

혼합배전계통에서 EMTP/APTDraw를 이용한 개폐서지 해석에 관한 연구

이 장 근\*, 이 종 범  
원광대

A Study and Analysis on the Switching Surge Using a EMTP/APTDraw in the Combined Distribution System

Jang-Geun Lee\*, Jong-Beom Lee  
Wonkwang University

**Abstract** - This paper analyzes transient behavior due to switching overvoltage in 22.9kV combined distribution systems. Computer models are consisted of distribution overhead line model, underground cable model and surge-arrester model in this paper. The computer models are made by EMTP/APTDraw simulation and Line constants are calculated by ATP\_LCC. This paper analyzes the various parameters affecting. These factors include closing angle and cable length.

2. 본 론

1. 서 론

최근 도심지의 인구 집중 현상에 따른 도심지 전력수요의 급격한 증가로 인하여 전력계통의 증설이 요구되고 있으나 도심지 미관을 고려하고 인구 밀집 지역 내의 원활한 전력 공급 및 가공선로 건설부지 확보의 어려움을 해결하기 위하여 지중배전계통 및 혼합배전계통이 증대하고 있다. 이러한 지중 및 혼합배전계통의 고신뢰도 운전을 위해서는 계통에 발생하는 각종 서지에 대한 합리적이고 정확한 해석이 이루어져야 하며, 이를 통하여 적절한 보호 대책을 수립하는 것이 매우 중요하고 하겠다.

일반적으로 전력계통에서 발생하는 서지는 가공선로에서 침입한 뇌서지(Lighting surge), 차단기 동작으로 인한 개폐서지(Switching surge) 및 각종 과도현상으로 인한 과전압이 있다. 이와 같은 현상에 의하여 발생한 과전압은 전기적 외란에 민감한 부하에 악영향을 주게 되고 또한 그 크기에 따라 지중배전케이블에 절연열화의 원인이 될 뿐만 아니라 더 나아가서는 케이블 절연파괴의 원인이 되어 정전사고를 유발시키기도 한다. 따라서 지중배전계통은 물론 혼합배전계통에서 과전압을 해석하는 것은 계통의 상황을 파악하고 보호하여 고신뢰도 운전을 확보한다는 차원에서 매우 중요하다고 하겠다[1,2]. 이러한 평가를 수행하는데 있어 현장시험이 가장 정확한 방법이나 이와 같은 방법은 시험이 어렵고 경제적인 문제로 인하여 실험이 제한된다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 운전 중인 실제 혼합배전계통을 EMTP/APTDraw를 이용하여 모델링을 하고 차단기 투입시 혼합배전선로의 과전압에 대하여 해석하였다.

2.1 모델링

본 논문에서는 22.9kV 혼합배전선로를 500m의 가공선로와 1km의 지중선로로 (EMTP/APTDraw)를 통하여 모의하였다. 모델링에서의 개폐 위치는 지중선로와 가공선로와의 접속점으로 하였다. 혼합배전선로의 데이터들은 국내에서 운용중인 실제 계통의 데이터를 사용하였다 [3,10].

2.1.1 전원측 모델

송전선(154kV)으로부터 변압기를 통해 배전선로(22.9kV)에 전력을 공급하는 전원을 그림 1과 같이 모의하였고 전원은 이상적인 3상 정현파 전압원으로 모의하였으며, 전원측의 전원 임피던스는 154kV측 모선 임피던스를 고려 RL이 상호 결합한 형태로 모의 하였다[4,5].

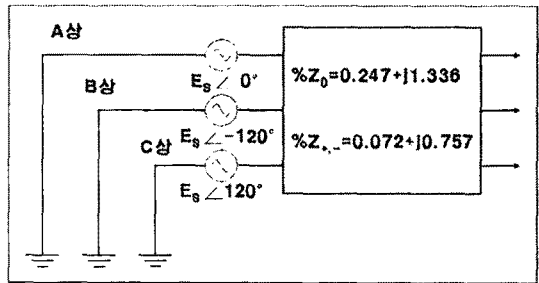


그림 1. 전원측 모델

2.1.2 혼합배전선로 모델

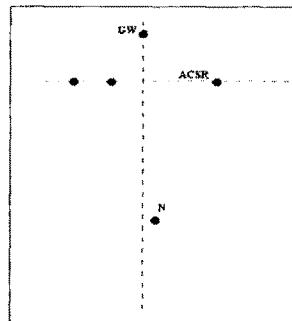


그림 2. 가공선로 기본 장수도

그림 2는 가공선로의 기본 장주도이며 1회선을 모의하였다. 가공선로의 선종은 가공지선은 ACSR 32mm<sup>2</sup>, 상도체는 ACSR 160mm<sup>2</sup>, 중성선은 ACSR 95mm<sup>2</sup>를 적용하였다. 가공선로의 선로정수는 분포정수 선로로 모델링 하였으며 EMTP/ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP-LCC를 이용하여 계산하였다[1].

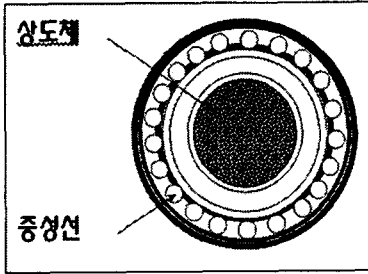


그림 3. 케이블 모델

지중 선로를 구성하는 전력 케이블은 선로의 매설 방법, 선로의 배치, 선로의 구조에 따라 다르며, 매설 방법에는 직매식, 관로식, 전력구식이 있으며 직매식은 지중선로 공사의 초창기에 시행 되어 졌으나 점차로 사라지는 추세이며 현재 관로식이 주를 이루고 있다. 본 논문에서는 (난연형)케이블 FR-CNCO-W을 삼각배열 형태로 전력구식으로 모의 하였으며 그림 3은 FR-CNCO-W의 구조를 나타낸 것이다[13]. 그림 4는 전력구 내의 케이블 배치를 나타내었다[8].

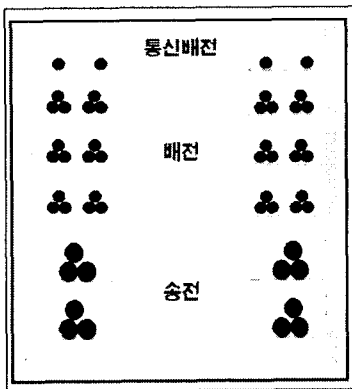


그림 4. 전력구내 케이블 배치도

접지방식은 현재 배전선로에서는 22.9kV 3상 4선식 다중 접지방식을 채택하고 있고 선로용 케이블의 동심 중선선은 접지개소마다 각심 일괄하여 합성 저항 값 5Ω/km 이하를 유지한다[9].

$$R = 1.2 \times \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}\right)} \quad (1)$$

여기서, R은 합성 저항 값이며 r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub>, ..., r<sub>n</sub>은 매 접지점의 접지저항 값을 나타낸다. 본 논문의 접지저항 치는 설계기준과 식(1)에 따라 가공지선의 접지 저항 값은 200m 마다 16.7Ω을 적용하였으며 지중케이블의 접지 저항 값은 100m 마다 25Ω을 적용하였다[7].

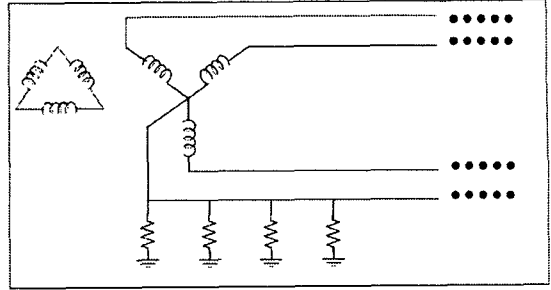


그림 5. 다중 접지 모델

## 2.2 시뮬레이션

차단기에 의해서 발생하는 과도현상을 분석하기 위하여 시스템 모델링을 그림 6과 같이 혼합배전선로를 구성하였다. 선로는 3상 4선식이며 중성선은 다중접지 되어 있다[12].

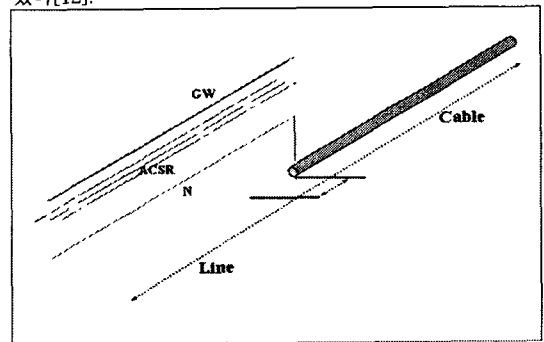


그림 6. 혼합 배전 선로 모델링

본 논문에서는 개폐 과전압을 해석하기 위하여 투입 위상각을 변화시켜 파라미터별로 분석을 하였다. 그림 7은 투입 전압 위상이 90°일때 발생하는 개폐 과전압 파형을 관찰하기 위하여 전압 투입 시점을 상세히 나타낸 그림이다.

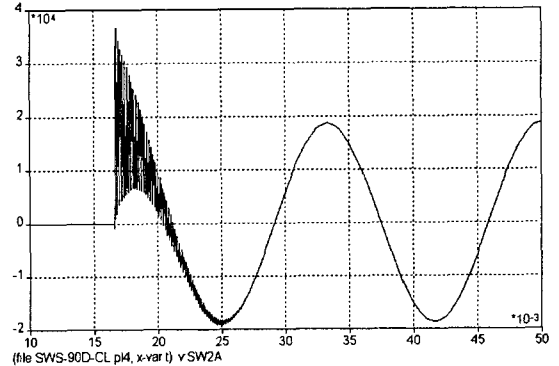


그림 7. 위상 90°시 발생 과전압 파형

그림 8의 0°~90° 위상각은 전압의 최저점에서 상승할 때이며 90°~180° 위상각은 전압이 최고점에서 떨어질 때의 위상각을 나타낸다. 그림 8에서 전압이 하강할 때 발생하는 과전압 보다는 상승할 때 발생하는 과전압이 더 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이 결과로 선로 개방 후 전압을 투입할 때 발생하는 과전압의 크기는 위상각의 크기와 관계가 있음을 알 수 있고 과전압의 크기는

위상각이 클수록 크게 발생함을 알 수 있다. 이것은 배전 시스템에서 전압투입을 할 경우에, 전압이 상승할 때 보다는 하강할 때 그리고 전압의 위상각이 90°부근보다 0°인 부근에서 차단기를 투입함으로써 차단기 투입으로 인한 개폐과전압을 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

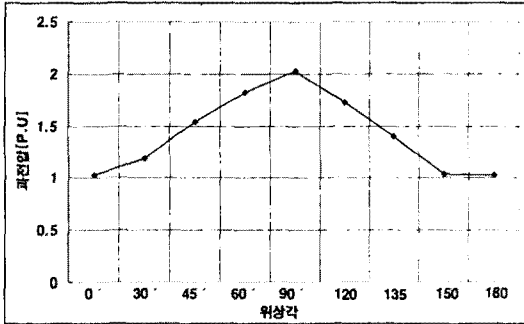


그림 8. 위상별 발생 과전압

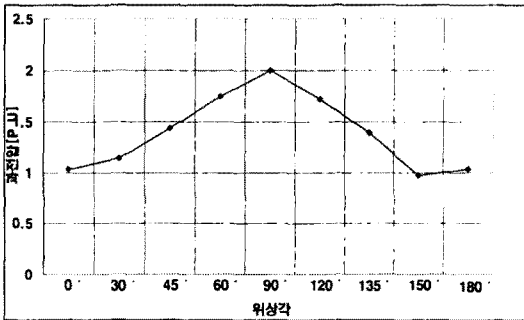


그림 9. 부하단 위상별 발생 과전압

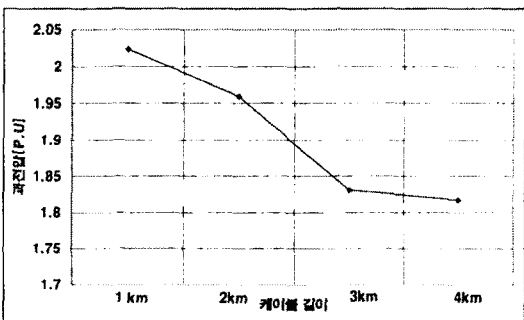


그림 10. 케이블 길이의 변화에 따른 개폐과전압

그림 10은 케이블 길이의 변화에 따라 발생하는 개폐과전압을 나타낸 것이다. 케이블 길이에 따른 발생 과전압은 케이블 길이가 길어질수록 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.

현재 국내에서 적용하고 있는 개폐과전압 절연 목표치는 2.8[P.U]이며 본 논문에서 검토한 결과 최대 개폐과전압은 2[P.U]로 절연 목표치를 넘지는 않았다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 혼합배전선로에서의 전압 투입으로 인한 과도현상을 위상의 변화와 케이블의 거리를 변화시켜 발생되어지는 과전압을 분석하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 차단기의 전원을 투입할 때 투입전원의 파형이 하강할 경우 보다 상승할 경우에 과전압이 더 크게 발생한다.
- 2) 차단기의 전압을 투입할 때 위상을 0° ~ 90°으로 변화시켜 투입해본 결과 위상각이 0°부근에서 최소가 되며 90°부근에서 최대가 됨을 알 수 있었고 위상각이 커질수록 과전압은 크게 발생한다.
- 3) 부하단 또한 전원단과 같이 위상각이 커질수록 높은 과전압이 발생한다.
- 4) 케이블 길이를 변화시켜 시뮬레이션 한 결과 케이블의 길이가 길어질수록 과전압이 작아지는 현상이 발생한다.

이러한 차단기의 개폐과전압으로부터 설비를 보호하기 위해서는 피뢰기 등의 보호 장치가 필요하며 그 외의 다른 방법들이 더욱 연구 되어야 할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] KEPCO, "배전계통 절연협조에 관한 연구", 2003.5
- [2] 전력연구원, "지중 송전케이블 급속 시스 유기전압 및 순환 전류 저감에 관한 연구", 2003.12
- [3] 기초전력연구원 "EMTP 강좌",
- [4] 김익모, "EMTP를 이용한 진공 차단기 쉘위칭 서지해석", 2000년 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집 2002.7
- [5] 김재철, "배전시스템에서의 파라미터에 따른 과도현상분석", 전기설계학회논문지 제 11권 3호 1997
- [6] KEPCO, "설계기준 - 4906", 1999
- [7] KEPCO, "설계기준 - 3500 (집지공사)", 1999
- [8] KEPCO, "설계기준 - 5300(지중구조물)", 1999
- [9] KEPCO, "설계기준 - 5100(집지저항), 1999
- [10] Electromagnetic Transient Program work book. EPRI EL-4651, pr 2149-6, 1986
- [11] Electromagnetic Transient Program Rule book vol 1(1-11), 9-16
- [12] KEPCO, "설계기준 - 5001 총칙", 1999.9.7
- [13] KEPCO, "설계기준 - 5902 부록2", 1999.9.7