

국내계통의 지역별 발전기 무효전력 예비력 산정을 위한 제어발전기 결정

최근영*, 배문성*, 최윤혁*, 이병준*, 최홍석**, 강부일**, 조종만**
고려대학교*, 전력거래소**

The Selection of Effective Control Generators for Calculating the Regional Reactive Power Reserve in Korean Power System

Geunyoung Choi*, Moonsung Bae*, Yun-Hyuk Choi*, Byongjun Lee*, Hongseok Choi**, Buil Kang**, Jong-Man Cho**
Korea University*, Korea Power Exchange**

Abstract - 전압이 정격전압을 유지하지 못하면 전기기기의 효율 저하, 수명단축, 손실증대를 야기 시킨다. 하지만 더 큰 문제는 예기치 못한 사고 및 급격한 부하 증가에 따라 전압이 떨어질 때 생길 수 있는 전압붕괴 현상이다. 전압 붕괴 현상은 대규모로 퍼져 대정전 사태를 초래할 수 있다.[1]

전압안정도를 유지하고 향상시키기 위해 적절한 무효전력의 공급 및 무효전력 예비력 확보는 매우 중요하다.[2] 무효전력 공급을 위한 설비에는 병렬 커패시터, 발전기 등이 있다.

하지만 병렬 커패시터 등 조상설비는 이미 설치되어 있는 양만큼만 출력을 낼 수 있고 사고 등의 급격한 계통변화에 빠르게 대응할 수 없다. 즉, 사고나 급격한 부하 증가에 효율적으로 대응하기 위한 수단으로 발전기 순동 무효 예비력의 확보가 필수적이다.

하지만 무효전력은 지역적 특성을 띄고 있다. 그렇기 때문에 예비력의 확보와 더불어 지역적 특성을 반영해야만 한다.

본 논문에서는 발전기 무효전력 예비력 관점에서 무효전력의 지역적 특성을 고려 국내지역별 발전기 무효전력 예비력 산정을 위한 발전기 선정을 목표로 한다.

1. 서 론

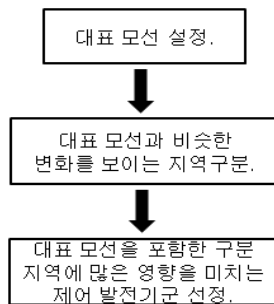
주파수는 유효 전력의 수급 불균형을 나타내는 지표로 사용되고 전압은 무효전력의 수급 불균형을 나타내는 지표로 사용된다. 하지만 그 특성은 매우 다르다. 주파수가 계통 전체에 같은 특성을 띄는 반면 전압은 지역적 특성을 띄게 된다. 즉, 지역별 무효전력 수급현황에 따라 그 지역 전압은 변화된다.

무효전력의 지역적 특성을 이용 제어 지역을 구분하고 그 지역 전압 변화에 영향을 크게 미치는 발전기를 찾고 제어함으로써 안정적인 무효전력 공급을 통해 전압을 유지하고 전압안정도를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 대표 모선 선정 및 지역별 제어 지역을 구분하고 그에 맞는 발전기 선정을 통해 지역별 무효전력예비력 산정을 위한 제어발전기 선정을 한다.

전력조류방정식을 기초로 하여 fast decoupled algorithm을 통해서 제어 지역을 나누고 그 지역 제어에 많은 영향을 미치는 제어발전기를 산정한다.

2. 본 론

2.1 제어발전기 선정 알고리즘



〈그림 1〉 제어발전기 선정 프로세스

전력조류계산을 바탕으로 대표 모선 선정 및 지역구분, 발전기를 선정한다. 일반적으로 전력조류계산을 수행할 때 발전기 무효전력 방정식은 포함시키지 않는다. 하지만 제어발전기를 선정하기 위해 발전기 무효전

력 방정식도 포함시켜 발전기와 모선간의 감도를 계산한다.

2.1.1 대표 모선 및 지역 구분.

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_G \\ \Delta Q_L \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} B_{GG} & B_{GL} \\ B_{LG} & B_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_G \\ \Delta V_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fast Decouple 알고리즘을 사용하여 발전모선과 부하모선의 무효전력 방정식을 세운다. 여기서 우리는 대표모선을 선정하고 제어지역을 구분하기 위해 부하의 무효전력 변화에 따른 부하의 전압변화량을 계산한다. 위 행렬에서 부하의 무효전력변화에 관한 식을 다시 정리하면 식(2)와 같다.

$$\Delta Q_L = -[B_{LG}][\Delta V_G] - [B_{LL}][\Delta V_L] \quad (2)$$

발전기 단자전압의 변화가 없는 정상상태라 가정하면 식(2)는 식(3)과 같이 정리될 수 있다.

$$\frac{\Delta V_L}{\Delta Q_L} = -[B_{LL}]^{-1} \quad (3)$$

식(3)은 무효전력 변화에 대한 전압변동 비율을 나타낸다. 즉 각 모선의 무효전력 변화에 따라 각 모선의 전압변동 양을 구해낼 수 있다. 감도행렬 (3)을 이용해서 대표모선 선정 및 제어지역을 구분할 수 있게 된다.

식(3)의 (i,j) 성분은 i 번째 모선 부하 변화에 대한 j 모선의 전압변화에 해당하고 (i,i) 성분은 i 번째 모선의 부하 변화가 j 모선의 전압변화에 미치는 영향을 의미한다.

식(3)을 아래와 식(4)와 같이 재 정리 한다.

$$\begin{aligned} (B_{LL})_{11} &< (B_{LL})_{ii} \\ (B_{LL})_{11} &> (B_{LL})_{21} > (B_{LL})_{31} \dots \dots (B_{LL})_{N1} \end{aligned} \quad (4)$$

(with $r = 2, 3, \dots, \text{load num}$)

이때 대각성분은 대표모선의 후보군이 된다.

그 후 식(5)의 정규화 과정을 통해 대표모선과의 전기적 거리가 가까운 모선을 같은 제어지역으로 나눈다.

$$\beta_{ij} = \frac{(B_{LL})_{ij}}{(B_{LL})_{jj}} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, \text{load num}$$

$$j = 1, 2,$$

(4)~(5)식을 계속 이용해서 대표모선 및 제어지역을 구분할 수 있다.[3][4]여기서 주목해야 할 점은 베타 값을 조정하여 제어지역을 넓힐 수도 줄일 수도 있다는 점이다. 하지만 대표모선 선정 및 제어지역을 구분하는 것은 계통 상황에 맞게 고려되어야만 한다. 즉, 계통 운영자의 경험 등을 반영시켜 최적의 대표모선 및 제어지역을 찾아내야 한다.

2.1.2 제어발전기 선정.

대표모선을 선정하고 제어지역 구분이 끝나면 대표모선에 많은 영향을 미치는 제어발전기를 선정해야 한다. 즉, 발전기의 무효전력 변화량에 따라 부하의 전압변동이 큰 제어발전기를 선정해야만 한다.

제어발전기 선정 역시 식(1)을 바탕으로 도출해 낼 수 있다. 부하모선의 무효전력에 관한 식을 부하모선 전압에 관하여 정리하고 그 식을 발전기 무효전력에 관한 식에 대입하여 정리하면 식(6)과 같이 정리 된다.

$$\Delta V_L = -[B_{LL}]^{-1}[B_{LG}][\Delta V_G] - [B_{LL}]^{-1}[\Delta Q_L] \quad (6)$$

$$\Delta Q_G = -([B_{GG}] - [B_{GL}][B_{LL}]^{-1}[B_{LG}])[\Delta V_G] + [B_{GL}][B_{LL}]^{-1}[\Delta Q_L]$$

식(6)을 비슷한 방법으로 하여 좌변에는 전압변동에 관한 식만 남기고

우변을 무효전력 부하량에 관해 정리하면 식(7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Delta V_L &= -[S_{LG}][\Delta Q_G] + [S_{LL}][\Delta Q_L] \\ \Delta V_G &= -[S_{GG}][\Delta Q_G] + [S_{LG}]^T[\Delta Q_L] \end{aligned} \quad (7)$$

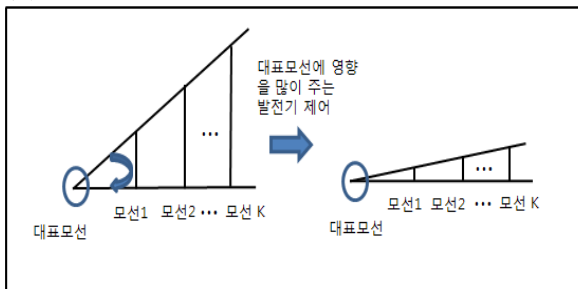
with

$$\begin{aligned} S_{GG} &= ([B_{GG}] - [B_{GL}][B_{LL}]^{-1}[B_{LG}])^{-1} \\ S_{LG} &= -[B_{LL}]^{-1}[B_{LG}][S_{GG}] \\ S_{LL} &= -[B_{LL}]^{-1} - [S_{LG}][B_{GL}][B_{LL}]^{-1} \end{aligned}$$

위 식(7)에서 알 수 있듯이 S_{LG} 는 부하모선 전압변동에 영향을 주는 발전기의 무효전력 변화량을 의미한다.

식(4)~(5)와 비슷한 방법을 S_{LG} 정렬하여 제어발전기를 선정하지만 다른 점은 S_{LG} 행렬 정렬시 대각행렬은 값이 가장 큰 값으로 정렬한다는 점이다. 그리고 식(5)와 비슷한 개념으로 정규화 하여 특정 값 이상의 값을 제어발전기로 선정한다.[3][4]

그 이유는 <그림 2>로 설명할 수 있다. 대표모선과 비슷한 양상을 보이는 지역을 구분하였으므로 변화량이 큰 모선을 관찰하는 것보다 대표모선을 관찰하여 그 지역의 변화를 예측하고 대표모선에 영향을 많이 주는 발전기를 제어함으로써 대표모선의 전압을 제어 할 수 있게 되는 것이다.



<그림 2> 대표모선과 제어발전기의 동작

2.2 국내 계통 적용 결과

2.2.1 대표모선 및 제어 지역

2010년 국내 계통에 적용결과 <그림 3>과 같은 결과를 얻었다. 위에 언급 하였듯이 제어지역 구분 및 제어발전기 선정 시 계통운영 데이터 및 계통 운영자의 적절한 판단이 큰 비중을 차지하게 된다.

우리나라의 지리적 구분을 고려 크게 5개 권역으로 구분하여 수도권, 강원 지역, 충청 지역, 경상 지역, 전라도로 구분한다. 그리고 부하가 집중된 수도권을 2개 지역으로 구분하면 총 10개의 제어지역으로 구분 할 수 있다.

물론, 수도권 권역 구분 시 미급, 신성남 모선을 대표모선으로 선정하여 수도권을 남, 북으로 구분할 수 있지만 부하량의 배분 등을 고려하며 수도권을 동/서로 구분 동서울, 신부평 모선을 대표모선으로 선정 하였다.

대표모선 선정 및 제어지역구분은 지금까지의 계통 운영 실적 및 엔지니어의 판단을 통해 결정해야만 한다. 즉, 여러 가지 시뮬레이션을 통해 무효전력 수급 및 제어를 최적화 시킬 수 있어야 한다.

2.2.2 제어발전기 선정

대표모선과 제어지역이 구분되면 그에 따라 제어발전기가 선정된다. 선정된 제어발전기는 대표모선 전압유지에 많은 영향을 주는 발전기로 구분된 제어지역의 무효전력 수급, 전압제어 유지에 사용된다.

(표1)은 수도권을 동/서로 구분하여 그 외 지역을 8개 권역으로 구분한 후 그에 따른 제어발전기를 나타내었다. 전력조류계산을 바탕으로 나온 제어발전기는 일반적으로 대표모선과 가까운 곳에 위치한 발전기가 된다. 좀 더 명확히 말하자면, 대표모선과 전기적거리가 가까워 대표모선의 변화에 많은 영향을 미치는 발전기가 제어발전기가 된다. <그림 3>은 제어지역과 대표모선 그에 따른 제어발전기를 나타내었다.

3. 결 론

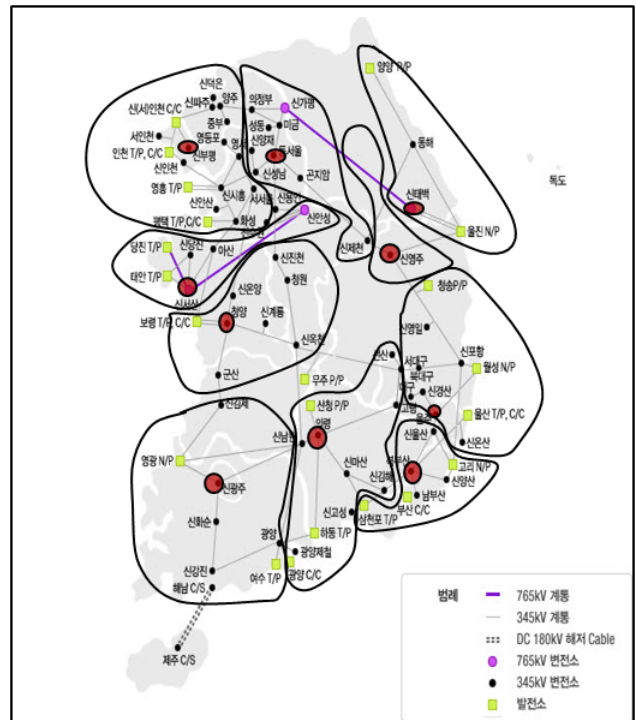
국내 계통의 특징은 부하는 수도권에 집중되어 있고, 발전소는 지방에 위치하고 있다. 특히, 많은 발전량을 생산하는 원자력 발전소는 최대 한계 발전량을 출력하기 때문에 전압변동에 대한 제어발전기로 적합하지 않다. 즉, 부하모선 근처에 위치한 발전기가 고려대상이 되어야 함을 알 수 있다.

적절한 제어발전기 선정을 통해 지역의 전압안정도를 효율적으로 향상시킬 수 있다. 앞으로의 연구방향은 다른 제어지역 간 근접한 모선을 명확히 구분하고 이 결과를 바탕으로 지역별 발전기 무효전력 예비력을

산정한다.

<표 1> 제어발전기 선정 결과

대표모선	제어 발전기 군
의령	산청, 무림과위택, 하동,합천
북부산	부산, 삼랑진,고리,울산,영남,울산,삼천포
청양	보령, 서천, 공단열병
신서산	태안, 현대그린, 태안, 현대, 부곡, 당진
울주	월성, 신고리, 포철소내, 대구열발, STX발전
신부평	포스코, 서인, 인천, 서울, 일산, 신인, 부천, 논현열병합, 영흥, 화천, 팔당, 청평, 의암, 안양, 춘천, 안산도시, 평택, 오산에너지
동서울	청평, 분당, 소양, 화성, 수원열병
신태백	울진, 양양, 영동, 동해
신영주	임하, 안동, 울진, 영월, 청송
신광주	영광, 주암, 울춘, 금호여수, 호남, 여수, 광양, 섬진



<그림 3> 대표모선 및 제어지역

감사의 글
본 결과물은 한국 전력거래소의 지원으로 수행된 '지역별 적정 무효전력 예비력 산정에 관한 연구' 및 한국과학재단의 연구지원에 의하여 수행된 연구결과입니다. 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송길영, "신편 전력 계통 공학", 343~345, 2009
- [2] Feng Dong, Badrul H. Chowdhury, Mariesa L. Crow,Levent Acar,"Improving Voltage Stability by Reactive Power Reserve Management", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.20, N0.1,February 2005
- [3] Massimo Solvetti, Milena Zaramella, Massimo Pozzim Sandro Corsi, "Feasibility Study of the Automatic Voltage Control of the KEPCO Transmission Grid", CESI-Intermediate Report , Draft-Part I, , 80~85, 2006
- [4] 김봉식, "한전 계통의 계층적 전압제어를 위한 제어발전기의 효과 연구", 석사논문 고려대학교, 2007