

A Study on the Analysis and Control of Voltage Stability

張壽亨*·金圭浩**·劉錫九***
(Su-Hyeong Jang·Kyu-Ho Kim·Seok-Ku You)

Abstract—This paper presents an efficient method to calculate voltage collapse point and to avoid voltage instability. To evaluate voltage stability in power systems, it is necessary to get critical loading points. For this purpose, this paper uses linear programming to calculate efficiently voltage collapse point. Also, if index value becomes larger than given threshold value, voltage stability is improved by compensation of reactive power at selected bus. This algorithm is verified by simulation on the IEEE 14-bus sample system.

Key Words : Critical Load(임계부하), Voltage Instability(전압불안정), Clustering Method, Linear Programming(선형계획법), Reactive Power Compensation(무효전력보상)

1. 서론

최근 전력계통은 전원의 원거리화, 편재화 및 대용량화에 따라 송전선의 선로조류가 증가하는 등 대규모 복잡화 되고 있다. 특히 냉방기기 사용으로 인한 단시간내에 급증하는 전력수요는 계통에 무효전력 불균형을 가져와, 최악의 경우 계통붕괴까지 초래된다. 이러한 계통붕괴 현상은 미국, 일본, 프랑스 등의 선진국에서 경험하였으며[1], 우리나라도 계통의 변화추세로 보아 전압붕괴의 위험을 내포하고 있으므로 계통계획 및 운용에 있어 전압안정도의 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다. 지금까지 전압안정도에 관련된 연구중 전압안정도 평가와 감시에 많은 연구가 집중되어 왔으며, 특히 임계부하에 관한 연구는 전압 무효전력감도에 의한 방법[2], 최적화에 의한 방법[3], 자코비안 행렬식의 그레너안트를 이용하는 방법[4] 등이 제시되고 있다. 그리고 전압불안정회피를 위해서는 전압안정도 지수를

정의한 후 이 지수의 값이 일정범위 내로 유지하도록 제어하는 방법 등이 연구되고 있다[5]. 그러나 이러한 방법은 일반적으로 계산시간이 많이 걸려 대규모 전력계통에 적용하기에는 문제점이 있다. 따라서 계산시간을 감소시킬 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

본 연구에서 전압안정성을 평가하기 위한 임계부하계산 알고리즘으로는, 부하가 증가함에 따라 무효전력 선로손실은 서서히 증가하다가 전압붕괴점 근처에서 급속히 증가하므로 무효전력 선로손실을 최대화시키므로써 임계부하를 구한다. 이것을 선형화하여 선형계획법으로 무효전력 선로손실이 증가하는 방향으로 부하를 증가시켜 임계부하를 구하는 계산시간을 단축하는 방법을 제안한다. 또한 계통의 전압불안정회피를 위하여 전압보상모선에 무효전력을 보상하여 전압안정도를 개선하는 방안을 제시한다.

이를 모델계통에 적용하여 효용성 및 타당성을 입증한다.

2. 전압붕괴 임계부하계산

2.1 문제의 정식화

본 연구에서 제시한 전압붕괴 임계부하를 계산하기 위한 문제의 정식화는 다음과 같다.

*正會員: 漢陽大 大學院 電氣工學科 碩士課程

**正會員: 漢陽大 大學院 電氣工學科 博士課程

***正會員: 漢陽大 工大 電氣工學科 教授·工博

接受日字: 1993年 12月 20日

1次修正: 1994年 2月 18日

2.1.1 목적함수

전력계통에서 부하가 증가함에 따라 무효전력 손실은 서서히 증가하다가 전압붕괴점 근처에서 급속히 증가한다. 이러한 현상을 이용하여 본 연구에서는 무효전력 선로손실을 목적함수로 하고 이것을 최대화하여 임계부하를 계산한다. 또한 선형계획법으로 문제의 해를 구하기 위하여 무효전력 선로손실을 선형방정식으로 유도하고, 식 (1)과 같이 최대화 하였다.

$$MAX \Delta Q_{loss} = MAX [S_L]^T [\Delta Q] \quad (1)$$

여기서

$$S_L = \left[\frac{\partial Q_{loss}}{\partial Q} \right] = \left[\frac{\partial V}{\partial Q} \right]^T \left[\frac{\partial Q_{loss}}{\partial V} \right]$$

ΔQ_{loss} : 무효전력손실 변화량

ΔQ : 부하의 무효전력변화량 벡터

$\left[\frac{\partial V}{\partial Q} \right]$: 부하의 무효전력에 대한 전압감도 벡터

$\left[\frac{\partial Q_{loss}}{\partial V} \right]$: 모션전압크기에 대한 무효전력손실감도 벡터이다.

2.1.2 제약조건

부하가 증가함에 따라 모션전압은 감소하고 특히 임계점 근처에서 급격히 감소하므로, 본 최적화 문제의 제약식으로는 최대전력전달원리에 의해 현 운전점에 대한 예상임계전압을 구하고 부하의 무효전력증가에 따른 모션전압의 변화분이 현 운전점에서 예상임계전압까지의 전압강하여유분을 초과하지 않도록 식 (2)와 같이 구성 한다.

$$\left[\frac{\partial V}{\partial Q} \right] [\Delta Q] \geq [V_{pred}^{crit}] - [V^0] \quad (2)$$

여기서

$[V^0]$: 현 운전점전압크기 벡터

$[V_{pred}^{crit}]$: 예상임계전압크기 벡터

식 (1)과 (2)에서 제어변수는 부하의 무효전력변화량 ΔQ 이고 상태변수는 부하모선의 전압 변화량 ΔV 이다.

식 (2)의 예상임계전압 V_{pred}^{crit} 는 다음절에서 상세히 설명한다.

2.2 예상임계전압

2 모션계통으로부터 예상임계전압을 유도하고 N 모션계통에 적용하여 일반적인 예상임계전압을 구한다.

2.2.1 2모션 계통

그림 1과 같이 내부 임피던스 $Z_s \angle \beta$ 의 정전압원 V_s 가 부하임피던스 $Z_L \angle \phi$ 에 전력을 공급하는 2모션 계통에서 부하의 예상임계전압 V_{pred}^{crit} 를 유도한다[6].

그림 1에서 최대전력전달원리에 의해 부하에 전달되는 최대전력은 $Z_L / Z_s = 1$ 일때 이다. 이러한 최대전력전달조건을 이용하여 전압붕괴조건을 구하며, 이 때의 부하전압을 예상임계전압이라 하고, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$V_l^{crit} = V_{pred}^{crit} = \frac{V_s}{\sqrt{2[1 + \cos(\beta - \phi)]}} \quad (3)$$

$$= \frac{V_s}{2\cos\left(\frac{\beta - \phi}{2}\right)}$$

2.2.2 N 모션 계통

테브닌이론에 의하면 선형소자와 에너지원으로 구성된 회로는 이상전압과 임피던스의 직렬 회로로 나타낼 수 있으며, 전력계통에서는 어떤 모선의 무부하 단자전압 V_s 와 그 모선에서 본 회로의 테브닌등가 임피던스 Z_s 로 계통의 등가 회로를 구성할 수 있다.

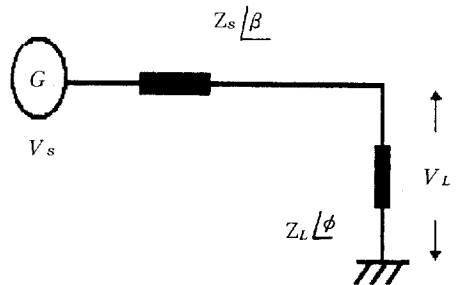


그림 1 2 모션 모델계통
Fig. 1 2 Bus Model System

N모선 계통에 대해서 모선 i 와 대지 사이의 단자에서 본 테브닌 등가임피던스는 $Z_{ii} \angle \beta_i$, 부하모선 i 에서 부하 임피던스는 $Z_i \angle \phi_i$ 으로 가정하면, 모선 i 에서 부하에 전달할 수 있는 전력은 식 (4)의 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{Z_{ii}}{Z_i} \leq 1 \quad (4)$$

여기서

$Z_{ii} \angle \beta_i$: 모선 임피던스 행렬 $[Z]$ 의 i 번째 대각 요소

$Z_i \angle \phi_i$: 모선 i 의 부하 임피던스

2.2.3 예상임계전압 계산절차

예상임계전압은 다음과 같은 절차에 의하여 계산한다.

1) 현 운전점의 계통상태를 알기 위하여 조류계산을 한다.

2) 부하와 발전기의 유효·무효전력을 선형화 (shunt element로서 표현) 한다.

전력계통은 비선형소자(발전기, 부하)에 의해 발생되는 계통의 비선형성 때문에 테브닌이론은 정확히 유지할 수 없다. 이를 해결하기 위해 부하와 발전기 주입전력을 어드미턴스로 표현하여 운전점에서 계통을 선형화한다. 이때 부호를 적절히 고려하여야 하며 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$Y_i \angle -\phi_i = \frac{I}{V} = \frac{P_i}{V_i^2 \cos \phi_i} \angle -\phi_i \quad (5)$$

여기서 $\angle \phi_i = \angle \tan^{-1}(Q_i/P_i)$ 이며,
부하의 경우

$$P_i = P_{Ni} \times \left\{ \alpha_{\beta i} + \beta_{\beta i} \left(\frac{V_i}{V_{0i}} \right) + \gamma_{\beta i} \left(\frac{V_i}{V_{0i}} \right)^2 \right\}$$

$$Q_i = Q_{Ni} \times \left\{ \alpha_{\alpha i} + \beta_{\alpha i} \left(\frac{V_i}{V_{0i}} \right) + \gamma_{\alpha i} \left(\frac{V_i}{V_{0i}} \right)^2 \right\}$$

$\alpha_{\beta i}, \alpha_{\alpha i}$: 정전력 부하성분 계수

$\beta_{\beta i}, \beta_{\alpha i}$: 정전류 부하성분 계수

$\gamma_{\beta i}, \gamma_{\alpha i}$: 정임피던스 부하성분 계수

V_{0i} : 기준운전전압

P_{Ni}, Q_{Ni} : 정규운전 전압에 대한 모선 i 의 부하

3) 테브닌 임피던스 $Z_{ii} \angle \beta_i$ 를 계산한다.

a. 모선 i 의 부하를 제거하고, 선형화된 모델을 포함한 모션어드미턴스 행렬 $[Y]$ 를 계산한다.

b. 모션어드미턴스 행렬 $[Y]$ 를 역행렬하여 모션임피던스 행렬 $[Z]$ 를 구한다. 모선 i 에서 본 테브닌임피던스 $Z_{ii} \angle \beta_i$ 는 $[Z]$ 의 i 번째 대각요소이다.

4) 무부하전압 V_s 를 구한다.

선형화된 계통에서 모선 i 의 무부하전압을 구하기위해 그 모선에서 부하를 제거한 후 조류계산을 한다. 이때 계통에서 슬랙모선을 제외한 모든 모선의 유효·무효전력을 2)에서 어드미턴스로 대치하였으므로 $P=0, Q=0$ 인 부하모선으로 간주한다. 조류계산 결과에서 모선 i 의 전압이 바로 모선 i 의 무부하전압 V_s 이다.

5) 식 (3)의 예상임계전압을 계산한다.

2.2.4 clustering 기법

전력계통의 전체 부하모선중에서 무효전력에 대한 전압감도가 유사한 모선들은 부하 변동에 따른 전압변화가 거의 같다고 보고, clustering기법을 적용하였다. $C = \{1, 2, \dots, l\}$ 는 계통의 부하모선집합이고, clustering의 조건은 식 (6)과 같이 정의하였다.

$$C_L = \{u_k | \epsilon_{Li} \leq u_k \leq \epsilon_{Lj}\} \quad (6)$$

여기서, $u_k = \frac{\partial V_k}{\partial Q_k}$

k : 임의의 cluster에 포함되는 부하모선

$L = 1, 2, \dots, n$

n : cluster의 수

$\epsilon_{Li}, \epsilon_{Lj}$ 는 계통에 따라 임의로 결정

$C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_n = C$ 이고, 각 cluster에서 부하에 대한 전압감도의 값이 가장 큰 모선에서만 V_s 와 Z_{ii} 를 계산하고 예상 임계전압 V_{pred}^{crit} 를 구하여 최적화 문제의 제약식으로 사용한다. 이러한 clustering기법을 이용하므로써, 테브닌 임피던스 Z_{ii} 를 계산하기 위하여 모션어드미턴스 행렬 $[Y]$ 를 역행렬하는 횟수를 전체 부하모선의 수에서 cluster수 만큼 대폭 감소시킬 수 있다. 또한, 무부하전압 V_s 를 구하는 데 있어서 cluster의 수

만큼 조류계산의 수를 줄일 수 있으므로 상당한 계산량을 감소시킬 수 있기 때문에 실제 적용에 효과적임을 알 수 있고, 이것을 사례연구를 통하여 타당성을 입증하였다.

2.3 임계부하계산 순서도

지금까지 설명한 전압붕괴 임계부하계산을 선형계획법에 의하여 무효전력증가분을 결정하고 식 (7)과 같이 증가시킨다.

$$Q^{k+1} = Q^k + \Delta Q^k \quad (7)$$

유효전력은 역률이 일정하다고 가정하여 식 (8)과 같이 증가시킨다.

$$P^{k+1} = P^k + (pf / \sqrt{1 - pf^2}) \Delta Q^k \quad (8)$$

또한, 조류계산시 부하의 전압특성을 정전력, 정전류, 정임피던스 특성으로 고려하여 부하를 모델링한다[3, 4, 5]. 그림 2는 전압붕괴 임계부하계산 알고리즘의 순서도이다.

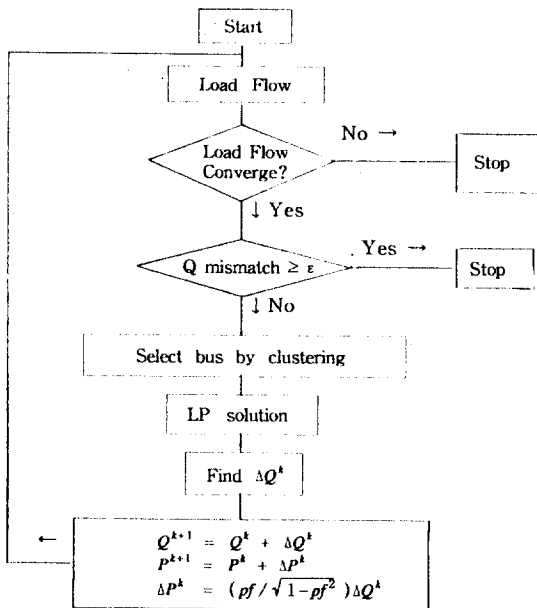


그림 2 임계부하계산 알고리즘 순서도
Fig. 2 Computation Algorithm for Critical Load

3. 전압불안정 회피방안

본 연구에서는 전압불안정 회피방안으로 전압안정도 지수를 이용하여 계통상태를 감시하고, 이 지수값이 일정치 이내로 유지되도록 한다. 그리고 지수의 값이 미리 정해진 문턱값을 벗어나면 제어하여 전압안정도를 개선한다. 무효전력부하에 대한 전압감도가 큰 모선을 전압보상모선으로 한다. 제어를 위한 최적화기법으로는 선형계획법을 사용한다. 또한, 전압붕괴를 대처하기 위해서는 조상설비를 적절히 투입하여야 한다. 따라서 무효전력 보상량을 목적함수로 하여 보상량을 최대로 한다.

3.1 전압안정도 지수

전압안정도 지수로는 전압·무효전력감도, 자코비안의 행렬식, 자코비안의 특이해의 최소값 등이 제시되고 있지만, 일반적으로 계산량이 많다는 문제점을 가지고 있다.

그림 3은 부하가 증가함에 따라 전압은 서서히 감소하다가 급격히 감소하고, 무효전력 선로손실은 서서히 증가하다가 전압 붕괴점에 근접할수록 급격히 증가함을 알 수 있다. 즉 전압붕괴 현상은 전압강하와 무효전력 선로손실 증가의 반복에 의하여 일어나는 것이므로 무효전력 선로손실을 이용하여 전압불안정이 되는 것을 회피하는 것이 좋을 수 있다. 또한, 계통의 총 무효전력 선로손실은 조류계산을 통해 구할 수 있으므로 대규모 전력계통 적용에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 계통의 총 무효전력 선로손실 Q_{loss} 를 전압안정도 지수로 사용한다.

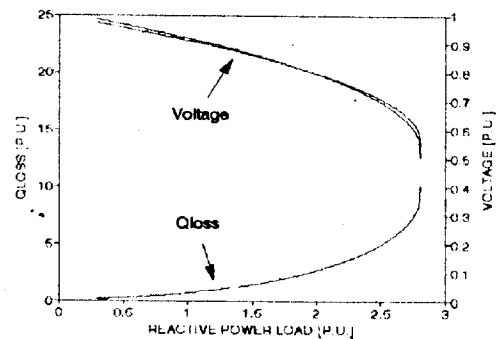


그림 3 전압과 무효전력 선로손실
Fig. 3 Voltage and Reactive Power Line Loss

3.2 최적화문제의 정식화

전압붕괴 현상은 전압강하와 무효전력 선로손실 증가라는 악순환의 반복에 의해서 발생하는 것이므로, 본 연구에서는 각 부하모선의 전압을 보상해 줌으로써 전압안정도를 개선한다.

3.2.1 목적함수

전압안정도를 개선하기 위한 제어를 하기 위해서 최적화문제의 목적함수를 식 (9)와 같이 전압보상 모션에서 무효전력보상량 ΔQ_c 의 합이 최대가 되도록 정식화한다.

$$MAX \sum \Delta Q_c \quad (9)$$

3.2.2 제약조건

전압불안정 회피방안의 제약으로는 부하모선 전압크기 V 와 무효전력보상량 Q_c 의 상·하한치를 설정하므로써 식 (10)과 같이 정식화한다.

$$[\Delta V^{min}] \leq \left[\frac{\partial V}{\partial Q_c} \right] [\Delta Q_c] \leq [\Delta V^{max}] \quad (10)$$

$$[\Delta Q_c^{min}] \leq [\Delta Q_c] \leq [\Delta Q_c^{max}]$$

여기서

$$\Delta V^{max} = V^{max} - V^0$$

$$\Delta V^{min} = V^{min} - V^0$$

$$\Delta Q_c^{max} = Q_c^{max} - Q_c^0$$

$$\Delta Q_c^{min} = Q_c^{min} - Q_c^0$$

0 : 현재의 운전점

따라서 식 (10)의 제약조건을 만족하면서 식 (9)의 목적함수를 최대화하므로써 전압안정도를 개선시킨다.

3.2.3 전압불안정회피를 위한 순서도

지금까지 설명한 전압불안정 회피방안에 대한 순서도는 그림 4와 같다.

4. 사례연구

본 연구에서 제시한 전압붕괴 임계부하계산 알고리즘과 전압불안정 회피방안의 효용성을 입증하기 위하여 IEEE 14 모션 모델계통에 대하여

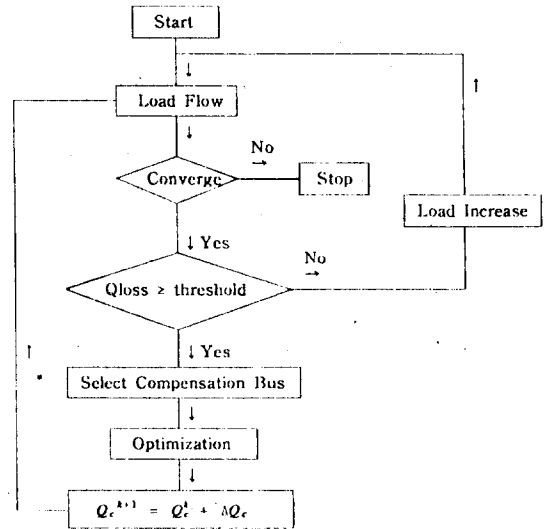


그림 4 LP를 이용한 전압불안정회피 방안
Fig. 4 Algorithm for Voltage Instability Avoidance using LP

모의실험을 하였다. 표 1, 표 2는 각각 모델계통의 모션데이터 및 선로데이터이다.

표 1 IEEE 14 모션 모델계통 모션데이터
Table 1 Bus Data of IEEE 14 Bus Model System

Bus No.	P_L [MW]	Q_L [MVAR]	P_C [MW]	Q_m^{min} [MVAR]	Q_m^{max} [MVAR]	V [P.U.]
1	0.0	0.0	slack			1.0
2	21.7	12.7	40.0	-40.0	50.0	1.045
3	94.2	19.0	0.0	0.0	40.0	1.010
4	47.8	-3.9	0.0			1.0
5	7.6	1.6	0.0			1.0
6	11.2	7.5	0.0	-6.0	24.0	1.070
7	0.0	0.0	0.0			1.0
8	0.0	0.0	0.0	-6.0	24.0	1.090
9	29.5	16.6	0.0			1.0
10	9.0	5.8	0.0			1.0
11	3.5	1.8	0.0			1.0
12	6.1	1.6	0.0			1.0
13	13.5	5.8	0.0			1.0
14	14.9	5.0	0.0			1.0

표 2 IEEE 14 모선 모델계통 선로데이터

Table 2 Line Data of IEEE 14 Bus Model System

Line NO.	Bus~Bus	R [P.U.]	X [P.U.]	Bc/2 [P.U.]
1	1~ 2	0.01938	0.05917	0.02640
2	2~ 3	0.04699	0.19797	0.02190
3	2~ 4	0.05811	0.19632	0.01870
4	1~ 5	0.05403	0.22304	0.02460
5	2~ 5	0.05695	0.17388	0.01700
6	3~ 4	0.06701	0.17103	0.01730
7	4~ 5	0.01335	0.042211	0.0064
8	5~ 6	0.0	0.25202	0.0
9	4~ 7	0.0	0.20912	0.0
10	7~ 8	0.0	0.17615	0.0
11	4~ 9	0.0	0.55618	0.0
12	7~ 9	0.0	0.11001	0.0
13	9~10	0.03181	0.08450	0.0
14	6~11	0.09498	0.19890	0.0
15	6~12	0.12291	0.25581	0.0
16	6~13	0.06615	0.13027	0.0
17	9~14	0.12711	0.27038	0.0
18	10~11	0.08205	0.19207	0.0
19	12~13	0.22092	0.19988	0.0
20	13~14	0.17093	0.34802	0.0

4.1 실제전압과 예상임계전압

그림 5로 부터 알 수 있듯이 계통의 전체부하가 0.725[P.U.]에서 2.797[P.U.]로 변화하였을 때 모선 14의 경우 무부하전압 1.03[P.U.]에서 0.99[P.U.]로, 실제전압은 1.021[P.U.]에서 0.847[P.U.]로 감소하였고, 모선 14의 예상임계전압은 0.880[P.U.]에서 0.841[P.U.]로 감소하였다. 그러므로, 본 연구에서 제시한 전압붕괴 임계부하 알고리즘에 의하여 계산한 임계부하에서 실제전압과 예상임계전압이 만남을 알 수 있다. 따라서 예상임계전압을 본 연구에서 제시한 전압붕괴 임계부하계산 알고리즘의 제약식에 사용할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 clustering적용 계산

표 3은 전압 무효전력 감도에 의한 clustering의 결과를 나타낸 것이다. 표 3에서 cluster C₃의 모선 13은 계통의 부하가 임계부하에 접근함에 따라 감도가 커져 cluster C₂에 포함되었다. 그림 6은 표 3의 clustering에 의해 축소된 예상임계

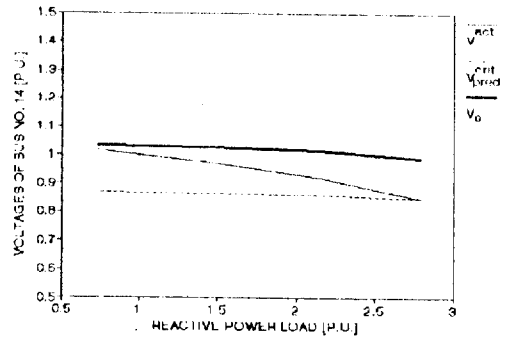


그림 5 모선 14의 전압변화
Fig. 5 Voltage Variance of Bus 14

전압의 수를 선형계획법의 제약식으로 사용하여 결정한 각 모선의 무효전력부하의 전압붕괴 여유량과 계통전체의 전압붕괴 여유량을 나타낸 것이다. 또한 그림 7은 clustering을 적용하지 않았

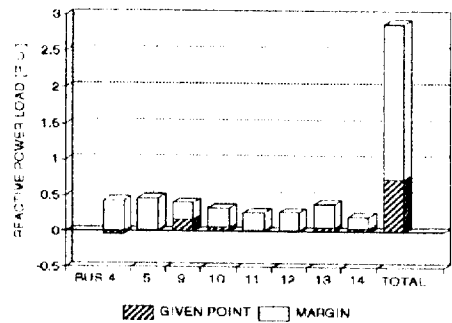


그림 6 계통붕괴에 대한 무효전력 여유량 (with clustering)
Fig. 6 Reactive Power Margin on the System Collapse(with clustering)

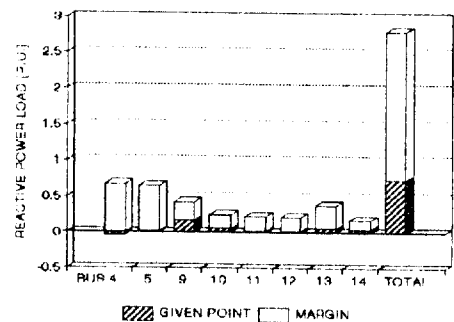


그림 7 계통붕괴에 대한 무효전력여유량 (without clustering)
Fig. 7 Reactive Power Margin on the System Collapse(without clustering)

표 3 전압·무효전력 감도에 의한 모선분류
Table 3 Bus clustering by Voltage Reactive Power Sensitivity

	모 선 번 호	ϵ_{Li}	ϵ_{Lj}
C_1	14	0.2	0.3
C_2	10, 12, 11, 9, (13)	0.1	0.2
C_3	13,5,4	0.0	0.1

을 경우이다.

그림 6과 7에서 계통 전체의 무효전력 임계부하를 비교해 보면 clustering을 적용한 경우는 2.88[P.U.]이고, clustering을 적용하지 않은 경우는 2.79[P.U.]이다. 두 경우의 차이는 0.09[P.U.]이다. 이러한 차이는 clustering의 오차라 생각된다. 이것으로 부터 임계부하계산시 선형계획법의 제약식을 구성할 때 clustering기법을 이용하여 제약식의 수를 축소하여 해를 구하여도, 계통전체 부하모선을 제약식으로 구성하여 구한 임계부하와 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 전압붕괴알고리즘에 clustering기법을 적용하여 전압붕괴 임계부하계산을 하면 계산시간과 계산량을 상당히 감소할 수 있으므로 대규모계통 적용시 효율적임을 알 수 있다.

4.3 임계부하의 타당성

본 연구에서 제시한 임계부하 계산 알고리즘의 신뢰성을 검증하기 위하여 주어진 운전조건에서 전압붕괴 임계부하까지의 총 무효전력 편차와 모선 14번의 전압을 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 부하가 임계부하에 근접할수록 모선 14의 전압은 급격히 감소하고, 또한, 조류계산의

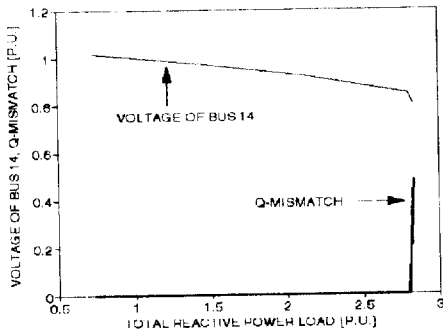


그림 8 전압과 무효전력 편차
Fig. 8 Voltage and Q-mismatch

수렴성이 나빠게되어 전압붕괴점 근처에서 총 무효전력 편차는 급격히 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상은 일반적인 계통붕괴 현상과 거의 일치하므로, 본 연구에서 제시한 임계부하계산 알고리즘의 타당성이 입증됨을 알 수 있다.

4.4 전압불안정 회피방안의 효용성 분석

본 연구에서 제시한 전압불안정 회피방안의 효용성을 입증하기 위하여 IEEE 14 모선 모델계통에 적용하였다.

전압안정도 지수의 문턱값을 2.5로 하였다. 모선 10과 14에 0.4[P.U.] 그리고 모선 11과 12에 0.2[P.U.]의 무효전력원이 설치되어 있는 것으로 하였고 부하모선 전압 크기의 상·하한치를 각각 1.05, 0.95[P.U.]로 하였다. 표 4는 전압안정도 지수가 문턱값을 넘으면 제어를 실시한 경우 전압값의 변화와 첫번 및 두번째 제어시 보상량을 나타낸 것이다. 모선 14의 경우 첫번째 제어시 보상량이 전부 소모되었고, 나머지 모선은 두번째 제어시 추가적으로 전부 사용되었음을 알 수 있다.

그림 9는 제어를 실시한 경우와 제어를 실시하지 않은 경우의 결과를 나타낸 것이다. 여기서 제어를 하지 않았을 때 임계부하조건이 2.815[P.U.](무효전력부하)이었으나 두번의 제어를 실시한 경우에는 2.967[P.U.]로 임계부하가 증가하였다.

따라서 무효전력원이 설치되어 있는 모선에서 무효전력보상량을 최대화하므로써 전압안정도를 일정수준이내로 유지하여 전압안정도를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

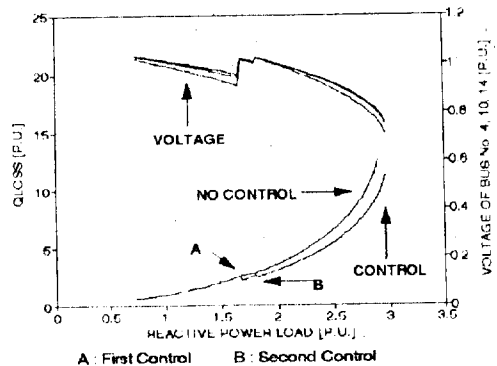


그림 9 전압안정도 지수의 비교
Fig. 9 Comparison of Voltage Stability Index

표 4 전압 보상에 따른 비교

Table 4 Comparison on the Compensation of Voltage

모선 번호	전압 (보상전)	전압 (보상후)	보상량 (제어 A)	보상량 (제어 B)
10	0.945	1.024	0.35	0.05
11	0.980	1.026	0.05	0.15
12	0.994	1.028	0.15	0.05
14	0.914	1.02	0.4	0.0

5. 결 론

본 연구에서는 전압붕괴 임계부하계산 알고리즘과 전압불안정 회피방안을 제시하였고 모델계통에 적용하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 전압안정성 분석으로 현 운전조건에서 전압붕괴에 이르는 임계부하계산 문제를 정식화하고, 해법으로 선형계획법을 이용함으로써 적은 계산량으로 전압붕괴에 대한 임계부하를 비교적 정확하게 평가하였다.
2. 임계부하 계산 문제에 부하의 전압감도를 이용한 clustering 기법을 적용하여, 제약식을 축소함으로써 임계부하 계산량과 계산시간을 크게 줄일 수 있었다.
3. 전압불안정회피 방안에서 전압안정도 지수로서 조류계산으로부터 직접구할 수 있는 무효전력 선로손실을 이용하고, 무효전력원이 설치되어 있는 모선에 무효전력을 보상함으로써 전압안정도를 개선할 수 있었다.

끝으로 본 연구에서 제시한 전압불안정회피 방안에서 조상설비 계획수립시 전압안정도 지수의 감도를 고려하여, 조상설비의 적정배치를 하면 전압붕괴 발생에 대하여 보다 적절히 대처할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 1992년도 한국전력공사 전력기술 기초연구 지원사업에 의하여 연구되었음.
과제번호 : 92-519

참 고 문 헌

[1] L. H. Fink, "Bulk Power System Voltage

Phenomena Voltage Stability and Security", EPRI EL-6183, sec. 3.4.

[2] N. Flatabo, "Voltage Stability Condition in a Power Transmission System Calculated by Sensitivity Methods", IEEE PWRS, Vol. 5, No. 4, 1990. pp. 1286~1293.

[3] T. Van. Cutsem, "A Method to compute Reactive Power Margin with respect to Voltage Collapse", IEEE 90 WM 097-6 PWRS pp.145 ~ 156.

[4] 서의석, "대규모 전력계통에서 부하의 전압 특성을 고려한 정적 전압붕괴 조건 산법에 관한 연구", 박사학위논문, 한양대학교, 1992.

[5] 김태균, "대규모 전력계통에서 정적 전압안정도 개선방안에 관한 연구", 박사학위논문, 한양대학교, 1993.

[6] A. M. Chebbo, "Voltage collapse proximity indicator : behaviour and implication", IEE PROCEEDINGS-C, Vol. 139, No.3, MAY 1992.

저 자 소 개



장수형(張壽亨)

1968년 2월 12일생. 1991년 한양대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. 금성산전 연구소 전력계통연구실 연구원.



김규호(金圭浩)

1965년 3월 8일생. 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



유석구(劉錫九)

1938년 10월 31일생. 1961년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한양대 공대 전기공학과 교수 당학회 부회장