

# EMTP를 이용한 시송전 계통의 송전선로 초기 가압시 과전압 분석에 관한 연구

논문

58-5-1

## Analysis of the Overvoltages during Energizing Transmission Lines using EMTP

여 상 민\* · 김 철 환\* · 유 영 식\*\* · 주 행 로\*\*\* · 조 범 섭§

(Sang-Min Yeo · Chul-Hwan Kim · Young-Sik Lyu · Haeng-Ro Joo · Burm-Sup Cho)

**Abstract** - When the transmission lines are initially energized for power system restoration, the power system suffers the various overvoltages that can be classified as steady-state, transient, and dynamic overvoltages. For the accurate analyses of these overvoltages, many researchers utilize different simulation tools such as Power System Simulator for Engineering (PSS/E). Although PSS/E provides good solutions in steady-state and dynamic overvoltages, it is not suitable for transient overvoltages. Therefore, transient overvoltages are simulated by using Electro-Magnetic Transients Program (EMTP) developed for the analysis of transients in the power system. Recently, EMTP can be also used to simulate dynamic behavior of the system. In order to analyze the transient overvoltages with steady-state and dynamic overvoltages, the authors adopt EMTP as the simulation tool for the analysis of overvoltages. This paper presents the simulation results for the analyses of various overvoltages, and the possibility of EMTP to be used for these types of analyses.

**Key Words** : Overvoltages, Power system restoration, Energization, Transmission line, EMTP

### 1. 서 론

국내 전체의 전력계통은 매우 신뢰성 있게 운전되고 있으며, 각종 외란에도 매우 강인하게 응동하도록 구성되어 있다. 그러나 낙뢰, 수목 등의 송전선 접촉, 각종 설비의 노후 등에 의한 사고는 불가피하다. 또한 최대 부하시 고장 발생 및 고장 파급에 의한 극심한 부하-발전의 불균형이 발생하게 될 경우 계통 붕괴로 이어질 수 있다. 이러한 각종 사고 및 고장 상황에 대한 신속한 판단과 정전 구역에 대한 신뢰성 있는 신속한 복구는 매우 중요하다.

이러한 광역정전 또는 전정전의 초기 복구 과정의 초기 단계인 시송전 계통의 송전선로 가압은 전체 복구 과정 중 매우 중요한 단계이다. 시송전 계통의 가압에는 다수의 고압 송전선로 및 변압기 등의 가압이 수반되어 과전압 문제를 포함하여 다양한 종류의 고려사항이 존재한다. 특히 초고압 송전선로의 커패시턴스 성분에 의한 페란티 효과, 변압기의 인덕턴스 성분 등에 의한 고조파 공진, 개폐 과전압 등의 과전압은 흔하게 발생하는 과도현상이다. 이와 같은 다양한 과전압을 분류하면 크게 정상과전압, 과도과전압, 동적과전압으로 구분할 수 있는데 각 과전압에 따라 발생 원인

및 지속시간, 각 설비에의 영향들이 서로 다르므로 사전에 계통에서 발생할 수 있는 각 과전압에 대한 모의 및 분석이 필요하다[1-8].

따라서, 국내는 물론 해외 전력회사들은 PSS/E(Power System Simulator for Engineering) 등의 전력계통 해석 프로그램을 사용하여 복구 절차를 정하고 있으며, 시송전 계통 초기 가압시 발생할 수 있는 과전압을 분석하고 있다. 그러나 PSS/E의 경우 조류계산과 같은 정상상태 해석을 위해 개발된 프로그램으로써, 과도현상에 대한 해석이 일부 가능하지만, 상대적으로 긴 모의 시간 간격으로 인해 수 us 이하의 시간 간격 단위의 과도과전압의 해석은 어렵다. 또한 과도현상 해석 프로그램 중 하나인 PSCAD (Power System Computer Aided Design)/EMTDC (Electro Magnetic Transient DC analysis program)는 처음에 DC 계통을 해석하기 위하여 개발되었으며 이후 AC계통과 기타 여러 설비들을 모의하기 위한 프로그램으로 확장되었다. 일반적으로 DC 계통 및 전력전자 분야의 연구에 주로 사용되고 있으나 2003년에 이러한 PSCAD/EMTDC를 이용한 시송전 계통 초기 가압 분석의 연구가 수행된 바 있다[11-12].

본 논문에서 적용한 EMTP(Electro-Magnetic Transients Program)는 전자계 과도현상 해석 프로그램으로, 전력계통에서 발생하는 과도현상을 해석하기 위하여 개발된 프로그램으로 PSCAD/EMTDC와 유사한 프로그램이다. 따라서 전력계통에서 발생한 고장에 대한 해석이나 낙뢰 해석과 같은 과도현상 해석 분야에서 널리 사용되고 있으나 TACS와 MODELS 등의 서브루틴을 통하여 발전기 제어계 모델링은 물론 각종 스위칭 소자와 사용자 정의 소자 구현 기능을 제공하고 있어 전력계통 전반에 대한 범용적 해석 프로그램으

† 교신저자, 정회원 : 성균관대 정보통신공학부 박사과정  
E-mail : harc@chollian.net

\* 펠로우회원 : 성균관대 정보통신공학부 교수

\*\* 정 회원 : 한국전력거래소 수요시장팀 과장

\*\*\* 정 회원 : 한국전력거래소 계통보호팀 부장

§ 정 회원 : 한국전력거래소 천안지사 부처장

접수일자 : 2008년 9월 19일

최종완료 : 2009년 4월 1일

로 사용가능하지만, 과거에는 EMTP를 이용한 발전기 동특성 모의나 안정도 모의 등은 컴퓨터 사양의 제약 등으로 모의가 불가능하거나 해석하는데 너무 오랜 시간이 소요되기 때문에 과도과전압에 대한 모의만 이루어져왔다. 이러한 현실로 시송전 계통의 과전압 해석을 위해서는 과전압의 원인, 특성에 따라 해석하고자 하는 프로그램을 다르게 적용해야만 했다[4]. 그러나 컴퓨터의 급속한 발전과 성능 향상은 EMTP의 활용 범위를 폭넓게 확대하는 계기가 되었다. 최근에는 기존의 과도현상 해석 분야는 물론 보호계전 알고리즘과 발전기 동특성 또는 전력계통 안정도 사이의 상관관계에 대한 연구에서도 EMTP를 사용하여 수행하는 연구가 많이 발표되고 있으며, 정밀한 모의 결과 및 TACS, MODELS 등의 내부 언어 등의 활용을 통한 범용성의 확보로 보다 다양한 영역에서 적용되고 있는 프로그램이다[9, 10, 13].

본 논문에서는 국내 시송전 계통 초기 가압시 발생하는 과도과전압의 정확한 분석을 위하여 EMTP를 사용하였으며, 주어진 복구절차에 따라 과도과전압과 함께 정상과전압과 동적과전압을 모의하고 분석하였다.

## 2. 시송전 계통 초기 가압

### 2.1 시송전 계통 초기 가압시 과도 현상

시송전 계통을 초기 가압할 때 발생하는 과전압은 크게 다음의 세 가지로 구별할 수 있다[1-5].

- (1) 정상과전압
- (2) 과도과전압
- (3) 동적과전압

다음 표 1은 이러한 세 가지 종류의 과전압에 대한 원인, 영향, 주요 대책에 대하여 정리한 것이다.

표 1 시송전 계통 초기 가압시의 과전압

Table 1 The classification of overvoltages during energizing transmission lines

	정상과전압	과도과전압	동적과전압
원인	경부하 송전선로의 중전용량	- 여러 시송전 선로를 동시에 가압 - 용량성 소자의 스위칭	- 스위칭 동작과 설비의 비선형성 * 전원인덕턴스와 전로중전용량에 의한 공진회로 * 변압기 여자 투입 * 경부하 선로 가압
영향	- 발전기의 부족 여자 - 발전기의 자기 여자와 불안정 - 과여자된 변압기 - 고조파 왜곡 발생 - 변압기 과열	- 크게 감쇄되며, 짧은 지속시간을 가진 보통 100kV 이하의 송전선로에서는 중요하지 않음 - 정상 과전압과 결합될 경우 파괴적 고장 발생 가능	- 과여자된 변압기와 심각한 고조파 발생 - 변압기 손상
주요 대책	- 유도성 부하 연결 지상 역률의 무효 부하 연결 - 송전선로 전압을 낮게 유지	- 일반적으로 계통 복구시 제한될 요소는 아님 - 정상상태 전압이 공칭 전압의 1.2pu 이하인 경우 발생한 스위칭 서지는 파괴기 보호 * 분로 리액터 투입에 의해 저감 가능	- 변압기 가압 전 변압기 램(낮은 전압으로) 조정 - 선로에 충분한 부하 연결 - 필요에 따라 발전기 추가 기동

### 2.2 시송전 계통 복구 계획

국내 시송전 계통은 크게 7개의 지역으로 구분되어 있으

며, 각 지역별 복구를 수행하고, 지역별 복구가 완료되면 지역간 연계를 수행하여 전계통을 복구하게 된다[8].

각 지역별로 주 시송전 계통과 예비 시송전 계통의 이중화된 계통이 지정되어 있어 주 시송전 계통의 가압이 실패할 경우 예비 시송전 계통을 통해 복구할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 시송전 선로 선정시 수전단 전압 상승을 방지하고 신속한 복구를 위해 시송전 선로의 거리 및 시송전 선로 내의 변전소를 최소화하도록 구성되어 있다.

이러한 시송전 계통의 복구 목표 시간은 다음과 같다.

- 복구 지시 후 각 지역별 우선공급 발전기 병입 : 2시간 이내
- 정전복구 지시후 전 발전소 기동전력 공급 : 4시간 이내
- 복구 지시 후 전체 부하의 80% 공급 : 24시간 이내

이와 같은 시송전 계통 중 본 논문에서는 OO지역의 주 시송전 계통인 S P/P로부터 K C/C까지의 계통을 모델 계통으로 하였으며, 모델 계통에서 복구 수행시 발생하는 과도현상을 모의하고 분석하였다.

### 2.3 OO지역 주 시송전 계통

다음 그림 1은 OO지역 주 시송전 계통의 단선도이며, 다음 표 2는 OO지역 계통에 대한 복구 절차이다. 그림 1에서 보인 바와 같이 S P/P #1호가 자체기동발전기로 지정되어 있으며, K C/C가 우선공급발전소로 지정되어 있다.

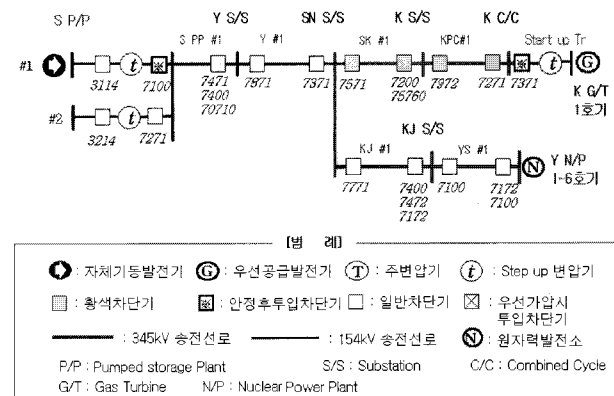


그림 1 OO지역 주 시송전 계통

Fig. 1 Diagram of power system at OO region

표 2 OO지역 주 시송전 계통의 복구 절차

Table 2 The procedure of restoration at OO region

단계	복구 절차	비고
1	○ S P/P #1 기동 및 소내 가압 ○ 필요시 잔여 호기 추가 기동	○ 최대 발전력: 700MW ○ 발전기 단자전압 유지범위: 정격의 95%
2	○ 345kV K S/S Sh.R 30MVar (#1M.Tr측) 투입 ○ 시송전선로 가압 - 345kV S P/P 7100 차단기 투입 ○ K C/C G/T #1 기동전력 공급 - 345kV K C/C 7371 차단기 투입 ○ 기동전력 공급 후 S P/P 발전기 전압 조정	○ K C/C G/T #1 기동을 원칙으로 하되, 운전여건에 따라 타 G/T 우선기동 가능
3	○ K C/C 잔여 G/T 기동전력 공급 ○ 발전기 안정운전에 필요한 부하 공급 ○ 우선공급부하인 Y N/P 소내전력 공급 ○ 안정후공급발전소 기동전력 공급	☆ 우선공급부하 · Y N/P #1-6 소내 ○ 주 시송전계통을 활용하여 OO지역 복구

다음 그림 2는 표 2를 기준으로 설정한 모의 시나리오이다. 본 논문에서는 무효전력 보상용 Sh.R의 유무에 따른 시송전 선로 초기 가압시 발생하는 과도현상을 분석하였다.

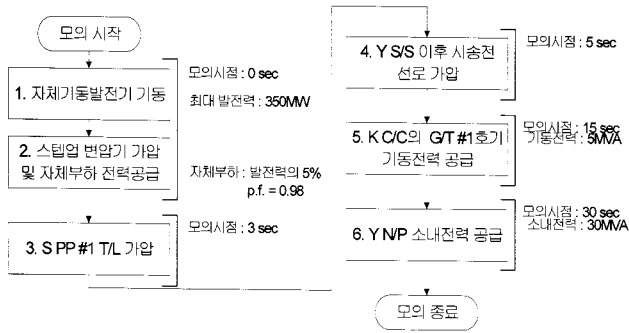


그림 2 복구 모의 시나리오

Fig. 2 The scenario for the simulation of restoration

### 3. 시뮬레이션 및 결과

#### 3.1 시뮬레이션 구성

다음 그림 3은 그림 1의 OO지역 주 시송전 계통을 EMTP로 모델링한 것이다. 자체기동발전기는 EMTP에서 제공하는 동기발전기 모델을 사용하여 모델링하였다. 이때 그림 3에서 보인 여자기 모델과 조속기 모델은 EMTP에서는 제공하지 않는 모델로 각종 제어 소자들을 사용하여 새롭게 구현하였다.

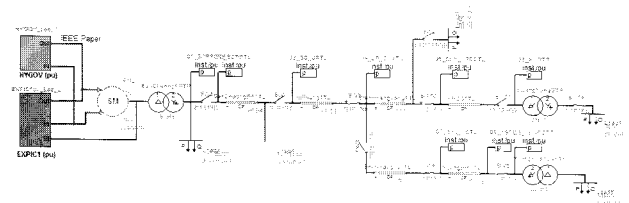


그림 3 EMTP로 모델링한 OO지역 주 시송전 계통

Fig. 3 The modeled system by EMTP

EXPIC1 여자기 모델과 HYG0V 조속기 모델은 모델 계통에 대한 여자기 및 조속기 모델로써, 모델 종류 및 모델에 적용된 파라미터 값들은 한국전력거래소에서 PSS/E에 적용하여 사용 중인 값들을 동일하게 적용하였으며, 모델의 구성 또한 PSS/E에서 제공하는 매뉴얼을 토대로 구현하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 앞서 언급한 바와 같이 시송전 계통 초기 가압시 발생하는 세 가지의 과전압, 즉 정상과전압, 과도과전압 및 동적과전압을 모의하였다. 각 과전압에 대한 모의 조건은 다음과 같다.

##### 3.2.1 정상과전압(Steady-state Overvoltages)

정상과전압 모의는 선로 충전용량에 따른 페란티 효과 및 용량성 무효전력에 따른 발전기 영향을 모의하였다. 이때 모의 대상이 되는 시송전 계통이 결정되면 계통 내의 선로 충전용량도 따라서 결정된다. 본 논문에서는 동일한 구성의 계통에서 선로 충전용량의 변화에 따라 정상과전압이 어떻게 변화하는가를 분석하기 위하여 실제 송전선로 충전용량을 50%, 100%, 200% 기준으로 가변하여 모의하였다. 여기

서 선로 충전용량이 50%인 경우는 실제의 상태와 비교하여 선로의 길이가 절반이 된 경우로, 선로 충전용량이 200%인 경우는 동일한 송전선로 두 회선을 동시에 가압한 경우를 가정할 수 있다. 또한 용량성 무효전력을 보상하기 위해 적용된 30MVar의 Sh.R에 대한 영향을 분석하기 위하여 Sh.R의 유무에 따른 변화를 고려하였다.

다음 표 3은 정상과전압에 대한 모의 조건이다.

표 3 정상과전압 모의 조건

Table 3 Simulation condition for steady-state overvoltages

모의조건	Sh.R (30MVar) 유/무	선로충전용량(실제선로충전용량기준)		
		50%	100%	200%
충전용량	유	0.245[uF]	0.49[uF]	0.98[uF]
	무	0.245[uF]	0.49[uF]	0.98[uF]

##### 3.2.2 과도과전압(Transient Overvoltages)

과도과전압의 모의는 선로를 가압하기 위하여 차단기를 투입할 때 생기는 개폐과전압을 통해 모의해볼 수 있다. 선로 가압의 경우, 선로의 충전용량, 선로와 연결된 부하의 양 등에 따라 개폐과전압이 달라지게 된다. 또한 일반적으로 과도과전압을 억제하기 위하여 전력계통에 피뢰기를 설치, 운영중이지만, 본 논문에서는 시송전 계통 복구시 복구 방법에 따른 과도과전압의 영향을 비교, 분석하기 위하여 피뢰기는 고려하지 않았으며, 선로를 두 구간으로 나눠 전체 시송전 선로를 한번에 가압하는 경우와 두 번에 나누어 가압하는 경우를 모의 조건으로 선정하였다.

- (1) 전체 시송전 선로(전체 길이 : 199.533km)를 한번에 가압하는 경우
- (2) S PP #1 T/L(길이 : 46.943km)을 가압한 후, 나머지 시송전 선로(길이 : 152.59km)를 가압하는 경우

##### 3.2.3 동적과전압(Dynamic Overvoltages)

표 1에서 언급한 바와 같이 일반적으로 무부하 또는 경부하로 가압되는 시송전 계통에서 변압기의 철심 비선형 특성 등에 의해 발생하며, 동적과전압의 대책으로 알 수 있는 바와 같이 선로에 부하를 연결함으로써 저감할 수 있다. 본 논문에서의 시송전계통은 기본 복구절차에서 30MVar의 Sh.R이 연결되어 가압하도록 되어 있으며, 각 발전소의 소내부하가 연결되어 있는 상태이기 때문에 변압기의 비선형 특성에 의한 동적과전압은 나타나지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 선로 충전용량에 의해 발생하는 정상과전압, 과도과전압을 저감하기 위한 일정량의 부하 투입시 발생하는 전압 진동의 동적과전압을 모의하였다.

- (1) Y S/S에 용량 20MVA, 역률 0.9의 부하가 있는 경우
- (2) 부하가 없는 경우

### 3.3. 시뮬레이션 결과

#### 3.3.1 정상과전압

다음 그림 4는 Sh.R이 투입되지 않은 경우에 대한 모의 결과로써, 무효전력과 발전기 단자전압 파형이다. 선로 충전용량 50, 100, 200%에 대해 계통에서 발생한 무효전력은 용량성으로 각각 11MVar, 22MVar, 44MVar이다. 이에 대하여 계통에서 공급되는 무효전력은 유도성으로 총 10.5MVar이

다. 그림 4(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 용량성 무효전력을 보상하기 위한 Sh.R이 투입되지 않더라도 선로 충전용량이 충분히 적은 경우에는 계통에서 공급된 유도성 무효전력에 의해 충분히 보상되어 안정적으로 가압이 된 것을 알 수 있다. 그러나 실제 선로 파라미터를 적용한 경우(100%)와 선로 충전용량을 실제 값의 2배로 조정한 경우에는 발전기 자기여자 현상이 발생하여 그림 4(b)에서 보인 바와 같이 발전기 단자전압이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 그림 4(b)의 발전기 단자전압은 실효치 파형을 나타낸 것으로 선로 충전용량을 50%로 가정하였을 경우, 약 1pu의 정상적인 발전기 단자 전압이 나타난 것을 알 수 있다. 그러나 선로 충전용량 100%와 200%의 경우에는 발전기 자기여자 현상에 의해 약 4~5pu의 과전압이 발생한 것을 확인할 수 있다.

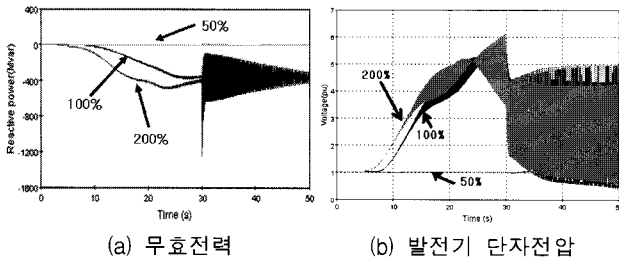


그림 4 Sh.R이 없는 경우의 무효전력과 발전기 단자전압  
Fig. 4 Reactive power and terminal voltage in the case of no Sh.R

다음 그림 5는 Sh.R이 있는 경우에 대한 무효전력과 발전기 단자전압 파형이다. 그림 5(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 Sh.R에 의해 용량성 무효전력이 보상됨에 따라 발전기 자기여자 현상은 발생하지 않는 것을 알 수 있으며, 그림 5(b)에서와 같이 발전기 단자전압도 정상적인 범위에서 가압되고 있음을 알 수 있다.

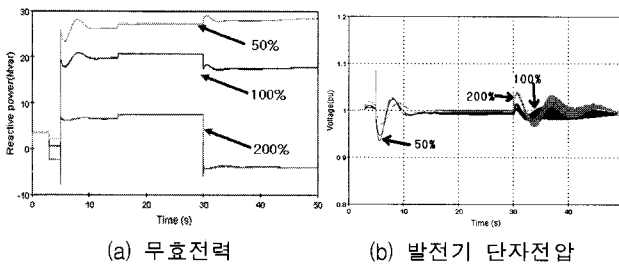


그림 5 Sh.R이 있는 경우의 무효전력과 발전기 단자전압  
Fig. 5 Reactive power and terminal voltage in the case of 30MVar Sh.R

전체 정상과전압 모의에 대한 모의 결과로써, Sh.R이 있는 경우에 선로 충전용량을 200%로 가정할 경우 약 1.07pu의 과전압이 발생하였으나 이는 고려할만한 정도의 과전압이 아님을 알 수 있다.

3.3.2 과도과전압

다음 그림 6은 선로를 단계별로 가압한 경우와 한번에 가압한 경우에 대하여 Y S/S에서 측정된 전압의 순시치이다. 과도과전압은 정상과전압, 동적과전압에 비해 매우 짧은 시간동안만 지속되는 과전압으로 실효치 계산을 수행할 경우,

과도과전압의 특징 및 실제 크기를 정확하게 판단하기 어렵다. 따라서 과도과전압의 경우에는 순시치 분석을 통해 과도과전압의 크기 및 지속시간 등을 파악하여야 한다. 그림 6을 통해 알 수 있는 바와 같이 선로를 단계별로 가압하는 경우에 변전소에서 나타나는 과전압의 크기가 작은 것을 알 수 있다. 다음 표 4는 각 경우에 대한 각 모선에서의 과전압의 크기이다.

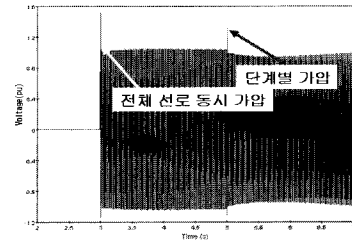


그림 6 Y S/S 모선에서의 과도과전압  
Fig. 6 Transient Overvoltages at the bus in Y S/S

표 4 각 모선에서의 과도과전압 크기

Table 4 The magnitudes of transient overvoltages at each bus

모선명	전체선로 동시가압 [pu]	단계별가압 [pu]
S P/P	1.433	1.431
Y S/S	1.502	1.362
SN S/S	1.513	1.325
K S/S	1.520	1.303

표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 전체선로를 동시에 가압하는 경우에 단계별로 가압한 경우에 비하여 큰 과전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 표 5로부터 특이할 점은 전체선로를 동시에 가압한 경우에는 발전기로부터 거리가 멀어질수록 과도과전압의 크기가 크게 나타나며 단계별로 가압할 경우에는 반대로 발전기로부터 거리가 멀어질수록 과도과전압의 크기가 작아진다.

3.3.3 동적과전압

다음 그림 7은 부하 유무에 따른 동적과전압의 모의 결과이다. 그림 7에서 보인 바와 같이 본 논문에서 적용한 모델 계통에서는 동적과전압 중 심각한 경우인 고조파 공진 현상은 발생하지 않음을 알 수 있다. 반면 시송전 선로 가압시 부하의 유무에 따라 발전기 단자전압이 진동하는 것을 확인할 수 있으며, 전압 진동과 같은 동적과전압이 발생하는 것을 알 수 있다.

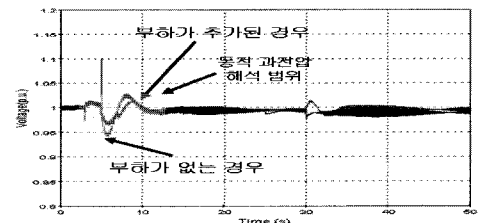


그림 7 동적과전압 모의에 따른 발전기 단자전압  
Fig. 7 The terminal voltages of generators for the simulation of dynamic overvoltages

또한 그림 7에서 보인 과전압을 각 모선에 대하여 정리하면 다음 표 5와 같다. 표 5를 통해 각 모선에서의 전압 변동폭은 일정한 것을 확인할 수 있으며, 부하가 없는 경우에 비해 부하가 추가된 상태로 가압하는 경우에 전압 변동폭이 작은 것을 알 수 있다. 비록 부하가 없는 경우 최대, 최소 전압의 크기가 정상 전압에 대해 큰 변화를 갖지 않는다고는 하지만, 부하가 추가된 경우에 비해 약 두 배의 변동폭을 가짐을 알 수 있다.

표 5 각 모선에서의 동적과전압의 최대, 최소 및 변동폭  
Table 5 Maximum, minimum, variation of dynamic overvoltages at each bus

모선명	부하가 없는 경우			부하가 추가된 경우		
	최대	최소	변동폭	최대	최소	변동폭
S P/P	1.028	0.941	0.087	1.013	0.964	0.049
Y S/S	1.026	0.939	0.087	1.011	0.963	0.049
SN S/S	1.025	0.939	0.087	1.011	0.963	0.049
K S/S	1.025	0.938	0.087	1.010	0.962	0.049

3.3.4 Sh.R 용량 변화에 따른 과전압

세 가지의 모의를 통해 다양한 경우에 대한 모의를 수행함으로써 각 과전압에 대한 모의를 수행할 수 있음을 확인하였다. 다음 그림 8은 Sh.R의 용량 변화시 시송전 계통 전체의 무효전력량을 도시한 것이다.

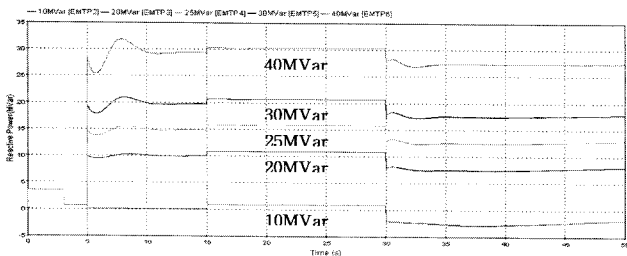


그림 8 Sh.R 용량에 따른 무효전력의 변화  
Fig. 8 Variation of reactive power for various capacities of Sh.R

다음 그림 9는 Sh.R의 용량 변화 시 발생하는 과전압을 나타낸 것이다. 앞서 제시한 정상과전압, 과도과전압, 동적과전압과 동일한 방법으로 분석하였으며, 용량에 따른 각 과전압의 크기를 분석하였다.

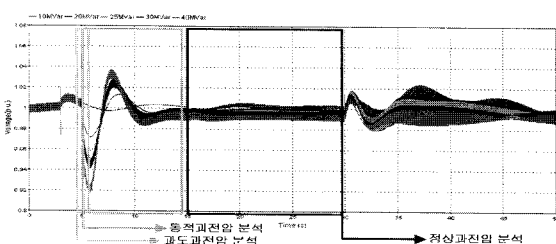


그림 9 Sh.R 용량에 따른 발전기 단자전압  
Fig. 9 Terminal voltages of generator for various capacities of Sh.R

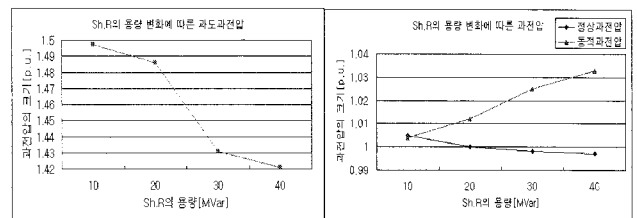
다음 표 6은 Sh.R 용량에 따른 과전압의 크기를 정리한 것이다. 표 6에서 제시한 바와 같이 일반적으로 Sh.R의 용

량이 커질수록 과전압의 크기는 감소하는 것을 알 수 있다. 단, 동적과전압의 경우 최소값은 감소하는 반면 최대값은 오히려 증가하여 계통의 영향은 커지는 것을 확인할 수 있다.

표 6 Sh.R 용량에 따른 과전압의 크기  
Table 6 The magnitude of overvoltages for various capacities of Sh.R

Sh.R 용량	정상과전압 (p.u.)	과도과전압 (p.u.)	동적과전압(p.u.)		
			최소값	최대값	변동폭
10MVar	1.005	1.497	0.997	1.004	0.007
20MVar	1.0	1.486	0.97	1.012	0.042
25MVar	0.998	1.481	0.956	1.019	0.061
30MVar	0.998	1.431	0.939	1.025	0.086
40MVar	0.997	1.421	0.913	1.033	0.120

다음 그림 10은 Sh.R 용량 변화에 따른 과전압의 크기 변화를 도시한 것이다. 그림 10(a)는 과도과전압을 나타낸 것으로 Sh.R의 용량이 증가할수록 과전압의 크기가 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 20MVar의 경우와 30MVar의 경우를 비교하면 다른 경우에 비해 과전압 감소의 폭이 매우 큰 것을 알 수 있다. 반면 그림 10(b)의 정상과전압과 동적과전압의 경우, 정상과전압은 Sh.R의 용량이 증가함에 따라 감소하고, 동적과전압은 증가함을 알 수 있으며, 정상과전압(변화량: -0.008p.u.)에 비해 동적과전압(0.029p.u.)의 크기 변화가 더 큰 것을 알 수 있다.



(a) 과도과전압 (b) 정상과전압, 동적과전압

그림 10 Sh.R 용량에 따른 과전압  
Fig. 10 Overvoltages for various capacities of Sh.R

4. 결론

시송전 계통 초기 가압시 과전압 현상을 분석하는데 주로 사용되는 PSS/E의 경우 상대적으로 긴 모의 시간 간격으로 인해 수 us 단위의 과도과전압의 해석은 어려운 것이 사실이다. 따라서, 본 논문에서는 수 us 이하의 시간 단위로 모의가 가능하면서 수 초 내지 수십 초까지의 모의가 가능한 EMTP를 이용하여 시송전 계통의 초기 가압시 발생하는 과전압을 모의하고 분석하였다. 모의 결과를 통해 수 ms 내지는 수십 us 단위로 변화하는 과도과전압으로부터 수초의 주기로 변화하는 정상과전압까지 전체 과전압에 대한 분석을 수행할 수 있음을 확인하였다.

EMTP를 사용하여 수 us 이하의 시간 간격으로 수십 초까지의 모의를 수행하는 것은 수 ms의 시간 간격으로 모의를 수행하는 PSS/E와 같은 프로그램에 비해 모의 소요 시간이 길 수밖에 없다. 따라서 정상과전압과 동적과전압을 모의하고 분석하는 관점에서는 PSS/E를 사용하여 모의하는

것에 비해 모의 소요 시간 등의 측면에서 볼 때 유리하다. 그러나 이 경우 과도과전압의 분석을 추가하기 위해서는 별도의 프로그램을 사용한 모의가 추가되어야 한다. 따라서 하나의 프로그램을 사용하여 시송전 계통 초기 가압시 발생하는 정상과전압, 동적과전압과 함께 과도과전압의 분석을 수행하고자 할 때에는 본 논문에서 수행한 바와 같이 EMTP를 사용함이 유리하다.

**참 고 문 헌**

[1] M. M. Adibi et al., "Power System Restoration - A Task Force Report", IEEE Trans. on PWRs, Vol.2, No.2, pp.271-277, May 1987.

[2] M. M. Adibi et al., "Overvoltage Control During Restoration", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 7, No. 4, pp. 1464-1470, November 1992.

[3] Abbas Ketabi, Ali Mohammad Ranjbar, René Feuillet, "Analysis and control of temporary overvoltages for automated restoration planning", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, Oct. 2002.

[4] M. M. Adibi, J. N. Borkoski, R. J. Kafka, "Analytical tool requirements for power system restoration", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 3, Aug., 1994.

[5] T. S. Sidhu, D. A. Tziouvaras, A. P. Apostolov, C. H. Castro, S. R. Chano, S. H. Horowitz, W. O. Kennedy, Sungsoo Kim, R. J. Martilla, P. G. McLaren, G. L. Michel, K. K. Mustaphi, P. Mysore, M. Nagpal, B. Nelson, F. P. Plumtre, M. S. Sachdev, J. S. Thorp, and J. T. Uchiyama, "Protection issues during system restoration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, Jan., 2005.

[6] 여상민, 김철환, 유영식, 주행로, 조범섭, "EMTP를 이용한 시송전 계통의 송전선로 초기 가압시 과도현상 분석에 관한 연구", 2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2008. 7.

[7] "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구", 최종보고서, 한국전력거래소, 2003.

[8] "전계통 정전시 복구계획", 한국전력거래소, 2007. 11.

[9] 소광훈, "과도안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 청구논문, 2003.

[10] 이동규, 김형규, 강상희, 주행로, 유영식, "인출선로 재폐로에 따른 발전기 축비틀림 토크 분석", 2008 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 56-58, 2008. 11.

[11] 이홍재, 이경섭, "시송전계통의 고조파 공진현상에 대한 분석", 대한전기학회 논문지, 제55A권, 5호, pp.191-194, 2006. 5.

[12] 이홍재, 이경섭, 박성민, 송인준, 이남호, 배주천, 황봉환, "EMTDC를 이용한 시송전계통의 고조파 공진 분석", 대한전기학회 논문지, 제54A권, 4호, pp. 172- 176, 2005. 4.

[13] 박철원, 신명철, "고장전류의 웨이브릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol. 56, No. 5, pp. 834-840, 2007. 5.

**저 자 소 개**



**여 상 민 (呂 相 敏)**

1976년 7월 21일생. 1999년 성균관대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166  
 Fax : 031-290-7955  
 E-mail : harc@chollian.net



**김 철 환 (金 喆 煥)**

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124  
 Fax : 031-290-7179  
 E-mail : hmwkim@daum.net



**유 영 식 (柳 永 植)**

1963년 2월 11일생. 1989년 광운대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국전력거래소 수요시장팀 과장

Tel : 02-3456-6782  
 Fax : 02-3456-6689  
 E-mail : lyu21@kpx.or.kr



**주 행 로 (朱 幸 魯)**

1955년 3월 19일생  
 1979년 전북대학교 전기공학과 졸업  
 현재 한국전력거래소 계통보호팀장

Tel : 02-3456-6750  
 Fax : 02-3456-6759  
 E-mail : joohr@kpx.or.kr



**조 범 섭 (趙 範 燮)**

1954년 8월 21일생. 1974년 조선대 이공대학 전기과 졸업. 2003년 조선대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력거래소 부처장, 천안지사장

Tel : 041-589-5800  
 Fax : 041-589-5809  
 E-mail : cbsf@kpx.or.kr