

수평피뢰침에 의한 배전선로 직격뢰 차폐 개선

류희석*, 정동학**, 박상만***

한국전기연구원*, 일렉트로 컨설팅**, 한국전력공사***

Improvement of Distribution Line Shielding against Direct Lightning Strokes by Adding Horizontal Lightning Rod on the Pole Top

Hee-Suk Ryoo*, Dong-Hak Jung**, Sang-Man Park***
KERI*, Electro Consulting**, KEPCO***

Abstract - 한국전력 가공배전선로의 기존의 차폐선(가공지선)에 의한 직격뢰 차폐를 개선하기 위해, 기존 가공지선과는 별도로, 전주에 가공지선과 직각방향의 수평피뢰침을 추가로 설치함으로써, 직격뢰에 의한 뇌사고를 대폭 줄일 수 있는 것으로 파악되었으며, 본 논문에서 검토배경, 원리, 실제의 형태 및 설치, 기대효과 등에 대해 간략히 검토하였다.

1. 서 론

우리 가공배전선로에는 낙뢰에 의한 뇌사고가 비교적 많은 편이며, 중성점 접지방식의 특성상 이런 뇌사고는 1선지락고장을 일으키게 되어 정전을 초래하게 된다.

배전선로는 직격뢰 뇌차폐가 잘 이루어지는 경우가 많고, 채택되는 절연레벨이 낮아, 유도뢰에 대한 내뢰대책을 주로 하는 것이 일반적이어서 직격뢰에 대하여는 특별히 고려하지 않아 왔으며, 가공지선이 본래의 주요 목적 중의 하나인 직격뢰 차폐를 달성한 경우는 비교적 뇌임펄스 보호효과가 우수한 것으로 나타났다[4].

그러나, 차폐실패에 의해 상도체에 뇌격이 직접 침입하는 경우는, 침입전류가 비록 작더라도, 매우 큰 전압을 발생시킬 수 있는데, 현재의 가공배전선로 구성상 차폐실패가 일어날 수 있는 거의 모든 전류 영역에서 뇌사고를 일으킬 수 있는 것으로 검토되고 있으며, 현재의 배전용 전주에, 선로와 직각 방향으로 단순히 전도성 봉을 설치함으로써, 특히 차폐실패에 의한 뇌사고를 획기적으로 줄일 수 있는 것으로 판단되고 있어, 이에 대해 살펴보았다.

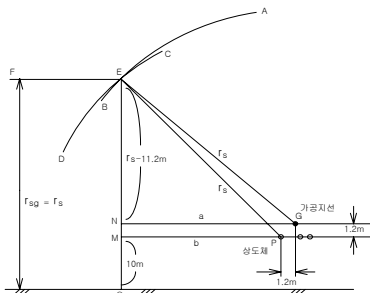
2. 본 론

2.1 우리나라 22.9kV 가공배전선로의 뇌격

2.1.1 뇌격빈도

대지뇌격빈도는 통계적으로 $1[km^2]$ 에 연간 ikl 의 약 10% 내외인 것으로 조사되고 있으며, 우리의 ikl 을 지역에 따라 10~20 사이에 분포하는 것으로 보이며, 개략 $1\sim 2[회/km^2 \cdot 년]$ 정도인 것으로 추정되며, 관련 검토자료[2],[3]에 따르면, 우리 22.9kV 배전선로 가공지선에 직격하는 뇌격빈도는 $10[회/100km^2 \cdot 년]$ 내외가 될 것으로 추정된다.

2.1.2 대지 뇌격전류의 크기



<그림 1> 차폐실패 뇌격전류 계산(표준 선로)

$$\sqrt{r^2 - (r - 11.2)^2} = a \quad (1)$$

$$\sqrt{r^2 - (r - 10)^2} = b \quad (2)$$

$$a = b + 1.2 \quad (3)$$

Armstrong-Whitehead의 흡인공간이론[1][2]에 따르면 우리의 표준적인 22.9kV 배전선로의 차폐실패 뇌격전류는 <그림 1>과 식(1)~(3)의 관계로부터 8.2[kA]에 이른다.

뇌격전류 크기에 대한 우리나라의 통계는 아직 확립되어 있지 않으며, EPRI에서 적용하는 대지 뇌격전류 크기의 누적분포[3]를 적용하면,

$$f(8.2) = \frac{1}{1 + (8.2/31)^{2.6}} \approx 0.97 \quad (4)$$

가 되어, 전체 뇌격의 약 97%에 있어 차폐실패가 발생할 수 있으며, 차폐실패에 의해 배전선로 상도체에 직격할 수 있는 뇌격전류의 크기와 빈도는, 일본에서의 검토자료[3]에 준하여,

$$10[회/100km^2 \cdot 년] \times 0.97 = 9.7[회/100km^2 \cdot 년]$$

정도가 될 것으로 추정되지만, 선로 주변의 지형에 따라 분포가 크게 달라질 것이기 때문에, 여건에 따라 빈도가 매우 높은 곳도 있을 수 있다.

2.1.3 차폐실패에 의한 뇌과전압의 크기

차폐에 의해 가공지선에 뇌격이 침입한 경우는, 가공지선에서의 분류, 중성선에서의 분류 등에 의해 선로 예자 양단간의 뇌과전압이 상당히 감소하는 것으로 검토되고 있으나, 차폐실패에 의해 상도체에 뇌격이 직격할 경우의 상도체의 전압은 식(5)나 (6)처럼 나타낼 수 있는데, 선로의 특성임피던스와 뇌도입피던스를 $400[\Omega]$ 이라 보면, 비교적 매우 작은 크기인 $2\sim 3[kA]$ 의 뇌격에 의해서도 매우 큰 뇌과전압을 발생시킬 수 있으며, 몇몇 값의 차폐실패 전류에 의한 뇌과전압 예측치는 <표 1>과 같다.

① 뇌도입피던스를 고려하지 않은 경우

$$V = \frac{Z_C}{2} \cdot I_0 \quad (Z_C : \text{선로 특성임피던스}) \quad (5)$$

② 뇌도입피던스를 고려한 경우

$$V = \frac{Z_C \cdot Z_0}{Z_C + 2Z_0} \cdot I_0 \quad (Z_0 : \text{뇌도 입피던스}) \quad (6)$$

<표 1> 차폐실패에 의한 상도체 뇌과전압 예상치(이론치)

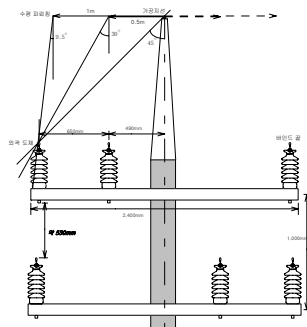
침입전류	전압 뇌도입피던스 무시할 때	뇌도입피던스 고려할 때	비고
8.2kA	1,640kV	1,091kV	차폐실패 최대치
4.2kA	840kV	559kV	
2.2kA	440kV	293kV	

그러나, 실제로는 코로나, 결합, 손실 등의 감쇠요인에 의해 이론치보다 낮게 나타나게 된다.

2.2 수평피뢰침에 의한 차폐 개선

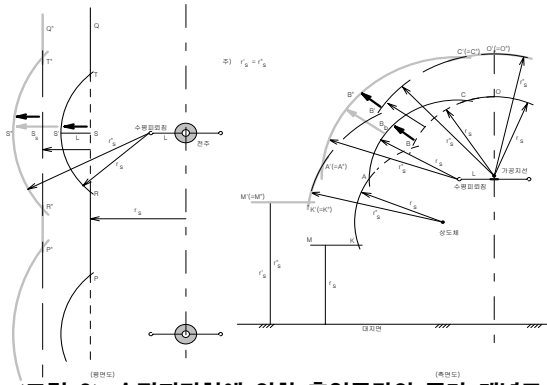
배전선로는 전주와 전주 사이의 경간이 개략 50m 정도로, 장력을 그다지 크게 하지 않기 때문에, 경간에서는 비교적 이도가 큰 편이며, 따라서, 직격되는 전주의 주변에 집중하게 되고, 따라서, 전주 부근에서 직격뢰의 차폐가 개선되면 선로 전체의 차폐가 개선된다.

2.2.1 수평피뢰침에 의한 차폐개선의 개념



<그림 2> 수평피뢰침과 뇌차폐력 변화

수평피뢰침은 <그림 2>처럼 전주의 상부에 선로방향(가공지선 길이 방향)과 직각방향으로, 가공지선과 전기적으로 접속되도록 설치하며, 피뢰침의 길이에 따라, 전주에서의 새로운 차폐각이 결정된다.



<그림 3> 수평피뢰침에 의한 흡인공간의 증가 개념도

<그림 2> 및 <그림 3>에서처럼, 전주 정상에 가공지선과 수직방향으로 설치한 피뢰침에의 뇌격의 흡인에 의해, 전주에서의 직격뢰 차폐가 개선되며, 수평피뢰침의 길이가 길수록 개선효과가 커진다. <표 2>에 이러한 차폐개선의 개념을 나타냈다.

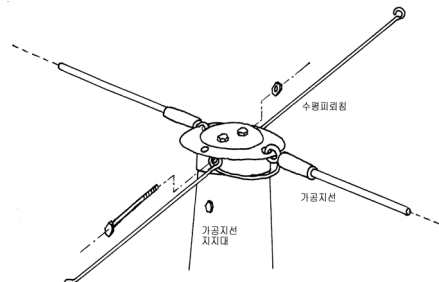
<표 2> 수평피뢰침의 흡인공간 비교(<그림 3> 참조)

구분	수평피뢰침	전류가 작은 경우	전류가 큰 경우
평면도	없는 경우	QTSRP	Q"R"S,P"
	있는 경우	QTS'RP	Q"R"S'R'P"
측면도	없는 경우	OCBAKM	O'C'B'A'K'M'
	있는 경우	OCB _b AKM	O'C'B'A'K'M'
차폐실패 구간 (동일 전류 때)		KAB → KA	K'A'B' → K'A'

2.2.2 수평피뢰침의 구성과 구조

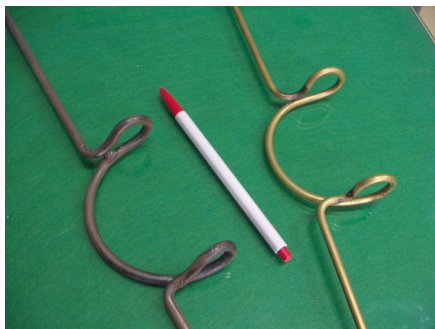
수평 피뢰침은, 기존의 전주 상부에 설치된 가공지선 지지대 캡의 고정용 볼트만을 분리했다가 다시 끼움으로써, 별도의 추가 장치가, 변형, 별도의 공사 없이 운전 중인 선로에 활선으로 설치할 수 있다.

일례로, 내장주에 설치하는 수평피뢰침의 개요도를 <그림 4>에 나타냈으며, 가공지선 지지대의 캡의 기본 구조가 같기 때문에, 동일한 수평 피뢰침을 내장주와 직선주 구분 없이 모두에 간단히 설치할 수 있다.



<그림 4> 수평피뢰침 개요도

가공지선 지지대의 실제의 모양과 치수를 고려하여 간단히 제작한 고정용 견본품의 예를 <그림 5>에 나타냈다. 굵기, 소재 등은 강도와 환경을 고려하여 결정하고, 길이는 목표 개선효과와 주위의 여건을 고려하여 비교적 자유롭게 결정할 수 있다.



<그림 5> 견본품(예)

2.2.3 기대효과

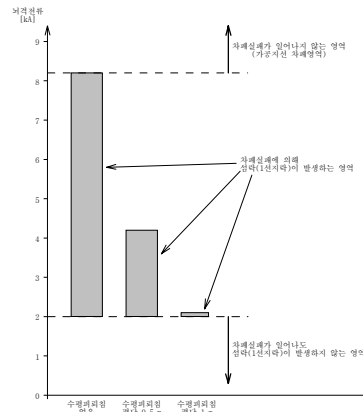
기설의 배전전주 상부에 수평피뢰침을 설치한 경우의 뇌과전압 예상치를 <표 4>에 나타냈다.

<표 4> 수평피뢰침에 의한 차폐실패전류 및 뇌과전압 감소 예상치 (탑정 차폐실패의 경우)

수평피뢰침의 편단 길이 [m]	최대 차폐실패전류 [kA]	뇌과전압 범위 [kV]	
		이론적 발생치(주1)	예상 발생치(주2)
0	8.2	1,640 (1,091)	500 이상
0.5	4.2	840 (559)	300 정도
1	2.2	440 (293)	200 정도

주1) 식(5) 및 식(6)에 따름. () 내는 식(6)에 의한 계산치
주2) 1kA, 2.2kA 및 3.1kA 등에 의한 실측치로부터 추정된 발생치[4]

<그림 5>에 수평피뢰침의 길이에 따른 차폐개선 특성을 나타냈다. 앞의 <그림 2> 및 <그림 3>에서 수평피뢰침의 길이를 길게 할수록 개선효과가 우수했으나, 수평피뢰침의 기계적 강도, 주변 시설물과의 간섭 등을 고려하면 길이에 어느 정도 제약이 따를 수 있다.



<그림 5> 수평피뢰침의 길이와 차폐개선 효과

3. 결 론

우리 가공배전선로의 가공지선의 차폐각은 45°^[5]로 규정하고 있으나, 실제로는 여러 이유로 45°보다 커지는 경우가 많으며, 특히 내장주에서는 일반적으로 점퍼가 완철의 상부에 배치되기 때문에 차폐각이 훨씬 커지는 경우가 많아, 실제로는 차폐 성능이 훨씬 떨어진다.

전주의 상부에 가공지선과 수직 방향으로 수평피뢰침을 설치함으로써 배전선로 상도체의 직격뢰에 대한 차폐를 획기적으로 개선할 수 있는 것으로 검토되었다.

수평피뢰침의 길이가 길수록 차폐효과가 증대하지만, 기계적 강도, 주변 시설물과의 간섭 등의 문제로 길이에 한계가 있으나, 편단길이를 1m 정도로 하여 <그림 2>에서처럼 최외곽 상도체보다 약간 안쪽에 오도록 함으로써, 실질적으로 설치와 유지·관리에는 별 불편이 없으면서도 직격뢰 차폐효과는 <표 4> 및 <그림 5>에서처럼, 기존의 가공지선만에 의한 차폐에 비해 대폭 개선될 수 있다.

수평피뢰침은 구조와 구성이 매우 간단하기 때문에, 활선상태에서 기설의 가공지선 지지대에 별 위험이나 어려움 없이 저렴한 비용으로 설치할 수 있으며, 낙뢰나 뇌사고가 많은 지역, 또는 원인을 알 수 없는 고장이 많은 지역에 설치함으로써 큰 효과를 얻을 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] (財)電力中央研究所, '絶縁·電氣環境技術研修コース·テキスト', 1989
- [2] W.Disendorf, 'Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems', 1974
- [3] (財)電力中央研究所, '發變電所および地中送電線の耐雷設計ガイド', T40, 1996
- [4] 전력연구원, '배전시험설비 구축 및 내뢰설비 시설효과 분석 실증연구', 2003
- [5] 한국전력 설계기준 3800 '배전선 내뢰기준, 1995