

## 써지 임피던스 저감을 위한 가공지선 3조화 효과 분석

강연욱, 민병욱, 김태영, 박봉규, 최진성, 박광욱, 배현권  
한국전력공사

### Analysis on Effect of Surge Impedance Reduction according to Three Ground Wires

Yeon-Woog Kang, Byeong-Wook Min, Tai-Young Kim, Bong-Gyu Park, Jin-Sung Choi, Kwang-Uk Park, Hyun-Kwon Bae  
Korean Electric Power Corporation

**Abstract** - 한전의 가공 송전선로는 2010년 기준으로 약 12,990 km(765 kV 송전선로 354 km, 345 kV 송전선로 약 3,868 km, 154 kV 송전선로 8,173 km, 66 kV 송전선로 : 약 595 km)가 설치되어 운전되고 있다. 이러한 송전선로는 평지, 구릉, 산악지 등에 설치됨으로써 자연환경에 크게 영향을 받는다. 특히 전 세계적으로 낙뢰에 의한 송전선로의 트립 고장이 전체 고장의 약 60%를 점유하는 것으로 보고되고 있으며, 낙뢰에 의한 고장을 최소화하기 위한 내뢰 설계를 시행하고 있다. 한편에서도 전압별 계통의 신뢰도와 경제성을 고려하여 765 kV 송전선로의 목표 사고율은 0.35[건/100 km·년], 345 kV 송전선로의 경우는 1.0[건/100 km·년], 154 kV 송전선로의 경우는 2.0[건/100 km·년] 이하의 목표 사고율을 설정하여 설계 운영하고 있다. 그러나 2000년 이후 낙뢰 발생 빈도가 증가하고 있으며, 낙뢰에 의한 고장 점유율도 약 75%로서 고품질 전력공급을 위한 내뢰 대책 수립의 검토가 요구되고 있다.

송전선로의 낙뢰에 의한 사고율을 예측계산하고, 내뢰 대책에 따른 효과를 분석하는데 있어 뇌격전류의 크기는 확률로서 설명된다. 이들 확률은 매년 발생하는 낙뢰데이터를 분석하여 일반 엔지니어가 쉽게 사용할 수 있는 통계적인 로그노말(Log-normal) 분포를 이용하여 그 특성을 이해하고 뇌 사고율 예측계산에 쉽게 사용할 수 있도록 하고 있다. 대표적으로 낙뢰 데이터를 분석하여 누적확률 분포 특성을 분석함으로써 뇌 사고율 예측계산에 사용되는 분포로서 포폴란스키(Popolansky)와 앤더슨-에릭슨(Anderson-Eriksson)이 제안하는 낙뢰크기 분포가 발표되고 있으나, 한편에서도 자체적으로 한반도에 발생하는 낙뢰데이터를 수집하고 분석하여 한반도의 낙뢰 크기분포 특성을 대표하는 뇌격전류크기 누적확률 분포데이터를 그림 1과 같이 분석하였다. 포폴란스키가 제안하는 분포는 식(1), 앤더슨-에릭슨이 제안하는 분포는 식(2), 한편에서 제안하는 분포는 식(3)과 같다.

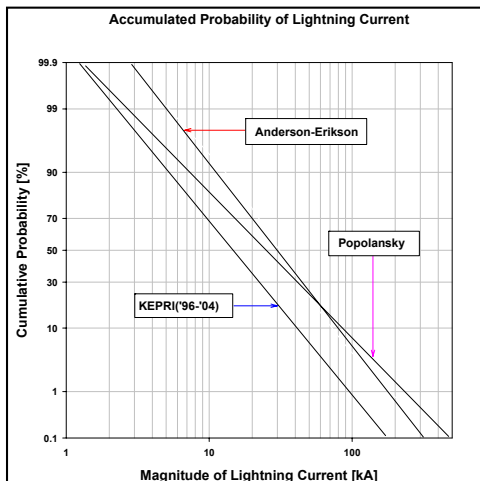
### 1. 서 론

낙뢰는 송전선로 고장의 주요 원인 중 하나로서, 낙뢰가 전력선에 맞거나 가공지선에 맞을 경우 트립고장이 발생하게 된다. 낙뢰가 전력선에 맞아 트립고장이 발생하는 경우를 차폐실패 고장이라고 하고, 낙뢰가 가공지선에 맞아 트립고장이 발생하는 경우를 역섬락 고장이라고 한다. 일반적으로 전력을 공급하는 전력선이 낙뢰를 맞아 트립고장이 발생하는 차폐실패 고장을 줄이기 위하여 설치한 가공지선에 큰 뇌격전류가 맞게 되면 가공지선에 뇌격전류에 의한 과전압이 발생하고 발생된 과전압은 가공지선과 철타점으로 이동하게 되며, 철타점으로 이동하는 과전압이 전력선과 전력선암 사이의 절연내력보다 크게 되면 섬락이 발생하게 된다. 이러한 역섬락 사고를 줄이기 위한 방안으로 가공지선을 기존 2조에서 3조로 설치하는 방안이 추진되고 있는데, 본 논문에서는 가공지선 3조 설치시 송전선로의 뇌 사고율 저감효과를 분석하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 낙뢰에 의한 철타전위 계산 모델

송전선로의 낙뢰고장 저감을 위한 중요한 대책중 하나는 가공지선을 설치하여 전력을 공급하는 전력선이 낙뢰에 맞지 않도록 차폐하는 것이다. 가공지선은 낙뢰에 의한 차폐실패 고장을 저감하는 효과뿐만 아니라 역섬락을 저감하는 효과가 있다.



〈그림 1〉 뇌격전류 크기 누적분포 확률

$$P_C = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_P}{25}\right)^2} \quad (1)$$

$$P_C = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_P}{31}\right)^{2.6}} \quad (2)$$

$$P_C = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_P}{17.9}\right)^{2.64}} \quad (3)$$

여기에서  $P_C$ 는 낙뢰 피크전류  $I_P$ [kA]를 초과할 확률을 나타낸다. 각각의 뇌격전류 크기 특성을 종합하면 표 1과 같다.

〈표 1〉 뇌격전류 크기 분포특성 비교

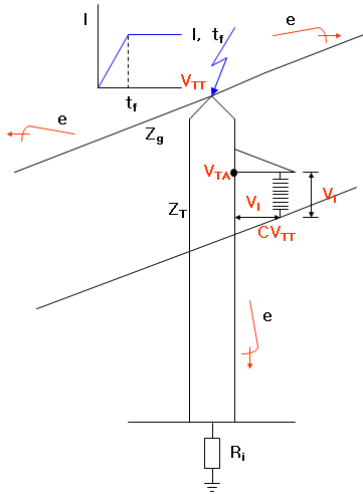
| 뇌격전류 크기 누적분포     | 중앙값(50%) | 100[kA]이상 |
|------------------|----------|-----------|
| Anderson-Erikson | 31[kA]   | 4.5%      |
| Popolansky       | 25[kA]   | 5.9%      |
| KEPCO            | 18[kA]   | 1.1%      |

그림 1 및 표 1에서 알 수 있는 것과 한반도에 발생하는 낙뢰는 포폴란스키 또는 앤더슨-에릭슨이 관측하여 발표한 낙뢰에 비하여 낙뢰 크기가 작은 특성을 나타내고 있어, 같은 조건의 송전선로가 건설 운영될 경우 역섬락 사고가 발생할 확률이 우리나라에서는 작을 것으로 예측되지만, 전체 송전선로 낙뢰고장 중 역섬락 사고의 발생비율이 높기 때문에 이에 대한 대책 수립이 필요하다.

낙뢰에 의한 송전선로의 역섬락고장을 저감하기 위한 대책으로 철타점지저항 저감, 철타점 써지임피던스 저감, 가공지선 써지임피던스 저감방안 등을 검토할 수 있다. 철타점 지저항을 위해서는 한편에서 접지 저항 기준치 이하로 낮추도록 시공하고 있다. 기본적으로 철타점은 절연기준, 강도기준, 전기환경 기준을 만족시켜야 하므로 철타점의 써지임피던스 저감을 위한 철타점 형상의 재설계는 현실적으로 어렵다. 그렇지만 가공지선 써지 임피던스 저감을 위해서는 기존의 가공지선 2조를 가공지선 3조로 변경함으로써 만족시킬 수 있다.

전력을 공급하는 전력선이 낙뢰를 맞게 되면 섬락사고가 발생하므로 이를 방지하기 위하여 가공지선을 설치하고 있다. 그림 2와 같이 큰 뇌격전류  $I(t)$ 가 가공지선 써지임피던스  $Z_g$ 와 철타점 써지임피던스  $Z_t$ 에 의해 식(4)와 같은 과전압  $e(t)$ 가 발생하고 가공지선과 철타점으로 진행하게 된다.

$$e(t) = \frac{Z_T Z_g}{2Z_T + Z_g} I(t) \quad (4)$$

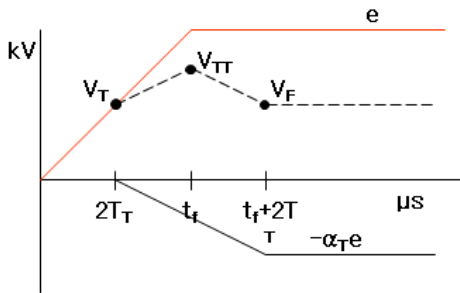


〈그림 2〉 철탑 전위 계산을 위한 등가회로

철탑에서 대지로 진행되는 뇌 과전압  $e(t)$ 가 대지에 도달하면 철탑 써지임피던스  $Z_T$ 와 철탑 접지저항  $R_i$ 의 임피던스 변화에 의해 뇌 과전압  $e(t)$ 중  $\alpha$ 배의 전압이 반사되어 철탑 상부로 진행하게 된다. 이때  $\alpha$ 를 반사계수라 하며 그 값은 식(5)와 같다.

$$\alpha = \frac{Z_T - R_i}{Z_T + R_i} \quad (5)$$

대지에서 철탑상부로 반사된 전압  $-\alpha e(t)$ 가 철탑상부에서 대지로 진행되는 전압  $e(t)$ 와 중첩되어 철탑에는 그림 3과 같은  $V_T$ ,  $V_{TT}$ ,  $V_F$ 의 전압이 나타난다. 이러한 철탑의 전위는 낙뢰가 철탑에 맞았을 경우 발생하는 과전압  $e(t)$ 를 낮춤으로써 가능하고 이를 위한 방법으로 가공지선 3조화도 효과적인 방법으로 추천된다. 가공지선을 2조에서 3조로 할 경우 표 2와 같이 가공지선 써지임피던스를 약 15% 낮출 수 있다.



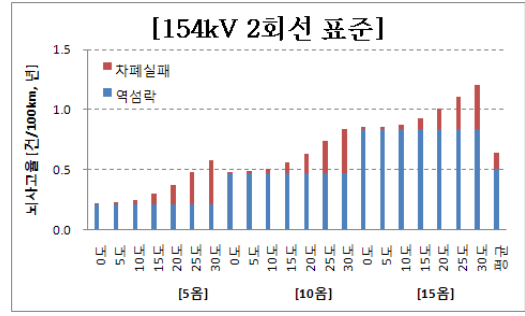
〈그림 3〉 대지에서의 반사파 영향에 따른 철탑 전위 변화

〈표 2〉 가공지선 3조화시 가공지선 써지임피던스 저감효과

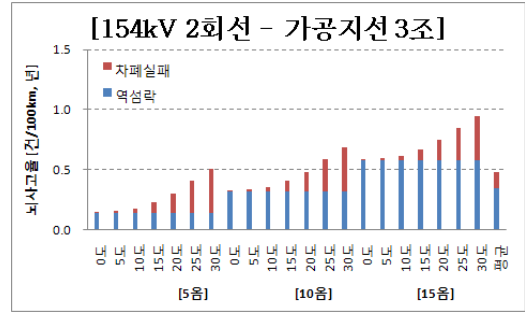
| 송전선로 구분    | 철탑 써지 임피던스[Ω] | 가공지선 써지임피던스[Ω] |     |
|------------|---------------|----------------|-----|
|            |               | 2조             | 3조  |
| 154 kV 2회선 | 166           | 292            | 244 |
| 154 kV 4회선 | 160           | 306            | 269 |
| 345 kV 2회선 | 171           | 255            | 214 |
| 345 kV 4회선 | 187           | 294            | 257 |

## 2.2 시뮬레이션 결과

송전선로의 가공지선을 2조에서 3조로 변경할 경우, 낙뢰에 의한 차폐 실패 고장 감소효과는 없지만 역섬락 고장은 가공지선 써지 임피던스 저감에 의해 그림 4와 같이 약 28% 감소하는 특성을 나타낸다. 154kV 2회선 및 4회선 송전선로와 345kV 2회선 및 4회선 송전선로의 가공지선 3조화에 따른 저감효과는 표 3과 같다.



(a) 표준철탑



(b) 가공지선 3조화

〈그림 4〉 가공지선 3조화에 따른 뇌 사고율 비교

〈표 3〉 가공지선 3조화에 따른 뇌 사고율 저감효과

| 송전선로 구분    | 낙뢰고장 저감율 |      |       |
|------------|----------|------|-------|
|            | 역섬락      | 차폐실패 | 총뇌사고율 |
| 154 kV 2회선 | 31.8%    | 0%   | 25.1% |
| 154 kV 4회선 | 21.4%    | 0%   | 13.3% |
| 345 kV 2회선 | 28.1%    | 0%   | 12.9% |
| 345 kV 4회선 | 29.1%    | 0%   | 8.1%  |

## 3. 결 론

본 논문에서는 현재 운영중인 154kV 및 345kV 송전선로의 가공지선 2조를 3조로 하였을 경우 뇌 사고율 저감 효과를 분석하였다. 이를 위해 가공지선 써지임피던스 저감효과 및 낙뢰파가 철탑에서 대지로 전파되었을 경우 써지과형의 투반사 현상에 대하여 살펴 보았다. 낙뢰에 의한 송전선로의 차폐실패 고장을 저감하기 위해서는 가공지선 앞 길이를 증대시키는 방법이 일반적이나 역섬락을 저감시키기 위한 방법으로는 철탑 접지저항을 낮추는 대표적인 방법이 적용되었다. 그러나 우리나라의 경우 철탑 접지저항은 설계치 이하로 시공하고 있어, 철탑 접지저항을 낮추는 방법 이외의 낙뢰에 의한 역섬락 저감 대책 검토가 필요하다. 본 논문에서 검토 결과 가공지선을 2조에서 3조로 할 경우 역섬락 고장을 약 28% 저감할 수 있는 것으로 예측 계산되었다. 따라서 계통의 신뢰성이 높기 요구되는 선로에 대한 선별적 적용을 통해 효과 검증이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] J.G. Anderson, "Lightning Performance of Transmission Lines", Chapter 12 of Transmission Line Reference Book 345kV and Above. Second Edition, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1987.
- [2] P. Chowdhuri, "Direct Lightning Strokes to Overhead Lines with Shield Wires", Chapter 7 of Electromagnetic Transients in Power Systems, Research Studies Press LTD, 2004.
- [3] Andrew R. Hileman, "Shielding of Transmission Lines", Chapter 7 of Insulation Coordination for Power System, Marcel Dekker, Inc, NY, 1999.