

송전선용 ZnO 피뢰기의 개발동향과 그 효과

심용보, 김정부

(한전 전력연구원 선임연구원, 동 연구원 수석연구원)

1. 서론

사고기록에 의하면 약 40~50% 정도의 전력계통고장이 낙뢰에 의해 발생한다. 낙뢰에 대한 통상적인 예방 대책으로는 탐각 접지저항의 저감, 가공지선의 다조화, 2회선 송전선에서 차등절연등이 있다. 여기서 탐각접지저항의 저감은 대부분 산악지를 통과하는 우리 나라 송전선의 여건상 어느 정도 이하로 낮추기가 어려우며, 가공지선은 154 kV 급 이상의 신규 송전선에서는 가공지선을 2조로 하고 있다. 2회선 송전선에서의 차등절연은 실제 시공의 곤란함과 더불어 그 효과도 그다지 크지 않은 것으로 평가되고 있다. 이러한 통상적인 방법에 추가하여 송전선에 피뢰기를 설치하여 낙뢰에 의한 고장을 감소시키려는 연구가 미국, 프랑스, 일본 등에서 지난 수십 년간 계속되어 왔다. 최근 일본에서는 산화아연 소자를 폴리머하우징에 내장한 송전선용 피뢰기가 500 kV급까지 개발되었다.

송전선용 피뢰기는 일반적으로 gap 형과 gapless 형의 2 종류로 나누어진다. 하우징으로는 gapless 형은 자기형을 gap 형은 폴리머 절연재료를 이용한다. 일본에서는 gap 형의 피뢰기를 대부분 사용하고 있는데, gap 형은 피뢰기 자체 고장에 의한 최악의 조건에서도 송전선의 운전을 가능케 하여 현재의 송전선로의 신뢰도에 영향을 미치지 않으며, 보다 콤팩트한 설계가 가능하기 때문이다.

66 kV 및 77 kV급 피뢰기의 운전결과와 설치효과에 힘입어 개발된 275 kV 및 500 kV 송전선용 피뢰기도 현재까지 성공적으로 운전되고 있다. 이것은 폴리머 하우징의 gap 형 피뢰기를 초고압 계통의 송전선로에도 적용할 수 있다는 것을 증명한 것이다. 여기서는 송전선로용 gap 형 피뢰기의 설계 개념, 개발 및 적용과 설치효과에 대하여 설명한다.

2. 가공 송전선의 뇌사고통계

그림 1에 나타난 자료는 1980년부터 1991년까지의 선로

고장통계에 근거한 것이다(일본 에너지자원연구소 발간).

그림은 각각의 전압계급에 대하여 전력공급에 지장을 초래한 고장의 수와 낙뢰에 의한 고장을 나타내고 있다. 전체 공급지장건수 5,291건중 약 절반이 낙뢰에 의한 것이다. 66 kV 및 77 kV급에서 4,431회의 고장으로 나타내고 있으며, 약 절반인 2,211회가 낙뢰에 의한 것이다. 이것은 전력계통의 공급지장건수를 줄이는데는 낙뢰에 의한 고장예방 대책을 세우는 것이 매우 유용한 수단임을 확실하게 나타내고 있다.

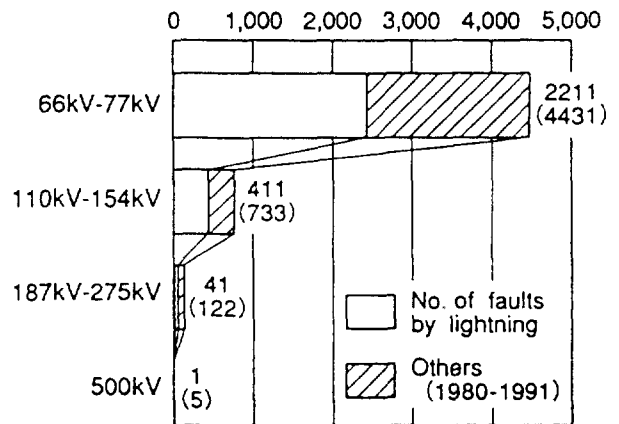


그림 1. 낙뢰에 의한 전력공급지장회수

3. 송전선용 피뢰기의 설계

3.1 송전선용 피뢰기의 요구조건

송전선용 피뢰기의 기본요구조건을 기능과 적용 관점에 따라 표 1에 요약하였다. 이러한 요구조건을 기본으로 하여 송전선용 피뢰기의 기술사양과 설계가 고려되었다. 송전선용 피뢰기는 외부의 직렬 gap이 있느냐 없느냐에 따라서 gap 형과 gapless 형으로 분류된다. 다음에 gap 형 피뢰기의 구조와 설계가 설명되었는데 여러 가지 장점으로 인하여 현재 상용선로에서 적용되어 운전되고 있다.

표 1. 송전선용 피뢰기의 기본 요구조건

관점	요구조건
기능	(1) 뇌썩지 침입시 애자련의 아킹흔(애자련)을 통한 섬락을 방지 (2) 피뢰기 유니트의 실패시에도 재 투입이 되도록 할 것
적용	(1) 방압변 동작에 의해 폭발 방지 (2) 자연환경조건에 견딜 것 (3) 기설철탑에 쉽게 부착 가능할 것 (4) 유지보수가 용이할 것

표 2는 gap 형 피뢰기와 gapless 형 피뢰기의 장단점을 비교하였다.

3.2 구조

gap 타입 피뢰기의 구조를 그림 2에 나타내었다. gap 타입 피뢰기는, 철탑 암에 설치된 피뢰기와 송전선측 도체사이의 직렬 gap과 피뢰기 유니트로 구성되어 있다. 피뢰기 유니트의 기본적인 기능적 요구조건은 다음과 같다.

- (1) ZnO요소는 밀봉되어야 한다.
- (2) ZnO요소의 고장에 의한 하우징의 지락고장시에도 방압장치가 안전하게 동작하여야 한다.
- (3) 피뢰기 유니트는 설치 및 부하운전시 충분한 기계적 강도를 가져야 한다.

송전선용 피뢰기의 하우징은 선로전압으로 가압되는 경우가 거의 없는 운전조건을 고려하고, 크기와 중량경감을 위하여 폴리머 절연재료가 대부분 이용되고 있다.

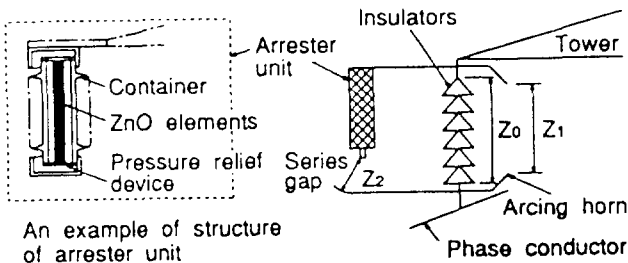


그림 2. gap 형 피뢰기의 구조와 배치

3.3 설계개념

gap 형 피뢰기에 특별히 요구되는 설계시 고려조건이 기능과 적용의 관점에서 다음과 같이 설명되었다.

3.3.1 기능의 고찰

(a) 직렬 gap을 포함한 송전용 피뢰기와 아킹흔간의 절연협조

표 2. gap 형 및 gapless 형 피뢰기의 장단점 비교

항목	gap 형	Gapless 형
기본구성		
강행재송전	피뢰기소자의 처리능력을 초과하는 최대 썩지를 흡수하여 영구지락고장 상태로 되어도 직렬 gap에 의해 절연되므로 강행송전이 가능함	영구지락고장 상태가 되면 재송전이 불가능하고 분리장치가 필요하게됨
동작특성	- ZnO소자에 속류가 유입됨 - 1/2싸이클 후 속류가 차단됨	- 속류가 없음 (안정된 보호 성능이 보장됨)
열화	전력선으로부터 절연되므로 과전열화가 없음	상시과전되므로 열화를 고려한 소자 길이가 필요
용기	자기재 이외의 재료 사용이 가능	자기재의 예판이 사용되고 오손설계가 필요함
중량	경량화가 쉽다	경량화가 어렵다
설치	횡진을 고려한 설계가 필요함	간단한 금구류로 취부가능

: 그림 2에서, 뇌격 침입시 아킹흔간격 Z_1 나 Z_0 으로 섬락되지 않도록 직렬 gap Z_2 가 조정되어야 한다. 이것이 직렬 gap의 길이와 직렬 gap 전극을 결정하는 주요 인자이다. 통상 직렬 gap은 아킹흔의 50~70%로 조정한다. 또한, 피뢰기의 잔류전압은 아킹흔 gap의 섬락을 일으키면 안된다. 그러나, 현재까지 잔류전압 파형에 대한 아킹흔의 섬락전압 특성이 불충분하므로 아킹흔의 뇌썩지 표준 파형의 50% 섬락전압과 최대방전전류시의 잔류전압 사이에 10%의 차이를 두고 있다.

(b) 속류차단능력 : 속류차단능력은 직렬 gap의 길이, 저전류영역에서 ZnO소자의 전압-전류특성, 오손된 조건에서 피뢰기의 외부누설전류와 밀접한 관계가 있다. 직렬gap은 ZnO 소자를 통과하는 전류와 피뢰기의 외부누설전류 합친 속류를 0.5 싸이클 또는 1 싸이클 이내에 차단하여야 한다. 일반적으로 직렬 gap의 길이는 개폐과전압에 대한 내전압으로 정해지며 위에 언급한 요구조건

들을 충분히 만족시킨다.

(c) 내전압 성능 : 직렬 gap은 또한 피뢰기 고장시에도 선로의 운전이 가능하도록 개폐장치 또는 상용주파과전압에 견디어야 한다. 직렬 gap의 내전압 예를 그림 3에 표시하였다.

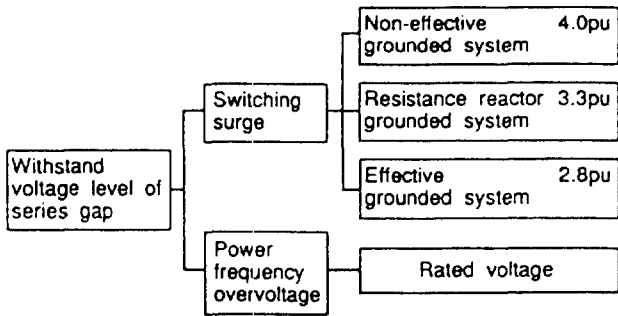


그림 3. 직렬 gap의 내전압 예

3.3.2 적용시 고려사항

(a) 방폭성능 : 송전선용 피뢰기는 철탑에 설치되어 폭발된 파편이 2차 고장을 유발할 수 있으므로 발·변전소용 피뢰기와 비교하여 보다 높은 방폭성능을 가져야 한다.

(b) 기계적 강도 : 풍압하중, 설치작업시의 하중, 바람에 의한 진동 등이 송전선용 피뢰기 설계시 고려되어야 한다.

(c) 내후성 : 내후성은 용기의 기밀구조 및 재질과 밀접한 관계가 있다. 현재 대부분의 gap 형 피뢰기는 에틸렌-프로필렌 고무(EP고무), 옥외용 epoxy resin, 실리콘 폴리머와 같은 유기재료를 사용하므로 자외선의 조사에 의한 성능저하(deterioration), 온도 및 습도에 대한 고려가 중요하다.

(d) 작업의 편리성 : 송전선용 피뢰기는 평지 또는 산악 지등 여러 장소에 설치되므로 때로는 인력으로 때로는 헬기로 수송하여야 한다. 그러므로 가볍고 쉽게 설치할 수 있어야 한다.

3.4 동작원리

송전선용 피뢰기의 동작원리를 그림 4에 나타내었다. 뇌격이 침입하면 직렬 gap을 통하여 방전이 일어나고 피뢰기를 통하여 뇌격전류가 흐르게 된다. 피뢰기는 ZnO 소자 고유의 속류차단 능력에 의하여 고장전류를 차단하게 되고 이 때 피뢰기의 방전 시간은 최장 1 싸이클 이내이므로 차단기는 동작되지 않는다.

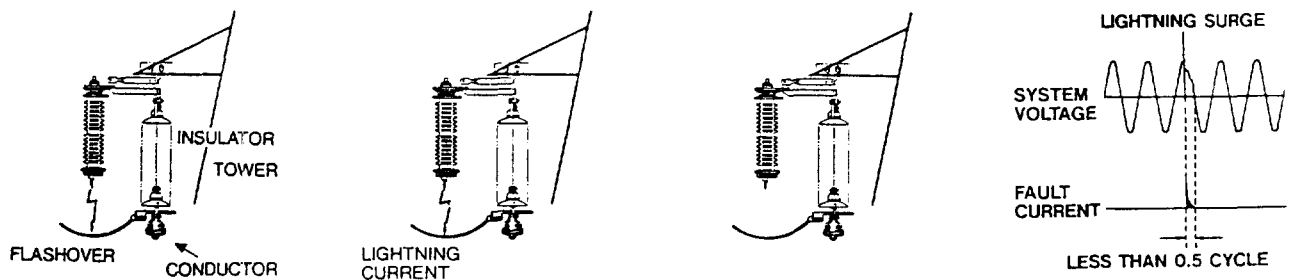
4. 송전선용 피뢰기의 개발

표 3은 일본에서 개발된 gap 형 피뢰기의 역사를 나타낸다. 1980년부터 1983년 사이에 수행된 77 kV급 gapless 피뢰기의 현장시험에 이어, 1985년에 gap 형의 피뢰기가 개발되었으며, 1986년 4월에는 최초의 77 kV급 폴리머 피뢰기가 상업선로에 설치되었다. 66 kV 및 77 kV급 피뢰기의 성공적인 운전결과에 힘입어 설치수량이 증가되었다. 또한 초고압 송전선에서 2회선 고장이 발생할 경우 대규모의 정전을 유발할 수 있음을 고려하여, 275kV급 gap 형 피뢰기가 1988년에 개발되었다. 1988년 9월부터 275kV Daikurobe 간선에

표 3. gap 형 피뢰기의 개발과 적용의 역사

Year	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93
66/77		◎							
275				◎					
500							◎		

◎ : Completion of development
■ : Successful operation records



(a) 직렬 gap의 섬락 (b) 피뢰기 동작 (c) 속류차단 (d) 동작시간, 파형

그림 4. 피뢰기의 동작원리 및 동작시간

표 4. gap 형 피뢰기의 크기와 정격

구분		66	154	275	500
정격	정격전압 [kV]	40	161	225	394
	최대방전전류[kA]	25-65	40-47	35	35
	간류전압 [kV]	230-330	490-600	816	1,310
	기준전압 [kV]	57	228	318	557
	방압전류 [kA]	20-25	25-45	50	50
크기	전장 [mm]	640	1,190	1,998	2,923
	중량 [kg]	14	28-46	80	120
	직렬접장 [mm]	320	650	1,200	1,900

1990년부터 500 kV Yamashiro-kita선에 각각 운전되고 있다. 표 4는 개발된 500 kV급 송전선용 피뢰기의 크기와 정격을 나타내고 있다.

표 5는 gap 형 피뢰기의 기술사양의 예이며 500 kV급 피뢰기의 주요 사양을 나타내고 있다. 뇌격전류의 발생은 Armstrong-Whitehead 이론에 의해 계산할 수 있으며 피뢰기를 통하여 흐르는 뇌격전류는 EMTP (Electromagnetic Transient Program)에 의해 계산할 수 있다. 요구되는 피뢰기의 최대방전전류는 이러한 결과에 의해서 결정되었으며 재현기간을 30년으로 하였다. 특히, 높은 전압급의 송전선에서는 합리적인 절연설계를 채택하였으며 이는 기설철탑의 제한된 클리어런스와 설치될 피뢰기의 직렬 gap 등을 고려하여 콤팩트화가 필요하기 때문이다. 이러한 요구에 부응하기 위해 500 kV급 피뢰기의 경우는 275 kV급보다 고성능의 ZnO 소자를 사용하였으며 장대(長大) 고무물딩구조로 하였다.

표 5. 500 kV gap 형 피뢰기의 설계사양

항목		사양
일반조건	사용 온도	-20 ~ 40°C
	고도	1,000m 이하
	오손레벨(ESDD)	0.125 [mg/cm ²]
	풍압 [N/cm ²]	14.3 이하
피뢰기	정격전압	394 kV * ¹
	속류차단	1/2사이클 이내 * ²
	정격방전전류	20kA (2/10 uS)
	최대방전전류	35kA (2/10 uS)
	방전전압	V _{35kA} ≤ 1310 kV
	방압압력	50kA x 0.1 sec
	내아크시간	35kA x 0.1 sec
직렬접	개폐임펄스 내전압	건전 피뢰기 943 kV * ³ 고장 피뢰기 868 kV * ⁴

주 1 : 1선지락시 건전상 전위상승
 주 2 : 계전기 동작전 속류차단
 주 3 : 943 kV=525 x √(2/3) x 2.0 x 1.1
 주 4 : 868 kV=525 x √(2/3) x 1.84 x 1.1

또한 전계를 완화하므로써 개폐장치 내전압을 올려주는 방전전극봉을 사용하고, 피뢰기의 고장확률과 최대 개폐장치개폐확률이 매우 적다는 점을 감안하여 개폐장치 내전압을 합리적인 특정한 값을 채택하므로써 직렬 gap의 길이를 줄였다. 500 kV급 gap 형 피뢰기의 주요한 성능시험 항목과 시험결과를 다음에 요약하였다.

(1) 절연협조시험 : 표 6은 500 kV 피뢰기의 뇌격시 50% 섬락전압 시험결과이다. 직렬 gap 길이를 2,200 mm로 최대로 설계한 피뢰기의 50% 섬락전압은 아크흔 길이 4,300 mm 애자련의 약 80% 정도이었다. 이것은 애자련을 뇌격으로부터 보호하기 위한 충분한 절연차이가 양자간에 있음을 말해준다. 또 표 7에서 보는 바와 같이 gap 형 피뢰기의 50% 섬락전압은 직렬 gap만 있을 때의 50% 섬락전압보다 크다. 그리고 그 차이는 피뢰기가 1 mA 방전시의 참고전압(reference voltage) 과 대체적으로 일치하고 있다. 뇌격시 50% 섬락전압의 차이는 피뢰기의 정전용량에 따라 피뢰기에 가해지는 전압을 피뢰기가 견딘다고 이해할 수 있을 것이다.

표 6. 500 kV gap 형 피뢰기의 뇌격시 50% 섬락특성

분류	시험장소	gap 길이 mm	극성	V ₅₀ kV	σ %	δ	H g/m ³	V _{50'} kV
gap 형 피뢰기 (현수형)	A	2200 (Z2)	+	1865	0.26	0.990	4.6	1945
			-	1975	0.18			2060
	B	2200 (Z2)	+	1840	0.98	0.993	10.4	1860
			-	1936	0.89			1995
현수형 애자련	A	4290 (Z1)	+	2266	0.82	0.996	3.8	2405
			-	2385	0.37			2536
		3780 (Z1)	+	2010	0.52	1.001	4.1	2136
			-	2136	2.03			2265
	B	4300 (Z1)	+	2420	1.07	1.017	9.1	2415
			-	2585	0.11			2595

V_{50'}: 보정후의 값

표 7. gap 형 피뢰기의 뇌격시 섬락전압특성

전압 계급 kV	직렬 접장 mm	경의 V ₅₀ (ZnO) kV		직렬경의 V ₅₀ kV		기준전압 V _{1mA} kV
		+	-	+	-	
77	430	426	427	290	307	124
275	1200	1067	1225	730	767	352
500	1800	1753	1868	1125	1182	560

그림 5는 표준 대기조건으로 보정된 500 kV 피뢰기의 애자련과 피뢰기의 V-t 곡선을 보여준다. 2개의 V-t 곡선은 부극성에서는 서로 교차하지 않았으며, 직렬 gap을 최장 2,200 mm로 설계한 경우에도, 500 kV 피뢰기의 V-t 곡선은 정극성에서 애자련이 4,000 kV(준도 2,500 kV/uS)에 이를 때까지 교차하지 않았다.

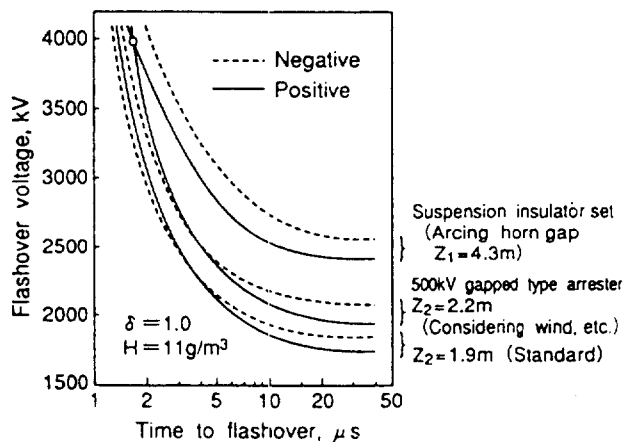


그림 5. 500 kV 현수애자련과 gap 형 피뢰기의 V-t 특성

(2) 속류차단시험 : 시험설비의 한계로 500 kV 피뢰기에 상용주파전압과 뇌임펄스 전압을 중첩하여 실규모로 실험하기는 어려우므로 직렬 gap을 퓨즈로 단락하고 구 gap에 의한 트리거를 통하여 상용주파전압을 갑자기 인가하는 방법이 사용되었다. 제시된 조건은 등가염분부착밀도(ESDD) 0.06 mg/cm², 시험전압 394 kV(정격전압), 1,800 mm의 최소설계 직렬 gap의 피뢰기에서 속류차단은 1/4 사이클이었다.

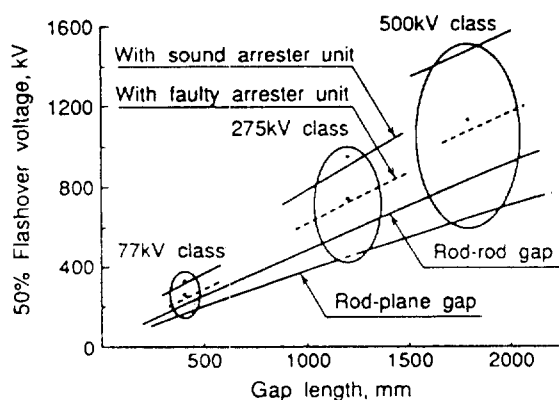


그림 6. 개폐써지 50% 섬락특성(정극성, 주수)

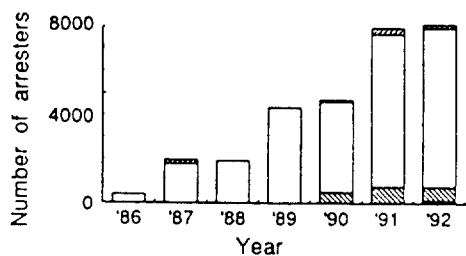
(3) 개폐써지 섬락전압시험 : 직렬 gap을 가진 500 kV급 피뢰기와 직렬 gap만의 50% 개폐써지 섬락전압을 그림 6에 77 kV급 및 275 kV급의 시험결과와 함께 표시하였다. 500 kV급 피뢰기의 최소설계 사양으로 직렬 gap 길이

1,800 mm가 시험되었다. 이러한 실험 결과로부터 개발된 500 kV급 피뢰기가 실용적이며 적용 가능하다는 것이 입증되었다.

5. 피뢰기 설치에 의한 보호효과

5.1 피뢰기의 적용

그림 7에서 보여주는 바와 같이 일본에서는 총 29,580개의 송전선용 피뢰기가 1993년 현재 모든 전압계급의 상업선로에 설치되어 운전 중에 있다. 그 중에서 약 90%에 달하는 26,495개가 66 kV 및 77 kV 송전선에 설치되어 있다. 피뢰기의 설치는 그림 7에서 보듯이 1987년부터 증가하기 시작하였다.



	33-22kV	840 (2.84%)	total 29580 (100%)
	77-66kV	26495 (89.57%)	
	154-110kV	1879 (6.35%)	
	500-187kV	366 (1.24%)	

그림 7. 폴리머 하우스의 gap 형 피뢰기의 수

표 8은 피뢰기의 설치유형에 따른 분류를 요약하였다. 97%의 피뢰기는 2회선 송전선에서 일어날 수 있는 전력공급지장을 방지하기 위하여 2회선중 1회선의 3상에만 피뢰기가 설치되어 있다. 2회선 고장을 모두 방지하기 위해서는 양 회선에 모두 피뢰기를 설치하여야 한다.

표 8. 설치형태에 따른 gap 형 피뢰기의 수

설치형태	위 치	피뢰기의 수
1회선의 3상		28,712 (97.07%)
2회선의 6상		726 (2.58%)
1상 또는 2상		104 (0.35%)
		2 (----)

선로의 고장을 유효하게 예방하려고 할 경우에는 과거의 고장실적을 감안하여 선로의 일부 구간 또는 일부 상에만 설치할 수 있다. 선로의 전구간에 대한 피뢰기의 설치비율(적용률)을 조사하여 보면 전체 피뢰기에 대한 적용률은 90%에서 100%이다.

5.2 운전실적과 피뢰기의 적용효과

2회선의 송전선중 1회선에 송전용 피뢰기를 설치한 경우 EMTP에 의한 동작한계 뇌격전류의 계산결과를 표 9에 나타내었다. 66 kV 및 77 kV의 계산 결과를 보면 피뢰기를 적용하지 않은 경우 탐정에 뇌격이 침입한 경우 22 kA, 30 kA에서 아킹흔간의 역섬락이 발생하나 피뢰기를 적용한 경우는 동일한 뇌격조건에서 역섬락을 일으키는 뇌격전류는 45 kA로 높아지게 된다. 전력선 뇌격의 경우는 3 kA에서 55 kA로 내뢰능력은 현저하게 높아진다.

송전선에 설치된 피뢰기의 효과를 평가하기 위해 피뢰기 설치전·후 5년간의 뇌격에 의한 고장횟수와 뇌격시 동작/부동작한 피뢰기의 수를 조사하였다. 피뢰기가 설치된 후 66 kV 및 77 kV 송전선에 맞은 뇌격수는 102건이었다. 그중에서 36건은 1회선의 매기마다 피뢰기가 설치된 선로에 맞았다. 2회선 동시고장은 생기지 않았으며 피뢰기가 설치되지 않은 회선에서의 고장은 22건에 달하였다. 22건중 21건은 피뢰기가 동작하였다(그림 8). 나머지 14건은 선로고장을 방지하기 위하여 피뢰기가 동작하였다. 이것은 만일 선로에 피뢰기가 없었다면, 21건의 1회선 고장은 2회선 고장으로 진전될 수도 있다. 선로고장이 없는 14개의 경우는 설치된 회로를 보호하기 위해 피뢰기가 동작된 것으로 생각된다.

표 9. 송전선용 피뢰기의 동작한계 뇌격전류

전압 (kV)	뇌격위치	비적용시 (kA)	적용시 (kA)	
			전구간용	구간적용
66	탐정	22	40	-
	전력선	2	42	-
77	탐정	30	45	45
	전력선	3	55	15
154	탐정	60	85	-
	전력선	5	105	-
275	탐정	105	160	-
	전력선	14	190	-
500	탐정	150	230	-
	전력선	20	260	-

주 1. 비적용시는 2회선중 임의의 1회선
2. 적용시는 적용회선측

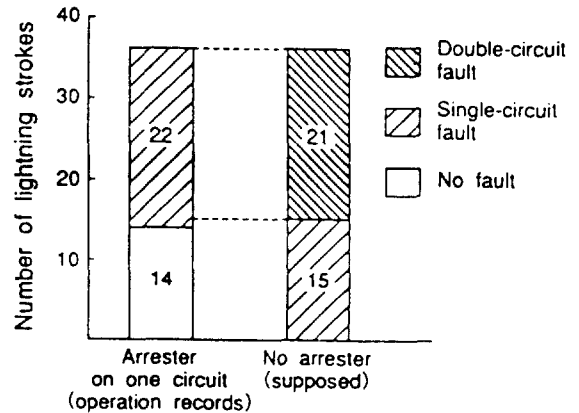


그림 8. 피뢰기 설치효과에의 평가

여러 가지 형태로 설치된 66 kV - 500 kV 전압계급에서의 1990년부터 1992년 사이의 운전실적이 조사되었으며 낙뢰에 의해서 피뢰기가 동작된 철탑의 총 수가 그림 9에 표시되었다. 피뢰기의 동작은 피뢰기의 접지단자에 연결된 동작표시기에 의해 확인하거나 EMTP 분석에 의해 추정하였다. 이러한 많은 결과로부터 송전선용 피뢰기가 선로의 고장감소와 2회선 고장 예방에 유용하다는 결론에 도달하였다.

일본에서는 1993년 3월 현재 약 30,000개의 피뢰기가 설치되어 있으며 남아프리카공화국, 멕시코, 대만, 태국, 말레이시아가 소량을 수입하여 시험적용을 하고 있다. 프랑스에서는 66 kV급으로서 Gapless 형을 자체 개발하여 사용하고 있다. 현재 상업용으로 제품을 생산하고 있는 나라는 일본, 프랑스 등으로 국산화 개발시에는 수입 대체효과는 물론 제품의 품질에 따라 상당한 시장확보도 가능할 것이다.

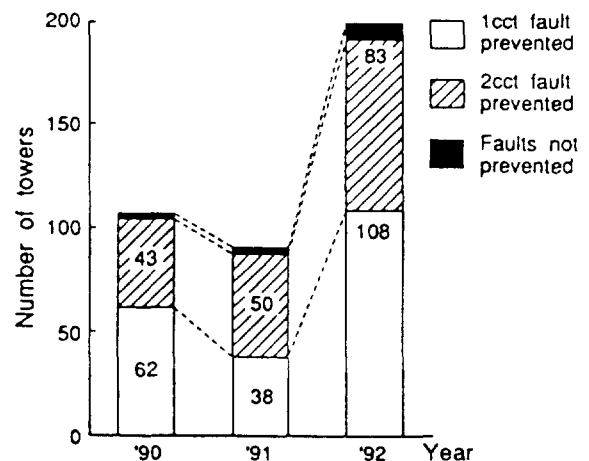


그림 9. 피뢰기가 동작된 철탑의 수

6. 결 론

이상으로 일본을 중심으로 한 송전선용 피뢰기의 설계개념, 개발, 운전실적 및 효과를 소개하였다. 전압계급 66 kV에서 500 kV급까지의 다양한 전압계급의 피뢰기가 이미 개발되었고 현장시험이 진행되고 있다. 이러한 피뢰기들은 뇌격에 의한 고장을 예방하는데 좋은 효과가 있음이 증명되었으며 앞으로의 고품질 전력수요의 증가에 대비하여 대단히 유용한 방법이라 할 수 있다. 특히 고품질의 전력공급이 요구되나 통상적인 뇌써지 예방대책만으로는 소기의 목적달성이 어려운 시설 송전선에 설치시 좋은 효과가 기대된다. 현재까지는 피뢰장치의 제작 및 설치비가 고가인점이 단점이나 내뢰능력 향상에 의한 정전사고 감소만으로도 투자효과가 높다고 할 수 있다. 우리나라에서도 해석적인 방법에 의한 설치효과의 계산을 시작으로 피뢰기 및 관련 금구류의 국산화개발에 관한 연구를 추진하여 고품질의 전력수요에 대비하여야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] T. Gawamura. et al, "Development of Metal-Oxide Transmission Line Arrester and its Effectiveness", CIGRE 1994 Session, SC33-201, 1994
- [2] 松原廣治, "送電用避雷器の適用方法とその効果", 電力中央研究所, T89067, pp.26-27, 1990
- [3] 日本電氣學會, "送電用避雷裝置の開発現況と適用效果", 日本電氣學會誌, II부 제367호, pp.5-22, 1991

- [4] 日本碍子, "送電用 キャップ式 避雷がいし装置", NGK レビュー, NO.49 별책, pp.1-14, 1989
- [5] 明電舎, "MEIDEN REVIEW(International Edition)", Series No. 96, pp.10-16, 1992
- [6] C.H.Shin, et al, "Application of Special Surge Arresters on 138kV Lines of Appalachian Power Company" IEEE Summer Meeting, 85SM 207-6, 1985

저 자 소 개



김정부(金正夫)

1943년 1월 14일생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 석·박사 졸업. 현재 한전 전력연구원 765 kV 송변전그룹장 겸 수석연구원. 관심분야 : 전기환경장해 및 전력계통 과도현상해석



심응보(沈應輔)

1959년 12월 23일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 현재 한전 전력연구원 765 kV 송변전그룹 선임연구원. 관심분야 : 전력계통 과도현상해석 및 절연협조