

**송전선로 피뢰기 적용 및 외부 갭형과 갭리스형의 동작특성 비교**

유희영\*, 김중채\*\*, 김병현\*\*\*, 박윤석\*\*, 이봉희\*  
 한전 중앙교육원 송변전교육팀\*, 송변전운영처\*\*, 전력연구원\*\*\*

**Comparison on Characteristics between air-gap type and gapless In transmission LA**

**You HeeYoung\***, Kim Jongchae\*\*, Kim Byeongheon\*\*\*, Park Yoonseok\*\*, Lee BongHee\*,  
 Korea Electric Power Corporation CEI\*, Transmission Division\*\*, KEPRI\*\*\*

**Abstract** - This paper presents the use of Line Surge Arresters on 154kV double circuit lines. The outage rate which is highly related to the tower footing resistance is showed during the last a few year. The general methods that have been adopted at lines also are introduced. Lightning performance of lines without and with line surge arrester is studied and compared. The characteristics between air-gap type and gapless type LSA also compared. Line surge arrester installation strategy is presented.

구조역학에 변경을 수반하게 되므로 비용측면에서 부담이 증가하게 된다.

**1. 서 론**

최근 지구온난화 등 환경변화 요인으로 낙뢰에 의한 송전선로 고장이 증가하고, 접지저항이 기준치 이하인 첩탑에서도 낙뢰고장이 지속적으로 증가하여 송전선로용 피뢰기 적용을 검토하였다. 먼저, 일반적인 낙뢰고장 저감을 위한 접지저항 저감, 가공지선 다조화, 2회선 선로의 차등절연, 속류차단형 아킹혼 등 기술현황과 외국 전력회사에서 적용사례를 조사하였다.

**2.2.3 2회선 선로의 차등절연**

2회선 송전선에서의 절연수준(에자수량)을 달리하면 뇌격 침입시 절연 내력이 낮은 쪽으로 섬락이 선행하게 되어 2회선 동시 트립을 억제하는 방법이다. 그러나 한쪽의 에자수량을 기준 설계보다 늘리는 것은 한계가 있다. 일본의 호쿠리쿠 전력사에서는 기준 설계보다 한쪽 회선의 에자를 줄이는 방법으로 차등절연방법을 시도한 바 2회선 동시 사고는 감소하나 전체 고장발생이 오히려 증가하는 결과를 보여주었다. 그러나 현재는 전체 고장 건수의 증가로 차등절연 방법을 채택하고 있지 않는다. 일본 규슈 전력사에서는 220kV 및 500kV 선로 일부에 적용하고 있다.

송전선로용 피뢰기의 V-T특성 및 Air-gap형과 gapless형 송전선로용 피뢰기의 동작특성을 비교하였다. 또한 설치 전후의 낙뢰사고 발생건수를 조사하였다, 본 검토를 통해 송전선로용 피뢰기의 효과가 입증되었고, 계통운영상 Air-gap형을 설치하는 것이 유리함을 제시하였다.

**2. 본 론**

**2.1 최근 낙뢰로 인한 송전선로 건수**

〈표 1〉 낙뢰고장 발생건수

구 분	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	연평균
낙뢰고장(건수)	186	142	205	269	358	339	463	280.29
점유율(%)	63.1	57.7	53.5	67.9	80.6	80.1	82.9	69.40

최근의 낙뢰로 인한 송전선로 고장건수를 조사하였으며, 위표에 나타나 있는 것과 같이 증가추세에 있다.

**2.2 송전선의 낙뢰 고장 대책 및 기술현황**

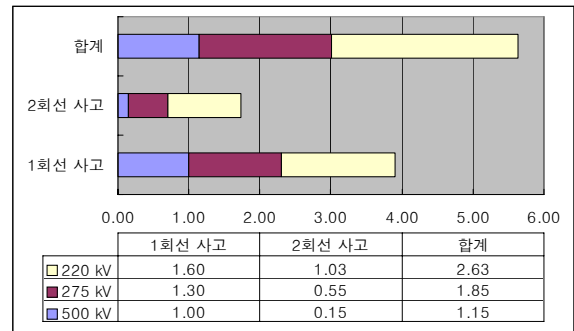
송전선에 고장을 일으키는 낙뢰에 대한 대책으로는 절연보강, 아킹혼 설치, 송전첩탑의 접지저항 저감, 가공지선 설치, 설치 차폐각 감소 및 다조 설치, 2회선 송전선에서 차등 절연등이 있다. 이러한 전통적인 방법은 개선효과는 있으나 충분한 것으로 평가되고 있지는 않다. 송전선로에 피뢰기를 응용할 경우 기존의 방법보다 탁월한 사고감소 효과가 있는 것으로 보고 되고 있다.

**2.2.1 접지저항의 저감**

첩탑의 접지저항은 가능한 한 낮게 유지되는 것이 낙뢰고장발생을 억제하기 위한 기본이 된다. 탑각 접지저항의 저감은 저항률이 높은 산악지를 많이 통과하는 우리나라 송전선의 여건상 어느 정도 이하로는 낮추기가 어려우며 설계기준 이하로 저항을 유지하는 경우에 있어서도 낙뢰에 의한 고장이 발생하고 있는 실정이다. 접지 저항을 개선하기 위하여 침상 접지봉이나 도전성 콘크리트를 이용하기도 한다.

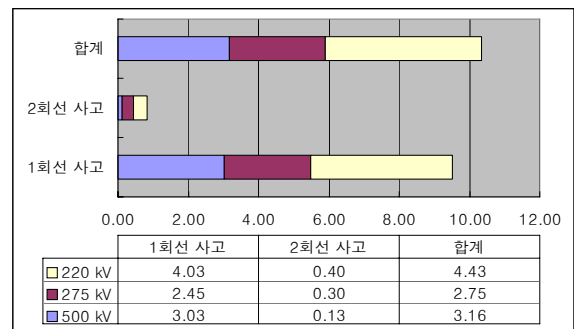
**2.2.2 가공지선 설치 및 다조화**

가공지선은 뇌격 전류를 분산시켜 첩탑의 전위 상승을 낮출 수 있으며 다조로 설치될수록 섬락고장 발생확률을 감소시킬 수 있다. 또한 전력선에 대하여 차폐각을 줄여 줄수록 전력선에 뇌격이 직격하는 확률을 억제할 수 있다. 기설 선로에 가공지선을 설치하거나 추가하는 경우 첩탑



〈그림 1〉 균등절연 시스템의 사고 발생률

(500kV 선로의 사고 기준) 일본 호쿠리쿠 전력 자료



〈그림 2〉 차등절연 시스템의 사고 발생률

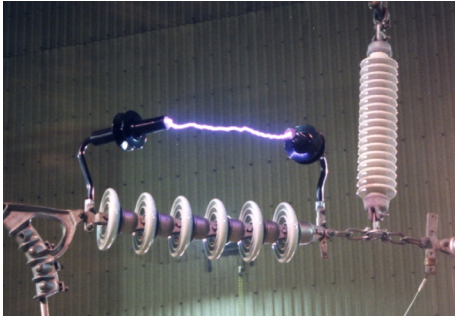
(500kV 선로의 사고 기준) 일본 호쿠리쿠 전력 자료

**2.2.4 아킹혼**

뇌격에 의한 아크(Arc)로부터 애자련을 보호하기 위하여 아킹혼을 설치하면 순간고장의 발생이 증가 할 수 있지만 영구 절연사고가 감소하는 효과가 있다.

**2.2.5 속류차단형 아킹혼**

일본의 전력중앙연구소(CRIEPI), 도쿄전력, 칸사이, NIPPON KATAN 사는 공동 연구를 통하여 송전선로용 피뢰기에 필적할 만한 전류를 차단능력이 있는 특수 아킹혼 장치를 개발하였다. 이 장치는 66 kV, 77 kV 송전선로에 사용가능하며 실효 값으로 10 kA(최대 25 kA)의 단락 전류를 1주기(50 Hz 기준)내에 차단할 수 있는데 피뢰기에 비하여 상대적으로 저렴한 비용상의 장점을 갖는다.



〈그림 3〉 속류차단형 아킹혼

칸사이 전력은 2003년도에 약 1,000세트를 설치하여 1년간 운영중에 있으며, 도쿄 전력은 2004년도에 3,000 여개의 세트를 설치 운영을 시작하였다. 그러나 154 kV 이상의 송전망을 갖고 있는 국내 실정에는 사용이 가능하지 않은 장치이다.

### 2.3 송전선로용 피뢰기

이러한 통상적인 방법이 추가하여 송전선에 피뢰기를 설치하여 낙뢰에 의한 고장을 감소시키려는 연구가 미국, 프랑스, 일본 등에서 지난 수십 년간 계속되어 왔다. ZnO 소자를 이용한 갭리스(gapless) 자기재(porcelain-housed) 피뢰기는 저전압에서부터 송전급의 고전압영역까지 만족할 만한 신뢰도를 보여주며 발전소나 변전소등에서 사용되고 있다. 주요 제작사들의 자기재 피뢰기는 안정적인 성능을 보여주고 있으나 무게와 폭발시의 파편비산에 따른 안정성의 문제로 인하여 송전선로와 같은 영역에 사용이 불가능 하였었다. 그러나 피뢰기의 ZnO 소자를 가벼운 폴리머 재료로 패키징 할 수 있게 되면서 피뢰기를 송전선로와 같은 분야로 영역을 넓힐 수 있게 되었다. 하우스의 재료로 갭형 피뢰기는 폴리머 재료를 갭리스형 피뢰기는 자기재 또는 폴리머를 이용한다.

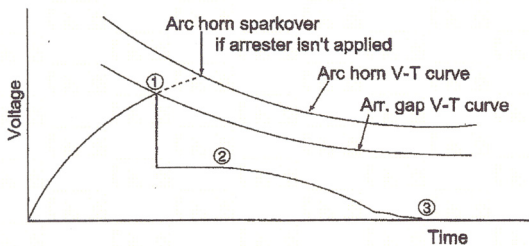
송전선로용 피뢰기는 일반적으로 갭(gap)형과 갭리스(gapless)형의 2 종류로 나누어진다. 근래 일본에서는 산화아연 소자를 폴리머하우스에 내장한 송전선로용 갭형 피뢰기가 500 kV급까지 개발되었다. 현재 상업용으로 제품은 일본의 NGK, TM T&D사 등에서 갭타입을, 유럽의 ABB에서는 갭리스형의 제품을 생산 판매하고 있다. 일본외에도 미국, 브라질, 남아프리카공화국, 멕시코, 대만, 홍콩, 태국, 말레이시아가 송전선로용 피뢰기를 사용하고 있다. 1998년부터 프랑스의 RTE 에서는 90 kV 및 275 kV 급의 갭형의 피뢰기를 적용하기 시작하였으며 66 kV 급의 갭리스형도 자체 개발하여 사용하고 있다.

일본의 전력회사에서는 갭형의 피뢰기를 대부분 사용하고 있는데, 갭형은 피뢰기 자체고장에 의한 최악의 조건에서도 송전선의 운영을 가능케 하여 기설 송전선로의 신뢰도에 영향을 미치지 않으며, 보다 콤팩트한 설계가 가능한 장점에 기인한다.

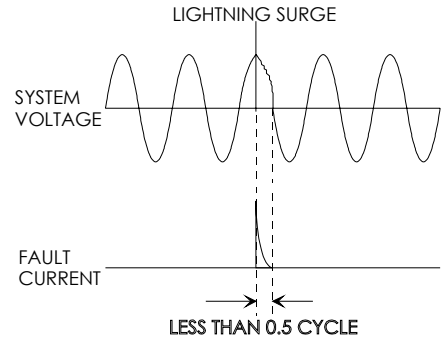
발전소나 변전소에 널리 쓰이고 있는 것과 같은 갭리스형의 피뢰기로는 미국 America Electric Power 사의 800 kV 선로에 사용된 1998년 ABB 제품의 적용사례가 있으며 이 갭리스형의 피뢰기는 장거리 EHV 선로에 설치되어 개폐 과전압을 억제하는 목적으로 사용되었다. 또한 갭리스형 피뢰기는 뇌격이나 개폐등의 과전압을 억제하는 기능의에 송전철탑의 콤팩트 설계등에 응용이 제안되고 있기도 하다.

#### 2.3.1 V-T 곡선 비교

송전선로의 아킹혼의 V-T 곡선과 LA가 취부시 V-T 곡선의 특징은 아래그림에서 보는 바와 같이 Arc horn 간격보다 피뢰기의 Air-gap이 작기 때문에 뇌격시에 의한 철탑전압상승시 아킹혼 섬락전압이전 Air-gap를 통하여 뇌방전이 일어난다.



〈그림 4〉 V-T 곡선 비교



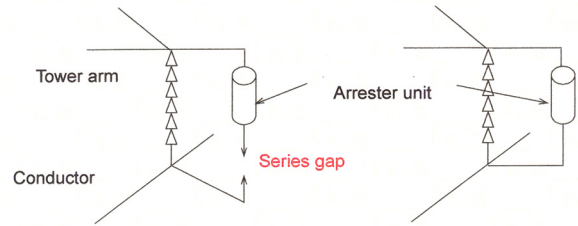
〈그림 5〉 송전용피뢰기의 고장전류 차단 시간 및 파형

적당한 TLA를 적용하여, 아킹혼과 도체사이의 역섬락은 대부분 방지될 수 있다. 낙뢰가 가공지선이나 철탑에 철택 때, 피뢰기와 아킹링사이 에 sparkover 일어난다. ZnO 소자의 비선형특성에 의해, 아킹혼과 도체사이의 전압은 섬락이 일어나지 않을 정도로 제한된다. 도체쪽으로 흐르는 뇌격전류는 ZnO 특성에 의해 감소될 것이고, 몇ms 안에 소멸될 것이다.

#### 2.3.2 Air-gap형과 Gapless형 비교

송전선로용 피뢰기는 아래와 같이 크게 두가지로 분류할 수 있으며 특성요소는 두가지 모두 ZnO를 사용하며, 외형상의 차이는 갭리스타입이 Air-gap 타입보다 길다.

Air-gap 타입의 경우는 방전에 따른 열화는 고려하지 않으며, 갭리스 타입은 고려한다. 피뢰기 고장시 Air-gap 타입은 뇌격시에 의한 방전후 속류가 흐르고 계전기동작에 의해 차단기 트립 후 재폐로시 직렬갭만으로 계폐쇄를 감당할 수 있으므로 재폐로 성공한다.



〈그림 6〉 송전선로용 피뢰기의 Air-Gap 타입과 Gapless 타입

Air-gap 타입과 비교하여 갭리스 타입 피뢰기의 경우는 속류가 흐르고 차단기 트립 후 재폐로시 피뢰기를 통한 고장이 지속되어 재폐로는 실패하게 되고 이와 같은 이유에서 별도의 분리장치가 필요하다.

#### 2.3.3 설치효과

〈표 2〉 설치전,후 고장을

구 분	2회선 고장		1회선 고장	
	설치 전	설치 후	설치 전	설치 후
낙뢰고장율 (건/년 · 100km)	3.95	0	3.20	2.62

## 3. 결 론

송전선로 낙뢰고장 발생을 저감하기 위해 송전선로용 피뢰기 설치전 후의 낙뢰고장 발생건수를 조사함으로써 적용효과가 입증되었고 기술적으로 송전선로용 피뢰기의 동작특성, 특히 Air-gap형과 gapless형 피뢰기의 계통운영상 특성을 비교해 보았다. 송전선로 재폐로 운전 등 고려 계통운영상 Air-gap형 피뢰기를 적용함이 유리하다. 경제적 측면에서 상대적으로 유리한 속류차단형 아킹혼에 대하여 설치운영 검토의 필요성이 있다고 본다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 전력산업연구개발사업보고서, 한국전력공사 전력연구원 "154kV 송전선의 낙뢰에 의한 2회선 동시 Trip 방지 대책" 2004년
- [2] 심용보, 우정욱, "154 kV 송전선에 피뢰기 설치시 내뢰성 향상효과모의", 대한전기학회 하계학술대회 논문집. pp.1642 ~ 1644, 1997