

# 154kV 송전선로용 피뢰기 현장 설치 효과 분석

최한열\*, 민병욱, 박순규, 이봉희, 곽주식

한국전력공사, 한국전력공사, 한국전력공사, 한국전력공사.

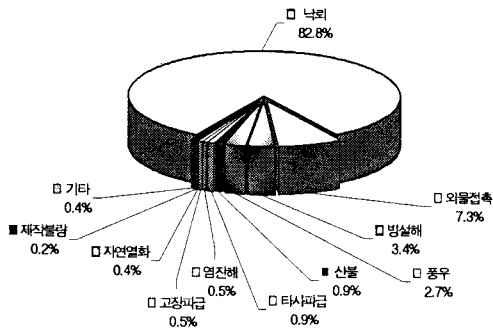
## Study on the effects of lightning arrestors installment on a 154kV transmission system

Han-Yeol Choi\*, Byeong-Wook Min, Soon-Kyu Park, Bong-Hee Lee, Joo-Sik Kwak  
Korea Electric Power Corporation\*

**Abstract** - Lightning has been identified as one of the leading causes of outages on transmission and distribution systems. To protect the transmission and distribution line from lightning, the transmission lightning arrestor can be the effective facility on the power system. This paper will discuss Gapped type Arresters application results by analysing effects of lightning arrestors on transmission and distribution line.

### 1. 서 론

수많은 뇌격 관련 보고서에 기술된 것과 같이 송전선로에서 일어나는 모든 갑작스런 정전 고장의 65%는 대략 낙뢰(lightening)에 의한 것이다. 이러한 현상은 전력공급 회사들에 많은 문제를 일으키고 있다. 한국은 국토의 70%가 산악지로 구성되어 있어 대부분의 송전철탑들이 야산에 건설되어 있기 때문에 특히 암반이 많은 지형에서는 철탑의 탑각저항이 상대적으로 높은 편이다. 이러한 지형조건으로 인해 한전의 송전설비 전체고장 중 뇌격이 차지하는 비중은 80%를 넘는다[1].



<그림 1> 전체 설비별 고장 현황

낙뢰로 인한 송전선로의 고장감소를 위해 설계 과정에서 절연이격거리의 증가와 철탑 기초의 집지 저항을 낮추기 위한 토목공사 및 대부분 2조의 가공지선을 채택하고 있으며 3조를 시설하는 경우도 있다. 또한 다회선 송전선로의 차등절연이 적용되고 있다. 그러나 위에 나열된 이러한 방식으로 모든 상황을 다 해결할 수는 없다.

송전선로 고장은 보호계통에 의해 순서로 고장이 제거되지만 순간전압 강하 등으로 전력품질의 저하를 가져온다. 전력회사들은 송전선로에서 낙뢰로 인해 발생하는 순간고장으로부터 전력망에서의 일시적 전압 강하 때문에 야기되는 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 방법들을 모색해 왔다. 특히 송전선로에서 이러한 일시적 정전이나 전압강하 또한 낙뢰 발생빈도가 높은 지역에서의 높은 철탑접지저항을 갖고 있는 곳의 설비는 더욱 위험해 질 수 있다.

한국전력은 <표 1>에 나타난 것과 같이 29,635km 회선길장의 송전선로를 운영하고 있다. 154kV의 송전선로는 66%의 설비 점유율을 보이고 있으며, 345kV나 765kV와 같은 높은 전압의 송전선로에 비해 상대적으로 절연저항이 짧아 뇌격 전류의 피해를 입기가 쉽다.

<표 1> 송전설비 현황

구 분	2007년	'08. 7
송전설비(c-km)	765kV	755
	345kV	8,284
	154kV 이하	20,487
	소 계	29,526
		29,635

이 논문은 154kV 송전선로에서의 피뢰기 설치 후의 선로의 낙뢰 고장 실적 통계를 분석하고, EMTP 시뮬레이션 분석을 통해 섬락 임계 뇌격전류의 계산, 피뢰기 동작전류 분석, KLDNet 관측기록 및 낙뢰표시기 동작 기록과 비교분석을 통하여 현장 적용 결과를 제시 하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 차등절연

표준 송전선로에서 회선당 12개의 애자를 갖춘 철탑구조에서 뇌격의 실적은 <표 2>과 같이 주어진다[2]. 차등절연은 두개의 전력선 압축 한쪽 편 회선의 전력선 앞에 2, 4 그리고 6개의 애자를 추가하는 방식을 취했다. 이 같은 구조에서 낙뢰의 실적은 <표 3, 4> 그리고 <표 5>와 같다[2].

<표 2> 표준 절연 선로 뇌격고장(FLASHES/100km/year)

R	Standard configuration				
(Ω)	ICF	IICF	DCF	TOT	%DC
10	0.78	0.78	0.102	1,451	7.02
20	1.35	1.35	0.33	2,37	13.98
30	2.47	2.47	0.74	4,20	17.57
40	4,072	4,072	1.70	6,44	26.48
60	7.99	7.99	4.15	11.83	35.05
80	12.28	12.28	7.23	17.33	41.70

<표 3> 차등 절연 선로(표준+애자 2장) 뇌격고장(FLASHES/100km/year)

R	-2 discs configuration				
(Ω)	ICF	IICF	DCF	TOT	%DC
10	0.69	0.81	0	1.50	0
20	0.89	1.53	0.20	2.21	9.19
30	1.14	3.36	0.46	4.05	11.32
40	1.50	5.67	0.81	6.36	12.80
60	2.72	10.56	2.04	11.25	18.10
80	4.17	16.26	3.49	16.95	20.57

ICF - First circuit FO

IICF - Second circuit FO

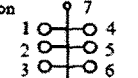
DCF - Double circuit FO

TOT - Total FO

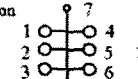
%DC - per cent of DC FO

ICF와 IICF는 왼쪽 선로와 오른쪽 선로의 섬락횟수이며, DCF는 2회선 섬락 횟수를 나타낸다. TOT는 송전선로 섬락의 총 횟수를 나타낸다. %DC는 총 섬락에서 2회선 섬락의 점유율이다.

〈표 4〉 차동 절연 선로(표준+애자 4장) 낙뢰고장(flashes/100km/year)

R	~4 discs configuration				
					
(Ω)	ICF	IIICF	DCF	TOT	%DC
10	0.69	0.84	0	1.53	0
20	0.71	1.60	0.02	2.29	1.11
30	0.89	3.33	0.20	4.02	5.06
40	1.17	5.42	0.48	6.11	7.92
60	1.83	10.59	1.14	11.27	10.16
80	2.67	16.16	1.98	16.85	11.78

〈표 5〉 차동 절연 선로(표준+애자 6장) 낙뢰고장(flashes/100km/year)

R	~6 discs configuration				
					
(Ω)	ICF	IIICF	DCF	TOT	%DC
10	0.66	0.86	0	1.53	0
20	0.66	1.55	0	2.21	0
30	0.69	3.36	0.02	4.02	0.63
40	0.79	5.55	0.13	6.21	2.95
60	1.17	10.36	0.51	11.02	4.62
80	1.70	16.08	1.04	16.75	6.23

위의 제시된 <표>들에 의하면 2회선 동시고장은 차동절연에 의해 감소될 수 있으며, 고장 감소는 차동의 비율에 달려있다. 그러나 송전선로에 있어서 총 고장은 차동절연에 의해 감소되지 않는다는 것은 중요한 의미를 갖는다. 절연이 강화된 회선의 고장은 감소하지만 절연의 강도가 상대적의 낮은 쪽 회선의 고장률은 증가한다[3].

표준구조이거나 혹은 차동절연구조에서 2회선 고장은 절탈접지저항의 저감에 의해 개선된다.

## 2.2 송전선로용 피뢰기

대부분의 경우에 송전선로에서 선로용 피뢰기는 송전선로 고장을 감소시키는 가장 효과가 큰 방법으로 간주되고 있다. 특히 접지저항 개선과 관련이 있을 때 대개는 과전압으로 인한 애자원의 설락을 감소시키는 비용측면에서 가장 큰 이익을 나타낸다.

### 2.2.1 현장 설치 피뢰기 분석대상 및 효과

이 논문에서는 아래 <표 6>에 나타난 것과 같이 피뢰기를 설치한 15개 선로 구간내 낙뢰 고장 발생 실적 선로 중 선로의 위치와 고장 시간이 다른 선로의 고장방지 추정 21건을 대상으로 하였으며, 피뢰기 설치 전후 3년 동안 낙뢰고장의 실적을 비교 분석하였다.

〈표 6〉 피뢰기 설치 전, 후 3년간 연평균 낙뢰 고장률

선로명	1회선 고장			2회선 고장			전체			고장 방지 건수
	설치 전 (a1)	설치 후 (b1)	고장 감소율 (a1-b1)/a1 [%]	설치 전 (a2)	설치 후 (b2)	고장 감소율 (a2-b2)/a2 [%]	설치 전 (A)	설치 후 (B)	고장 감소율 (A-B)/A [%]	
양수12	0.33	0.50	-51.5	0.33	0.00	100.0	0.66	0.50	24.2	
양수34	0.33	0.50	-51.5	0.67	0.00	100.0	1.00	0.50	50.0	1
서천	1.67	1.12	32.9	0.67	0.16	76.1	2.34	1.28	45.3	3
태안	0.67	1.00	-49.3	0.33	0.00	100.0	1.00	1.00	0.0	
상계	1.00	0.00	100.0	1.30	0.00	100.0	2.30	0.67	70.9	
진안	1.30	0.00	100.0	5.00	0.00	100.0	6.30	0.00	100.0	
구례	1.00	3.86	-288.8	4.00	1.00	75.0	5.00	4.86	2.8	6
완도	0.33	3.00	-800.1	2.00	0.00	100.0	2.33	3.00	-28.6	7
대북	1.00	0.00	100.0	0.30	0.00	100.0	1.30	0.00	100.0	
북성	3.30	1.33	39.4	0.00	0.00	0.0	3.30	2.00	39.4	1
정선	1.70	0.00	100.0	0.60	0.00	100.0	2.30	0.00	100.0	
남해	1.33	2.50	-88.0	0.00	1.00	-	1.33	3.50	-163.2	2

### 2.2.2 설치효과

3년간 축적된 결과를 보면 피뢰기 설치 구간내 2회선 고장실적이

없이 2회선 동시 고장방지 효과를 입증하고 있으며, 고장유형의 변화를 보이고 있다.

〈표 7〉 피뢰기 설치 선로 낙뢰 고장 방지 사례

선로명	고장 개소	고장 내용	임계전류 [kA]		KLDNet 기록 [kA]	낙뢰 표시 동작	피뢰기 설치
			차폐 실패	역선택			
구례 #1,2 T/L	No.50	1회선, 중단(B)	7~11	74			1회선 3상 일부 구간 설치
	No.43	1회선, 중단(C)	28~15	79	19.8~27.1		
	No.43	1회선, 중단(B)	28~15	64	17.8~27.1		
	No.43	1회선, 중단(B)	28~15	64	21.7~22.4		
	No.47	1회선, 중단(C)	28~15	64	12.2~22.4		
완도 #1,2 T/L	No.65	1회선, 중단(B)	28~18	70	8.6~16.5		1회선 3상 전 구간 설치
	No.18, 20, 21, 26	1회선, 중단(A), 1회선, 중단(B), 1회선, 중단(A,B,C), 1회선, 중단(A,B,C)	27~39	64	10~30		
	No.15, 18, 21	1회선, 중단, 1회선, 중단, 중단, 1회선, 중단, 중단	26~26	67	35.7		
	No.28, 29	1회선	27~35	64	12.9~35.4		
	No.23, 30	1회선, 중단, 중단	27~16	65	10~43.2		
	No.37	1회선, 중단	27~18	65	14.6		
	No.4	1회선, 중단	26~33	50	13.4		
	No.29	1회선, No.24, 29 중단, 중단상	26~33	50	11.2~68		
	No.42, No.43	1회선, 중단	34~148	62	62~120 추정		
	No.44	1회선, 중단	34~148	62	62~120 추정		
서천 #1,2 T/L	No.52	1회선, 중단	34~148	62	4.9~16		1회선 3상 일부 구간 설치
	양수 #1,2	2회선 고장 (미설치구간)	4~	80	7~15.4		
삼랑 (양수 #4)	No.84	1회선, 중단	4~	80	6.5~32.8		1회선 3상
남해 #1,2 T/L	14호	1회선, 중단	4~	80	28~34.3		1회선 3상 일부 구간 설치
	8,12, 17호	1회선 (8호-중12호-, 상17호-하)	4~	80	11.3~26		
북성 T/L (한성)	No.83 (한성 No.27)	1회선 (중단)	4~	78	10~30		1회선 3상 격렬 탐

### 2.2.3 송전선로용 피뢰기 EMTF 분석 결과

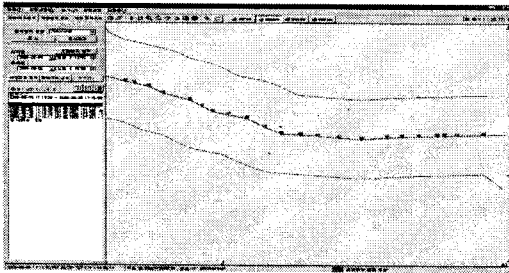
한전에서 송전선로용 피뢰기를 설치 운용중인 15개 T/L 574기 (1648set)중 고장발생 실적 선로중의 하나인 <표 8>의 구례 T/L에 대하여 EMTF를 이용하여 분석해본 결과 애자원 설락을 일으키는 낙뢰 전류의 크기는 차폐실패는 7 ~ 11 kA 범위였으며, 역선택을 일으키는 뇌격전류는 74 kA 이상 이었다. 이 경우 KLDNet 낙뢰 기록의 크기가 차폐실패 범위에 있으므로 #2 T/L 중단상에 직격한 고장으로 추정되며, #1 T/L의 피뢰기는 동작가능성 낮은 것으로 판단된다. 또한 뇌격전류가 74 kA 이상일 경우 #2 T/L 중단상 역선택 가능성이 클 것으로 분석된다.

〈표 8〉 송전선로 고장 예시 및 KLDNet 기록

선로명	고장개소	일시	고장내용
구례 T/L	No.50	06.08.05 17:14:34	#2 TL 중단상(B)

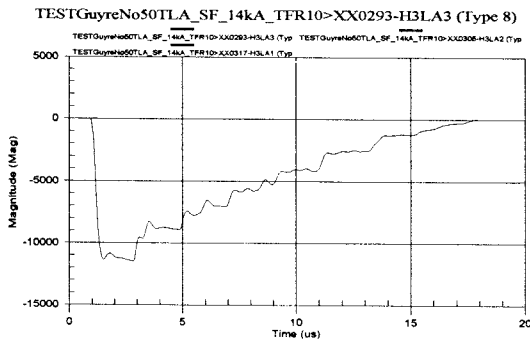
□ KLDNet 기록

2006-08-05 17:14:30.657 35.231 127.279 - 14.40 kA  
 2006-08-05 17:14:30.947 35.2294 127.273 - 14.40 kA  
 2006-08-05 17:15:08.963 35.2267 127.266 00.00 kA  
 2006-08-05 17:15:18.107 35.2206 127.264 - 08.40 kA

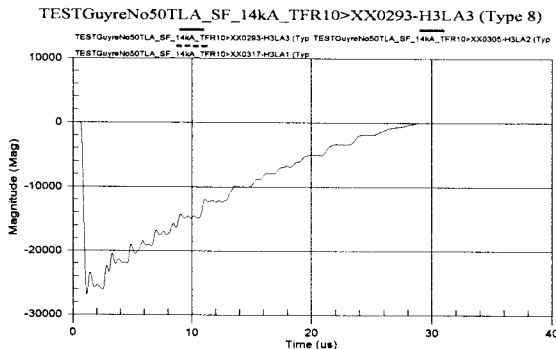


〈그림 2〉 KLDNet data

다음의 〈그림 3,4〉는 관측범위의 낙뢰가 피뢰기가 설치된 전력선에 직격한 경우를 EMTP로 모의한 것으로 14 kA의 뇌색지는 약 20  $\mu$ s 이내에 방전 소호되고, 피뢰기의 최대 방전전류인 30 kA의 낙뢰가 직격한 경우에도 약 30  $\mu$ s 이내에 소호되는 것으로 분석되었다.



〈그림 3〉 14 kA 직격뢰의 피뢰기 방전전류 파형과 고장전류 소호시간 17 $\mu$ s



〈그림 4〉 30kA 직격뢰 피뢰기 방전전류 파형과 고장전류 소호시간 28 $\mu$ s

2.2.4 낙뢰 고장 발생의 유형 구분

송전선로에서 발생하는 뇌격고장의 유형은 낙뢰전류의 크기에 따라 다음과 같은 경우로 구분할 수 있다.

1. 낙뢰전류가 작아 뇌격에 의한 고장이 발생하지 않는 경우  
 0kA < 낙뢰전류 < 차폐실패 임계섬락전류
2. 직격뢰에 의한 1회선 차폐실패 고장

차폐실패 임계전류 이상 < 낙뢰전류 < 1회선 역섬락 임계전류

3. 역섬락에 의한 1회선 고장

(1회선 역섬락 임계전류 이상 - 2회선 역섬락 임계전류 미만)

1회선 역섬락 임계전류 < 낙뢰전류 < 2회선 역섬락 임계전류

4. 역섬락에 의한 2회선 고장 (2회선 역섬락 임계전류 이상)

2회선 역섬락 임계전류 < 낙뢰전류

고장 유형 중 1번 및 2번 항의 경우 피뢰기 설치 위치나 설치 회선에서만 섬락 고장 가능성이 있었으나 피뢰기의 동작으로 고장이 방지된 경우 선로 트립이 일어나지 않기 때문에 피뢰기 동작 여부를 판단하기 어렵다. 그러나 첩탈에 설치된 낙뢰표시기가 동작한 경우에 한하여 고장방지 효과의 추정이 가능하다.

2.2.5 송전선로용 피뢰기 설치방법에 따른 효과

1. 1회선 3상 전첩탑 설치  
 2회선 동시고장을 방지하는 것이 주목적으로 1개 회선의 낙뢰고장 발생확률을 충분히 낮추고자 할 경우에는 전 구간 설치방법이 요구된다. 단 2회선 고장률 또는 1회선 고장률을 일정 목표 수준 이하로만 억제하고자 하는 경우라면 선로 전구간 설치 대신 낙뢰발생빈도가 높은 구간에 부분 설치 방법을 사용할 수 있다.
2. 1회선 3상 격첩탑 설치  
 선로의 낙뢰고장발생을 특정한 허용 목표값 이내로 유지하는 경우 사용이 가능한 방법이다.
3. 1회선 3상 지그재그 설치  
 선로내 낙뢰고장위력이 매우 불균일하고 선로의 고장발생을 특정한 허용 목표값 이내로 유지하는 경우 사용이 가능하다.
4. 1회선 1상 상단상(Upper phase) 설치  
 역섬락 또는 차폐실패에 의한 최상단 고장발생이 특히 높은 선로에 사용가능하다. 역섬락의 고장의 경우에도 뇌격시점의 도체 상전압위상에 따라 섬락 도체가 변하게 되고 중, 하단상 차폐실패 고장확률이 발생하는 경우 고장방지 효과가 높지 않으며 적용실적이 매우 낮다.
5. 1회선 2상(상단, 중단상) 설치  
 1회선 상단상 설치 유형과 동일하게 고장방지 효과가 크지 않고 적용실적이 매우 낮다.

〈표 8〉 피뢰기 설치 방법별 효과

설치방법	고장방지 효과	비고
1회선 3상 전구간	大	2회선 고장 100% 방지
1회선 3상 부분 설치	中	2회선 고장방지 제한적
1회선 3상 격첩탑	小	허용 범위내 고장발생억제
1회선 3상 지그재그	小	허용 범위내 고장발생억제
1회선 1상(상단) 설치	小	
1회선 2상(상,중) 설치	小	

3. 결 론

송전선로의 평균 경간은 피뢰기의 보호범위를 초과하여 인접 첩탈에 뇌 과전압 억제 효과가 없으며, 낙뢰발생이 매우 불규칙하여 특정 첩탈 또는 좁은 구간에 반복 발생하는 확률이 낮고, 선로 구간내 피뢰기 미설치구간 존재시 뇌 고장 발생 가능성이 상존한다.

뇌격 침입시 각 도체별 전원전압의 위상각에 따라 첩탈의 역섬락 고장이 상단상 측에만 집중하지 않는 특성과 차폐실패에 의한 중, 하단상 고장 가능성을 고려할 때, 전력선 암의 1상 또는 2상에만 피뢰기를 설치방법으로는 충분한 고장방지가 불가능하다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 한진 송변전처, "07송전설비 고장분석 및 대책", 2008.3
- [2] S.Sadovic. "Line Surge Arresters and Unbalanced Insulation In The Reduction Of Double Circuit Outages", Xth International Symposium on High Voltage Engineering, August, 25-29, 1997.
- [3] K.SYeung & K.Tsuge, "Power Quality Improvement Using External Gapped Line Arresters on 132kV & 400kV Overhead Transmission Lines. Vth International Symposium on High Voltage Engineering, 2003