼마나 전기적으로 떨어져있어서 상호 전압 결합성이 있는지를 나타낸다. 전기적 거리에 의한 지역분할은 전력조류의 기본 방정식에서부터 출발한다. 전력조류방정식을 우리가 관심 있는 전압안정도의 관점에서 보면 전압과 무효전력과의 관계가 중요함을 알 수 있다.

(1) 전기적 거리에 의한 제어지역 설정방법

전기적 거리법을 사용하여 제어지역을 설정하기 위해서는 해당 계통의 모선들 사이의 전기적인 거리를 계산하고 전기적 연관성이 큰 모선들로 묶어서 제어지역으로 나눈다.

(2) 전기적 거리에 의한 지역분할에서의 대표모선 선정방법

계통이 전기적으로 분리된 지역으로 분할된 후, 각 지역의 전압제어를 위한 대표모선이 선정되어야 하며, 대표모선의 선정방법은 프랑스 및 유럽의 경우 발전기군의 전기적 중심을 구하고 이 전기적 중심과 가장 가까운 모선으로 선정한다.

2.2 국내 계통에 적용

전기적 거리법의 국내 계통의 적용을 위해 2006년 하계 peak 데이터를 사용하여 전압제어지역을 분할하였다. 전압 제어지역은 대표모선과

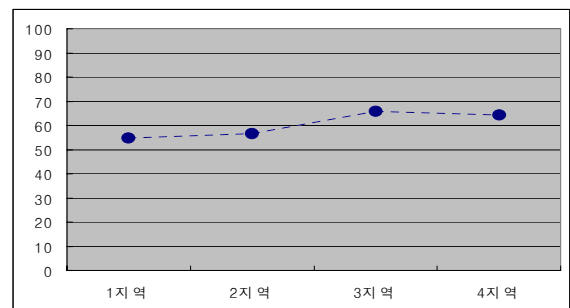
2.2.1 제어지역분할 기준값 0.1의 경우

1) 대표모선 및 제어발전기:

- 1지역 : 의령#31, 77대
- 2지역 : 청양3S, 33대
- 3지역 : 신부평3, 81대
- 4지역 : 동서울3, 60대

<표 1> 기준값 0.1일 때 제어발전기의 무효전력 예비율

1지역(의령#31)	54.8%
2지역(청양3S)	56.5%
3지역(신부평3)	65.9%
4지역(동서울3)	64.2%



<그림 1> 제어지역별 발전기 무효전력 예비율(%)

4개 지역의 평균 예비율은 60.3%로 상당히 높음을 알 수 있다. 전체적으로 예비율 최고지역과 최저지역의 차이도 11 정도였다. 이는 전체 제어지역이 4개로 각 제어지역별로 많은 수의 발전기가 포함되어 무효전력의 예비율이 상당히 높게 나타남을 알 수 있다.

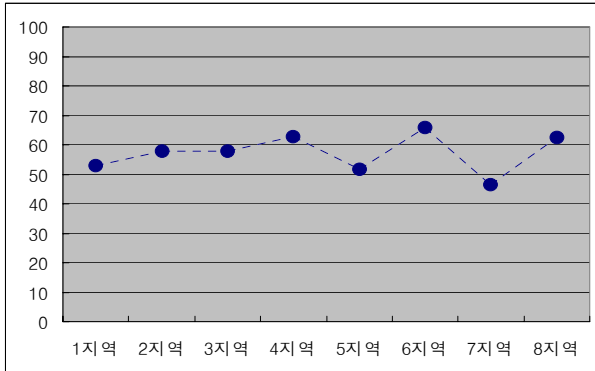
2.2.2 제어지역분할 기준값 0.2의 경우

1) 대표모선 및 제어발전기

- 1지역 : 의령#31, 32대
- 2지역 : 북부산3, 37대
- 3지역 : 청양3S, 24대
- 4지역 : 신서산3, 15대
- 5지역 : 울주SW3, 8대
- 6지역 : 신부평3, 81대
- 7지역 : 동서울3, 23대
- 8지역 : 동해3, 31대

<표 2> 기준값 0.2일 때 제어발전기의 무효전력 예비율

1지역(의령#31)	52.9%
2지역(북부산3)	57.9%
3지역(청양3S)	57.9%
4지역(신서산3)	62.7%
5지역(울주SW3)	51.6%
6지역(신부평3)	65.9%
7지역(동서울3)	46.6%
8지역(동해3)	62.5%



<그림 2> 제어지역별 발전기 무효전력 예비율(%)

8개지역의 평균 무효전력 예비율은 57.2%로 나타났다. 그리고 예비율 최고지역과 최저지역의 차이는 19.3으로 전압제어지역이 4개로 분할된 경우보다 편차는 크게 나타났고 예비율의 평균도 조금 낮아지는 모습을 보였다. 이는 제어지역이 8개로 늘어나 4개지역으로 분할된 경우보다 각 제어지역이 포함할 수 있는 제어발전기가 줄어서 나타나는 현상이다. 하지만 신부평3의 경우는 신부평3에 포함된 발전기를 나눠 가질 대표모선이 나타나지 않아 4개지역으로 분할될 때와 같은 결과를 나타내었다.

2.2.3 제어지역분할 기준값 0.4의 경우

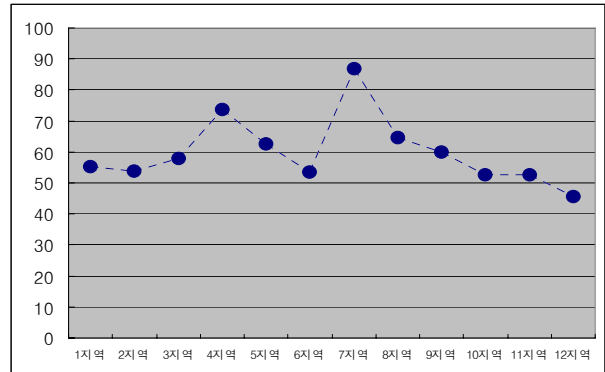
- 1) 대표모선 및 제어발전기
- 1지역 : 의령#31, 6대
 - 2지역 : 북부산3, 14대
 - 3지역 : 청양3S, 24대
 - 4지역 : 북부산3S, 17대
 - 5지역 : 신서산3, 15대
 - 6지역 : 울주SW3, 12대
 - 7지역 : 신부평3, 25대
 - 8지역 : 신시흥3, 24대
 - 9지역 : 동서울3, 50대
 - 10지역 : 광양3, 26대
 - 11지역 : 양주3, 32대
 - 12지역 : 신김해3, 6대

<표 3> 기준값 0.4일 때 제어발전기의 무효전력 예비율

1지역(의령#31)	55.2%
2지역(북부산3)	53.7%
3지역(청양3S)	57.9%
4지역(북부산3S)	73.8%
5지역(신서산3)	62.7%
6지역(울주SW3)	53.4%
7지역(신부평3)	86.9%
8지역(신시흥3)	64.7%
9지역(동서울3)	60%
10지역(광양3)	52.7%
11지역(양주3)	52.7%
12지역(신김해3)	45.5%

12개지역의 무효전력 평균 예비율은 59.9%로 8개지역으로 분할된 경우보다는 높아졌으나 예비율 최고지역과 최저지역의 편차는 41.3으로 8개지역으로 분할된 경우보다 22정도 높아지는 것으로 나타났다. 이는 대표모선의 선정시 반드시 제어지역에 포함될 제어발전기의 예비력의 고려가 함께 이루어져야 함을 보여준다고 할 수 있다. 의령#31의 경우를

보면 4개지역, 8개지역으로 분할된 경우 보다 제어발전기의 개수가 현격히 줄어들어 보이는 데 이는 의령#31인근에 광양3, 신김해3이 대표모선으로 선정되어 의령#31이 포함하던 기존의 발전기들을 나누어 가져갔기 때문이다. 그리고 1지역과 4지역이 모두 북부산이 선정되었는데 계통 데이터를 살펴본 결과 실제 북부산3과 북부산3S는 선로, 변압기의 직접적인 연결이 없는 것으로 나타났다. 따라서 전기적 거리로 분할된 결과로는 이상이 없음을 확인하였다.



<그림 3> 제어지역별 발전기 무효전력 예비율(%)

2.2.4 결과 분석

위의 세가지 경우는 모두 전압제어지역 분할 기준값을 모든 지역에 일정한 값으로 지정하고 분할된 결과이다. 이는 계통운영자의 판단이나 계통도를 고려한 결과가 아님을 의미한다. 따라서 오직 전기적인 감도만을 이용한 결과인 것이다. 이 결과들은 전기적 거리법을 계통에 적용하기 위해서는 첫째로 각 제어지역을 나누는데 적절한 기준값이 지정이 필요함을 보여주고 둘째 선정되는 대표모선에 따라서 제어지역별 발전기의 무효전력 예비율이 변화함으로 대표모선 선정시에는 이에 대한 고려가 반드시 필요함을 보여준다. 그리고 마지막으로 제어지역의 적절한 발전기 무효전력 예비력의 확보를 위해서 전기적으로 근접한 대표모선들의 통합 또한 필요한 것을 알 수 있었다.

3. 결 론

무효전력의 수급 불균형으로 인한 전압의 불안정을 막기 위해서는 2차적 전압 제어가 필요하다. 이런 2차적 전압 제어를 위해서는 우선 우리나라 계통을 각 전압제어지역으로 나누고 각 제어 지역별 대표모선의 선정 작업이 이루어져야 한다. 이를 위해서 전기적 거리법을 사용하여 2006년도 국내 계통 데이터에 적용해 전압제어지역을 나누었고 각 제어 지역별로 발전기 무효전력 예비율을 계산해 제어지역과 무효전력 예비율의 관계를 알아보았다. 2차적 전압제어를 위해서는 발전기의 무효전력의 제어가 필요하므로 제어지역별 발전기의 무효전력 예비율은 매우 중요한 의미를 가진다. 이는 위의 세가지 경우에 대한 실험결과를 통해 확인해 볼 수 있었다. 전기적 거리법에서는 제어지역분할 기준값과 선정되는 대표모선에 따라 지역적으로 발전기 무효전력 예비율의 차이가 크게 달라짐이 실험을 통해 나타났다. 따라서 계통을 제대로 분할하고 제어발전기의 적절한 포함을 위해서는 대표모선 선정과 발전기 선정에 대해 기준값을 계통 운영자가 적절히 조절해야함을 알 수 있었다. 이를 위해서 좀 더 계통을 깊게 파악하려면 발전기와 대표모선 사이의 관계와 대표모선들 간의 전압변동 커플링 현상들이 함께 고려되어야 할 것이다. 하지만 우선적으로 제어 발전기의 무효전력 예비력을 고려한 대표모선 선정이 기본적으로 이뤄진 후에야 위 사항들의 고려 또한 의미가 있을 것으로 생각된다. 각 제어지역별로 충분한 예비력을 확보한 후에야 제어지역별로 변화하는 부하에 따른 대표모선의 전압 유지가 가능할 것이기 때문이다.

감사의 글 : 본 연구는 전력기술개발 기반기금의 연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] P. Lagonotte, J. C. Sabonnadiere, J. Y. Leost, J. P. Paul, "Structural Analysis Of The Electrical System: Application To Secondary Voltage Control in France", IEEE Trans. on Power Systems, vol.4, no. 2, May 1989.