

系統의 安全性 制御를 考慮한 動的 電壓安定도에 關한 研究

*이근준^o, *황종영, *이길순, **정태호, ***김진중, ***김용배
* 한전기술연구원, **한국전력 송변전처, ***충남대

A Study on the Dynamic Voltage Stability Considering the Power System Security Control

*Geun-Joon Lee, *Jong-Young Hwang, *Gil-Soon Lee, **Tay-Ho Jeong, ***Keon-Jung Kim, ***Yong-Bae Kim
* KEPCO Research Center, **KEPCO T/S Dept., *ChungNam National University

Abstract

The cause of black out of Tokyo Power in 1987 has been identified as the voltage stability problem. After this event, many researchers has been interested in voltage stability or voltage collapse phenomena. The voltage instability is different from the transient stability in the sense of reactive power mismatch and the long duration time.

In this study, we developed efficient tool for analyze and control the dynamic voltage instability. To analyze specific condition of dynamic voltage stability, quasi-dynamic simulation method is developed. To provide proper mathematical model for dynamic voltage stability, generator, SVC, OLTC, induction motor models are introduced. To provide specified dynamic voltage stability, the authors considered to use reactive loss function($\theta Q/\theta P$) as reactive power facility control index.

This program was tested and identified its usefulness in real KEPCO system.

I. 서론

전압안정도에 대한 관심은 1987년 일본 동경 대정전의 원인이 전압 불안정으로 판명된 이후 전압안정도에 대한 관심은 고조되어 왔다. 이전의 안정도에 대한 관심이 주로 계통의 유효

전력 평형에 집중된 반면 계통의 무효전력 수급불균형에 의한 계통붕괴를 야기시키는 전압안정도는 근래 새로이 대두된 계통상의 문제점으로 세계적으로 이에대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

그러나 정적전압안정도는 전압안정도에 중대한 영향을 주는 조상설비의 운전, 부하의 전압특성-특히 유도전동기의 동특성- 및 부하시 탭조정변압기(OLTC)등의 특성을 반영할 수 없으므로 계통안전성을 평가할 수 있는 해석결과와 정확성이 부족하다.

따라서 계통의 동적특성을 잘 반영할 수 있는 동시예전압안정성을 제어 가능한 동적전압안정도 프로그램 개발이 필요하다.

계통의 동특성이 고려된 동적전압안정도를 해석하기 위한 방법으로는 대부분 계통을 동적인 방정식(미분 방정식 또는 상태방정식)으로 표현하고 이들 방정식의 특성을 검증하는 형태를 취하고 있다. 현재까지 이 분야의 연구 결과는 실제 적용에 미흡하며, 단지 기초단계에 머물러 있는 실정이다.

이러한 문제점에 대한 해결방안으로서 정적인 접근법과 동적인 접근법을 혼합한 형태의 연구가 진행되고 있다. 이 분야의 연구는 계통을 준동적으로 해석하는 방법으로 주로 행렬의 고유치를 판별하는 방법과 또는 자코비안 행렬의 행렬식 값을 비교하는 방향의 연구가 주류를 이루고 있다.

그러나 이러한 방법들은 현 단계에서 아직까지 이에대한 명확한 개념정립과 제어방법이 되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 동적인 특성을 고려한 전압안정도의 해석과 제어를 위한 새로운 방법을 제시함과 동시에 이를 실제계에 응용할 수 있는 프로그램을 개발한 내용을 설명한다. 또한 실제 적용가능성을 검증하기위해 1994년도 한전계통에 적용하여 개발 결과의 타당성을 검증하고자 한다.

범 례

- V_N : 1차측 모션전압
 V_D : 2차측 모션전압
 V_{REF} : 2차측 모션 기준전압
 S_D : 부하모선의 총 피상전력
 S_Y : 임피던스 부하에서 소모하는 피상전력
 S_M : 유도전동기의 피상전력
 S_{SVC} : SVC의 무효전력 투입량으로부터 계산된 피상전력
 Y^* : 부하모선의 순수 임피던스(공액복수)
 R_M : 유도전동기 임피던스
 X_M : 유도전동기 리액턴스
 $B_{SVC\kappa}$: K 모션 SVC 투입량
 n_K : K 번째 탭변압기 탭비
 OLTC가 없는 경우 : 1
 I_k : 유도전동기의 관성모멘트
 P_{mk} : 유도전동기의 기계적 출력
 P_{ek} : 유도전동기의 전기적 입력
 $T_{SVC\kappa}$: K 모션 SVC 시정수
 $T_{TAP\kappa}$: 탭변압기 시정수
 S_K : k 모선의 슬립

표1.1 전압안정도 접근방법

접근방법	취급시간	전력계통의 특성 반영	해석 방법	특징
① 정적 접근법	∞	steady state	- 조류 계산 - 다 근해 - 전압안정도의 지표	계산이 간단 시스템의 특성 동적 반영 불가
② 동적 접근법	초분	발전기 여자기 SV, CULTC, 부하의 동적 특성	- 상태공간 해석 - 해 주 공간 해석	계산시간과 다 동적 시스템 특성 반영 현실적 불가 등
준동적 접근법	분수분	발전기 무효전력 한계, SVC, ULTC, 대형 유도기의 부하 특성	① 방법 ② 병용	현실적 접근 방법

전압안정도를 해석하기 위한 계통요소의 모델은 전압 붕괴의 과도기간이 수분에서 수십분에 이르므로 일반적인 과도 안정도에서 다루는 동특성과는 상당한 차이가 있다. 과도 안정도에서 다루는 계통요소의 동특성은 수초단위를 초과하지 않지만, 전압안정도에서의 전압붕괴가 발생하는 기간이 수분에서 수십분에 이르므로 수초단위의 동특성은 곧바로 정상상태에 이르게 되며, 굳이 동특성을 고려하여 계산하는것은 전력계통과 같은 대형 시스템에서는 비현실적이다.

따라서 전압안정도에서 수초단위의 동특성은 정적 모형으로 모델링 하였다.

가. 발전기모형

발전기의 동특성은 표3.1에서와 같이 매우 짧은 시간에 진행되므로 수분에서 수십분에 걸친 전압붕괴 현상에서는 발전기의 동특성 영향은 무시할 수 있다. 따라서 발전기의 동특성은 유효전력 상한값, 하한값, 무효전력 상한값, 하한값등의 물리적 제약 조건을 고려한 정상상태의 정적 모델을 사용한다.

나. 부하모형

부하는 모선의 전압과 주파수 등에 의하여 변화된다. 따라서 부하는 엄밀한 의미에서 정전력부하가 아니고 전압과 주파수의 함수로 주어지게 된다. 따라서 부하의 특성 중에서 주요한 특성만을 반영하도록 근사모델을 사용하였다. 또한 부하에는 기계적 부하가 많이 있으므로 관성특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 특성을 나타내면서도 쉽게 해석할 수 있는 모델의 도입이 요구된다.

이러한 부하의 특성을 잘 나타내는 모델로서 유도기 모델을 도입하기로 한다.

II. 동적전압안정도에의 접근

전압안정도 해석방법은 시스템의 상태를 모델하는 방법에 따라 정적, 동적, 준동적방법으로 분류할 수 있다. 그 특징은 표1.1과 같다.

III. 전압안정도 해석을 위한 계통요소의 모형화

1. 계통요소의 수리모형

- 정적모형

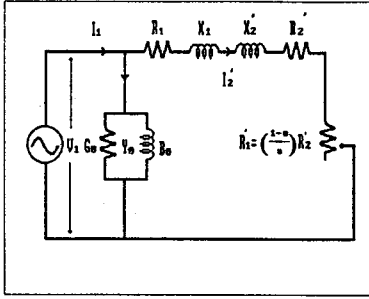


그림 3.1 유도기의 등가모델

유도기의 등가모델은 그림3.1에 나타난 바와 같이 1차측 권선과 철심의 동손과 철손을 포함하는 항 그리고 2차측의 동손과 철손을 포함하는 항으로 표시된다. 그런데 유도전동기의 1차측 철손과 동손을 무시한 경우 등가회로는 그림 3.2와 같다.

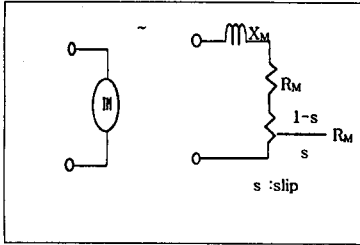


그림 3.2 간략화된 유도기 등가 모델

또, 유도전동기에서 소모되는 전력은 식3.1-3.3과 같다.

$$S_M = \left\{ \frac{R_M/s}{(R_M/s)^2 + X_M^2} + j \frac{X_M}{(R_M/s)^2 + X_M^2} \right\} V_D^2 \quad (3.1)$$

$$P_e = \left\{ \frac{R_M/s}{(R_M/s)^2 + X_M^2} \right\} V_D^2 \quad (3.2)$$

$$Q_e = \left\{ \frac{X_M}{(R_M/s)^2 + X_M^2} \right\} V_D^2 \quad (3.3)$$

- 동적모형

유도전동기의 슬립은 전기적 입력과 기계적 출력에 의해 변화되며 이를 미분방정식으로 표현하면 식(3.4)와 같다. 즉 유도전동기의 슬립은 기계적 출력과 전기적 입력이 같아지는 점에서 평형점을 갖는다.

$$\frac{ds_K}{dt} = \frac{1}{I_K \omega_0^2} \left(\frac{P_{mK}}{1-s_K} - P_{eK} \right) \quad (3.4)$$

다. 제어설비 모형

1) OLTC

OLTC의 등가모형은 그림 3.3으로 나타낸다. 1차측 전압과 2차측 전압을 고려한 관계식은 식(3.5),(3.6)과 같다.

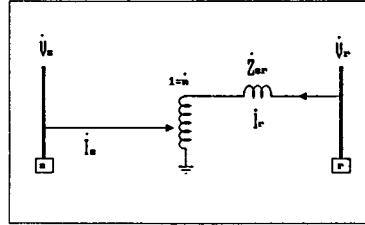


그림 3.3 OLTC 등가 모델

$$I_r = \frac{(V_r - nV_s)}{Z_{sr}} = (V_r - nV_s)y_{sr} \quad (3.5)$$

$$I_s = \frac{(n^2V_s - n^*V_r)}{Z_{sr}} = (n^2V_s - n^*V_r)y_{sr} \quad (3.6)$$

식(3.5-3.6)으로부터 탭변압기의 변압비를 모선 임피던스로 환산하면 식(3.7)으로 표시된다. 따라서 모선과 모선사이에 연결된 OLTC의 경우에는 자코비안 행렬을 수정함으로써 OLTC의 동적 특성을 반영할 수 있다.

$Y'_{ss} = n^2 y_{sr}$	$Y'_{sr} = -n^* y_{sr}$	(3.7)
$Y'_{rs} = -n y_{sr}$	$Y'_{rr} = y_{sr}$	

OLTC도 SVC와 마찬가지로 모선전압을 유지하기 위하여 작동하는 제어기로서 그 동작특성을 미분방정식으로 표현하면 식(3.8)과 같다.

$$\frac{dn_K}{dt} = \frac{1}{T_{TAPK}} (V_{REF} - V_D) \quad (3.8)$$

2) SVC 모형

SVC에 투입된 무효전력량이 결정되면 SVC의 전력은 식(3.9)으로 주어진다. 그러나 SVC는 용량의 한계를 가지고 있으므로 SVC의 상한값과 하한값을 고려해야 한다. SVC의 동특성 방정식은 식(3.10)으로 주어진다.

$$S_{SVC} = j B_{SVC} V_D^2 \quad (3.9)$$

$$\frac{dB_{SVC}}{dt} = \frac{1}{T_{SVC}} (V_{REF} - V_D) \quad (3.10)$$

IV. 동적 전압안정도 해석기법

1. 해석기법의 정식화

가. 정상상태 수식화

1) 전력조류 방정식

동적 전압안정도를 해석하기 위하여는 먼저 계통의 정상상태를 해석하여야 하며, 이를 위해 전력조류해석을 한다. 조류계산은 식 4.1, 4.2로 주어진다.

$$P_{ek} + V_k \left\{ \sum_{j=1}^n (G_{kj} \cos \theta_{kj} + B_{kj} \sin \theta_{kj}) V_j \right\} = 0 \quad (4.1)$$

$$Q_{ek} + V_k \left\{ \sum_{j=1}^n (G_{kj} \sin \theta_{kj} - B_{kj} \cos \theta_{kj}) V_j \right\} = 0 \quad (4.2)$$

G_{kj}, B_{kj} : 모선 k, j 사이의 컨덕턴스, 서셉턴스

P_{ek}, Q_{ek} : 모선 k 에 주입되는 유효, 무효전력

2) 부하모선에서의 전력방정식

식(4.1-4.2)에서 동적 요소들이 포함되는 부분은 부하모선에서의 유도전동기부하, 부하모선의 OLTC, SVC, 모선과 모선사이에 연결된 OLTC등이다. 이러한 계통의 구성을 그림 4.1로 표현할 수 있다.

부하모선의 순시전력은 계통전압을 유지하위한 OLTC 탭비, 임피던스부하와 유도기부하 그리고 SVC의 동작에 영향을 받으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

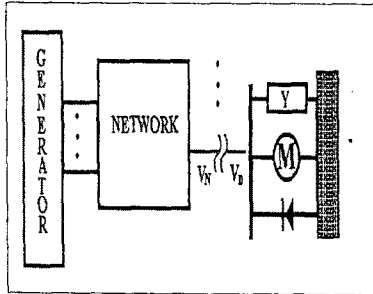


그림 4.1 계통의 구성

$$S_D = S_Y + S_M + S_{SVC} \quad (4.3)$$

$$= \left\{ \frac{R_M/s}{(R_M/s)^2 + X_M^2} + Y_R \right. \\ \left. + j \left\{ \frac{X_M}{(R_M/s)^2 + X_M^2} + B_{SVC} + Y_I \right\} \right\} n^2 V_N^2 \quad (4.4)$$

단,

$$S_Y = Y^* n^2 V_D^2 = (Y_R - j Y_I) n^2 V_N^2 \quad (4.5)$$

$$S_M = \left\{ \frac{R_M/s}{(R_M/s)^2 + X_M^2} + j \frac{X_M}{(R_M/s)^2 + X_M^2} \right\} n^2 V_N^2 \quad (4.6)$$

$$S_{SVC} = j B_{SVC} n^2 V_N^2 \quad (4.7)$$

나. 동적 상태 수식화

동적전압안정도 해석을 위하여 고려할 대상기기들은 유도전동기, SVC, ULTC이다. 이들 특성은 식 4.8, 4.9, 4.10으로 나타낼수 있음을 앞에서 제시하였다.

$$\frac{ds_K}{dt} = \frac{1}{I_{K0} s} \left(\frac{P_{mK}}{1 - s_K} - P_{eK} \right) \quad (4.8)$$

$$\frac{dB_{SVCK}}{dt} = \frac{1}{T_{SVCK}} (V_{REF} - V_D) \quad (4.9)$$

$$\frac{dn_K}{dt} = \frac{1}{T_{TAPK}} (V_{REF} - nV_N) \quad (4.10)$$

2. 동적 전압해석 알고리즘

동적 전압안정도의 해석 목적은 가능한 외란이 인가되었을 때 계통이 안정한 전압을 유지할 수 있는가를 평가하는 것이다. 본 연구에서는 계통의 물리적 제약조건을 최대한 수용하면서 계통의 동적특성을 반영하는 동적 전압안정도 해석 알고리즘을 개발하였다. 동적 전압안정도 해석 알고리즘은 그림 4.2와 같다.

V. 동적전압안전성 제어기법

1. 전압안정도 제어 알고리즘

계통의 구성과 부하조건은 그림 5.1과 같이 시간에 따라 지속적으로 변화하고 있으므로 전압안전성을 실제적으로 해석하기 위해서는 계통변화를 반영할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 필요성을 반영할 수 있는 알고리즘을 개발 하였다.

본 알고리즘은 일부하 곡선상의 주어진 대상시간에 대한 지속적인 부하의 변화를 정적인 전압붕괴 해석 알고리즘으로 추적하며, 필요에따라 선택적으로 동적 전압안정도를 해석함으로써 계산시간의 단축과 효율성을 증대 시켰다. 이때 선택적인 동적 전압안정도 해석은 정적 전압안정도 해석결과 전압붕괴 근접도지표값(VCPD)을 기준으로 근접도 지표값이 문턱값

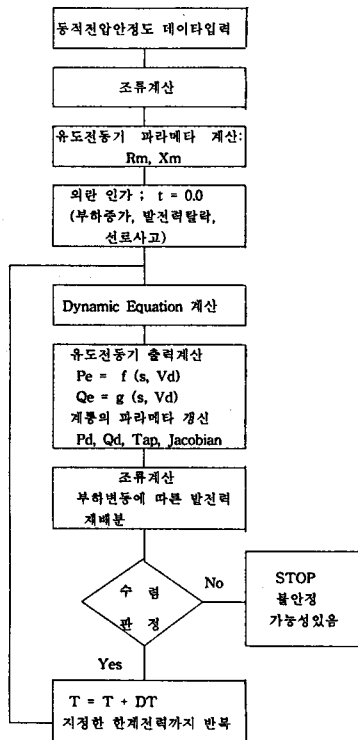


그림 4.2 동적전압안정도 해석 알고리즘

(Threshold)보다 큰경우에 동적 전압안정도를 해석하도록 하였다. 문턱값의 결정은 계통의 특성에 따라서 변경될 수 있으며, 시행착오법에 의하여 문턱값은 선정될 수 있다.

가. 전압안정도 제어 알고리즘

전압안정도 제어 알고리즘은 계통의 평형상태부터 부하의 증가나 선로사고와 같은 외란이 발생하였을 경우에 계통의 전압을 유지시킬수 있는가를 검증하고 계통전압 안전성 유지가 위협받을 경우 이를 일정 수준으로 회복하기 위한 대안을 제시 해 주는 알고리즘이다.

VI 실계통 분석 사례연구

1. 입력 데이터

가. 정적 특성 입력데이터

94년 한전 실계통의 조류계산 입력데이터는 PSS/E21W입력데

이타 화일로부터 변환하여 사용 하였다. 입력데이터의 총 모선

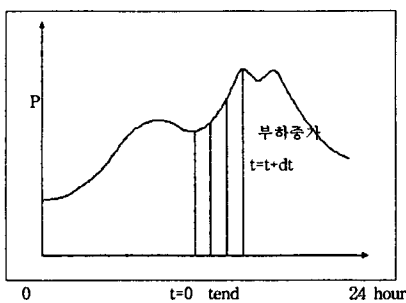


그림 5.1 일부하곡선(Daily Load Curve)

수는 539 모선 972선로의 계통으로서 총부하수준은 2,395만 KW 이다.

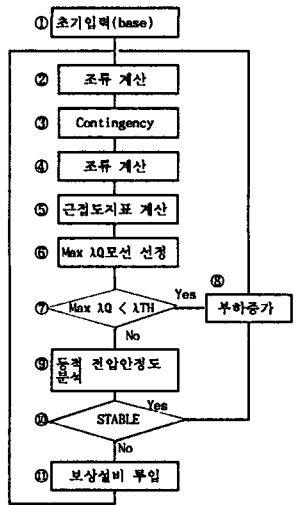


그림 5.5 전압안정도 제어 알고리즘

나. 동적 특성 입력데이터

동적특성에 관한 데이터는 표 6.1 동적 전압안정도 입력데이터를 참조하기 바란다.

다. 제어 데이터

- 부하증가율 : 0.5%/step (역율 90%, 전 모선균등증가)
- 외란
- 유도전동기 부하증가

전모선 유도전동기 부하 2% 증가

- 계통의 선로사고: 다중 선로 사고시

○ 전압안전성 제어기준 : VCPI < 0.1

2. 전압안정도 분석결과

상기 입력데이터와 초기조건을 사용, 계통에 외란을 인가 하여 동적전압안정도를 분석한 결과를 다음표에 제시한다. 그 결과로서 동적전압안정도가 정적전압안정도에 비해 취약하며, 선로사고시가 모선부하증가에 비해 전압안정도 측면에서 취약하다는 것이 관측된다.

표6.1 동적전압안정도 입력데이터

변수	모선		비고
	전모선	지역별	
유도기시정수	2	2	2 단위 초
OLTC시정수	120.0	120.0	120.0
SVC 시정수	0.1	0.1	0.1
유도기 초기슬립	0.05	0.05	0.05
OLTC초기값	1.0	1.0	1.0
SVC 초기 투입량	0	0	0
OLTC 상한값	1.0	1.0	1.0
OLTC 하한값	1.0	1.0	1.0
SVC 상한값	0.0	0.0	0.0
SVC 하한값	0	0	0
유도기 유효전력 비율	0.6	0.6	0.6
유도기 역률	0.95	0.95	0.95
기계적 출력의 변화량(외란)	0.02	0.02	0.02
부하의 유효 전력 (외란)	0	0	0
부하의 무효 전력 (외란)	0	0	0
모선의 기준전압	1.0	1.0	1.0

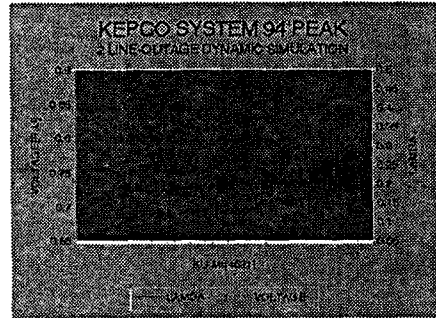
표 6.3. 전압안정도 분석결과

계통상황	초기조건	정적전압	동적전압	비고	
	계산	안정도	안정도		
모선 부하 증가 시 선로 사고 시	총부하량 (만 KW)	2395	2554	2505	동적전압안정도 부하증가 모드 : 전 모선의 유도기 부하 2% 증가
	최저전압 (P.U.) (구미)	0.897	0.832	0.84	
	min VCPI (구미)	0.095	0.173	0.15	
선로 사고 시	총부하량 (만 KW)	2395	2554	2450	동적전압안정도 부하 : 0.5%/STEP (구미-김천 2회선 OFF)
	최저전압 (P.U.) (구미)	0.810	0.72	0.81	
	min VCPI (구미)	0.198	0.55	0.21	

표6.3의 동적 전압안정도 해석의 결과중에서 부하증가시 다중선

로사고에 대한 동적 전압안정도 해석 결과를 그림 6.1에 나타내었다. 이때의 결과는 전압붕괴 근접도 지표값이 가장 큰 구미모선의 전압붕괴 근접도 지표값과 전압을 출력한 것이다. 그림에서 보듯이 사고에 의한 계통 동요상태가 부하증가에 따라 증폭되고 있음을 나타내고 있다. 이때 최대 공급할 수 있는 전력은 표 6.3에 나타난 것과같이 2450만 kw를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

그림 6.1 다중선로사고시 전압안정도 분석 결과



3. 동적전압안정도 제어 결과

계통의 전압안정운전을 위한 지표가 주어질 경우 무효전력설비를 제어함으로써 전압안전성을 유지할 수 있는가를 검증해 보았다. 제어조건은

- 계통조건 : 94년 peak
- 94년도 여유 콘덴서 뱅크량 : 595MVAR
- 전압안전성 제어조건 : VCPI < 0.11
- 투입단위용량 : 5MVAR
- 투입정책 : 기존 콘덴서뱅크 중 MAX

VCPI 모선에 우선 투입

과 같다. 그 결과 모선부하 증가의 경우 2467만KW에서 전체 콘덴서가 투입되어야 전압안정제어조건을 만족했으며, 발전기 추가병입을 하지 않는 경우 최대발전력을 사용하여 2505만KW의 부하를 공급하여도 전압불안정이 발생하지 않았다.

선로사고시의 정적전압안정도는 최대발전력상승시(부하 2505만KW)까지 유지가 가능하였으나, 동적전압안정도를 평가할 경우 2467만 KW에서 전압불안정현상이 관측됨으로써 송전선로의 부하부담능력이 감소된 것을 알수 있다.

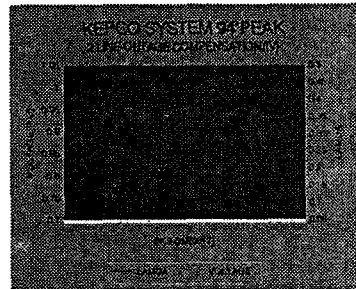
4. 동적 전압안정도 분석 결과

동적 전압 안전성 평가결과 계통의 외란(유도전동기 부

하중가1%,2%,선로사고, 다중 선로사고)의 경우 모두다 동적 불안정 현상이 발생되었다.

계통의 외란이 유도전동기 부하증가인 경우에 동적 불안정 현상이 발생된 부하수준은 2550만 kw이었다. 1%의 유도전동기 부하증가인 경우와 2% 유도전동기 부하증가인 경우와의 차이점은 동적 불안정 현상의 진동폭이 심한 결과를 나타내고 있다. 선로사고의 경우 단일선로사고에서는 부하수준 2530만kw에서 동적 전압불안정 현상이 발생 하였으며, 다중선로 사고의 경우에서는 2467만 kw에서 전압불안정 현상이 발생 되었다.

나타내었으며, 대상모선은 그림 6.1과 마찬가지로 구미 모선에대 그림 6.2 다중선로사고시 무효전력 제어결과



한 전압과 전압붕괴 근접도 지표값을 나타내었다.

표 6.4 전압안정도 모의 해석 결과

계통상황	초기조류계산	경계부하점 (max vcp<0.11)	동적전압안정도	비 고	
모선 부하증가 시	총부하량 (만 KW)	2395	2455	2467	동적전압안정도부하증가모드: 전모선의 유도기부하 2% 증가
	최저전압 (P.U.)	0.897 (구미)	0.876 (구미)	0.865 (구미)	
	min	0.095	0.110	0.125	
	VCPI (구미)	(구미)	(구미)	(구미)	
	콘덴서 (mvar)		455	595	
선로 사고 시	총부하량 (만 KW)	2395	2455	2467	동적전압안정도부하 0.5%/STEP (구미-김천 2회선 OFF)
	최저전압 (P.U.)	0.810 (구미)	0.81 (구미)	0.81 (구미)	
	min	0.198	0.11	0.21	
	VCPI (구미)	(구미)	(구미)	(구미)	
	콘덴서 (mvar)		455	595	

결과적으로 정적 전압안정도 해석에 있어서는 2550만 kw 부하수준까지 전압불안정 현상이 발생되지 않았으나 동적 전압안정도 해석의 경우, 외란의 종류별로 전압불안정 현상이 발생된 부하수준은 다르지만 정적전압안정도 경우보다 낮은 부하수준에서 전압불안정 현상이 발생됨을 확인할 수 있었다. 즉 본 사례연구결과 동적 전압안정도 해석결과와 정적 전압안정도 해석결과에 비하여 훨씬 취약하다는 것을 확인할 수 있었다.

또, 기존의 콘덴서 뱅크의 배치를 무시하고 가장 큰 VCPI에 콘덴서 뱅크를 투입하는 것으로 하여 전압안정도를 모의한 결과 정적전압안정도의 발전부담상한값에 해당하는 부하를 공급할 수 있다는 것을 발견하였다. 이러한 결과를 그림 6.2에

Ⅶ. 결 론

본연구의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 동적 전압불안정 해석기법 개발
2. 정적 전압안정도 해석 알고리즘과 동적 전압안정도 해석 알고리즘의 접목
3. 동적 전압안정도 제어 알고리즘의 개발
4. 94년 실계통에 적용
5. PSSE/21W 조류계산 입력데이터 변환 프로그램 개발

본 연구결과 동적 전압안전도와 정적 전압안전도를 동시에 계산 할수 있는 프로그램을 개발하였다. 그러나 보다 정밀한 계통의 동적 전압안전도를 평가하기 위해서는 각 모선별로 주어지는 부하의 동적 특성 데이터와 정적 특성 데이터가 정확하면 정확할 수록 동적 전압안정도 해석 결과는 정확한 결과를 나타낼 수 있다. 그러므로 다년간의 부하에 관련된 데이터 베이스를 구축하여 계통의 특성을 실제와 가깝게 표현 될 수 있도록 지속적인 부하특성에 관련된 데이터 베이스의 구축이 필요하다.

참고문헌

- [1] P.Kessel, H.Glavitsch, "Estimating the Voltage Stability of a Power System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.PWRD-1 No3, July 1986.
- [2] J.Carpentier, R.Girard, E.Scano, "Voltage Collapse Proximity Indicators Computed from an Optimal Power Flow", Proceedings of in Power Systems Conference, August 1987.
- [3] 중장기 전압안정도 분석 및 무효전력설비 운용방안 연구, 1992.6, 한국전력공사, 연구보고서,