

배전용 피뢰기의 접지도선 설치기법

이복희\* · 유인선\*\* · 이태룡\* · 안창현\*\* · 윤중순\*\* · 윤형희\*\* · 김재승\*\* · 김종채\*\*  
 \* 인하대학교      \*\* 한국전력공사

The Installation Technique of Grounding Electrode Conductors  
 for Metal Oxide Distribution Surge Arresters

B.H. Lee\* · I.S. You\*\* · T.R. Lee\* · C.H. Ahn\*\* · J.S. Youn\*\* · H.H. Youn\*\* · J.S. Kim\*\* · J.C. Kim\*\*  
 \* Inha University      \*\* KEPCO

**Abstract** - The route of surge arrester connection is very important because bends and kinds of leads increase the impedance to lightning surges and tend to nullify the effectiveness of a grounding electrode conductor. There is a need to know how effective installation of lightning surge arresters is made in order to control voltage and to absorb energy at high lightning currents.

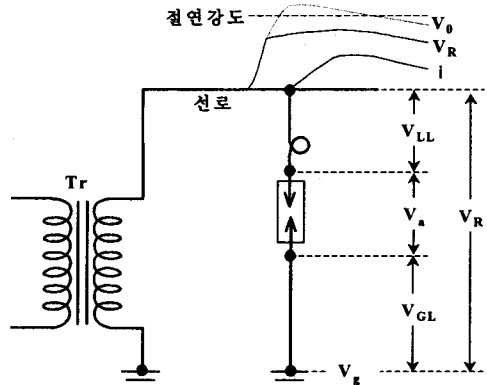
The effectiveness of a grounding conductor and bonding for 18[kV] metal oxide distribution line arresters was experimentally investigated with lightning and oscillating impulse voltages.

1. 서 론

낙뢰로부터 전력설비 피해를 최소화시켜 전력을 안정적으로 공급하는 것은 정보산업사회의 발달과 생활수준 향상을 위해 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히 최대 수요전력이 2000년에 41,007(MW)를 기록하였으며, 국내 전기에너지 수요의 급증은 765(kV) 송전선로와 같은 대전력 수송능력을 갖춘 복잡한 전력계통 설비를 필요로 하게 되었다.<sup>(1)</sup> 전력계통 고장의 가장 큰 원인인 낙뢰로부터 전력설비의 보호를 위해 설치하는 전력용 피뢰기는 발생된 서지를 흡수하여 전력계통에 미치는 영향을 감소 또는 제거하는 장치이다.<sup>(2), (3)</sup> 배전선로에 흔히 설치되는 갭리스형 ZnO 피뢰기의 전기적 특성을 파악하고 접지도선의 유도전압을 비교·분석하여 이를 바탕으로 피뢰기 설치에 적용할 수 있는 시공기술의 확보하며, 효과적인 피뢰기 접지도선의 설치기법을 구현할 목적으로 본 연구를 수행하였다. 접지도선을 피뢰침용 인하도록선인 낮은 특성임피던스의 케이블, GV선, 22.9(kV)용 CNCV 케이블 등 접지도선의 종류별 특성을 분석하였고, GV의 경우에는 금속전선관과 접지도선의 본딩유무, 케이블의 경우에는 Shield와 접지도선의 본딩유무에 따른 피뢰기의 보호효과를 검토하였다. 또한 리드선의 길이가 짧을 때와 길 때의 제한전압 특성을 비교하였고 접지도선의 본딩과 비본딩에 따른 제한전압의 특성을 분석하였다.

2. 이 론

뇌격전류가 피뢰기에 입사되었을 때 피보호기에 나타나는 제한전압( $V_R$ )은 식(1)과 같이 피뢰기의 제한전압( $V_a$ )과 도선의 인덕턴스에 의한 유도전압( $V_L$ ) 그리고 접지극의 과도임피던스에 의한 상승전압( $V_g$ )의 합으로 나타난다. 즉, 피보호기의 절연강도는 전체 전위상승분에 비해 크게 설계가 되어야 한다.<sup>(2)</sup> 피보호기의 절연은 접지임피던스가 작고 리드선의 인덕턴스가 작을수록 여유가 크다.



$V_0$  : 뇌임펄스전압       $i$  : 피뢰기의 방전전류  
 $V_R$  : 전체 제한전압       $V_a$  : 피뢰기의 제한전압  
 $V_{LL}$  : 리드선의 유도전압       $V_g$  : 접지극의 전압  
 $V_{GL}$  : 접지도선의 유도전압

그림 1 피뢰기시스템의 제한전압  
 Fig. 1 Limiting voltage of surge arrester system

그림 1에서 피보호기에 나타나는 제한전압을 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$V_R = V_L + V_a + V_g \quad (1)$$

$V_R$  : 전체 제한전압       $V_L$  : 도선의 유도전압  
 $V_a$  : 피뢰기의 제한전압       $V_g$  : 접지극의 전압

도선에 유도되는 전압은 식 (2)와 같이 도체의 자체 저항에 의한 전위상승과 인덕턴스에 의한 전위상승의 합으로 표현할 수 있다. 뇌격전류의 경우 매우 큰 파고치와 빠른 상승시간을 가지며, 도선의 저항에 의한 전위상승보다는 인덕턴스 성분에 의한 전위상승이 크게 나타나므로 피뢰기를 설치할 때에는 인덕턴스가 중요한 의미를 가지게 된다.

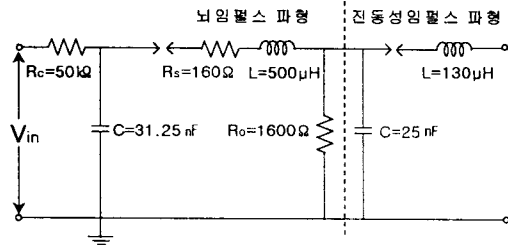
$$V_L = V_{LL} + V_{GL} + V_r = (LL + GL) \frac{di}{dt} + ri \quad (2)$$

도선은 그림 1과 같이 리드선( $L_L$ )과 접지도선( $G_L$ )으로 이루어지며, 이 도선의 인덕턴스에 영향을 미치는 인자는 도선의 종류, 굵기, 배치, 형상 등이 있다. 따라서 본 논문에서는 피뢰기 설치시 리드선의 길이, 형상과 접지도선의 종류 및 본딩조건이 도선의 유도전압 및 전체 제한전압의 특성에 미치는 영향을 비교·검토하여 피뢰기 보호특성의 향상을 도모할 효과적인 설치기법을 제안하고자 한다.

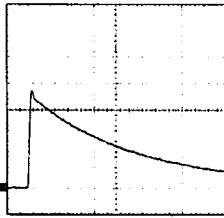
### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

피뢰기에 인가한 뇌임펄스전압과 진동성임펄스전압에 대한 등가회로와 그 파형을 그림 2에 나타내었다. 뇌임펄스전압은 Marx 발생기로부터 얻어지며, 진동성임펄스전압은 Marx 발생기에 직렬갭과 L, C를 접속하여 얻게 된다.

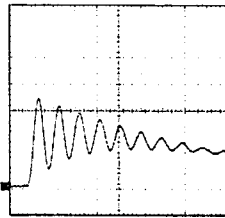


(a) 임펄스전압 발생장치의 등가회로



63[kV/div] 10[μs/div]

(b) 뇌임펄스전압



40[kV/div] 1[μs/div]

(c) 진동성임펄스전압

그림 2 시험전압 발생기의 등가회로 및 파형  
Fig. 2 Equivalent circuit of the test voltage generator and voltage waveform

#### 3.2 실험방법

피뢰기는 22.9[kV]용 산화아연형 피뢰기로, 정격전압이 18[kV]이고 공칭방전전류는 2.5[kA]이다. 접지도선은 전기설비 기술기준 제73조에 나오는 철근콘크리트주의 길이를 기준하여 20m로 정했으며, 특성임피던스가 낮은 케이블(LZC)과 접지공사에 사용하는 GV선, 22.9[kV]용 CNCV 케이블에 대하여 실험하였다. 분당조건에 따른 전기적인 특성을 조사하기 위해, GV전선의 경우 실험실내에서 다루기 용이한 38[mm] 가요전선관을 사용했다. 또한 리드선은 한국전력공사 배전분야 설계기준 3800(배전선 내뢰기준)에 따라 GV 22[mm]를 사용하였다.<sup>3)</sup> 인가전압은 분압기와 용량성 전계센서를 이용하여 동시에 측정하였고, 접지도선의 유도전압 측정은 고전압 프로브를 사용하였으며, 방전전류는 대전류 측정용 전류 센서를 이용하였다.

### 4. 결과 및 검토

#### 4.1 피뢰기의 전압-전류 특성

정격전압이 3[kV]인 ZnO바리스타가 6개 직렬로 연결된 22.9[kV]용 갭리식형 ZnO 피뢰기를 시험전압을 인가해 측정된 V-I 특성을 그림 3에 나타내었다.

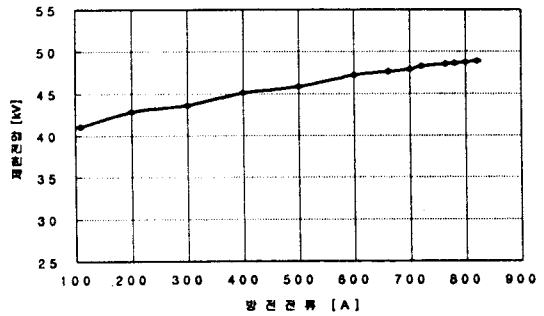
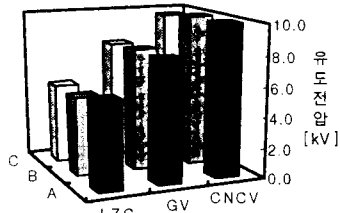
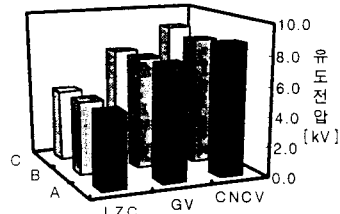


그림 3 ZnO피뢰기로 측정된 V-I특성  
Fig. 3 V-I characteristics of ZnO surge arrester used in test

#### 4.2 뇌임펄스전압에 대한 유도전압



(a) 접지도선 비분당

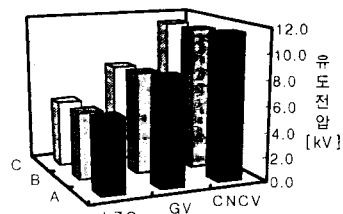


(b) 접지도선 분당

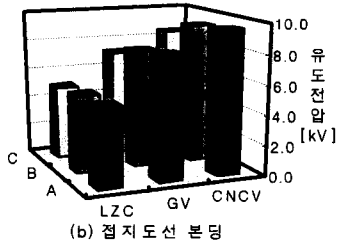
A : 직선, B : ㄷ모양, C : ㄱ모양  
그림 4 리드선 1m일 때 뇌임펄스전압에 의한 유도전압

Fig. 4 Induced voltages due to lightning impulse voltages as the length of a connecting line is 1[m]

1m인 리드선을 형상을 바꾸어 가면서, 20m의 접지도선을 GV, LZC, CNCV로 분류하여 종류별 특성을 분당조건에 따라 접지도선에 유도되는 전압을 그림 4에 나타내었다. 분당하지 않은 경우와 분당한 경우, LZC를 접지도선으로 사용하면 접지도선의 유도전압이 낮아 가장 효과적임을 알 수 있었다. LZC를 분당하지 않을 경우는 GV에 비해 31.7%, CNCV에 비해서는 44.8% 정도 유도전압이 낮아졌고, 분당할 경우에는 GV에 비해 34.4%, CNCV에 비해서는 43.4% 정도 유도전압이 낮아졌다. 방전전류가 1[kA] 흐르는 것을 기준으로 접지도선을 분당하면 분당하지 않았을 때보다 접지도선의 유도전압이 LZC의 경우에 10.4%, GV의 경우에는 6.7%, CNCV의 경우는 12.6% 낮아졌다.



(a) 접지도선 비분당



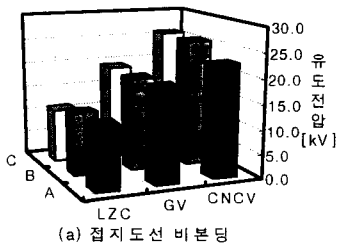
(b) 접지도선 본딩  
A : 직선, B : ㄷ모양, C : 꼬인모양  
그림 5 리드선 2.5m일 때 뇌임펄스전에 의한 유도전압

Fig. 5 Induced voltages due to lightning impulse voltages as the length of a connecting line is 2.5[m]

그림 5에 나타낸 바와 같이 접속선의 길이 2.5m인 실험에서도 LZC를 본딩하지 않을 경우는 GV에 비해 32.5%, CNCV에 비해서는 51.4% 정도로, 본딩할 경우에는 GV에 비해 33.7%, CNCV에 비해서는 43.9% 정도 유도전압이 낮아졌다. 또한 접지도선을 본딩하면 본딩하지 않았을 때보다 접지도선의 유도전압이 LZC의 경우에 7.4%, GV의 경우에는 5.7%, CNCV의 경우는 19.8% 낮아졌다.

### 4.3 진동성임펄스전압에 대한 유도전압

그림 6에 나타낸 바와 같이 진동성임펄스전압에 대해서는 본딩하지 않은 경우에 유도전압이 LZC가 GV보다 35.5%, CNCV보다는 50.2% 낮아졌고, 본딩한 경우에도 LZC는 GV보다 26.6%, CNCV에 비해 58.3% 낮아졌다. 즉, 진동성임펄스전압을 피뢰기에 인가하는 이 실험에서도 GV나 CNCV보다 LZC를 접지도선으로 사용하는 것이 유도전압을 효과적으로 낮출 수 있다는 결과를 얻었다.

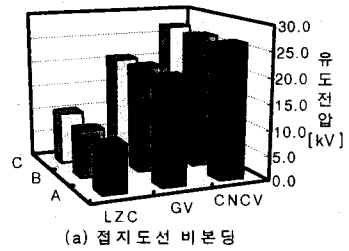


(a) 접지도선 비본딩  
(b) 접지도선 본딩  
A : 직선, B : ㄷ모양, C : 꼬인모양  
그림 6 리드선 1m일 때 진동성펄스전압에 의한 유도전압

Fig. 6 Induced voltages due to oscillating impulse voltages as the length of a connecting line is 1[m]

진동성임펄스전압을 리드선 길이 1m로 설치한 피뢰기

에 인가하여 접지도선을 본딩한 것과 본딩하지 않은 것을 비교하면 본딩을 하는 것이 LZC의 경우에는 31.6%, GV의 경우 39.9%, CNCV의 경우 18.2% 유도전압이 낮아져 본딩이 피뢰기 성능에 효과적임을 확인했다.



(a) 접지도선 비본딩  
(b) 접지도선 본딩  
A : 직선, B : ㄷ모양, C : 꼬인모양  
그림 7 리드선 2.5m일 때 진동성펄스전압에 의한 유도전압

Fig. 7 Induced voltages due to oscillating impulse voltages as the length of a connecting line is 2.5[m]

그림 7에 나타낸 바와 같이 리드선 2.5m인 진동성임펄스전압에 대한 실험에서도 LZC가 본딩하지 않은 경우는 GV에 비해 53.2%, CNCV에 비해서는 63.3% 유도전압이 낮아졌고, 본딩한 경우에는 GV에 비해 43.1%, CNCV에 비해서는 60.1% 정도 낮아졌다. 리드선을 2.5m로 설치한 피뢰기에 인가하는 실험에서도 본딩조건에 대하여 비교하면 본딩하는 것이 LZC의 경우에 12.9%, GV 경우는 28.3%, CNCV의 경우에는 19.8% 접지도선의 유도전압이 낮아졌다.

## 5. 결 론

피뢰기의 보호효과의 향상을 위한 접지도선 설치기법의 제안을 목적으로 배전용 ZnO피뢰기에 뇌임펄스전압과 진동성임펄스전압을 인가하여 접지도선의 유도전압을 측정하여 분석한 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 접지도선으로는 특성임피던스가 낮은 케이블이 가장 효과적이다.
- (2) 접지도선을 금속전선관 또는 Shield와 본딩하면 접지도선에 유도되는 전압이 낮아져 피뢰기의 보호효과가 향상된다.
- (3) 리드선의 길이는 짧게 하는 것이 유리하며, 리드선은 직선으로 연결해야 한다.

### (참 고 문 헌)

[1] 한국전력공사, "장기 송전선 설비계획", pp.239, 2001. 3.  
[2] 李福熙, "高電壓大電流工學", 淸文閣, pp.64~69, 1993.  
[3] 배전 설계기준(3800) : "배전선 내뢰기준(잠정)", 한국전력공사, 1995.