

# 154 kV 송전선로에 피뢰기 설치시 내뢰성 향상효과 모의

심 응 보, 우 정 욱  
한전 전력연구원

## A simulation of Lightning Performance of the 154 kV Transmission Line with the Surge Arrester Installation

Shim Eung-Bo, Woo Jung-Wook  
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

**Abstract** - The simulation study of lightning faults reducing effects by the installation of surge arresters on the 154 kV transmission line is stated here. For the purpose of detailed simulation of arcing horn, a flashover model with dynamic characteristics of arcing horn gap was represented as a non-linear inductance which is controlled by EMTP/TACS(Electromagnetic Transient Program/Transient Analysis of Control Systems) switches.

The back flashover inducing current was increased from 50 kA to 88 kA by the installation of surge arresters on the transmission line which has one ground wire and 20 ohms of tower footing resistances. The great advantage of surge arrester installation on one circuit of the double circuit transmission line is to prevent the simultaneous back flashover up to 190 kA.

### 1. 서 론

낙뢰사고에 대한 통상적인 감소 대책으로는 탑각 접지저항의 저감, 가공지선의 다조화, 2회선 송전선에서 차등절연등이 있다. 여기서 탑각접지저항의 저감은 대부분 산악지를 통과하는 우리 나라 송전선의 여건상 어느 정도 이하로 낮추기가 어려우며, 2회선 송전선에서의 차등절연은 그 효과가 그다지 크지 않은 것으로 평가되고 있다. 이러한 통상적인 방법 외에 송전선에 피뢰기를 설치하여 낙뢰에 의한 고장을 감소시키려는 연구가 미국, 프랑스, 일본 등에서 지난 수십 년간 계속되어 왔다. 1, 2

이 논문에서는 154 kV 송전선로에 피뢰기를 설치하였을 때의 내뢰성 향상 효과를 아킹혼 섬락모델을 적용하여 모의하였다. 아킹혼의 모의 방법으로는 CIGRE V-t 특성 곡선과 리더 진전시의 피뢰기 갭 및 아킹혼

간 등가임피던스 변화를 비선형 인덕턴스의 함수로 표현한 근사식을 사용하고, 비선형 인덕턴스의 조합에 EMTP-TACS 스위치를 사용하여 모의하였다.

### 2. 본 론

뇌격전류는 2/70  $\mu$ s 의 램프파가 철탑에 뇌격되어 역섬락을 일으키는 경우를 대상으로 하였으며, 그 크기는 10 kA~200 kA 로 모의하였다. 철탑모델에는 4단 철탑모델을 이용하였으며, 선로정수는 K. C. LEE 모델을 이용하였다. 철탑은 가공지선이 1조인 경우와 2조의 경우를 대상으로 하였으며, 탑각 접지저항이 5, 10, 15, 20, 100  $\Omega$  일 때의 탑각접지저항에 따른 섬락 특성을 검토하였다.

#### 2.1 아킹혼 섬락특성의 모의 방법 3

그림 1은 해석하고자 하는 피뢰기와 아킹혼을 보여주는 그림이다. 뇌격 침입시 아킹혼간격  $Z_0$ 나  $Z_1$ 으로 섬락되지 않도록 직렬 gap  $Z_2$ 가 조정되어야 한다. 통상 직렬 gap은 아킹혼의 50~70%로 조정한다.

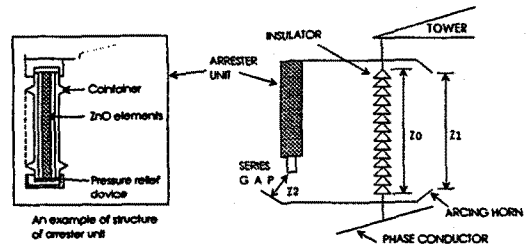


그림 1. 해석 대상 모델

아킹혼의 내압특성을 나타내는 CIGRE 실험식은 다음과 같다. 4

$$V [MV] = K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}}$$

$$K_1 = 0.4W \quad K_2 = 0.71W \quad W = \text{Length}$$

그림 2는 해석 대상 모델을 EMTP에서 계산하기 위해 표현한 것으로 피뢰기 갭은 0.65 m, 아킹흔은 1.12 m이다. 직렬 갭에 인가되는 전압은 직렬 갭의 Stray Capacitance와 ZnO 소자의 정전용량의 분압비에 의해 결정된다. C<sub>2</sub>에 걸리는 전압이 V<sub>2</sub>이면 V<sub>2</sub>는 다음과 같이 되며, 통상 C<sub>1</sub>은 C<sub>2</sub>의 4~5배 정도의 값을 가져 다음 식과 같이 된다.

$$V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot V,$$

$$C_1 \approx 4 \times C_2, \quad V_2 = \frac{4C_2}{5C_2} = 0.8 \cdot V$$

즉, 위와 같은 전압이 직렬 갭에 걸린다. ZnO가 없으면 1.0×V의 전압이 걸리므로 ZnO 소자와 연결된 직렬갭의 내전압은 1.25 배로 높아진다.

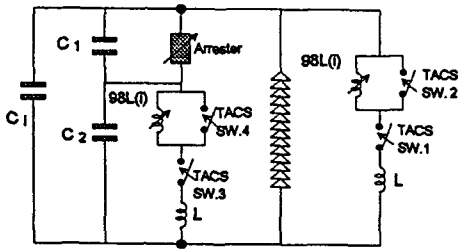


그림 2. EMTP 해석 모델

피뢰기갭 갭과 아킹흔 간을 아래 식과 같이 비선형 인덕턴스 L(i)와 섬락후의 정상아크 인덕턴스인 L의 조합으로 표현했으며, 비선형 L의 특성 그래프가 그림 3이다. 5, 6

$$L_{all}(i) = L(i) + L$$

$$L(i) = L_n / (1 + i/I_0)^n$$

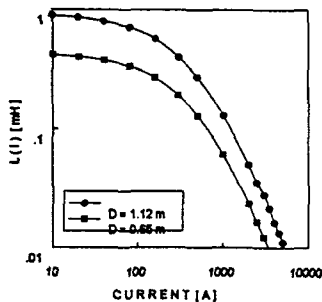


그림 3. 아킹흔의 비선형 L 특성

리더 개시 시각과 섬락 시각을 SW(SPAK1, SPAK2)로 표시해서 EMTP에서의 TACS 기능을 이용하여 제어하였다. SW(SPAK1)는 리더전개시를 표현하는 스위치로서 아킹흔 전압이 V-t 특성곡선과 일치하는 시각에 닫힌다. SW(SPAK2)는 섬락을 나타내는 i<sub>g</sub>가 되는 시각, 혹은 혼간 전압이 영이 되는 시각에 닫힌다. 이러한 스위치의 제어는 앞에서 언급된 EMTP-TACS에 의해 제어 가능하며, 기존의 선형 인덕턴스를 사용할 때처럼 섬락시각을 미리 알고 있을 필요가 없어서, 범용성이 굉장히 높다. 같은 원리로 피뢰기 갭쪽을 비선형 L과 스위치 조합으로 표현했다.

그림 4는 계산시 사용한 송전선 모델로 가공 지선이 1조인 경우와 2조인 경우에 대해서 피뢰기 적용시와 피뢰기가 적용되지 않았을때에 대해서 비교하였다.

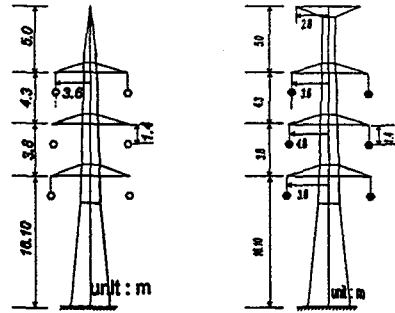


그림 4. 적용 철탑모델

## 2.2 역섬락 발생전류의 모의결과

그림 5는 아킹흔 섬락 특성의 한 예를 보여준다.

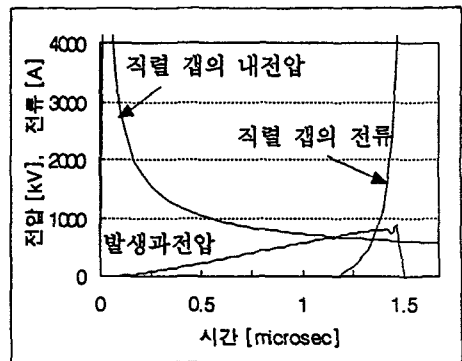


그림 5. 직렬갭의 방전특성 해석예

뇌격에 의한 피뢰기 갭간 및 아킹흔간 전압이 각 간격에 따른 V-t 특성 곡선과 만나는 지점에서 혼간 전류가 증가하기 시작한다. 대부분의 섬락이 파도장인

2  $\mu$ s 부근에서 일어나고 있으며 섬락이 늦어진 경우는 6  $\mu$ s 부근에서 섬락하는 경우도 있다. <sup>4</sup>

역섬락을 발생시키는 뇌격 전류의 크기를 탐각 접지저항별로 피뢰기 설치의 유무 및 가공지선의 설치 조수에 따라 계산하여 표 1에 정리하였다. 탐각 접지저항이 20  $\Omega$ 이고 가공지선이 1조인 송전선을 기준으로 하면, 피뢰기가 없을 경우에는 50 kA에서 역섬락이 일어나나 피뢰기를 설치하면 88 kA에서 역섬락이 발생하게 된다. 또한 2회선 송전선중 1회선에만 송전선을 시설한 경우, 2회선을 동시에 역섬락 시킬 수 있는 뇌격전류를 구해보면 194 kA가 된다. 이는 판단의 송전선에 피뢰기를 설치시에 뇌격에 의한 2회선 동시섬락은 거의 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

표 1. 역섬락발생 뇌격전류의 크기

단위 : kA

탐각저항	5 $\Omega$	10 $\Omega$	15 $\Omega$	20 $\Omega$	100 $\Omega$
1GW	78	66	54	50	20
1GW+SA	136	116	98	88	32
2GW	118	102	88	80	30
2GW+SA	216	182	152	134	50

주) 1GW: 가공지선 1조, 1GW+SA:가공지선 1조+피뢰기  
2GW: 가공지선 2조, 2GW+SA:가공지선 2조+피뢰기

### 2.3 뇌사고율의 계산 <sup>7</sup>

그림 4의 모델 철탑과 뇌사고율 계산 프로그램을 이용한 역섬락사고율(BFOR: Back Flashover Rate)의 계산 결과는 표 2와 같다. 이 때의 탐각접지저항은 20  $\Omega$ 을, 대지경사각은 15 도를 기준으로 하였다.

표 2 피뢰기 설치시의 역섬락사고율

단위 : 회/100km·년

가공지선	가공지선 1조		가공지선 2조	
	없음	있음	없음	있음
BFOR	3.63	0.83	1.11	0.16

주) 피뢰기 있음의 뇌사고율은 설치된 회선만의 사고율이며 2회선중 1회선에 피뢰기 설치시 2회선 동시섬락의 의미는 아님.

### 2.4 탐각 접지저항이 높은 경우의 설치효과

표 1에서 가공지선이 1조이고 탐각 접지저항이 매우 높아서 100  $\Omega$ 인 경우의 역섬락 발생 뇌격전류는, 피뢰기가 없을 경우 20 kA 이고, 피뢰기 설치시는 32 kA가 된다. 2회선 동시섬락을 유발하는 뇌

격전류를 계산하여 보면 68 kA가 된다.

이때의 역섬락사고율은 피뢰기 미설치시 100 km 당 연간 12.98 건에서, 피뢰기 설치 후 2회선 동시역섬락 확률은 1.76 건으로 대폭 낮아짐을 알 수 있다.

## 3. 결 론

가공지선이 1조이고 탐각접지저항이 20  $\Omega$ 인 송전선에서 100 km당 연간 역섬락사고율은, 피뢰기 설치 전 3.63 건에서 설치후 0.83 건으로 감소되며, 2회선 동시 역섬락사고율은 0.01 건 이었다. 이는 2회선 동시섬락 고장이 3.63 건인 송전선로에 피뢰기를 설치시는, 피뢰기가 설치된 회선의 역섬락 사고율은 0.83 건으로 감소되며, 2회선이 동시에 섬락되는 경우는 거의 없다는 것을 말해준다.

이러한 송전용 피뢰기의 설치는 현장 여건상 탐각저항의 저감이 어려운 송전선의 역섬락을 효과적으로 방지 또는 현저히 감소시킬 수 있는 방법임을 모의계산을 통하여 확인하였다.

차폐실패시의 섬락방지 효과 및 변전소 절연에 미치는 영향에 대하여는 추후 검토할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 심용보, 김정부 : "송전용 ZnO 피뢰기의 개발동향과 그 효과", 전기학회지, 11월호, 1996
- [2] T. Gawamura. et al : "Development of Metal-Oxide Transmission Line Arrester and its Effectiveness", CIGRE 1994 Session, SC33-201, 1994
- [3] 松原廣治 : "送電用避雷器の適用方法とその効果", 電力中央研究所, T89067, pp.26-27, 1990
- [4] EPRI, "Transmission Line Reference Book", EPRI, PP.561-597, 1982
- [5] Naoto Nagaoka : "A Flashover Model Using a Nonlinear Inductance", 日本 電學論B, 111권 5호
- [6] 우정욱, 심용보 : "EMTP의 TACS를 이용한 아킹흔의 섬락동특성 모의", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회, pp. 67-70, 1997
- [7] 정재기 외, "뇌차폐실패를 계산을 위한 신행알고리즘 개발과 국내의 765 kV 송전선로에의 적용", 대한전기학회논문지, 제4권 8호 PP.1093 - 1099, 1995
- [8] ATP, "EMTP Rule Book", 1986