

대지경사각을 고려한 차폐실패 사고율 검토

강연욱, 곽주식  
한전 전력연구원

Calculations of Shielding Failure Rates According To The Hillside Angles

Y. W. Kang, J. S. Kwak  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 대기중에 위치한 뇌운안에 전하가 떠다니는 상태에서는 구름안과 주변에 높은 전계의 전위가 발생한다. 이 전하가 축적되면 대지 방전이 발생하고 송전선로 등에 뇌격이 침입하게 된다. 뇌 방전은 수 km에 달하는 대기중에 발생하는 거대한 전기현상이지만 이 낙뢰가 전기의 흐름이라는 것은 벤자민 프랭클린의 현상 시험에 의해 최초로 증명되었다. 이러한 대기중에 발생하는 거대한 전기현상인 낙뢰가 송전선로에 침입하여 송전선로에 자력을 침략시키는 과정은 대단히 복잡한 전기기적인 현상이다. 그것은 가스 방전 현상, 감속에 중요한 역할을 하는 전자계의 빠른 변화, 도체와 절타에 나타나는 코로나와 관련된 비선형 효과 및 주파수 및 전류와 관련된 대지의 임피던스 등 다양한 현상이 종합적으로 관련된다. 따라서 가공 송전선로의 낙뢰에 대한 동작특성의 평가시 낙뢰 현상의 불규칙한 특성 및 신뢰할만한 데이터의 부족에 따른 많은 불확실성이 존재한다. 이 때문에 가공 송전선로에서 낙뢰에 의한 트립(Trip) 사고수의 계산을 위해 단순화된 방법이 아주 유용하며 효과적일 수 있다. 본 논문에서는 EGM(Electrogeometric Model) 모델을 사용하여 대지경사각의 크기에 따른 차폐실패 트립 사고율의 영향을 검토하였다.

1. 서 론

낙뢰는 가공 송전선로 트립의 주요 원인이다. 뇌격은 송전선로에 과전압을 발생시켜 선로를 트립시키거나 선로를 따라 진행함으로써 다른 전력설비에 나쁜 영향을 미칠수 있다.

송전선로의 낙뢰에 의한 트립 사고는 뇌격 전류가 전력선에 직접적으로 진입하는 경우에 발생하는 차폐실패 사고 및 비교적 큰 전류가 가공지선과 절타의 상부 끝단에 진입한 경우 발생하는 역섬락사고를 구별된다.

특히 차폐실패 사고는 비교적 작은 전류에 의해 발생하기 때문에 오래전부터 각종의 차폐모델 및 이론이 제안되어왔다.

송전선로에서 낙뢰에 대한 영향을 최소화하기 위해서는 상도체와 같은 방향으로 가공지선 1조 또는 2조를 상도체 위에 설치하여 낙뢰가 상도체에 접촉하지 않도록 차폐하는 것이 일반적이다.

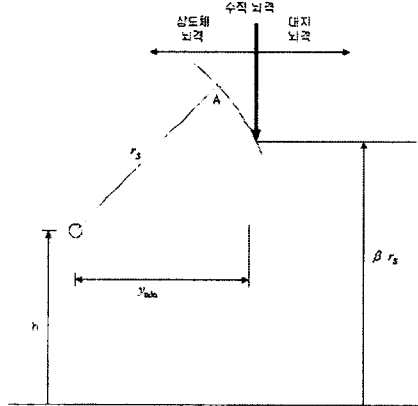
그러나 가공지선을 설치하여 송전선로를 차폐하였을 경우, 송전선로가 평지에 위치한 경우와 산악지에 위치한 경우는 차폐실패에 의한 트립 사고율이 크게 다르다고 보고되고 있다.

따라서 본 논문에서는 EGM 모델을 사용하여 대지경사각에 따른 트립사고율의 영향을 검토하고자 한다.

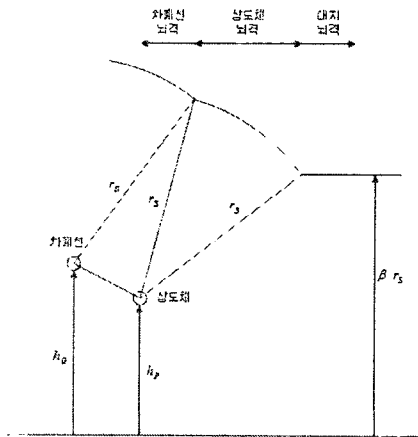
2. 주요 파라메타 검토

2.1 EGM 모델

송전선로에 접근하는 뇌격은 뇌격전류의 크기에 따라서 상도체나 가공지선에 접촉할 것이다. EGM 모델을 이용하여 뇌격이 선로에 직접 도달할 수 있는 최소거리를 구할 수 있다. 그림 1에 차폐된 선로와 차폐되지 않은 선로의 뇌격 노출길이를 표시하였다.



(a) 차폐되지 않은 선로



(b) 차폐된 선로  
그림 1. EGM 모델

예를 들어 그림 1(a)처럼 선로가 차폐되지 선로에 하향 리더(Download Leader)가 수직으로 대지로 이동하여 뇌격의 최종 궤적이 교차점 A의 왼쪽편에 있다면 전류 피크치 I를 갖는 뇌격은 도체에 도달할 것이다. 반면 뇌격의 최종 궤적이 교차점 A의 오른쪽편에 있다면 뇌격은 대지에 도달할 것이고, 이때 교차점 A는 아래의 식(1)에 의해 계산되는 반경  $r_s$ 와 도체를 중심점으로 하는 원호에 의해 구할 수 있다.

$$r_s = \alpha \cdot I \quad (1)$$

따라서 차폐되지 않은 선로에서 최소 뇌격 노출거리  $y_{min}$ 는  $\beta \cdot r_s > h$  일 때 식(2)과 같이 구할 수 있다.

$$y_{min} = \sqrt{r_s^2 - (\beta \cdot r_s - h)^2} \quad (2)$$

또한  $\beta \cdot r_s \leq h$  일 때 최소 뇌격 노출거리  $y_{min}$ 은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$y_{min} = r_s \quad (3)$$

본 논문에서는  $\alpha=10, \beta=0.8, \gamma=0.65$ 를 사용했다.

그림 1(b)에서처럼 가공지선을 설치할 경우, 차폐설계를 정밀하게 하면 상도체에 도달하여 차폐실패 트립 사고율을 발생시키는 대부분의 낙뢰를 가공지선에서 막을 수 있다.

그러나 이러한 송전선로의 가공지선에 의한 차폐 설계시 적절한 차폐각으로 설계하였더라도 대지 경사각을 고려하지 않으면 송전선로 트립 사고율 제한 범위를 벗어나는 사고가 발생할 수 있다.

한전의 송전선로는 대부분 산악지형에 설치되어 있어 차폐실패 트립 사고율이 예측치 이상으로 발생할 확률이 높을 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 향후 내뢰 시책 수립을 위한 기본 검토 방향의 제시를 목적으로 대지경사각에 따른 차폐실패 사고율의 변화 추이를 검토하고자 한다.

## 2.2 대지 경사각 효과 검토

송전선로의 차폐각을 계산하기 위해서는 보통 송전선로가 평지 또는 울퉁불퉁한 지형에 위치한 것으로 가정한다.

만일 송전선로가 그림 2와 같이 대지 경사각이  $\theta_G$ 인 지형에 위치한다면, 송전선로의 차폐각  $\alpha$ 는  $\theta_G$ 만큼 증가한  $\alpha'$ 가 되어 차폐실패에 의한 트립 사고율은 증가할 것이다.

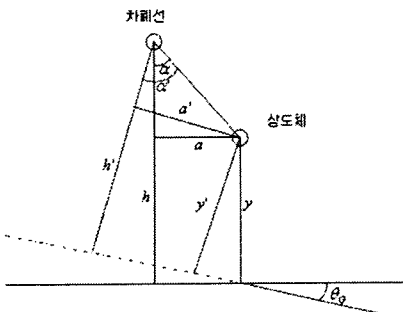


그림 2. 대지 경사각의 영향

대지 경사각을 고려한 가공지선 및 상도체의 높이와 수평간격은 아래의 식(4)에 의해서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} a' &= a + b \cdot \tan\theta_G \\ h' &= h - a \cdot \tan\theta_G \\ y' &= y \cdot \cos\theta_G \end{aligned} \quad (4)$$

본 논문에서는 “Andrew R. Hileman”의 단순화된 EGM 모델을 이용하여 한전의 345kV 표준철탐를 대상으로 대지경사각에 따른 차폐실패 트립 사고율을 검토하였다.

## 3. 주요 입력 파라메타 및 계산 결과

### 3.1 철탐 및 주요 입력 데이터

대지경사각을 고려하여 송전선로 차폐실패 트립 사고율을 예측 계산을 위하여 송전선로 데이터는 그림 3과 같은 한전의 345kV 표준철탐 중에서 가공지선 2조의 2회선 철탐인 Type B를 적용하였으며 관련 데이터는 표 1과 같다.

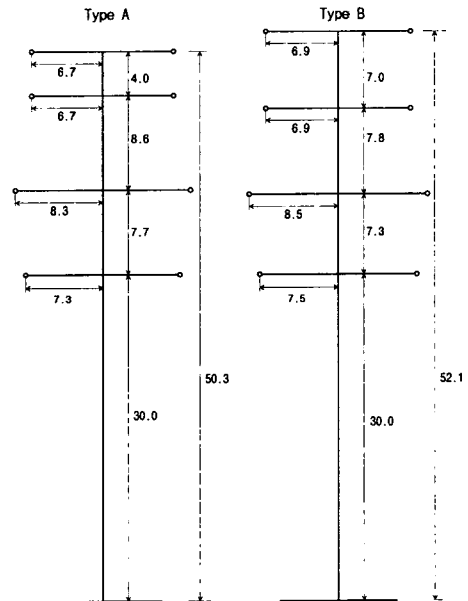


그림 3. 계산에 사용된 345kV 2회선 철탐

표 1. 가공지선 및 도체 데이터

번호	기능	좌표		도체직경 (cm)	번들간격 (cm)
		X(m)	Y(m)		
1	가공지선	-6.9	52.1	1.82	
2	가공지선	6.9	52.1	1.82	
3	A	6.2	45.1	2.961	40
4	B	6.2	37.3	2.961	40
5	C	6.4	30.0	2.961	40
6	C'	-6.2	45.1	2.961	40
7	B'	-6.2	37.3	2.961	40
8	A'	-6.4	30.0	2.961	40

또한 대지경사각에 따른 송전선로의 차폐실패 트립 사고율을 검토하기 위한 연간 뇌우일수를 비롯한 주요 입력 파라메타는 표 2와 같다.

표 2. 주요 입력 파라메타

항 목	데 이 터
IKL	20
탑각저항	20[Ω]
대지경사각	0 ~ 60°
뇌격누적확률분포	한전의 누적 확률분포 곡선

뇌격 전류의 크기는 그림 4의 뇌격전류 크기 누적확률 분포 중에서 국내의 뇌격전류 데이터로 만든 한전의 누적확률 분포곡선을 기초로 평균 전류크기  $\bar{I}=18.83\text{kA}$ 의 특성을 갖는 뇌격 전류를 가정하였다.

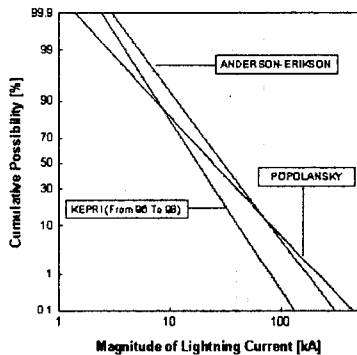


그림 4. 뇌격전류 크기 누적확률 분포곡선

### 3.2 계산 결과

연간 뇌우일수를 20으로 가정하였으며, 대지경사각은 평지를 가정한 0°부터 최대 60°까지 고려하여 송전선로의 뇌격에 대한 가공지선의 비보호 범위 및 차폐실패 트립 사고율을 예측 계산하였으며 계산 결과는 그림 5와 같다.

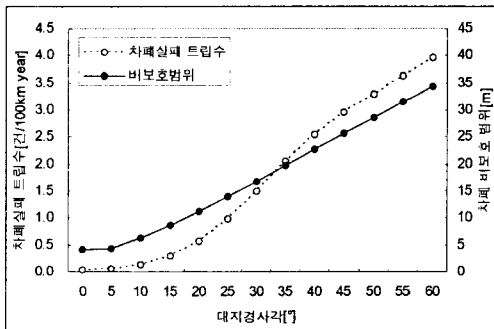


그림 5. 대지경사각에 따른 송전선로 차폐 비보호 범위와 차폐실패 트립수의 비교

그림 5에서 알 수 있는 것과 같이 대지경사각이 증가함에 따라 송전선로의 차폐 비보호 범위는 평지에 비해 크게 증가하며, 이에 따라 송전선로 차폐실패 트립수도 증가한다.

한전에서는 345kV 송전선로의 경우 역섬락 사고를 포함하여 연간 100km당 1.0건 이하로 뇌에 의한 사고를

제한하도록 설계하고 있으나, 대지경사각이 큰 산악지대를 통과하는 송전선로의 경우는 낙뢰에 의한 트립 사고율을 보다 면밀히 검토하여 적절한 내뢰시책을 수립할 필요가 있다.

## 4. 결 론

이상 살펴본 것과 같이 산악지대처럼 대지경사각이 큰 지형을 송전선로가 통과하게 되면 가공지선에 의한 송전선의 차폐는 어렵게 되어 낙뢰에 의한 차폐실패 트립 사고율은 증가하게 됨을 알 수 있다. 따라서 산악지대를 통과하는 송전선로를 위해서는 가능한한 정확하게 낙뢰에 의한 트립 사고율을 예측하여 적절한 내뢰 시책을 수립하는 것이 중요하다.

송전선로의 낙뢰에 의한 트립 사고율을 정확하게 예측 계산하기 위해서는 계산에 필요한 각종 파라메타들, 예를 들어 지형 데이터, 뇌격 전류 크기 누적확률 분포, 탑각 저항, 연간 뇌우일수, 선로에의 뇌격수 등의 데이터의 신뢰성이 확보되어야 한다.

또한 각종 파라메타들을 계산하기 위한 많은 수식들의 타당성 검토 및 낙뢰에 의한 트립 사고율 실적치와의 비교 등이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] K. Berger, R. B. Anderson, H. Kroninger. "Parameters of Lightning Flashes", *Electra*, No. 41, July 1975, pp. 23-37
- [2] R.I.I. Goide, *Lightning*, Vols 1 and 2, London·New York·San Francisco: Academic Press, 1977.
- [3] *Transmission Line Reference Book - 345kV and Above*, Electric Power Research Institute, 1975.
- [4] G.W. Brown. "Lightning Performance. I - Shielding Failures Simplified", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, pp. 33-38, 1978.
- [5] G.W. Brown. "Lightning Performance. II - Updating Backflash Calculations", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, pp. 39-52, 1978.
- [6] F.A. Fisher, J.G. Anderson, J.H. Hagenguth. "Determination of Transmission Line Lightning Performance by Means of Geometrical Models", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-78, pp. 1725-1736, 1960.
- [7] M. Darveniza, "Modelling for Lightning Performance Calculations", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-98, pp. 1900-1908, 1979.
- [8] Pritindra Chowdhuri, "Electromagnetic Transients in Power Systems", Research Studies Press LTD, 2004
- [9] Andrew R. Hileman, "Insulation Coordination for Power Systems", The Pennsylvania State University, 1997
- [10] L. Dellera, E. Garbagnati. "Lightning Stroke Simulation By Means Of The Leader Progression Model, Part II : Exposure and Shielding Failure Evaluation of Overhead Line with Assessment of Application Graphs", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 5, pp. 2023-2029, 1990.