

**가공배전선로의 직격뢰 차폐실패 실증**

류희석\*, 김대경\*, 남기영\*, 이재덕\*, 박상만\*\*, 정동학\*\*\*  
 \* 한국전기연구원, \*\* 전력연구원, \*\*\* 일렉트로 컨설팅

**Field Tests on the Lightning Shielding Failure of Overhead Distribution Line**

Hee-Suk Ryou\*, Dae-Kyung Kim\*, Kee-Young Nam\*, Jae-Duck Lee\*, Sang-Man Park\*\*, Dong-Hak Jung\*\*\*  
 \* KERI, \*\* KEPRI, \*\*\* Electro Consulting

**Abstract** - 우리나라 가공배전선로는 가능한 한 직격뢰의 침입을 방지하기 위하여 차폐각이 45°가 되도록 가공지선을 설치하고 있으며, 이 경우에도 흡인공간이론에 따르면 수[kA] 정도의 뇌격은 차폐실패로 인하여 상도체에 직접 침입(직격)할 수 있으므로, 직격뢰에 의해 발생할 수 있는 뇌과전압의 실제 크기를 파악하는 것은 절연 설계나 절연협조에 있어 매우 중요하다. 본 논문에서는 차폐실패에 의해 가공배전선로의 상도체에 직격뢰가 침입한 경우에 발생하는 뇌과전압에 대하여, 실제의 선로와 동일한 구성과 규모의 실증선로를 이용하여 실증에 의해 고찰하였다.

**1. 서론**

가공배전선로에는 여건에 따라 직격뢰와 유도뢰가 침입할 수 있다. 직격뢰에 대하여는 주로 가공지선이, 유도뢰에 대하여는 가공지선과 중성선이 차폐의 역할을 하게 되며, 유도뢰의 경우 발생빈도는 비교적 높지만 발생전압의 크기는 그다지 크지 않고, 특히 우리나라의 경우는 낙뢰의 빈도가 높지 않고 뇌격전류의 크기도 비교적 작은 것으로 알려져 있을 뿐 아니라, 다중접지방식으로 상도체의 하부에 선로를 따라 중성선이 가선되어 있어서 비접지방식에 비해 추가의 차폐회로로 작용하기 때문에, 유도뢰에 의한 피해는 상대적으로 크지 않을 것으로 추정된다.

가공배전선로에의 직격뢰는 크게 차폐성공에 의한 가공지선 직격과 차폐실패에 따른 상도체 직격으로 구분할 수 있는데, 가공지선에의 직격되는 뇌격전류의 대기 분류분에 의한 전주 및 완철의 대기전위상승에 의해 완철과 상도체와의 사이(애자)에 전위차(뇌과전압)로 나타나게 되며, 이 전위차가 애자의 내전압을 초과하면 섬락이 발생하여 지락고장으로 진행되는데, 따라서, 가능한 한 섬락이 발생하지 않도록 가공지선의 접지저항을 낮추고, 적절히 피뢰기를 설치하도록 하고 있다.

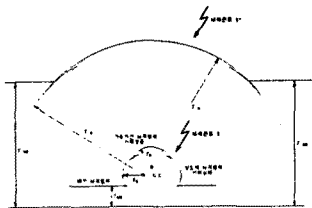


그림1 가공지선의 뇌차폐 개념도

흡인공간이론<sup>[2]</sup>에 따르면 뇌격거리  $r_s$ 는 다음 식처럼 산출된다.

$$r_s = 6.7 I_0^{0.8} \text{ [m]} \quad (1)$$

여기서,  $r_s$  : 뇌격거리[m]  
 $I_0$  : 뇌격전류[kA]

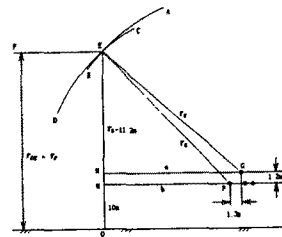


그림2 차폐 가능 뇌격전류 계산

우리나라의 표준적 가공배전선로에서 차폐실패에 의해 최외곽 상도체에 침입할 수 있는 뇌격전류의 크기는 흡인공간이론에 따라 그림 2에서와 같이 구할 수 있으며, 약 8[kA] 정도에 달한다.

뇌격전류가 연속된 상도체에 침입한 경우 상도체에는,

$$V = \frac{I_0}{2} Z \text{ [kV]} \quad (2)$$

여기서,  $I_0$  : 침입 뇌격전류[kA]  
 $Z$  : 상도체의 써지임피던스[Ω]

의 뇌과전압이 발생하는데<sup>[3]</sup>, 실제로는 가공지선, 중성선, 주변의 상도체 등의 결합의 영향<sup>[4]</sup>으로 감쇠가 나타나므로 (2)식에 의한 계산치보다는 작은 값을 나타내는 것이 일반적이다.

뇌격 현상을 실제의 선로에서 실제의 뇌격에 의해 확인하는 것은 거의 불가능하므로, 주로 해석적인 방법에 의해 모의하고 있으며, 그 결과를 절연설계와 절연협조에 적용하고 있는데, 모의 결과와 실제가 잘 일치할지의 여부는 모의방법, 데이터 등의 정확성에 의해 결정된다.

그러나, 해석에 있어 여러 가지 제약조건상 해석 프로그램의 정밀도, 데이터의 정확도 등에 한계가 있으므로 어느 정도의 오차는 감수할 수밖에 없으며, 이러한 부정확성을 보완하기 위해 부분적으로 가능한 실증시험을 행하여 참고하고 있다.

본 논문에서는, 차폐실패에 의해 가공배전선로의 상도체에 뇌격이 직접 침입한 경우를 실증모의하여 나타난 상도체와 완철간(애자간)의 발생전압 측정결과를 소개하였으며, 피뢰기의 영향도 모의하였다.

**2. 실증시험**

**2.1 실증시스템 구성**

가능한 한 실제의 선로와 동일한 구성과 규모의 가공

배전선로를 구성하도록 하기 위하여, 설계기준에 충실한 선로를 건설하되, 이 선로의 뇌격지점을 임펄스전류 발생장치(ICG : Impulse Current Generator)와 가까이 설치하였으며, 전류 주입지점을 포함한 3지점에서, 각각 약 300m 간격마다 임펄스전압을 측정하도록 하였다.

**2.1.1 실증선로**

실증선로는 다음 그림처럼, 총 연장 약 4km, 2단 선로로 하였으며, 뇌격전류 주입지점은 ICG로부터 약 50m 이격되어 있다.

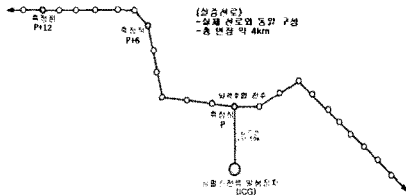


그림3 실증시스템 구성 개요

**2.1.2 장주 형태**

실증선로의 장주는 그림4처럼 2단으로 구성하였으며, 임펄스전류 주입전주는 그림5처럼 폴리머 현수애자에 의해 내장형으로 구성하였다.

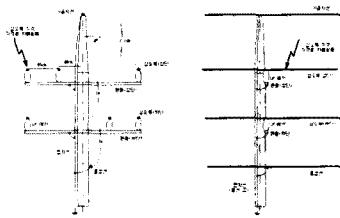


그림4 배전선로 장주형태

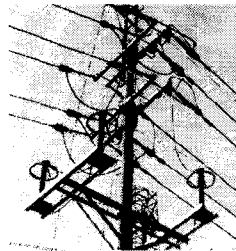


그림5 임펄스전류 주입 전주

**2.1.3 임펄스전류 발생장치**

임펄스전류 발생장치는 다음 그림처럼 구성되며, 콘덴서의 직병렬 구성, 단단 연결소자 R/L Set, 리드선 및 실증회로의 정수에 의해 파형이 결정되고, 충전전압으로 파고치를 조정한다.

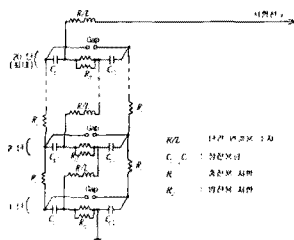


그림6 ICG 내부회로 구성 개요

**2.1.4 측정장치**

각 측정점에서 이용된 측정장치는 다음 표와 같다.

(표 1) 측정장치 개요

측정점	Scope	전압센서	전류센서
ICG	TDS 3014		CWT 30A(1mV/A)
주입전주P	YEW 1740D	Hipotronics(150:1)	-
P+6 전주	"	"	"
P+12 전주	"	Ross(6,666:1)	"

**2.2 실증 및 결과**

그림6에서처럼, ICG에서 발생된 몇 단계 크기의 임펄스전류를 P전주에 주입하고 P, P+6 및 P+12 전주에서 전류 주입상과 전류가 주입되지 않은 인접상의 전압을 측정하여 비교하였으며, 피뢰기의 뇌과전압 저감기능을 확인하기 위하여 전류 주입전주와 주입전주로부터 2경간 좌우에서 피뢰기 설치를 모의할 수 있도록 하였다.

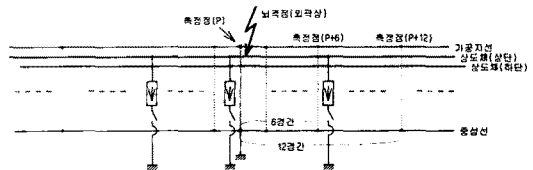


그림7 차폐실패 모의 계통

**2.2.1 피뢰기를 설치하지 않은 경우**

피뢰기를 설치하지 않은 경우 각 지점에서의 측정결과 는 다음과 같았다.

(1) 약 1kA를 주입한 경우

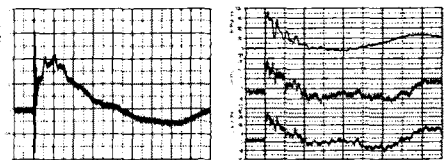


그림8 주입전류(1kA)

그림9 주입전주(P) 전압

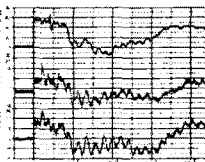


그림10 P+6 전주 전압

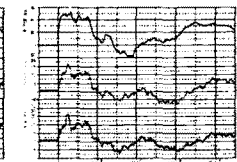


그림11 P+12 전주 전압

(2) 약 3.1kA를 주입한 경우

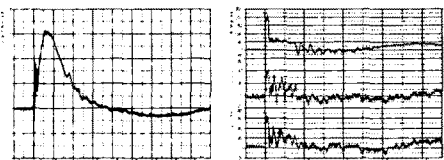


그림12 주입전류(3.1kA)

그림13 주입전주(P) 전압

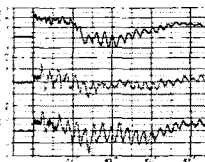


그림14 P+6 전주 전압

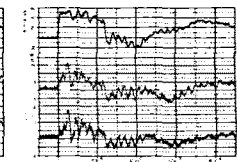


그림15 P+12 전주 전압

**2.2.2 피뢰기를 뇌격전주에서 2경간에 설치한 경우**  
 피뢰기를 임펄스전류 주입전주로부터 2경간 이격하여 설치한 경우의 각 지점에서의 전압 측정결과는 다음과 같다.

(1) 약 1kA를 주입한 경우

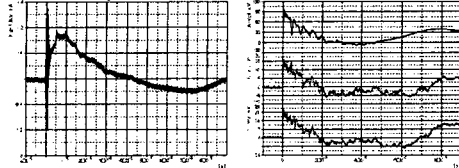


그림16 주입전류(1kA)      그림17 주입전주(P) 전압

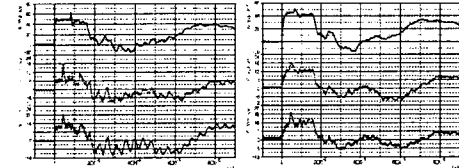


그림18 P+6 전주 전압      그림19 P+12 전주 전압

(2) 약 3kA를 주입한 경우

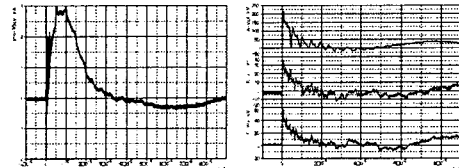


그림20 주입전류(2.9kA)      그림21 주입전주(P) 전압

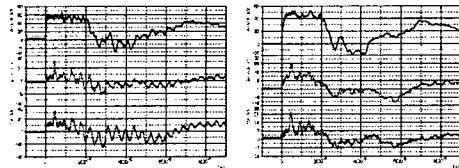


그림22 P+6 전주 전압      그림23 P+12 전주 전압

**2.2.3 피뢰기를 뇌격전주에 설치한 경우**

피뢰기를 임펄스전류 주입전주에 설치한 경우의 각 지점에서의 전압 측정결과는 다음과 같다.

(1) 약 1kA를 주입한 경우

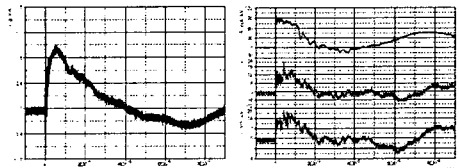


그림24 주입전류(0.95kA)      그림25 주입전주(P) 전압

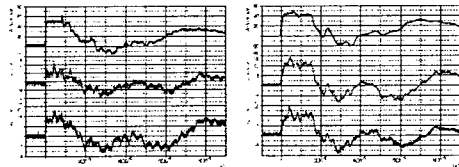


그림26 P+6 전주 전압      그림27 P+12 전주 전압

(2) 약 3kA를 주입한 경우

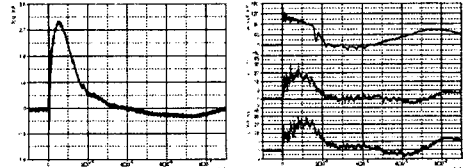


그림28 주입전류(3.1kA)      그림29 주입전주(P) 전압

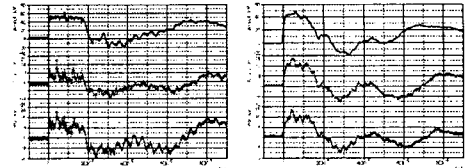


그림30 P+6 전주 전압      그림31 P+12 전주 전압

**2.2.4 실증 결과**

• 섬락 발생 전류

차폐실패시에 실제 선로에서 측정된 전압은, 상도체의 썬지 임피던스를 400~500[Ω]이라고 보았을 때, 예측한 대로 식(2)의 이론식에 비하여는 훨씬 낮은 값을 나타냈으며, 피뢰기가 없는 상태에서 3[kA] 정도의 전류를 주입했을 때는 그림12에서처럼 섬락으로 추정되는 현상으로 인하여 발생전압의 최대치를 측정할 수 없었으며, 따라서, 3[kA] 이상의 차폐실패시에는 섬락의 가능성이 큰 것으로 나타났다.

• 피뢰기의 효과

상도체에 피뢰기를 설치한 경우는 발생전압이 현저히 감소하였으며, 주입전류가 클수록 저감효과가 높았다.

• 선로의 진행에 따른 뇌과전압의 감소

상도체의 뇌과전압은 전압이 높은 경우는 진행에 따라 감소가 컸으나, 발생전압이 낮은 경우는 진행에 따른 감쇠가 비교적 적었다.

• 인접상에서의 발생전압

전류가 주입되지 않은 상에도 비교적 큰 전압이 나타났는데, 주입상과의 거리에 따라 다르며, 주입상의 크기에 비해 20~40% 정도의 값을 보였다.

**3. 결 론**

뇌격거리 이론에 따르면, 우리나라 가공배전선로의 차폐실패 뇌격전류는 약 8[kA] 정도에 이를 수 있는 것으로 추정되는데, 약 3[kA] 이상의 뇌격이 상도체에 침입하면 내장주에서는 섬락의 가능성이 큰 것으로 예상되며, 직격되 차폐실패에 의한 뇌사고를 줄이기 위하여는 현재의 가공지선 차폐각 45°를 더욱 줄일 필요가 있다.

특히, 전선의 처짐에 의해 경간에서보다 전주상에서의 전선의 높이가 높아, 전주에서의 직격되 침입 가능성이 커, 전주에서의 차폐각만을 줄이더라도[6] 직격하는 뇌격전류의 크기를 대폭 줄일 수 있어 매우 효율적이다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 한국전력 설계기준-3800, '배전선 내뢰기준(잠정)', 1995  
 [2] W. Diesendorf, 'Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems', Butterworths, 1974  
 [3] 송길영, '최신 송배전공학', 동일출판사, 2004  
 [4] 電力中央研究所 報告(TO2), '187kV~1,100kV의 交流架空送電線の 電氣的設計 핸드ブック', 電力中央研究所, 1986  
 [5] 전력연구원, '배전시험설비 구축 및 내뢰설비 시설효과 분석 실증연구', 2003  
 [6] 정동학, 실용신안 등록 제 0368828호, "배전전주용 수평피뢰침", 2004. 11