

## 송전선로용 피뢰기의 전기적 특성 평가

김석수, 허종철, 문인욱, 오창수\*  
한국전기연구원, 한국전력공사\*

### Electrical Characteristics Evaluation of Transmission Line Arresters

Seok-Sou Kim, Jong-Cheol Heo, In-Wook Mun, Chang-Su Oh\*  
KERI, KEPCO\*

**Abstract** - It has been reported that more than 50% of breakdown in transmission line for 154kV and above is due to lightning stroke. The flashover failure due to lightning stroke causes outage, voltage drop and instantaneous outage. Therefore line arrestors have been used in transmission line for protection from lightning stroke. In this paper, we describes electrical characteristics and performance test of line arrester for transmission line.

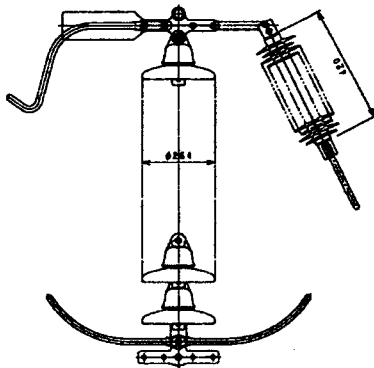
#### 1. 서 론

송전 계통에서 발생하는 이상전압은 주로 차단기의 투입 또는 개방시 나타나는 개폐서지와 송전선로에 뇌운의 근접에 따른 유도뢰 또는 직격뢰에 의한 뇌 서지로 구분되며 특히 154kV 이상의 송전선로에서는 뇌격에 의한 고장 발생빈도가 많은 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다. 뇌 Surge가 송전선로 또는 철타에 유입되면 뇌격전류가 접지를 통해 방전하면서 접지저항 즉 방전회로상의 임피던스에 따른 과전압이 발생하고, 이 과전압이 송전선로의 절연내력보다 커지면 절연파괴로 인한 섬락사고로 이어져 정전, 전압강하 또는 순간정전 등으로 전력계통의 전력품질의 저하와 신뢰성을 떨어뜨린다. 이러한 낙뢰에 대한 대책으로 철타의 접지저항을 저감시키거나, 가공지선을 다조화 하고 2회선 송전선로는 차등절연을 하는 등의 대책이 있으나, 접지저항의 저감과 차등절연에는 한계가 있으므로 낙뢰에 대한 또 다른 대책으로 송전선로에 피뢰기를 설치하는 방법을 채택하고 있다. 송전선로용 피뢰기는 Gap type과 Gapless type의 2종류로 나누어지며 유럽 등 많은 나라에서 채택하여 운용중이거나 시험적용하고 있다. 국내의 경우에도 Gap type 송전선로용 피뢰기를 도입하여 시험적용 단계에 있다. 따라서 본 논문에서는 국내에 적용이 가능한 Gap type 송전선로용 피뢰기의 전기적 특성과 성능평가에 대해 고찰하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 송전선로용 피뢰기의 구조와 성능

송전선로용 피뢰기의 구조는 gap type은 철타 암에 설치된 피뢰기와 송전선로 측 도체사이의 series gap으로 구성되고, gapless type은 철타 암과 도체사이에서 피뢰기와 회로 분리장치인 disconnector로 직접 연결된다. gap type의 장점으로는 피뢰기 내부고장 즉 영구 지락상태가 되어도 series gap에 의해 절연이 유지되므로 강제송전이 가능하고, 선로로부터 상시 개방상태이므로 피뢰기에는 과전열화가 없으며 폴리머 복합소재 용기의 사용으로 경량화가 가능하나, 피뢰기가 동작시 특성요소(ZnO 소자)에 속류가 유입되는 단점이 있다. gapless type은 피뢰기 동작시에 속류가 없으나, 내부고장상태가 되면 강제송전이 불가능하므로 disconnector가 필요하며 피뢰기가 선로에 직결되어 있으므로 상시과전에 따른 열화를 고려하여 피뢰기의 소자 수량을 증가시켜야 하고, 자기재 애관의 사용으로 오손설계가 필요하며 경량화가 어렵다. 그림 1은 gap type 송전선로용 피뢰기의 형상이다.



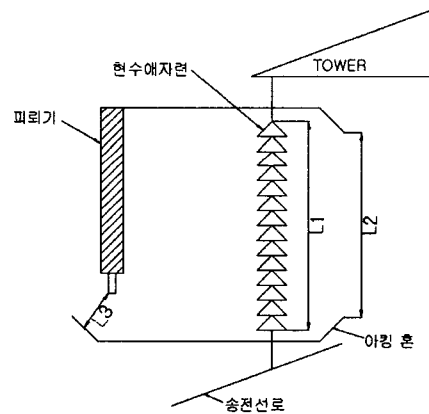
〈그림 1〉 77kV급 gap type 송전선로용 피뢰기의 형상

송전선로용 피뢰기의 주요 성능으로 피뢰기 본체는 건조 또는 오손습윤 상태에서도 뇌찌지를 제한하고 속류를 차단하여 연속 사용 가능한 절연강도와 본체 각 부는 풍압하중, 전선 및 철타의 진동 등에 대한 기계적 강도를 지녀야 한다. 또한 지락, 상간 단락 등의 고장이 발생하여도 피뢰기는 폭발, 비산하지 않도록 방압 및 내아크 성능을 지녀야 한다. 피뢰기 내부에 적용된 ZnO 소자는 경격전압이 인가된 상태에서 반복 동작하여도 속류를 확실 히 차단하고, 특성에 변화가 없어야 한다. 송전선로용 피뢰기의 장치는 현수 및 내장철타에 모두 적용이 가능하여야 하며 표 1의 절연강도를 지녀야 한다.

〈표 1〉 송전선로용 피뢰기 장치의 절연강도

시험항목	장치상태	기준전압치	
		건조	주수
상용주파내전압	피뢰기+series gap	144kV, 1분	144kV, 10초
	series gap	144kV, 1분	144kV, 10초
개폐충격전압 (주수)	피뢰기+series gap	-	458kV
	series gap	-	347kV

그림 2는 피뢰기와 애자장치와의 절연협조 관계를 나타낸 것이며, 철타에 뇌격이 침입하면 현수에자련 간극(L1)과 아킹 혼 간극(L2)쪽으로 섬락이 일어나지 않고, 반드시 series gap에서 섬락이 일어나도록 gap 간극(L3)를 조정하여 애자장치와 절연 협조를 이루어야 한다. 표 2는 국내에 적용할 절연 협조 조건을 나타내었다.



〈그림 2〉 송전선로용 피뢰기의 절연협조 관계

〈표 2〉 절연협조 조건

구분	파형 및 설치조건	
뇌충격전압(주수상태)	상승률	1 500kV/μs
	아킹 혼 간격	1 120 mm
애자장치	점퍼선 간격	6 m
	series gap 간격	630 mm

TLA의 장치 또한 풍압 및 진동 등의 기계적 강도와 유해한 코로나, 노이즈를 발생하지 않아야 하며, 장기간 사용에 대한 전기적, 기계적으로 충분한 내구성을 지녀야 한다. 송전선로용 피뢰기의 성능평가 항목으로는 크게 본체시험, 장치시험과 금구류시험으로 나눌 수 있으며, 본체에 대한 시험항목은 외관 구조, 절연저항, 누설전류, 동작개시전압, 상용주파내전압, 뇌충격내전압, 제한전압, 뇌찌지동작책무, 방전내량, 방압, 내아크, 진동, 인장, 굽힘, 내열화성시험이 있다. 장치에 대한 시험항목은 외관 구조, 상용주파내전압, 개폐충격내전압, 절연협조, 속류차단, 코로나특성시험이 있으며, 금구류 시험은 외관 구조 및 도금시험이 있다.

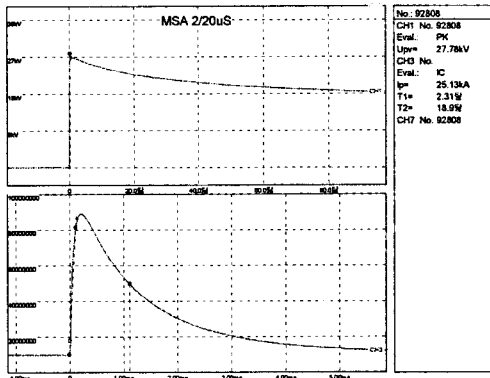
**2.2 송전선로용 피뢰기(TLA)의 전기적 특성 평가**

TLA의 전기적 특성 평가는 피뢰기의 특성요소에 대한 제한전압시험과 피뢰기 하우징에 대한 절연강도시험 및 장치에 대한 절연협조시험을 비롯한 일부항목에 대해 실시하였으며, 본 성능평가에 사용된 TLA의 정격 및 기준사양은 표 3과 같다.

**<표 3> TLA의 정격 및 기준사양**

시스템전압	77kV	154kV
정격전압(Ur)	80.5kV	161kV
공칭방전전류(2/20 $\mu$ s)	10kA	10kA
최대방전전류(2/20 $\mu$ s)	25kA	25kA
제한전압(at 2/20 $\mu$ s, 10kA)	210kV	420kV
제한전압(at 2/20 $\mu$ s, 25kA)	250kV	500kV
방압성능(High current)	40kA, 0.2s	40kA, 0.2s
방압성능(High current)	400A, 2s	400A, 2s
분할구분 정격	10.1kV	10.1kV

제한전압시험은 ZnO 소자로 15kA, 20kA, 25kA의 전류에서 2/20 $\mu$ s 파형으로 시험하였으며 측정된 파형은 그림 3과 같으며, 그 결과는 표 4에 나타나 있다.



**<그림 3> 제한전압시험 파형**

**<표 4> 제한전압시험 결과**

시험파형( $\mu$ s)	방전전류(kA)	제한전압(kV)
2.29/19.8	15.05	24.83
2.14/19.0	20.11	26.06
2.31/18.9	25.13	27.34

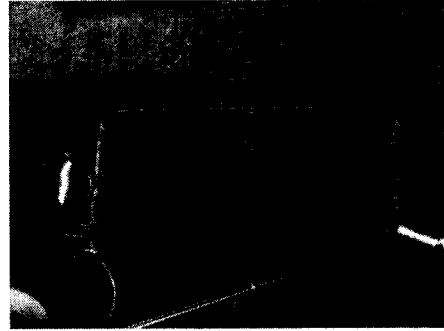
피뢰기 본체의 하우징에 대한 상용주파수내전압은 시험전압 80.5kV에서 2초간, 뇌충격주파수내전압시험은 시험전압 244kV 정·부 양극성 각 5회 실시하여 섬락 또는 puncture가 일어나지 않았다. 본체에 대한 개폐충격주파수 섬락전압시험은 250/2500 $\mu$ s의 파형으로 시험하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

**<표 5> 개폐충격주파수섬락전압시험 결과**

정격	애자런	피뢰기상태	Gap 간격 (mm)	측정전압(kV)	
				정극성	부극성
77kV	현수형	short	400	232.2	223.3
			630	362.1	404.6
			650	381.0	-
			500	-	312.3
			650	552.3	616.9

상용주파수내전압시험에서 애자장치는 현수형으로 하였으며 77kV 정격은 gap 간격 350mm, 시험전압 80.5kV에서 2초간, 154kV 정격은 gap 간격 630mm 시험전압 161kV에서 2초간 시험하여 모두 이상이 없었다. 뇌충격 절연협조시험은 애자장치를 내장형으로 하고 3mm/mim 주수조건하에서 상승률 1500kV/ $\mu$ s 파형으로 77kV 정격은 gap 간격 400mm, 154kV 정격은 gap 간격 650mm로 하여 정·부 양극성 각 5회 실시하였으며, 그 결과는 그림 4와 같이 아킹 혼으로 섬락하지 않고 매회 피뢰기와 series gap 쪽으로 섬락이 일어났다.

코로나특성시험의 애자장치는 현수형으로 하였으며 주수조건하에서 77kV 정격은 gap 간격 350mm, 시험전압 80.5kV 주파수 1MHz, 154kV 정격은 gap 간격 630mm, 시험전압 161kV 주파수 1MHz에서 시험하여 가시코로나가 발생하지 않았으며, 측정된 RIV 값은 77kV 정격에서 최대 44dB, 154kV에서는 최대 56.3dB로 모두 이상이 없었다.



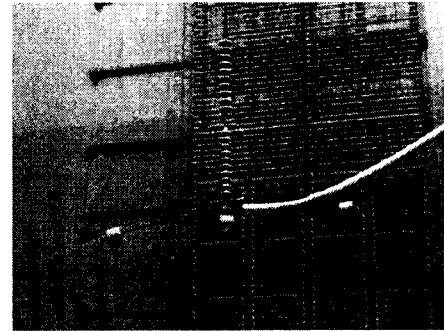
**<그림 4> 154kV 절연협조시험의 series gap 섬락 장면**

추가적으로 TLA에 대한 뇌충격전압시험과 아킹 혼에 대한 뇌충격전압시험을 실시하였다. 먼저 TLA에 대한 뇌충격전압시험은 1.2/50 $\mu$ s의 파형으로 시험하였으며 그 결과는 표 6과 같다.

**<표 6> 뇌충격전압시험 결과 - TLA**

정격	애자런	피뢰기상태	Gap 간격 (mm)	측정전압(kV)	
				정극성	부극성
77kV	내장형	No short	350	332.6	362.4
154kV	내장형	No short	630	603.0	636.1

아킹 혼에 대한 뇌충격전압시험은 그림 5와 같이 피뢰기 본체를 설치하지 않은 상태에서 1.2/50 $\mu$ s의 파형으로 시험하였으며 그 결과는 표 7과 같다.



**<그림 5> 아킹 혼에 대한 뇌충격전압시험 장면**

**<표 7> 뇌충격전압시험 결과 - 아킹 혼**

정격	애자런	아킹 혼 간격 (mm)	측정전압(kV)	
			정극성	부극성
154kV	현수형	1204	768.7	740.9

**3. 결 론**

ZnO 소자에 대한 제한전압특성을 평가한 결과 2/20 $\mu$ s, 15kA에서 측정된 제한전압치(24.83kV)를 국내에 적용할 154kV로 환산하면 397kV로서, 국내 적용 기준치인 420kV(at 10kA)이하이므로, 본 평가에 사용된 ZnO 소자는 송전선로용 피뢰기의 내부 특성요소로서 국내 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 피뢰기 하우징의 절연시험, 개폐충격주파수섬락전압시험 및 애자장치에 대한 각 항목의 시험결과도 gap 간격과 아킹 혼의 간격을 조정하고, 그에 따른 금구의 형상과 설계를 고려한다면 성능과 신뢰성이 우수한 송전선로용 피뢰기의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 김석수, 이강섭의 3명 "arrester용 surge counter의 동작특성" 2004 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문지 pp. 30-33 .
- [2] Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, IEC 60099-4, 2004. 5.
- [3] 154kV 송전선의 낙뢰에 의한 2회선 동시 Trip 방지대책 한전전력연구원 보고서, 2004. 10.
- [4] 송전용피뢰장치의 개발상황과 적용효과 일본 전기학회기술보고서 367호, 1991. 04.
- [5] ES 131 송전선로용 피뢰기- 한전일반구매규격 송변전처 송전운영팀, 2005. 04.
- [6] 送電用 低責務形 避雷裝置 - 日本 中部電力 標準仕様書
- [7] 簡易形送電用避雷裝置 - 日本 中國電力 標準仕様書