

## A Dynamic Simulation of Voltage Instability Using EMTP

許 禎 容\* · 金 喆 煥\*\*

(Jeong-Yong Heo · Chul-Hwan Kim)

**Abstract** - Voltage instability has been studied for some decade now. But, There is not generally accepted definition of voltage instability because of the complex phenomenon and the variety of ways in which it can manifest itself. Both IEEE and CIGRE have the respective definitions. The areas of voltage instability research are the analysis, simulation and countermeasure of voltage instability. It needs to model the components of the power system to simulate the voltage instability and voltage collapse. At the beginning, the static simulation was used. This method provides the voltage stability indices and it requires less CPU resource and gives much insight into the voltage and power problem. However, it is less accurate than the dynamic simulation performed in the time domain simulation. So, when it appears difficult to secure the voltage stability margin in a static stability, it is necessary to perform the dynamic simulation. To perform time-domain simulation, we have to model the dynamic component of the power system like a generator and a load. The dynamic simulation provides the accurate result of the voltage instability. But, it is not able to provide the sensitivity information or the degree of stability and it is time consuming and it needs much CPU resource.

In this paper, we perform a dynamic simulation of voltage instability and voltage collapse using EMTP MODELS. The exponential load model is designed with MODELS and this load model is connected with test power system. The result shows the process of voltage change in time domain when the voltage instability or voltage collapse occurs.

**Key Words** : EMTP, EMTP MODELS, Voltage Instability, Voltage Collapse, Dynamic Simulation, Power System

## 1. 서 론

전압 불안정 현상은 비교적 최근에 연구되어지고 있는 분야로서[1], 전압 불안정 현상은 복잡하고, 다양한 원인에 의해 발생하며 다른 불안정 현상과 구분하기 어려운 경우도 있다. 따라서, 전압 불안정에 대한 정확한 정의가 아직 존재하지 않으며[2], CIGRE와 IEEE에서는 서로 다르게 정의를 내리고 있다[1,3]. 현재 전압 불안정 현상에 관한 연구는 전압 불안정 현상의 분석, 시뮬레이션 및 대책 등의 분야에서 이루어지고 있다. 예를 들면, 전압 안정도 마진의 계산을 위한 다양한 방법과 전압 안정도 향상을 위한 부하차단, 무효 전력 보상 등과 같은 전압 안정도 제어에 관한 연구가 수행되고 있다[4].

전압 불안정 현상은 전력계통의 다양한 요소에 의해 영향을 받으므로, 이 현상을 시뮬레이션하기 위해서는 전력계통의 각 구성 요소에 대한 정확한 모델이 필요하다. 전압 불안정을 시뮬레이션 하기 위한 방법으로는 먼저 정상 상태에서의 해석에 의한 정적 시뮬레이션(static simulation)이 있

다. 이 방법은 전압 불안정을 분석하고 안정도 지수를 구하는데는 도움이 되지만, 실제 현상에 대한 정확한 시뮬레이션을 할 수 없고 시간 영역에서의 상태 변화를 알 수가 없는 단점이 있다[2]. 다른 방법으로는 시간 영역에서의 변화를 볼 수 있는 동적 시뮬레이션(dynamic simulation)이 있다. 하지만, 이 방법은 시뮬레이션에 많은 시간이 필요하고 안정도 지수 등의 계통 전체에 대한 상태는 알지 못하는 단점이 있다[2,5]. 또한 이 방법을 사용하기 위해서는 전력계통의 각 요소의 동적인 특성을 모델링해야 한다.

본 논문에서는 시스템 안정도를 고려한 보호 계전기 설계를 위한 목적으로 EMTP MODELS를 사용하여 전압 불안정을 발생시키는 부하를 모델링하고 전압 불안정 현상과 전압 붕괴의 동적 시뮬레이션을 수행하였다. 부하전압을 MODELS의 입력으로 하고 부하전압, 상태변수와 부하전력의 관계식을 MODELS로 구현하여 동적 특성을 가지는 부하를 구현하였다. EMTP는 전력 계통의 과도 현상을 시뮬레이션하는 데 사용되고 있는 도구로써, 현재까지 EMTP를 이용한 전압 불안정 현상의 시뮬레이션은 국내 또는 국외에서 발표되지 않았다. EMTP상에서 전압 불안정 현상을 시뮬레이션 함으로써, EMTP를 사용하여 전압 불안정시의 과도 현상을 해석하거나, MODELS로 구현된 보호 계전 알고리즘과 연계하여 전압 불안정 상태에서의 보호 계전 분야의 연구 등을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

\* 準 會 員 : 成均館大 工大 情報通信工學部 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 成均館大 工大 情報通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 8月 7日

最終完了 : 2002年 3月 13日

## 2. 전압 불안정 (Voltage Instability)

### 2.1 부하 모델 (Load Model)

전압 불안정이나 전압 붕괴를 발생시키는 전력 계통의 원인은 다양하다. 부하의 증가, 발전기나 SVC의 무효전력 제한, 변압기의 탭 전환, 부하의 전력 회복 특성, 선로 차단이나 발전기 차단 등이 전압 불안정이나 전압 붕괴를 발생시킬 수 있다[6]. 전압 불안정 현상을 발생시키는 요인은 전력 계통의 여러 구성 요소에 의해 발생할 수 있지만, 기본적인 요인은 각각의 요소의 동적인 특성에 의해 발생한다. 전압 불안정을 발생시키는 요인과 그에 따른 이론은 다양하다. 하지만, 전압 불안정의 현상에서 가장 중요한 원인은 부하의 동적인 응답(dynamic response) 특성이다[7].

부하 모델은 보는 관점에 따라 다양한 모델이 존재한다. 전압 불안정 현상을 시뮬레이션하기 위한 부하 모델은 소비전력의 전압과 시간에 관한 함수를 사용한다. 소비전력이 전압, 부하 요구에 의해 결정되는 관계를 부하 특성(load characteristics)이라고 하고 다음 식 (1)-(2)와 같이 나타낸다 [5,7].

$$P = P(z, V) \tag{1}$$

$$Q = Q(z, V) \tag{2}$$

대표적인 부하 특성은 지수 부하 특성(exponential load characteristics)이고 다음 식 (3)과 같다[1].

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^\alpha \tag{3}$$

여기서,  $\alpha$ 가 2일 때는 정임피던스 부하(constant impedance load), 1일 때는 정전류 부하(constant current load), 0일 때는 정전력 부하(constant power load)가 된다 [5,7].

소비전력이 부하 상태 변수의 영향을 받을 때, 소비 전력, 전압, 부하 요구와 부하 상태 변수의 관계를 과도 부하 특성(transient load characteristics)이라고 하고 다음 식(4)-(5)와 같이 나타낸다[5,7].

$$P = P_t(z, V, x) \tag{4}$$

$$Q = Q_t(z, V, x) \tag{5}$$

부하 모델의 종류는 유도 전동기, 부하 탭 변환기, 자동 온도 장치 부하, 일반 집합 부하(generic aggregate load) 등 다양한 부하 모델이 존재한다. 그 중 일반 집합 부하의 multiplicative generic load model은 다음 식 (6)-(7)과 같다[7,9].

$$P = z_p P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_p} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} P_0 T_p \frac{dz_p}{dt} &= P_s - z_p P_t \\ &= P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_s} - z_p P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_p} \end{aligned} \tag{7}$$

여기서, P는 소비전력,  $P_s$ 는 정상 부하 특성,  $P_t$ 는 과도 부하 특성,  $T_p$ 는 시정수,  $z_p$ 는 상태 변수이다.

식 (6)과 (7)에서 부하 전력은 부하 전압과 상태 변수에 따라 변화하게 되고, 정상 상태에서는 부하 전력이 증가하면 부하 전압은 작아지게 된다. 하지만, 계통이 공급할 수 있는 최대 전력을 넘어서게 되면 부하 전력과 전압 모두가 줄어들기 시작하고, 결국 전압 붕괴가 발생한다. 본 논문에서는 식 (6), (7)의 일반 집합 부하의 multiplicative generic load model을 사용한 부하 모델을 적용하였다.

### 2.2 전압 불안정과 전압 붕괴

계통 내의 한 부하단에서의 PV curve는 계통 상태에 따라 달라지지만 전체적인 형태는 다음 그림 1과 같다. QV curve 역시 유사한 형태를 가진다. 이런 형태의 curve에서 전압 불안정 현상의 해석을 위해 중요한 특징은 다음과 같다.

첫째, curve 모양과 크기는 부하단을 제외한 나머지 계통의 상태에 따라 달라진다.

둘째, 전력 계통의 부하단에서 소비할 수 있는 최대 전력과 그 때의 부하단에서의 전압은 curve의 nose point이다.

셋째, curve의 위쪽에서는 소비전력의 증가에 의해 전압이 감소하지만, 아래쪽에서는 소비전력의 감소에 의해 전압도 함께 감소한다.

PV curve 또는 QV curve와 유효전력 부하 모델 또는 무효전력 부하 모델의 곡선이 만나는 점에서 부하단의 소비전력과 전압이 결정된다.

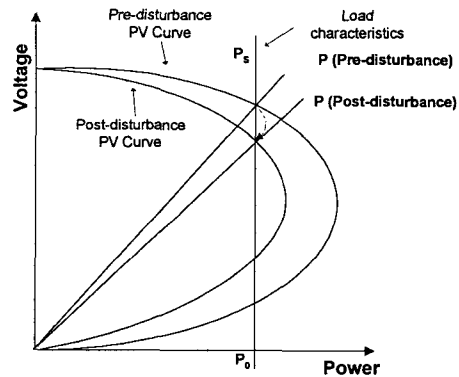


그림 1 전압 안정일 때의 PV curve와 부하 특성  
Fig. 1 PV curve and load characteristics for stable voltage

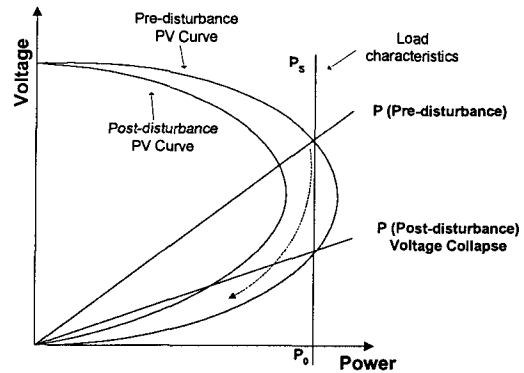


그림 2 전압 붕괴일 때의 PV curve와 부하 특성  
Fig. 2 PV curve and load characteristics for voltage collapse

그림 1과 같은 정전력 부하에서는 외란에 의한 PV curve의 변화에도 PV curve와 부하 모델의 교차점이 존재하고 안정된 점으로 수렴하지만, 그림 2의 경우에는 외란 후 PV curve와 부하 모델의 교차점이 존재하지 않고 전압과 전력이 영점으로 수렴해 가고, 결국에는 전압 붕괴가 발생한다.

### 2.3 전압 불안정 현상의 시뮬레이션 방법

전압 불안정 현상을 시뮬레이션 하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 한가지 방법은 조류 계산에 기초한 정적 시뮬레이션이고, 다른 한가지 방법은 시간 영역 상에서의 동적 시뮬레이션이다. 이 두 가지 방법들은 각각의 장단점들을 가지고 있다. 이 방법들의 장단점들을 적절히 절충한 방법으로 Quasi-Steady-State(QSS) 시뮬레이션이 있다. QSS 방법은 정적 시뮬레이션의 간편함과 효율성, 그리고 동적 시뮬레이션의 정확성, 시간영역에서의 시뮬레이션이 가능한 장점을 가지고 있다[6].

#### 2.3.1 정적 시뮬레이션 (Static Simulation)

정적 시뮬레이션은 조류 계산을 통해 구한 PV curve 또는 QV curve에 기초하여 외란 발생시의 전압 안정도 여부와 안정도 지수를 구하는 방법이다. 조류 계산을 위해 사용되는 뉴턴 반복법(Newton iteration)은 전압 붕괴 시점에서는 수렴이 되지 않는 문제가 있기 때문에 새로운 다른 방법들이 사용된다[9].

정적 시뮬레이션을 통한 전압 불안정 시뮬레이션은 계산 속도가 빠르고, 전력 계통에 대한 전체적인 상태를 잘 알 수가 있고, 전압 안정을 위한 여유도를 알 수가 있다. 전력 계통을 계획하고 운영하는데 있어, 전압 안정도의 관점에서는 전압 안정도 여유를 구하는 것이 가장 기본적인 요구이기 때문에 정적 시뮬레이션이 전압 안정도 연구의 가장 기본적인 방법이다. 하지만, 정적 시뮬레이션의 방법으로 예상하지 못한 전압 불안정 현상이 발생했을 때는 전력 계통의 각각의 요소의 동작을 포함하는 시간 영역에서의 시뮬레이션을 해야 한다[10].

#### 2.3.2 동적 시뮬레이션 (Dynamic Simulation)

동적 시뮬레이션은 전압 불안정 현상과 전압 붕괴를 시간 영역에서 시뮬레이션하는 방법이다. 따라서, 전압 불안정과 전압 붕괴를 발생시키는 발전기, 부하, 외란 등의 요소의 시간 영역에서의 모델이 필요하고, 각 모델들은 전력계통과의 응동적인 동작이 필요하다. 시뮬레이션하는 동안에 전력계통의 변화에 따라 모델의 상태가 변하게 되고 모델의 변화는 다시 전력계통에 영향을 주게 된다.

동적 시뮬레이션은 전압 불안정 현상이 발생 시 전력 계통의 상태를 시간 영역에서 정확하게 시뮬레이션할 수 있지만, 시간이 오래 걸리고 계통 상태의 안정도 지수 등을 정확하게 알 수 없는 단점이 있다[3].

### 3. EMTP MODELS를 이용한 전압 불안정의 시뮬레이션

전압 불안정 현상을 시뮬레이션 하기 위한 지수 부하 모

델(exponential load model)이나 다항 부하 모델(polynomial load model) 등의 부하 모델은 전압, 시간과 전력의 함수이고, 이런 부하 모델을 시뮬레이션하기 위한 전체 구조는 다음 그림 3과 같다. 부하 모델은 전력 계통과 연결되는 가변 부하와 가변 부하를 제어하는 부하 특성 시스템으로 구성되고, 타임 스텝(time step)이 작을수록 보다 정확한 부하 모델을 시뮬레이션 할 수 있다. EMTP MODELS에서는 이 타임 스텝을 전력 계통 시뮬레이션 타임 스텝과 같은 크기로 시뮬레이션 할 수 있다.

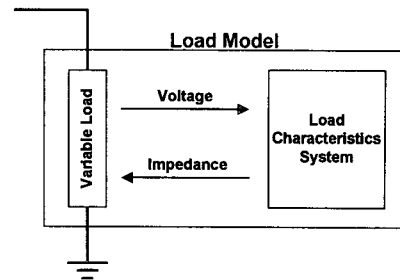


그림 3 부하 모델의 구조  
Fig. 3 Structure of Load Model

전압에 따른 소비 전력은 부하 특성에 의해 결정되고, 전압과 소비 전력에 의해 가변 부하의 임피던스가 결정된다. 가변 부하를 제어하는 부하 특성 시스템은 전압을 입력으로 하고 부하의 임피던스를 출력으로 하는 일종의 제어 시스템이다.

EMTP MODELS를 이용하여 구현한 부하 모델의 블록도는 다음 그림 4와 같다.

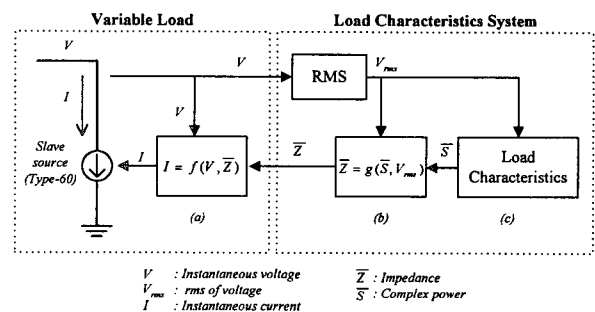


그림 4 EMTP MODELS를 이용한 부하 모델의 상세 블록도  
Fig. 4 Block diagram of load model using EMTP MODELS

EMTP에서 사용되는 Type-60 slave source는 TACS나 MODELS에서 제어가 가능한 전원이다. 그림 4 (a)에서 임피던스  $\bar{Z}$ 와 부하단의 순시전압  $V$ 을 입력으로 하여 전류원의 전류값을 조절함으로써 MODELS에서 제어 가능한 가변 부하를 구성한다.

그림 4 (c)는 전압의 rms값과 복소전력 사이의 관계를 나타내는 부하 모델이다. 다양한 부하 모델이 존재하지만 그 중 일반 집합 부하 모델에서 유효전력을 구하는 블록도는 다음 그림 5와 같다[11].

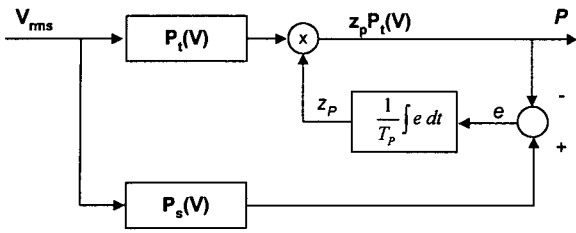


그림 5 일반 집합 부하 모델  
Fig. 5 Generic aggregate load model

전압  $V_{rms}$ 의 입력으로 소비 전력  $P$ 와 임피던스  $Z$ 가 출력되고,  $P$ 와  $P_s(V)$ 의 차이가 적분되고 피드백 되어  $P$ 와  $P_s(V)$ 의 차이를 시정수  $T_p$ 의 속도로 감소시킨다. 결국, 안정된 정상상태에서는 소비전력  $P$ 는 정적 부하 특성의  $P_s(V)$ 와 일치하게 된다. 무효전력을 구하는 블록도 역시 같은 구조를 가지며 사용되는 계수 값만 달라진다.

그림 4에서 (b)는 (c)의 부하 모델에서 출력되는 복소전력  $\bar{S}$ 와 전압의 rms값을 이용하여 임피던스를 계산하며 다음 식 (8)과 같다.

$$\bar{Z} = \frac{V_{rms}^2}{\bar{S}^*} = \frac{V_{rms}^2}{|S|^2} (P + jQ) \quad (8)$$

여기서,  $\bar{Z}$ 는 부하의 임피던스,  $V_{rms}$ 는 부하단 전압의 rms값,  $\bar{S}$ 는 복소전력,  $P$ 는 유효전력,  $Q$ 는 무효전력이다.

그림 4와 5의 블록도를 EMTP MODELS로 구현한 코드의 예는 다음 그림 6과 같다. EMTP의 Type-60 slave source에서의 전압 신호가 MODELS의 입력 신호로 들어가고, MODELS에서는 전압의 rms값, 소비 전력, 임피던스 등이 계산된 후 최종적으로 전류원에 흐르는 전류 값이 결정된다.

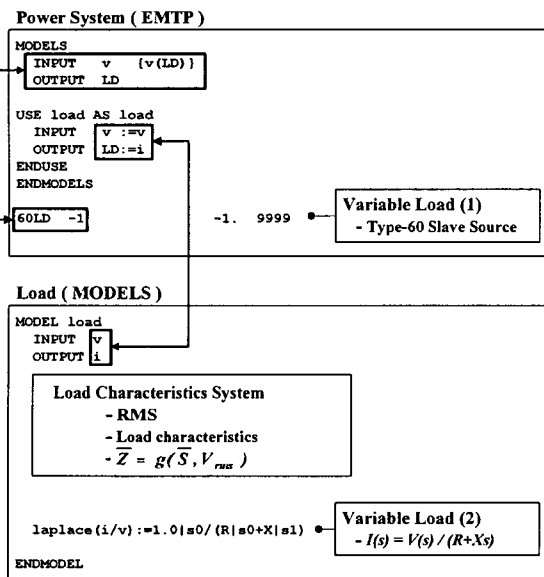


그림 6 부하 모델의 EMTP MODELS 코드  
Fig. 6 EMTP MODELS code of load model

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 시뮬레이션 방법

EMTP MODELS를 이용하여 부하를 모델링하여 그림 7와 같은 모델 계통에 연결하여 시뮬레이션 하였다. 모델 계통 전원의 전압은 154[kV]이고 선로는 250[km]길이의 2회선 선로 2개가 직렬로 연결되어 있다. 양단의 전원 측에 각각 고정된 부하가 연결되어 있고 선로의 중앙에 고정된 부하와 부하 모델이 연결되어 있다. 선로는 ACSR 477MCM 240°이고 선로와 전원의 데이터는 표 1과 같고 부하는 표 2와 같다. 부하 모델에서의 급격한 상태 변화에 의해 시뮬레이션 중 결과가 수렴하지 않고 발산하는 현상을 막기 위해서 부하 모델과 병렬로 커패시터를 추가하였다.

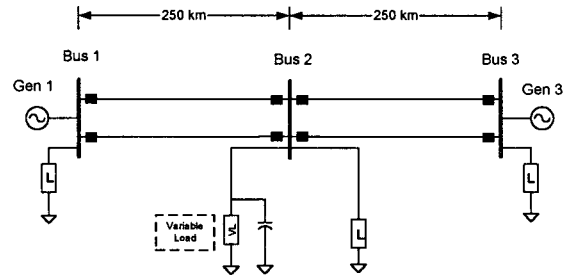


그림 7 모델 계통  
Fig. 7 Model of power system

표 1 선로와 전원의 데이터

Table 1 Data of line and source

		R [ $\Omega$ /km]	L [ $\Omega$ /km]	C [ $\mu$ F/km]
선로 임피던스	정상분	0.3434	1.3158	0.0052
	정상분	0.13420	0.47650	0.0090
	역상분	0.13420	0.47650	0.0090
전원 임피던스	정상분	-	18.285	-

표 2 부하의 데이터

Table 2 Data of load

	부하 [ $\Omega$ ]	부하 [p.u]	역률
BUS 1	237 + j 147	1.0 + j 0.62	0.85
BUS 2	237 + j 147	1.0 + j 0.62	0.85
BUS 3	237 + j 147	1.0 + j 0.62	0.85

부하 모델은 multiplicative generic load model이고, 파라미터는  $a_s = 0$ ,  $a_T = 1$ 로 하여 정전력 부하로 설정하고, 시정수  $T_p$ 는 1[s]로 설정하였다. 모선 2와 모선 3의 고장에 의해 한 선로가 제거되었을 때  $P_0$ 의 값에 따라 전력 계통의 전압의 변화를 시뮬레이션 하였다.

## 4.2 시뮬레이션 결과

### 4.2.1 PV curves

그림 7의 모델 계통에서 모선 2와 모선 3의 한 회선이 제거되지 않았을 때와 고장 발생에 의해 한 선로이 제거되었을 때의 모선 2 부하단에서 보는 PV curve는 각각 다음 그림 8-9와 같다. 한 선로가 제거되기 전의 nose point에서의 최대 소비 전력은 7.4[p.u.]이지만 선로 제거 후에는 5.7[p.u.]로 감소하는 것을 볼 수 있다.

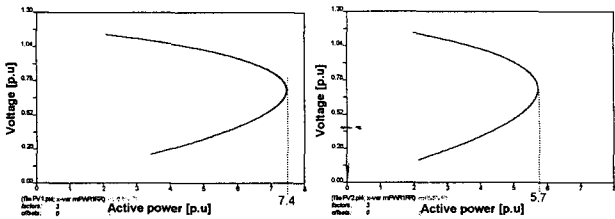


그림 8 선로 제거전의 PV curve

그림 9 선로 제거후의 PV curve

Fig. 8 PV curve before loss of T/L

Fig. 9 PV curve after loss of T/L

### 4.2.2 전압 불안정 시뮬레이션

부하 모델의  $P_0$ 를 6.0[p.u.]로 설정하여 부하의 소비 전력을 6.0[p.u.]으로 설정하고 선로를 제거하지 않고 시뮬레이션 하였을 때의 부하단 전압과 소비전력은 다음 그림 10과 같고, PV curve는 다음 그림 11과 같다.

이것은 그림 9의 nose point인 7.4[p.u.]보다 6.0[p.u.]가 좌측에 있기 때문에 전압 1.0[p.u.], 전력 6.0[p.u.]에서 안정되는 것을 볼 수 있다.

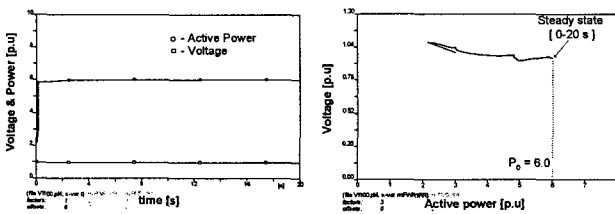


그림 10 선로가 차단되지 않을 때 시간영역에서의 전압과 전력 ( $P_0=6.0$ )

그림 11 선로가 차단되지 않을 때 PV curve ( $P_0=6.0$ )

Fig. 10 Voltage and power in time domain for no loss of T/L ( $P_0=6.0$ )

Fig. 11 PV curve for no loss of T/L ( $P_0=6.0$ )

부하 모델의  $P_0$ 를 6.0[p.u.]로 설정하고 시뮬레이션 시작 후 2초일 때 모선 2와 모선 3의 한 선로가 제거되는 외란이 발생했을 때 부하단의 전압과 소비 전력은 다음 그림 12과 같고, PV curve는 다음 그림 13과 같다.

시뮬레이션 시작 후 2초까지는 소비 전력 6.0[p.u.]에서 안정되어 있지만, 2초일 때 선로가 제거됨에 따라 그림 9에서와 같이 PV curve의 nose point에서의 최대 전력이 5.7[p.u.]로 감소함으로써 부하 모델의 소비 전력 6.0[p.u.]와 교차점이 생기지 않아 전압과 전력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 선로 제거의 외란에 의해 전력이 감소하고, 이 감소된 전력을 다시 회복시키기 위해 부하는 자신의 임피던스를 감소시킨다. 그러나, nose point까지는 전력이 증가하지만 그 이상에서는 반대로 감소하는 것을 볼 수 있다. 결국, 선로 제거 13초 후에는 전압이 완전히 붕괴되는 것을 볼 수 있다.

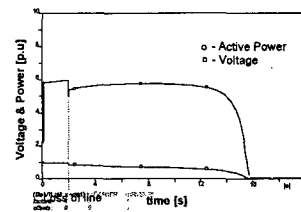


그림 12 선로가 제거되었을 때 시간영역에서의 전압과 전력 ( $P_0=6.0$ )

Fig. 12 Voltage and power in time domain for loss of T/L ( $P_0=6.0$ )

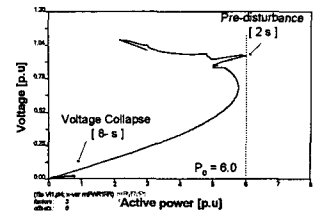


그림 13 선로가 차단되었을 때 PV curve ( $P_0=6.0$ )

Fig. 13 PV curve for loss of T/L ( $P_0=6.0$ )

부하 모델의  $P_0$ 를 5.4[p.u.]로 설정하고 시뮬레이션 시작 후 2초 일 때 모선 2와 모선 3의 한 선로가 제거되었을 때 부하단의 전압과 소비 전력은 다음 그림 14와 같고, PV curve는 다음 그림 15과 같다.

시뮬레이션 시작 후 2초까지는 그림 6의 PV curve와의 교차점에서 전압 1.0[p.u.], 전력 5.4[p.u.]의 안정된 상태를 유지하고, 2초에서 선로 제거에 의해 그림 9의 PV curve로 변화되었을 때는 전력이 급격히 감소하지만, 부하의 응답에 의해 다시 전력이 회복되어 전압 0.9[p.u.], 전력 5.4[p.u.]에서 안정된 상태로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

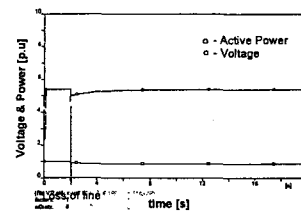


그림 14 선로가 제거되었을 때 시간영역에서의 전압과 전력 ( $P_0=5.4$ )

Fig. 14 Voltage and power in time domain for loss of T/L ( $P_0=5.4$ )

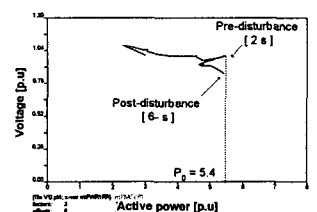


그림 15 선로가 차단되었을 때 PV curve ( $P_0=5.4$ )

Fig. 15 PV curve for loss of T/L ( $P_0=5.4$ )

### 5. 결 론

본 논문에서는 전압 불안정과 전압 붕괴현상 시뮬레이션을 위해서 EMTP MODELS를 이용하였다. EMTP MODELS를 이용하여 지수 부하 모델을 구현하였고, 구현된 부하 모델을 전력 계통과 연결하여 전력 계통에서의 선로가 제거되었을 때의 전압의 변화를 보였다. 시뮬레이션 결과 부하 상태에 따라 외란에 의한 전압 붕괴 여부가 결정됨을 알 수 있었다.

시뮬레이션의 매 타임 스텝마다 부하 모델의 지수 연산과 미분 방정식의 연산을 수행하기 때문에 시뮬레이션에 많은 시간이 필요했다. 그리고, 한 번의 시뮬레이션 결과로는 안정도 여유를 정확히 알 수가 없기 때문에 부하 모델의 파라미터와 조건을 바꿔 가며 여러 번의 시뮬레이션을 수행하였다. 이것은 동적 시뮬레이션의 대표적인 단점들이지만 보호 제어 동작과 연계하기 위해서는 동적 시뮬레이션이 필요하며, 보다 효율적인 시뮬레이션을 위해서는 정적 시뮬레이션이나 QSS(Quasi-Steady-State) 방법과 병행하여야 할 것이다. 아울러, 전압 불안정 현상 및 전압 붕괴를 EMTP로 시뮬레이션한 국내외 최초의 결과이며, 이러한 연구 결과는 EMTP에서 보호 계전기의 동적 응용 연구 수행에 기여 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] Daniel Karlsson, "Voltage Stability-Modelling and System Protection Scheme", PSS, pp. 37-42, 2000.  
 [2] G.K. Morison, B. Gao, P. Kundur, "Voltage Stability Analysis Using Static and Dynamic Approaches", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 1159-1171, Aug. 1993.  
 [3] B. Delfino, G.B. Denegri, M. Invernizzi, A. Morini, "Voltage Stability of Power System : Links between Static and Dynamic Approaches", Proc. of MELECON '96, Vol. 2, pp. 854-858, May 1996.  
 [4] 남해곤, 송충기, 김동준, "최단 전압붕괴점 계산을 위한 개선된 직접법과 재급전에 의한 전압안정도 향상", 대한전기학회 논문지, Vol. 48A, No. 8, pp. 958-964, Aug. 1999.  
 [5] 송화창, 송태용, 정문구, 이석창, 최건수, 조윤성, 이병준, 권세혁, "부하모델에 따른 한계계통의 정적인 전압불안정점의 변화에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 319-321, 2000.

[6] Prabha, Kundur "Voltage Stability Assessment Procedures and Guides", Power system Stability Subcommittee Special Publication, Apr. 1999.  
 [7] Thierry Van Cutsem, Costas Vournas, "Voltage Stability of Electric Power Systems", Kluwer Academic Publishers, pp. 93-129, 1998.  
 [8] Thierry Van Cutsem, "Voltage Instability : Phenomena, Countermeasures, and Analysis Methods", Proc. of the IEEE, Vol. 88, No. 2, pp. 208-227, 2000.  
 [9] Badrul H. Chowdhury, Carson W. Taylor "Voltage Stability Analysis : V-Q Power Flow Simulation Versus Dynamic Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 1354-1359, Nov. 2000.  
 [10] T.G. Nagao, K. Tanaka, K. Takenaka. "Development of Static Simulation Programs for Voltage Stability Studies of Bulk Power System", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 273-281, Feb. 1997.  
 [11] Ragu Balanathan, Nalin C. Pahalawaththa, Udaya D. Annakkage, "Modelling induction motor loads for voltage stability analysis", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 24, No. 6, pp. 469-480, 2002.

#### 저 자 소 개



#### 허 정 용 (許 禎 容)

1974년 12월 28일생. 2000년 성균관대 전자공학과 졸업. 2001년~현재 동 대학원 정보통신 공학부 석사과정, 차세대전력기술연구센터  
 Tel : 031-290-7166, Fax : 031-290-7955  
 E-mail : rc1901@hanmail.net



#### 김 철 환 (金 喆 煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 차세대전력기술연구센터  
 Tel : 031-290-7124, Fax : 031-290-7179  
 E-mail : chkim@skku.edu