

지중배전계통에서 뇌서지특성 해석

임광식\*, 이종범  
원광대학교

Analysis of Lightning Surge in the Underground Distribution Systems

Kwang-Sik Lim\* , Jong-Beom Lee  
Wonkwang University

**Abstract** - This paper aims to analyze the overvoltage in underground distribution systems when lightning surge strikes to overhead line. The model is established by EMTP/ATPDraw for actual distribution systems. Simulation is carried out considering variation of parameters such as length and lightning current.

1. 서 론

산업화 및 급속한 도시화로 인한 도시의 인구 집중으로 도시의 전력 수요가 날로 증가하는 시점에서 가공선로의 도시 미관상의 문제 및 부지확보의 어려움으로 인하여 지중배전계통의 중요성이 부각되고 있다. 그러나 국내에서는 서지가 배전계통에 미치는 영향에 대한 연구는 있으나 실제 지중배전계통에서 나타나는 현상이나 서지에 대한 보호대책에 관한 연구가 수행되지 않는 상태이다[1].

또한 지중배전계통은 가공으로부터 침입한 뇌서지의 영향으로 인하여 각종 과도현상의 원인이 되고 계통에는 과전압이 발생되어 지중배전케이블에 절연열화가 생기고 장시간 동안 열화가 지속되면 절연이 파괴되어 광역정전의 원인으로 지중 선로에 고장이 발생할 경우 가공선로에 비해 상대적으로 큰 복구비용과 시간이 소요된다. 따라서 지중배전계통에서 과전압을 해석하는 것은 계통의 상태를 파악 할 수 있고 보호하여 보다 높은 운전의 신뢰도 확보를 위해 매우 중요하다.

따라서 본 논문은 국내 운용중인 지중배전의 실제 계통의 데이터를 가지고 가공선로, 지중선로, 뇌격전류, 피뢰기 및 접지등을 EMTP/ATPDraw를 사용하여 모델링 하였다. 그리고 가공으로부터 침입한 뇌서지의 영향으로 지중배전계통에 발생하는 과전압을 지중선로의 길이에 변화, 뇌격전류의 크기의 변화 그리고 피뢰기의 설치 위치에 따라 분석함으로써 계통의 보호 방안 및 절연협조 체계구축에 도움이 되도록 한다.

2. 본 론

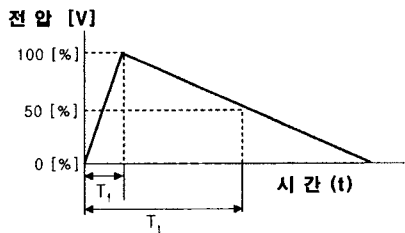
2.1 모델링

본 논문은 국내에서 운용중인 가공 및 지중배전의 실제 계통의 데이터를 가지고 EMTP/ATPDraw를 이용하여 모의하였고 모델링에서 뇌격점의 위치는 입상주로부터 10[m] 떨어진 앞단의 전주로 설정 하였다.

2.1.1 뇌격전류

국내의 낙뢰 특성은 산간, 해안지역에서 주로 발생하며 낙뢰 극성은 부극성이 80[%], 정극성이 15[%], 뇌운간의 방전이 5[%] 점유율을 차지하고 있으며, 연간 발생한 낙뢰 중 7~8월에 발생하는 낙뢰가 60[%] 이상을 보인다. 국내의 낙뢰 발생 빈도는 연간 10만회 이상이며, 뇌격 전류의 크기는 60[kA] 이하다 98[%]이고 이 중 20~60[kA]가 대부분을 차지한다.[2]

본 논문에서 뇌격전류 파형은 발생율이 높은 15[kA], 20[kA] 크기에 2x70[μs]로 선정하고 파형은 그림 1과 같이 램프파로 하고 뇌도 임피던스는 400[Ω]으로 모의 하였다.[2]

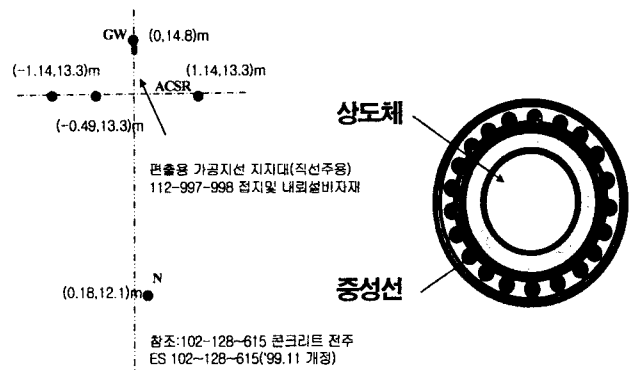


<그림 1> 뇌격전류파형

2.1.2 선로

가공선로는 가공지선 ACSR 32[mm<sup>2</sup>], 상도체 ACSR 160[mm<sup>2</sup>], 중성선 ACSR 95[mm<sup>2</sup>]을 적용하여 1회선을 모의하였고, 뇌서지의 투파수 현상을 방지하여 보다 정확한 서지 특성을 파악하기 위하여 가공선로의 말단은 접

처리하였다. 지중선로는 CNCV-W 케이블 325[mm<sup>2</sup>]을 전력구식 삼각배열로 모의 하였다. 모델은 뇌서지 계산을 위해 선로 정수를 주파수 독립모델인 분포정수 선로 모델을 이용해 500[kHz]의 주파수로 계산하였으며, EMTP/ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP-LCC를 이용하여 계산하였다. 1회선 가공선로 장주도 및 지중선로의 케이블의 구조는 그림 2와 같다.[1-4]



<그림 2> 가공선로 장주도 및 케이블 구조

2.1.2 접지 및 피뢰기

국내 배전선로의 22.9[kV] 3상4선식 다중접지방식을 채택하고 있으며, 접지저항 값은 식(1)에 의해 합성저항으로 계산하는데 합성저항은 현행기준인 5[Ω/km]이하가 되도록 하였다.[5,6]

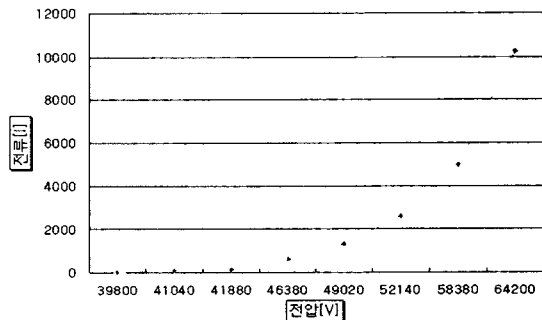
$$R = 1.2 \left( \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}} \right) \quad (1)$$

여기서 R = 합성저항[Ω]

r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, ... r<sub>n</sub> = 매 접지의 단위접지저항[Ω]

피뢰기의 접지저항은 설계기준-3800[배전선 내뢰기준]에 의해 10[Ω]을 사용하였다.[7]

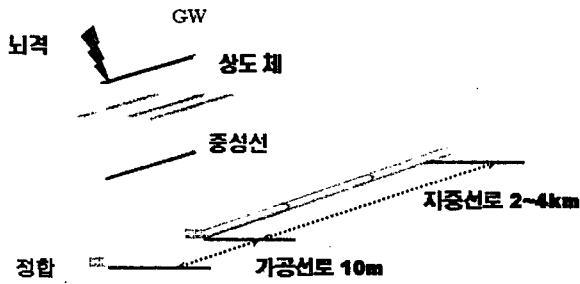
현재 국내 배전계통에 적용되는 피뢰기의 관련 규격으로는 KS C-4609 및 ESB-153등이 있으며, 정격전압이 18[kV] 피뢰기는 22.9[kV] 다중접지방식 및 케이블 입상주에 사용되고 있으며, 본 논문에서는 EMTP/ATPDraw의 비선형 소자를 사용하여 피뢰기의 V-I 특성곡선 그림 3의 데이터를 가지고 정격전압이 18[kV]인 피뢰기를 모델링 하여 사용하였다.[1,5]



<그림 3> 배전용 ZnO 피뢰기 V-I 특성곡선

### 2.1.3 모델링 검토

지중배전계통에서 가공으로부터 침입하는 뇌서지 특성해석을 위해 그림 4와 같은 형태로 모델링 하였다.

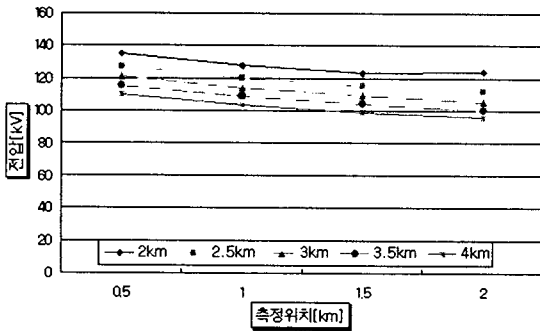


〈그림 4〉 검토 모델링

## 2.2 모델 해석

### 2.2.1 케이블 길이 변화에 따른 해석

케이블 길이 변화에 따른 전압의 분석을 위해 케이블의 길이를 4[km], 3.5[km], 3[km], 2.5[km], 2[km]로 각각 모델링을 한 후 시뮬레이션을 실행하고 길이에 따른 전압을 비교하기 위해 0.5[km]~2[km]까지 500[m]간격으로 전압을 측정하여 나타낸 결과는 그림 5와 같다.

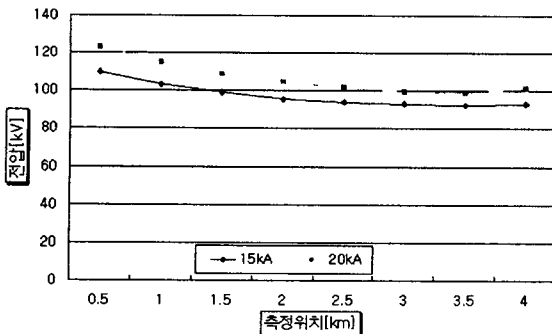


〈그림 5〉 케이블 길이에 따른 전압

위의 그림 5를 분석하면 모델에서 지중선로의 말단이 개방되어 있으므로 진행파의 영향을 받게 되는데, 지중선로의 길이가 짧을수록 진행파의 투·반사에 대한 영향이 크기 때문에 높은 과전압이 발생한다는 것을 알 수 있다.

### 2.2.2 뇌격전류의 크기에 따른 해석

뇌격전류의 크기에 따른 전압을 분석하기 위해 파두장 2[μs], 파피장 70[μs]인 램프파 형태에 크기가 각각 15[kA], 20[kA]인 뇌격을 지중선로 길이가 4[km]인 모델에서 시뮬레이션을 실행한 결과가 아래의 그림 6과 같다.



〈그림 6〉 뇌격전류 크기에 따른 전압

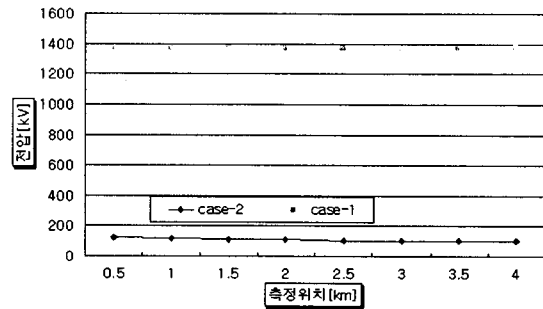
그림 6을 보면 뇌격전류가 클수록 선로에 발생하는 과전압은 크다는 것을 알 수 있다.

### 2.2.3 피뢰기 설치 유무에 관한 영향 분석

본 논문에서는 피뢰기가 설치되지 않은 경우와 입상측에 피뢰기가 설치된 경우를 설정하고 피뢰기의 유무에 따른 전압을 분석하기 위해 두 가지 경우를 모델링 하고 시뮬레이션을 실행하였다. 그림 7은 피뢰기의 설치 유무에 따른 전압을 뇌격전류의 크기가 20[kA]인 것을 선로길이가 4[km]인 모델에서의 시뮬레이션 결과이다.

〈표 1〉 피뢰기의 설치

|        | 피뢰기 미설치 | 입상측 피뢰기 설치 |
|--------|---------|------------|
| 20[kA] | case-1  | case-2     |



〈그림 7〉 피뢰기의 영향에 따른 전압

위의 그림 7을 보면 알 수 있듯이 피뢰기가 미설치된 경우는 피뢰기가 입상측에 설치된 경우보다 10배 이상 높은 과전압이 발생한다. 피뢰기가 유입되는 뇌서지를 경감시킨다는 것을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 지중배전계통에 가공으로부터 침입한 뇌서지의 영향으로 인한 과도현상을 지중선로의 거리변화, 뇌격전류의 크기변화와 피뢰기의 설치 유무를 고려하여 해석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지중선로의 길이가 짧을수록 진행파의 투·반사에 대한 영향이 크기 때문에 선로에 높은 과전압이 발생한다.
- (2) 뇌격전류가 크면 클수록 선로에 발생하는 과전압은 증가한다.
- (3) 피뢰기는 유입되는 뇌서지를 경감시켜 선로 보호에 유리함을 알 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] KEPCO, "배전선 절연설계에 관한 연구[II]", 1992
- [2] KEPCO, "배전계통 절연협조 기준 정립에 관한 연구", 2003
- [3] KEPCO, "설계기준 - 5300(지중구조물)", 2000
- [4] 한국 EMTP 사용자 그룹(KEUG) 기초전력연구원, "2004년 EMTP 중급자 강좌", 2004
- [5] KEPCO, "설계기준 - 3500(접지공사)", 1999
- [6] KEPCO, "설계기준 - 5001(총칙)", 1998
- [7] KEPCO, "설계기준 - 3800(배전선 내뢰기준)", 1995