

## EMTP를 이용한 개폐서지 분석

이영익                      여상민                      김철환  
성균관대학교

### Analysis of the Switching Surges using EMTP

Y.I. Lee                      S.M. Yeo                      C.H. Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 전력 계통에서 좀 더 나은 서비스와 안정성이 요구 됨에 따라 과도현상에 많은 관심이 모아지고 있다. 본 논문의 목적은 스위칭 시간과 선로 길이에 따른 개폐서지의 변화를 알아보기 위한 것이다. EMTP로 균일 분포 정수 모델을 모의 하여 과도 현상인 개폐서지를 측정하였다. 개폐서지의 종류를 알고 스위칭 시간에 따른 파형과 선로 길이를 다르게 함으로써 나오는 파형을 비교 분석하였다. 모의 결과는 무부하 선로에 전원 투입시 서지와 같은 현상을 보여주며, 스위칭 시간 및 선로 길이에 대한 서지의 영향을 확인하였다.

#### 1. 서    론

전력 계통에서 발생하는 서지는 낙뢰 등에 의해 발생하는 뇌서지(Lighting surge)와 개폐 동작으로 발생하는 개폐서지(Switching surge)로 나누어진다. 개폐서지는 차단기를 투입할 때 발생하는 투입서지(Closing surge)와 개방할 때 발생하는 차단서지(Clearing surge)로 분류되어진다. 22.9 kV 배전계통에 있어 합리적인 이상전압(개폐서지)에 대한 대책 수립을 위하여 다양한 실측자료가 필요하게 되었다. 하지만 체계적인 자료 및 연구가 드물다. 그 중 특고압 같은 경우에 개폐서지가 자주 나타난다. 이런 시스템을 실생활에 구성하고 예측하기 위해서는 다방면의 노력이 필요하게 되었다. 아날로그 방식으로 일반적인 전압측정은 간단히 구현할 수 있는 모델이 많으나, 특고압 선로에는 개폐서지와 같은 이상전압을 측정하고 데이터 값을 현장에 적용할 수 있는 모델이 필요하다.

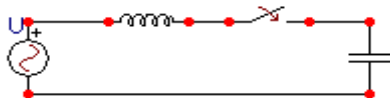
개폐서지전압은 인버터의 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 높아진다. 그리고 전동기 권선에 미치는 영향도 지속적으로 이루어지므로 인버터에서 전동기까지의 거리는 짧을수록 좋다. 하지만 현장 여건은 출력에서 부하까지의 거리는 다양하므로 선로의 서지 임피던스 수치도 다르게 적용되어야 한다[1, 2].

#### 2. 개 폐 서 지

##### 2.1 서지(Switching or Lightning Surge)

서지는 정상 크기보다 매우 짧은 시간 동안 지속되는 과도 전압 혹은 과도 전류이다. 전형적으로 스위칭 동작이나 낙뢰에 의해서 발생한다. 서지는 고궤부하의 스위칭 동작으로 인해 발생하기도 하며, 커패시터나 차단기의 스위칭 동작으로 인해 발생하기도 한다. 서지는 전력계통에 항상 존재했지만 개인용 컴퓨터 같은 전기품질에 민감한 부하가 보편화되면서 최근에 많은 관심을 받기 시작했다[3].

스위치를 개폐할 때 나타나는 개폐서지는 투입서지가 차단서지보다 높게 나타나고, 큰 부하가 있는 선로를 개폐할 때 나타나는 서지보다 무부하시에 나타나는 서지가 더 높다. 이 중에서 무부하 충전 전류를 차단할 때 가장 큰 서지가 발생된다. 다음 그림 1은 무부하 충전선로 모델을 보이고 있다.



〈그림 1〉 무부하 충전선로 등가 모델

##### 2.2 개폐서지의 종류 [4]

개폐서지의 종류는 다음과 같다.

###### (1) 무부하 선로에 전원 투입 시의 서지

무부하 선로에 최대치 전원을 투입하면 전압의 진행파가 선로의 종단에 도달 했을 때 종단이 개방되어 있으므로 정반사하여 2배의 이상전압을 발생 시킨다.

###### (2) 무부하 충전 전류 차단시의 서지

무부하 충전 전류를 차단하면 전류 영점에서 아크는 소호되나 그때 선로는 최대치 전압으로 충전되어 있고, 반 사이클 후에 전원 전압은 -최대전압으로 되므로 차단기 점점 양단에는 2배의 전압이 나타나고 만일 차단기 점접간의 절연이 2배의 전압에 견디지 못하면 재점호 하게 되는데 이때 선로의 R, L, C 성분들에 의해서 -최대전압을 중심으로 하고 진폭이 2배인 고주파 진동을 하게되어 최대 3배까지의 이상 전압이 나타나고 이러한 재점호가 반복되면 5배, 7배의 이상 전압도 나타날 수 있다. 그러나 현대의 차단기 성능으로 볼 때 재점호가 그렇게 계속될 우려는 없고, 대부분의 경우 상규 대지 전압의 3.5배 이하이고 4배를 넘는 경우는 없으며, 그 지속 시간도 반 싸이클 이내이다.

###### (3) 유도성 소전류 차단시의 서지

무부하 변압기의 여자전류와 같은 유도성 소전류를 차단 능력이 큰 차단기로 차단하면 전류 영점 이전에 차단 소호 되는데 이 때 무부하 변압기의 큰 인덕턴스(L)와 큰 전류 변화율(di/dt)에 의해서 계통의 상규 전압을 훨씬 능가하는 이상 전압(e=L · di/dt)이 과도적으로 나타날 수 있다.

###### (4) 고속도 재폐로 시의 서지

재폐로 시에 선로 측에 잔류 전하가 있고 재폐로시 재점호가 일어나면 큰 서지가 발생한다.

###### (5) 고장 전류 차단시의 서지

중성점을 리액터 접지 시킨 영상 임피던스가 큰 계통에 있어서는 고장 전류는 90°에 가까운 지상 전류이다. 이것을 전류 영점에서 차단하면, 차단기의 전원 측 전압이 차단 직전의 최대 아크 전압에서 전원 전압으로 옮겨가는 과정에서 과도 진동에 의하여 이상 전압이 나타나게 되는데 이때의 전압 크기는 상규 대지 전압 파고치의 2배 이하이다.

###### (6) 3상을 동시 투입하지 않을 때의 서지

차단기의 각상 전극은 정확히 동일한 시각에 투입되지 않고 근소하나마 시간적 차이가 있는 것이 보통이다. 이 차이가 좀 심한 경우에는 상규 대지전압 파고치의 3배 전후의 서지가 발생할 수 있다.

##### 2.3 선로 무압(deenergization)

차단기는 차단과정에서 발생하는 개폐 과전압을 줄여야한다. 그리고 차단기는 전류가 제로인 지점이나 그 지점 가까이에서 개방한다. 또한 대지에 연결된 유도성 통로(병렬보상회로)를 설치하였다. 병렬 보상회로에서는 선로의 무압이 발생한다. 다음 식은 진동의 고유 주파수를 나타낸다.

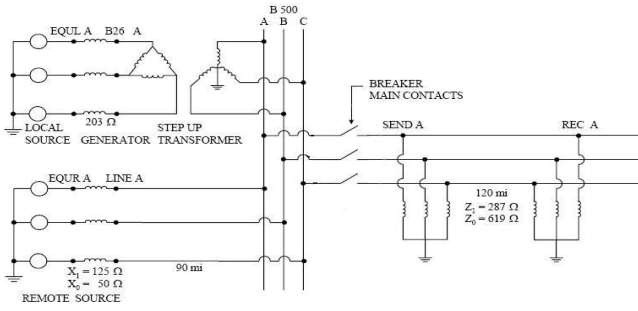
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

L : 변압기의 인덕턴스 또는 병렬 리액터와 선로 인덕턴스의 합  
C : 선로의 커패시턴스

#### 3. 시뮬레이션 및 결과

##### 3.1 대상 계통

개폐서지를 해석하기 위해 다음 그림 2와 같은 계통을 모의하였다.



〈그림 2〉 모델 계통

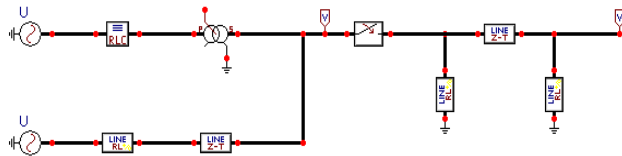
계통의 전원 전압 등의 입력 정수들은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 회로 정수

	LOCAL 측	REMOTE 측
전압[V]	18863	380281
전원 임피던스 [Ohm]	203	$X_0=125 / X_1=50$

### 3.2 EMTP 구현

그림 1의 회로를 해석하기 위해서 EMTP로 구성된 모델 계통은 다음 그림 3과 같다



〈그림 3〉 EMTP로 구성한 모델 계통

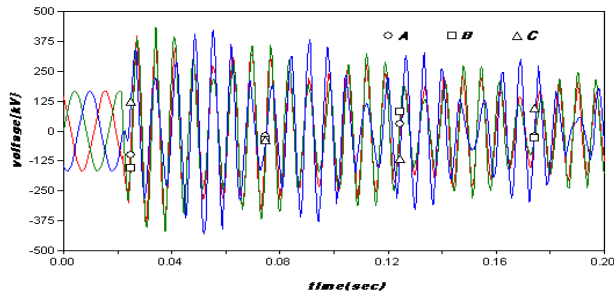
### 3.3 모의 결과

스위치 개방 시간과 선로 길이에 따른 개폐서지의 영향을 분석하기 위하여 다음 표 2와 같은 조건으로 모의를 수행하였다. 전압의 측정은 수전단에서 하였다.

〈표 2〉 시뮬레이션 데이터

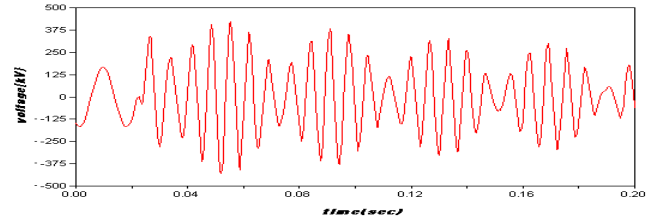
	스위치 개방시간[sec]	선로 길이[km]
case 1	0.020	120
case 2	0.015	120
case 3	0.020	60
case 4	0.015	60
case 5	0.0005	60

본 논문에서는 case 1-case 3에 대한 모의 결과의 분석을 제시하였다. 다음 그림 4는 case 1의 경우에서의 3상 전압 파형이다.



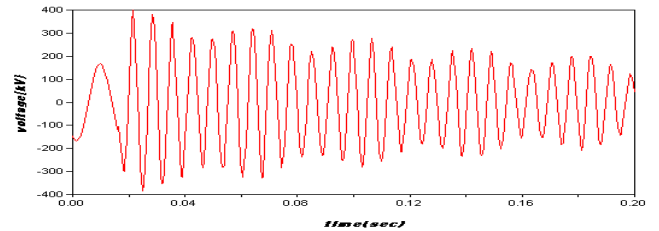
〈그림 4〉 case 1의 A, B, C 상 전압

그림 3에서 보는 바와 같이 스위치가 개방된 순간 전압은 약 2배로 증가함을 볼 수 있다. 다음 그림 5는 그림 4에서 C상만 추출한 것이다.



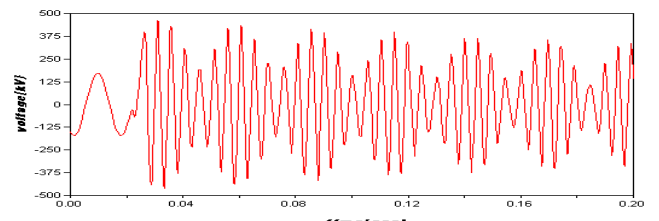
〈그림 5〉 case 1의 C 상 전압

그림 5에서는 개폐서지에 의한 수전단 전압은 Ringing 현상이 나타나고 있음을 보여준다. 다음 그림 6은 case 2의 경우에서의 C상 전압이다.



〈그림 6〉 case 2의 C 상 전압

그림 5와 비교할 때 처음 전압이 달라짐을 볼 수 있는데 선로에 전원 투입 시의 서지는 이론과 비슷한 값(2배로 증가)을 볼 수 있다. 또한 Ringing 현상이 적은 것을 볼 수 있다. 그리고 스위칭 시간이 파형의 어떤 시간에서 개방하느냐에 따라 초기 전압 값이 달라진다. 다음 그림 7은 선로길이를 다르게 한 case 3의 경우에서의 C상 전압이다.



〈그림 7〉 case 3의 C 상 전압

그림 5와 비교할 때 선로 길이가 줄어들며 따라 파형이 조밀해 짐을 볼 수 있는데, 선로 무압 상태에서 단위 길이당 LC 값이 작아지기 때문에 진동의 고유주파수가 커져서 생기는 현상이다.

이와 같은 모의 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 스위치가 개방된 순간 전압은 약 2배로 증가한다.
- (2) 스위치가 파형의 어떤 위치에서 개방되느냐에 따라 초기 전압 값이 다르게 나타난다.
- (3) 선로길이가 줄어들면 진동주파수가 커져서 파형이 조밀해진다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 스위치 개방시 발생하는 개폐서지를 분석하였다. 스위치 개방시간과 선로길이를 가변하여 스위칭 시간과 선로 길이에 따른 개폐서지의 영향을 모의하였다. EMTP로 모의 해본 결과, 스위칭이 언제 일어나느냐에 따라 처음 시작 전압 값이 다르게 된다. 그리고 최대치 전압이 정상 전압의 약 2배가 됨을 볼 수가 있었는데 이는 앞서 언급한 이론값과 일치한다. 또한 선로 길이가 짧아지면 진동의 고유주파수가 커져서 파형이 조밀해짐을 검증하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김익모, 김지홍, "EMTP를 이용한 진공차단기의 스위칭 서지해석", 대한전기학회 하계 학술 대회 논문집, pp. 2008-2010, 2000.
- [2] 김종겸, 정종호, 이은우 "인버터의 스위칭 서지전압 측정", Vol. 53, No. 1, pp.14-21, 2004.
- [3] 대한전기학회, "배전시스템 공학", 대한전기학회 편, pp. 163, 2006.
- [4] 최용석, "전력계통에서 개폐서지 및 대책", <http://sh-eea.net>, 2005.