

EMTP-RV를 이용한 개폐서지 모델링

서훈철, 한후석, 한승우
기초전력연구원, (주)삼아테크노솔루션

Modeling of Switching Surge using EMTP-RV

Hun-Chul Seo, Hoo-Suk Han
KESRI

Abstract - 현재 전력계통해석은 단일 주파수의 정상 및 과도상태 해석용 패이서 개념의 해석 툴을 사용하고 있다. 이는 뇌서지, 개폐서지, TRV, 병렬회선 공진 등 비선형적 계통현상분석 시 한계를 보이게 된다. 더욱이 계통이 거대화, 복잡화 됨에 따라 비선형적 과도현상 발생 빈도가 더욱 증가하여 과도현상 해석의 필요성이 점점 증가하고 있는 실정이다. 전력계통 해석 소프트웨어 중 EMTP는 비선형적 요인에 의한 고장발생 시 원인분석 해석 기술을 제공하고 있다. EMTP-RV는 EMTP를 GUI 방식으로 재구성한 툴로서 더욱 사용하기 편한 장점을 지니고 있다. 따라서, 본 논문에서는 여러 과도현상 중 개폐서지에 대하여 EMTP-RV를 이용한 분석 기법을 나타내었다. 여러 개폐서지 발생 원인을 EMTP-RV를 이용하여 모델링 하였으며, 모의 결과를 분석하였다.

1. 서 론

전력계통에서 과도현상은 짧은 기간 동안 전압과 전류에서의 반응을 나타낸다. 명백한 제한은 없지만, 50 혹은 60Hz 주파수에서 1cycle보다 작은 기간에 대한 현상을 일반적으로 과도현상(transients)이라고 한다. 전력계통에서의 과도현상은 차단기의 정확한 동작, 고전압 선로의 스위칭으로 인한 과전압의 문제에서 최근 전기품질 문제까지 확대되고 있다. 과도현상은 다음 표 1과 같이 분류할 수 있다[1].

표 1. 과도현상의 분류

형상 기반 분류	이벤트 기반 분류
impulsive transients	- 뇌(lightning)
oscillatory transients	- 커패시터 가압(capacitor energizing) - 커패시터 de-energizing 선로 혹은 케이블 가압 동안의 재점호(restrike during capacitor de-energizing line or cable energizing)
multiple transients	- 전류 chopping - 여러번의 재점호(multiple restrikes) - 반복적인 스위칭 동작

이러한 과도현상 해석은 전력계통의 안정과 고신뢰도 운전 및 운영을 위한 설비기기 절연설계 및 협조를 위해서 반드시 필요하다. 또한, 개폐 과도현상 및 고장 과도현상의 손상효과의 최소화를 위해서 반드시 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 과도현상 중 개폐서지에 대한 EMTP-RV를 이용한 분석 기법을 제시하였다. 우선 개폐서지의 발생원인을 조사하였다. 그 다음으로 과도현상 해석 소프트웨어인 EMTP-RV를 이용하여 다양한 발생원인의 모델링 방법을 제시하였으며, 그 결과

를 나타내었다.

2. 개폐서지 [2]

개폐 서지는 분포정수 선로(가공 송전선, 지중케이블 등)에 있어서 회로 상태의 급변에 의해 발생한 진행파가 선로단에서 왕복 반사하는 것에 의해 생기는 과도현상을 의미한다. 이는 상용 주파수의 수 사이클(수십 ms) 이하의 수십 μ s 정도의 시간 영역(주파수 : 수백 Hz ~ 수십 kHz)에서의 과도현상에 의해 발생하는 과전압을 의미하며, 개폐서지의 원인은 다음 표 2와 같다.

표 2. 개폐서지의 원인

차단기 동작	① 선로 가압, 재폐로 ② 선로 탈락 ③ 용량성 회로의 스위칭 ④ 유도성 회로의 스위칭(리액터와 변압기 단자 선로) ⑤ 저압 축 스위칭
고장	① 고장 개시 ② 고장 제거

개폐서지는 시스템 파라미터 및 네트워크 구성에 따라 크게 변화하며, 차단기의 특성 및 개폐 동작이 발생하는 순간에 크게 의존한다.

3. EMTP-RV를 이용한 개폐서지 모델링

3.1 EMTP-RV[3]

EMTP(ElectroMagnetic Transients Program)는 전력계통에서 과도현상 해석의 대표적인 소프트웨어이다. EMTP-RV(Restructured-Version)는 EMTP를 GUI(Graphic User Interface) 방식으로 재구성한 소프트웨어로서 Fortran 기반의 EMTP에 비하여 사용하기 편한 장점이 있으며, 수 ms에서 수초까지의 기간에서 전자 과도현상을 포함하는 다양한 모델링 능력을 제공하며, 그 특징은 다음과 같다.

- 객체지향 프로그래밍 방식
- 비선형 모델에 대한 향상된 계산 방법 : 매우 빠른 수렴성을 제공하며, topology의 한계가 없다.
- 사용자가 원하는 방향으로 정교한 모델을 프로그래밍할 수 있는 개방형 구조
- 고조파에 대한 새로운 정상상태 해석 방법
- 새로운 3상 조류 계산
- 전력전자 기기의 다양한 시뮬레이션 옵션

EMTP-RV를 이용하여 개폐서지, 뇌서지, 절연협조, 비틀림 토크 진동, 철공진 등을 해석할 수 있다.

3.2 계통모델

개폐서지를 모의하기 위한 계통모델은 다음 그림 1과 같다. 345kV 계통 모델로서, 6600MVA의 동기기 모델과 변압기 모델을 연결한 1기 무한모선 계통이며, 송전선로 길이는 100km이다.

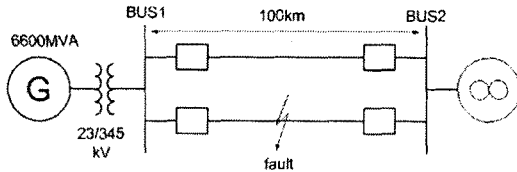


그림 1. 1기 무한모선 계통모델

그림 1의 계통모델을 EMT-P-RV를 이용하여 모델링 하면 다음 그림 2와 같다.

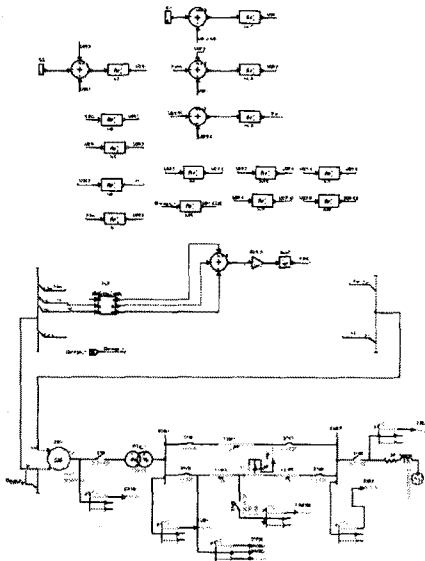


그림 2. EMT-P-RV를 이용한 계통 모델링

3.3 개폐서지 모델링

3.3.1 고장 시 개폐서지

단상 지락고장, 2상 지락고장, 3상고장 시 개폐서지를 모의하였다. 고장 모의를 위하여 고장 스위치 부분을 조정하면 된다. 다음 그림 3은 EMT-P-RV의 고장 스위치 조정화면이다. t_{close} 는 고장발생 시간이며, t_{open} 은 고장제거 시간이다. 그림 3의 경우는 3상 지락고장을 모의하는 경우의 고장발생 스위치 설정의 경우를 나타낸 것이다. 단상 지락 및 2상 지락(다른 상)을 모의하기 위하여 원하는 상의 시간만을 조정하며, 나머지 상의 고장 스위치는 닫혀지 않는 것으로 설정하면 된다.

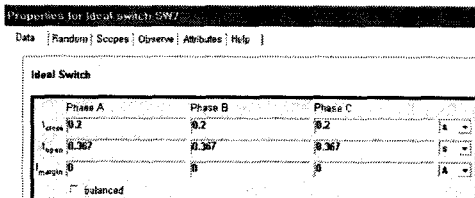


그림 3. 고장 발생 스위치 조정

다음 그림 4-6은 단상 지락, 2상 지락 및 3상 고장의 경우 계통 전압이다. 각 고장의 경우 과전압 발생정도는 단상지락고장의 경우 고장 제거 시 최대 1.13p.u, 2상 지락고장의 경우 최대 1.27p.u, 3상고장의 경우 최대 1.35p.u이 발생한다. 고장상이 많아질수록 과전압 발생정도가 큰 것을 알 수 있다.

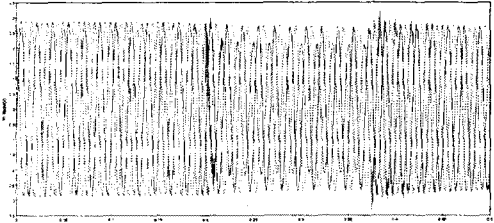


그림 4. 단상지락고장 시 계통전압

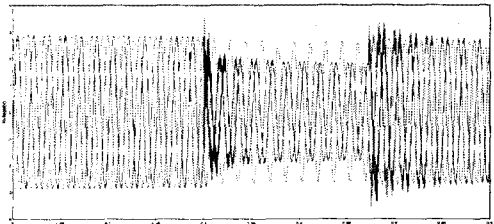


그림 5. 2상 지락고장 시 계통전압

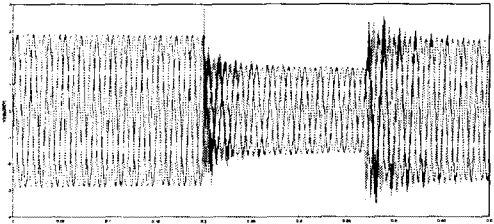


그림 6. 3상 고장 시 계통전압

3.3.2 선로 가압 시 개폐서지

선로가압 시 개폐서지를 모의하기 위하여 발전기 및 무한모선 측 스위치의 시간을 조정하여야 한다. 다음 그림 7은 이 스위치의 시간 조정 화면이다. t_{close} 는 스위치가 닫히는 시간으로서 선로가 가압되는 시간이다. 이 경우는 0.2초에 선로가 가압되는 것으로 설정하였다. 다음 그림 8은 선로 가압 시 계통 전압이다. A상에서 최대 1.75p.u의 과전압이 발생하였음을 확인할 수 있다.

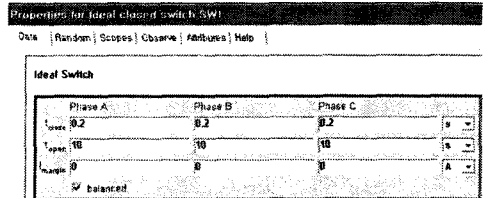


그림 7. 발전기 및 무한모선 측 스위치 조정

3.3.3 선로 탈락 시 개폐서지

선로 탈락 시 개폐서지는 모선과 송전선로의 연결 스위치를 조정하여 모의할 수 있다. 다음 그림 9는 이 스위치의 시간 조정 화면이다. t_{open} 의 시간을 조정하여 선로 탈락 시간을 조정할 수 있다. 이 경우는 0.167초에서

선로 탈락을 모의하였다.

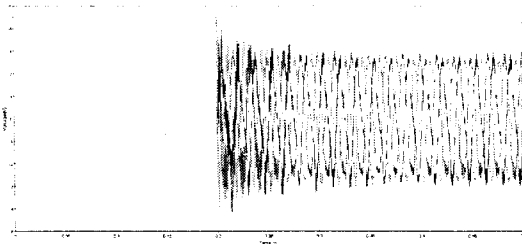


그림 8. 선로가압 시 계통전압

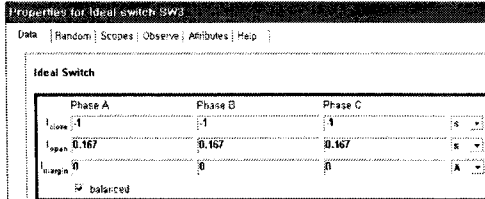


그림 9. 선로 스위치 조정

다음 그림 10은 선로 탈락 시 계통 전압이다. 최대 1.26p.u의 전압을 나타낸다.

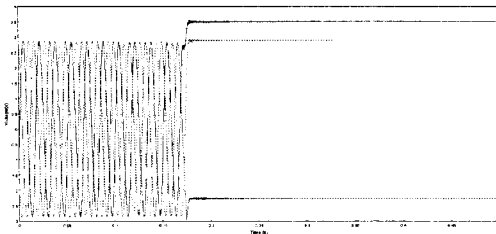


그림 10. 선로 탈락 시 계통 전압

3.3.4 재폐로 시 개폐서지

상기에서는 EMTP-RV의 스위치 중 'Ideal switch'를 사용하였다. 그렇지만, 재폐로 모의를 위하여 'Controlled switch'를 사용하여야 한다. 이 스위치는 다음 그림 11과 같다. 제어 신호가 0보다 클 경우 스위치가 닫히고, 0 이하일 경우 스위치가 열린다.

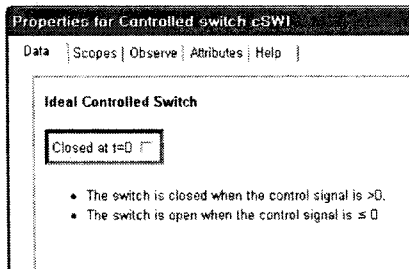


그림 11. Controlled Switch

또한, 재폐로 모의를 위하여 제어 스위치에 신호를 주기 위한 소자로서 'signal generator'를 사용한다. step 신호를 사용하여 제어 신호를 설정할 수 있다. 다음 그림 12는 'signal generator'를 사용한 재폐로 신호이다. 0.267초에서 차단기가 개방되며, 0.5초 후에 차단기가 재투입되어 재폐로가 완료된다.

다음 그림 13은 재폐로 시 계통전압이다. 재폐로 투입

순간에 최대 1.42p.u의 과전압을 나타냄을 확인할 수 있다.

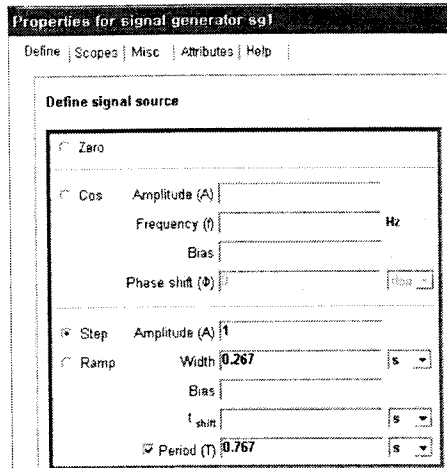


그림 12. 재폐로를 위한 차단기 제어신호

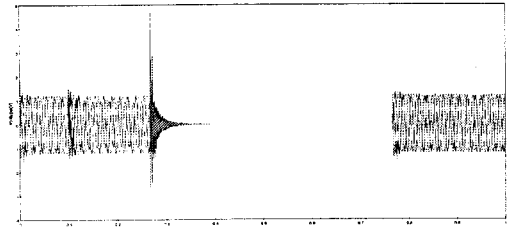


그림 13. 재폐로 시 계통 전압

4. 결 론

전력계통에서는 뇌서지, 개폐서지, 발전기 축 비틀림, CT 포화 등 수없이 많은 비선형적 과도현상이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 과도현상 중 개폐서지의 발생 원인을 조사하여 고장 시, 선로 가압 및 탈락 시, 재폐로 시 개폐서지를 EMTP-RV를 이용하여 모델링하였다. 각 경우 중 선로 가압 시 가장 큰 과전압이 발생함을 확인할 수 있었다.

GUI 방식을 이용한 EMTP-RV는 본 논문에서 소개한 바와 같이 다양한 원인의 과도현상을 보다 손쉽게 모의할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 소개한 방식을 기초로 하여 더욱더 많은 과도현상을 모델링 및 분석하여 계통 운영기술 선진화 및 안정적인 계통운영에 기여할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Math H. J. Bollen, Emmanuil Styvaktakis, Irene Y. H. Gu, "Categorization and Analysis of Power System Transients", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 3, pp. 2298-2306, 2005.
- [2] 한국전기연구원, 전력계통 과전압 발생원인 및 대책, pp. 93-142, 2004.
- [3] DCG-EMTP(Development coordination group of EMTP) Version EMTP-RV, Electromagnetic Transients Program. [Online]. Available : <http://www.emtp.com>