

낙뢰에 의한 송전선로 순간전압 강하 감소 방안



박중길
KEPCO 송변전운영처장

1. 개 황

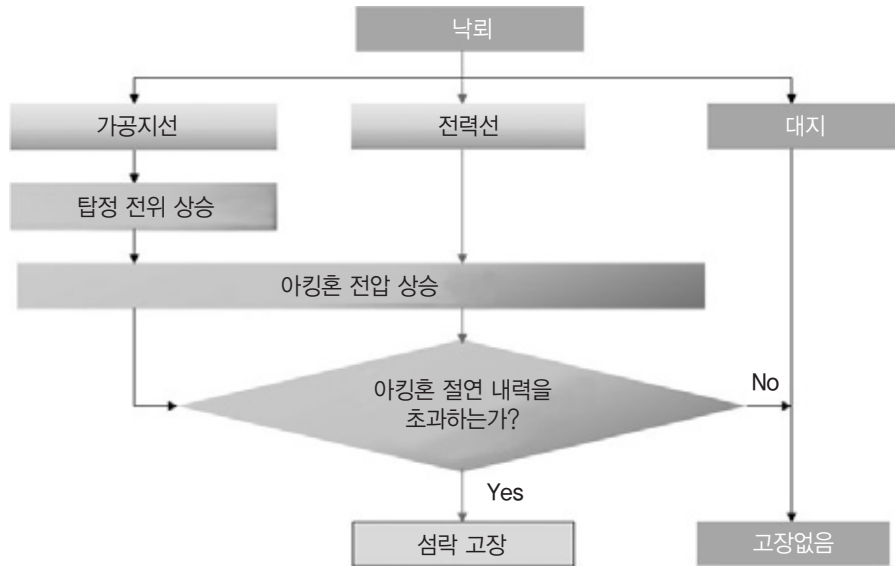
최근 전력기기의 품질이 향상되고 송전선로 운영 기술이 발전하여 설비 자체의 결함이나 정비 불량에 의한 고장이 낮은 수준으로 억제되고 있다. 하지만 국토의 63%가 산림지역인 우리나라는 송전선로의 77%가 산림지역을 지나고 있으며 외부환경에 노출

된 송전선로의 특성상 낙뢰, 빙설해, 강풍과 같은 자연현상에 의한 고장발생에 대해서는 지속적인 연구와 대책이 요구되고 있다. 한전 고장통계에 따르면 최근 송전선로 고장(연평균 527건) 중 낙뢰에 의한 고장 건수가 369건으로 전체고장의 70% 이상을 차지하고 있다.

이 수치는 보호장치의 정상적인 동작으로 송전선로

자동투입이 성공된 것을 모두 포함한 것이며, 이 중에서 자동투입 실패는 최근 5년 평균 낙뢰고장 369건 중 18건(4.8%)에 불과하다. 이와 같이 대부분 낙뢰고

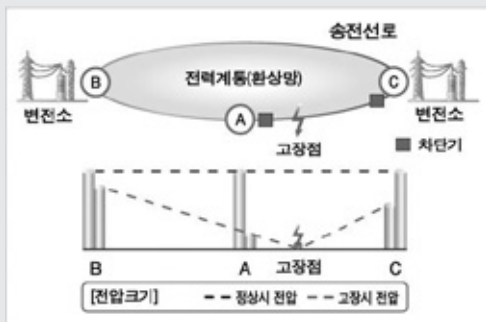
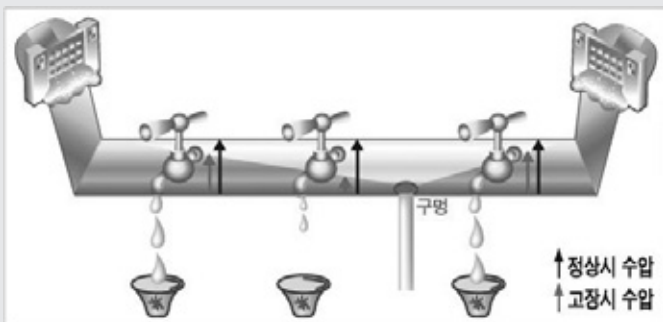
장의 경우 보호계전기에 의해 자동투입이 성공적으로 동작하고 송전선로가 이중계통으로 구성되어 낙뢰고장으로 인한 실제 정전발생 확률은 매우 낮다. 그럼에도



[그림 1] 송전선로 고장발생 현황

□ 순간전압 강하란?

- 정상 압력인 수도관에 구멍이 나면 먼 곳의 수도관 압력도 떨어지는 것과 같이 송배전선로에 낙뢰 등으로 고장이 발생할 경우 차단기로 써지¹⁾(Surge)를 제거하기까지의 짧은 순간(0.1초 이하)동안 전압이 떨어지는 현상
- 해외에서도 순간전압 강하는 자주 나타나며 대책을 강구하고 있음



전력계통은 다중으로 연결되어 있어, 고장발생 시 고장점 전압은 영(Zero)까지 떨어지고 고장지점에서 멀수록 정도는 약하나 어느 정도의 전압강하는 불가피함

1) 전력계통의 전원선, 통신선, 신호선 등의 도체를 통하여 발생, 침입되는 과도 이상 전압

도 불구하고 자동투입 시 발생하는 순간적인 전압강하 등 전력품질에 민감한 부하가 증가하고 있어 이에 대한 대책이 요구되고 있는 상황이다.

2. 현황

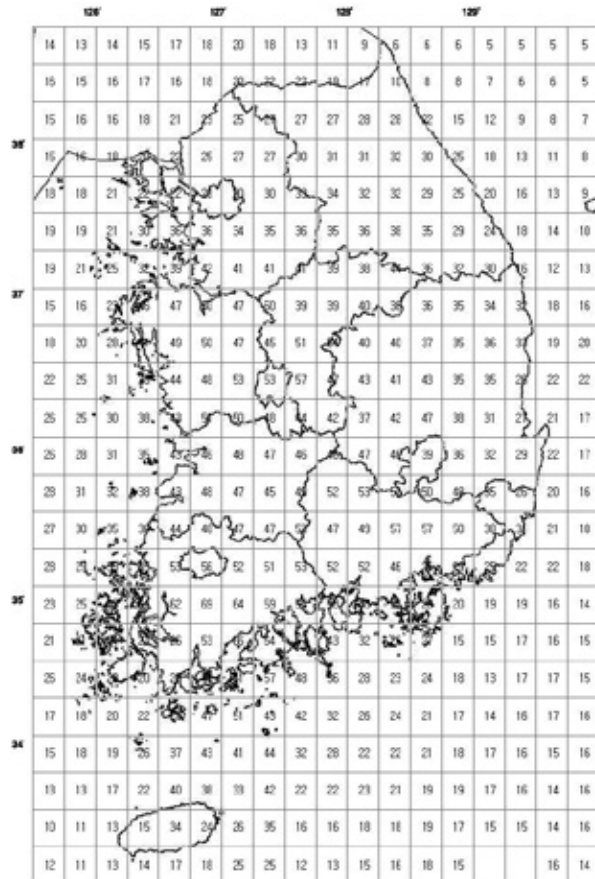
1996년부터 한전에서 운용 중인 낙뢰관측시스템인 LPATS(Lightning Positioning And Tracking System ; 낙뢰위치 표정시스템)와 KLDNet(Kepco Lightning Detection Network ; 한전 낙뢰관측시

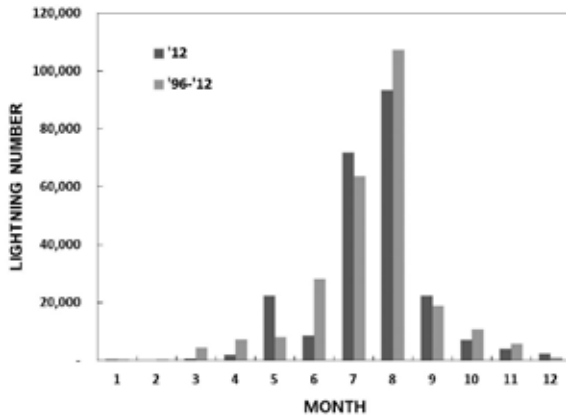
스템)에 의해 관측된 전국 낙뢰 밀도를 [표 1]에 정리하였다.

[그림 2]와 [그림 3]은 월별 낙뢰발생 현황과 시간대별 낙뢰발생 현황을 나타낸 것이다. 지난 17년간의 평균값을 보면 연간 강우가 집중하는 6~9월 사이에 연간 낙뢰의 84%가 발생하여 강우량이 가장 많은 8월에 낙뢰발생이 집중되었다. 최근에는 6월 말에서 7월 초에 뚜렷하게 나타나던 장마의 특징이 약해지면서 낙뢰가 많이 발생하는 발생 시기도 변화하였다. 또한 시간대별 발생 패턴은 새벽 시간과 오후 늦은 시간에 낙뢰가 많이 발생하였다.

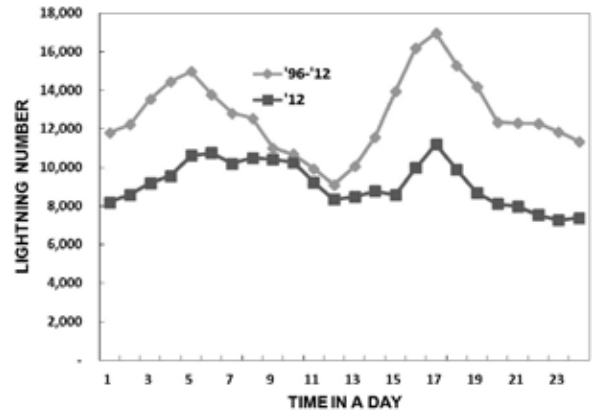
[표 1] 지역별 대지 낙뢰밀도

구분	면적 (Km ²)	연평균(1996~2012년)		2012년
		합계(회)	낙뢰밀도 (회/Km ²)	낙뢰밀도 (회/Km ²)
서울	607.78	12,754	1.23	0.76
부산	752.41	7,152	0.56	0.17
대구	882.93	19,547	1.30	0.61
인천	371.95	9,142	1.45	0.35
광주	498.28	13,696	1.62	0.50
대전	541.67	13,154	1.43	0.75
울산	1,067.75	8,466	0.47	0.02
경기	10,937.84	189,164	1.02	0.53
강원	16,131.87	184,395	0.67	0.34
충북	7,437.65	148,200	1.17	0.71
충남	8,598.63	229,626	1.57	0.77
전북	7,963.83	209,532	1.55	0.63
전남	11,112.82	185,484	0.98	0.50
경북	19,040.19	278,891	0.86	0.64
경남	10,423.99	194,235	1.10	0.45
제주	1,855.45	13,207	0.42	0.16
평균	98,225.00	1,716,645	1.34	0.54





[그림 2] 연중 월별 낙뢰 발생분포



[그림 3] 일중 시간대별 낙뢰 발생분포

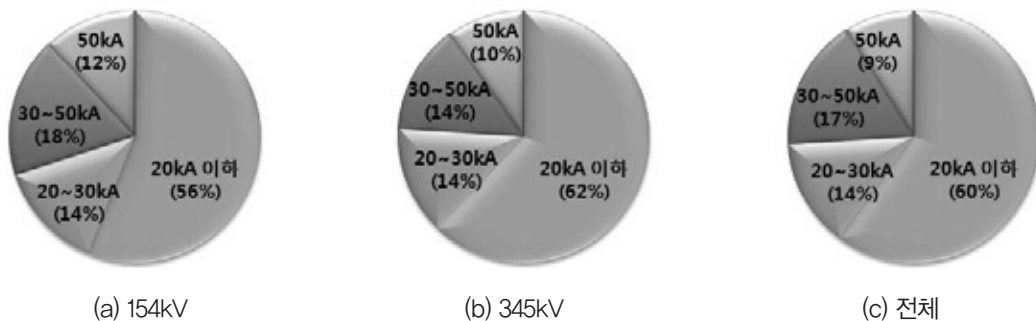
[그림 4]는 낙뢰로 인한 고장이 원인으로 추정되는 낙뢰관측 자료를 크기 별로 분석한 결과이다. 154kV 선로의 경우에는 고장원인의 낙뢰전류 크기 중 56%가 20kA 이하고, 345kV 선로의 경우 고장원인의 낙뢰전류 크기 중 62%가 20kA 이하이다. 전체적으로는 60%가 20kA 이하이다. 반면 50kA를 초과하는 낙뢰전류는 154kV이고 선로 고장의 경우 12%, 345kV 선로의 경우 10%이다. 이는 20kA 미만의 전류가 전체 낙뢰의 57% 이상을 차지하고 낙뢰전류의 크기가 작을수록 가공지선의 차폐 실패 확률이 높아지기 때문이다.

태풍, 낙뢰 등 자연현상에 의한 불가항력의 고장피해도 이해하려 하지 않는 사회 전반의 의식변화와 순

간전압 강하에 의한 전력품질 저하에도 민감하게 반응하는 상황에서 능동적인 내뢰설계는 더욱 요청된다. 현재 우리나라에서 적용 중인 송전선로의 낙뢰 대책으로는 가공지선 설치 및 다조화, 접지저항 저감, 애자런 보호를 위한 아킹혼, 송전선로용 피뢰기 설치 등이 있다.

가. 가공지선의 설치 및 다조화

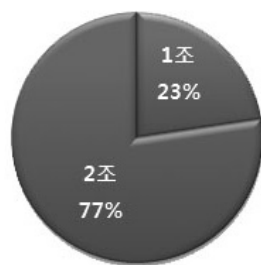
가공지선의 다조화는 차폐효과와 뇌격 전류의 분류 측면에서 가장 오래되고 효율적인 내뢰대책으로 여겨져 왔다. [표 2]에 한전의 가공지선 설치기준 이력을 정리해 놓았으며 현재는 가공지선 차폐각을 0° 이내로 적용하고 있다. 가공지선의 설치형태 대비 고장현황을 비교해 보면 가공지선 1조는 2조 설치 시에



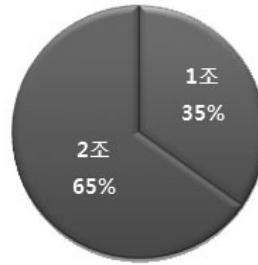
[그림 4] 낙뢰고장을 일으킨 낙뢰 전류의 크기 분석

[표 2] 가공지선 설치기준 이력(차폐각)

구분	1966년	1969년	1995년	2003년
345kV	-	-	2조 : 0°	가공지선과 최 외측 전력선위치 갈게 설치(0° 이내)
154kV	40° 이내	1조 : 40° 이내 2조 : 20° 이내	1조 : 30° 이내 2조 : 5° 이내	
66kV	45° 이내	45° 이내	30° 이내	-



(가공지선 조별 설비현황)



(가공지선 조별 고장현황)

[그림 5] 가공지선 조별 설비 및 고장현황

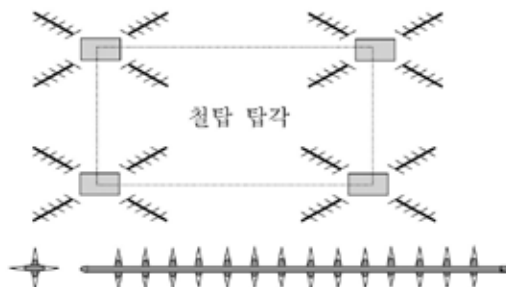
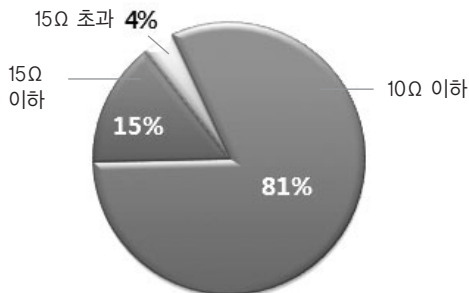
비해 고장비율이 36%가 높았다. 가공지선 1조의 설비점유율이 23%이나 고장점유율은 35%로 높다. 이는 2회선 설치보다 분류효과가 떨어져 역섬락률이 높아졌고, 근본적으로 차폐실패 확률이 높아지기 때문에 전체적으로 뇌사고율이 높다는 것을 알 수 있다.

뇌격 시 역섬락 고장을 방지하기 위해서는 가공지선 써지임피던스를 낮추는 방법이 추천되며, 가공지선 써지임피던스를 낮추기 위해서는 가공지선을 현행 2조에서 3조로 변경하는 방법이 효과적이다. 가공지선을 3조로 설치할 경우, 2조로 설치하였을 때 보

다 써지임피던스를 약 15% 낮출 수 있다. 가공지선을 2조에서 3조로 변경할 경우 역섬락 고장을 약 28% 감소시킬 수 있지만 가공지선의 3조 이상 설치하는 건설비가 많이 들고 송전선로용 피뢰기 설치보다 경제성이 떨어져 현재까지는 적용을 검토하지 않고 있다.

나. 철탑 접지저항의 저감

한전의 접지저항 기준치는 154kV의 경우 15Ω, 345kV는 20Ω, 765kV는 15Ω 이하를 기준으로 하고



[그림 6] 접지저항별 낙뢰고장 현황 및 침상접지봉 시공도

있다. 하지만 대지 저항률이 높은 산악지를 지나선 선로가 많은 우리나라는 접지저항을 저감시키는 것은 한계가 있고 접지저항을 매우 낮게 유지하려면 시공비가 급격히 증가하여 경제성이 떨어지게 된다. 또한 접지저항 기준치 이하 철탑에서도 낙뢰고장의 96%가 지속적으로 발생하고 있어 접지 저항의 저감만으로는 낙뢰고장을 감소시키기 어려운 상황이다. 이를 보완하기 위해 급준파 뇌격 시 접지저항보다 써지임피던스에 의한 영향이 큰 것을 고려하여 신속한 대지방전을 통한 역섬락 고장을 예방하기 위한 침상 접지봉을 설치하고 있다.

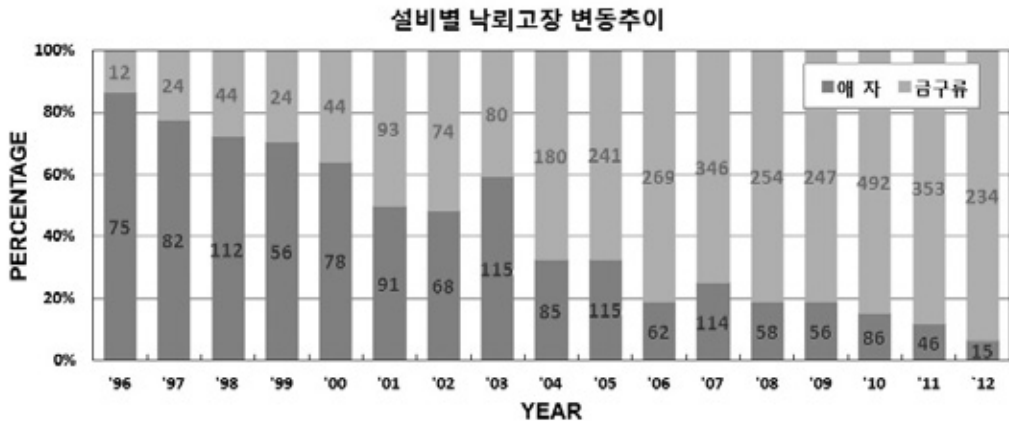
다. 애자련 보호용 아킹혼 설치

뇌섬락 시 애자련 섬락으로 인한 영구고장을 방지

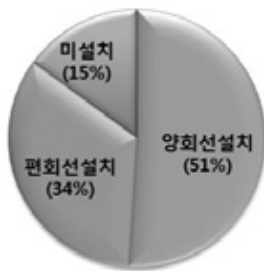
하기 위하여 1998년부터 애자련과 병렬로 아킹혼을 사용하였다. 아킹혼 설치 확대는 보호계전기에 의한 차단기 자동투입 동작과 결합하여 애자련을 보호하고 낙뢰로 인한 정전 발생을 방지한 순기능이 있는 반면, 아킹혼에 의한 잦은 자동투입은 차단기의 동작 빈도가 높아져 기기의 수명이 단축되는 단점과 자동투입 과정에서 일어나는 순간전압 강하 문제가 대두되고 있다.

라. 송전선로용 피뢰기 설치

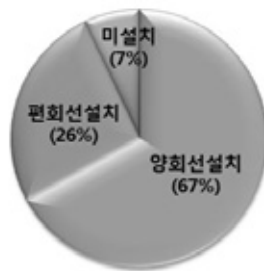
송전선로용 피뢰기 설치의 현재까지의 내뢰 대책 중 가장 우수한 방법이다. 한전은 지난 2003년 시범 설치를 시작으로 2006년부터 154kV 송전선로에 대해서 피뢰기 설치를 확대하였고 효과나 비용 측면에



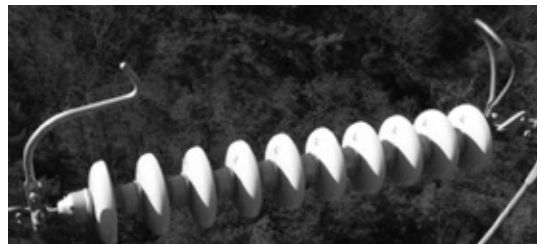
[그림 7] 연도별 애자련 고장(애자/금구류)



아킹혼 설치현황



고장발생 현황

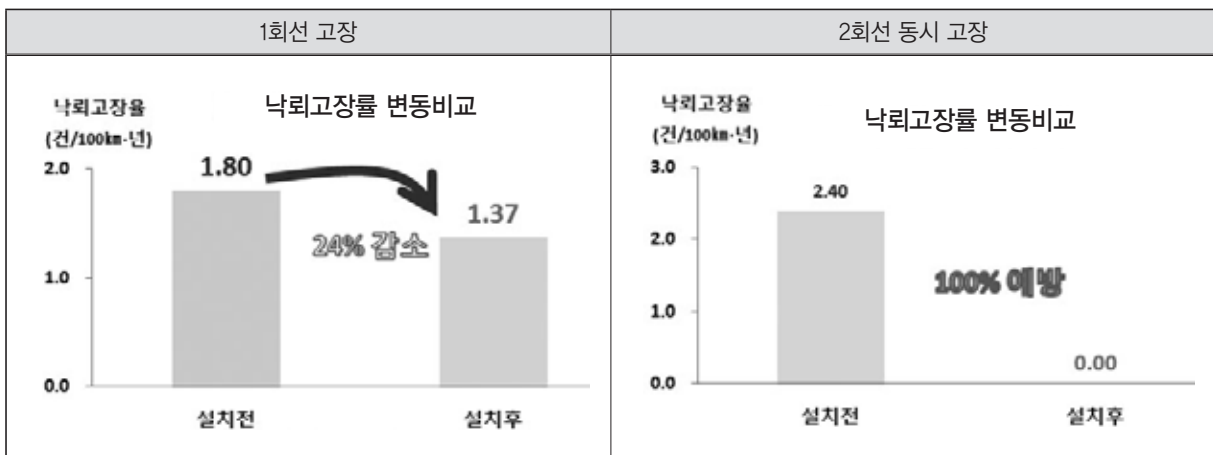


아킹혼

[그림 8] 아킹혼 설치에 따른 고장발생 현황

[표 3] 연도별 154kV 송전선로 피뢰기 설치 현황

설치년도	선로 수	설치기수(基)	제 작 사	설치사진
2003년도	1개 T/L	30	NGK,T&D(日)	
2006년도	6개 T/L	200	NGK(日)	
2007년도	7개 T/L	318	TOSHIBA(日)	
2008년도	16개 T/L	343	SIEMENS(獨)	
2009년도	26개 T/L	1,201	SIEMENS(獨)	
2010년도	34개 T/L	1,111	VISCAS(日)	
2011년도	43개 T/L	1,211	SIEMENS(獨)	
2012년도	50개 T/L	1,803	SIEMENS(獨)	
2013년도	108개 T/L	1985	SIEMENS(獨)	
합 계	308개 T/L	8,202	-	



[그림 9] 피뢰기 설치 전·후 낙뢰고장율 비교

서도 여타 내뢰대책 대비 경쟁력이 있다. 초기 설치 시에는 상대적으로 고가의 비용이 소요되나 최근에는 자재비가 하락하고 피뢰기 설치 금구류를 표준화하여 설치비용이 대폭 감소하였다.

[표 3]은 154kV 송전선로용 피뢰기의 연도별 설치 현황으로 2013년까지 낙뢰고장 시 파급영향을 고려하여 단일공급계통, 발전소 연계선로, 중요부하 공급선로 등 전체 154kV 송전철탑의 30%에 설치되어 있

다. 송전선로용 피뢰기가 설치된 선로의 설치 전·후 낙뢰고장 발생빈도를 분석한 결과 [그림 9]와 같이 1회선 고장은 24% 감소하였고 2회선 동시고장은 100% 고장예방 효과를 보이고 있다.

송전선로용 피뢰기는 변전소에 설치된 피뢰기와 기본적인 구조와 기능은 동일하지만 사용 목적과 동작원리는 차이가 있다. 송전선로용 피뢰기는 애자련 섬락 시 속류를 직접 차단하는 목적으로 휴즈와 유사

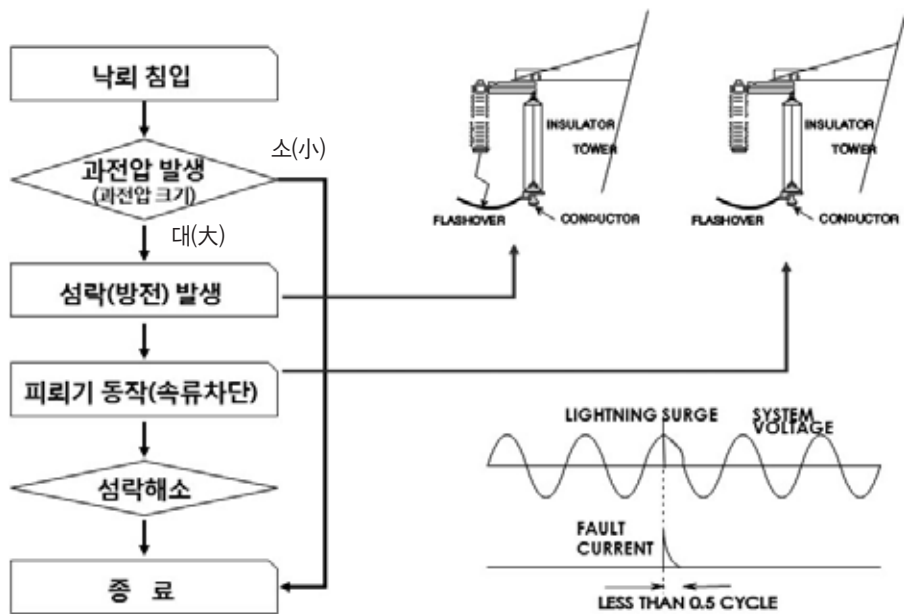
한 기능이라면, 변전소용 피뢰기는 변전소 내 유입되는 뇌과전압의 크기를 억제하여 변전기기의 절연강도를 낮추는 필터와 유사한 기능을 수행하는 것이 차이점이다.

[그림 10]과 같이 송전선로용 피뢰기는 산화아연 소자의 비선형 저항 특성을 이용하여 정격전압에 대해서는 부도체 상태로 있지만 낙뢰로 전압이 비정상적으로 높아지는 경우에는 도체로 특성이 바뀌어 송

전선로에 가해지는 과전압을 빠르게 방전시킨다. 과전압이 해소되면 피뢰기는 부도체로 특성이 변화되고 고장전류의 흐름을 빠르게 차단할 수 있어 송전선로를 정상 운전 상태로 환원시키게 된다. 이는 뇌격침입 시 아킹혼 간 접촉 이전에 내전압이 낮은 피뢰기 외부 직렬갭을 통하여 뇌격전류를 방전하고 이에 따라, 변전소 차단기 동작 이전에 고장전류를 제거하여 순간전압강하를 예방하는 기능을 수행하게 되는 것이다.

[표 4] 송전선로용 피뢰기와 변전소용 피뢰기

구 분	송전선로용 피뢰기	변전소용 피뢰기
사용 목적	○애자련 섬락 시 속류차단용 - 휴즈와 유사한 기능	○변전소 내 과전압의 크기 억제 - 필터와 유사한 기능
설치위치	철탑 : 암과 전력선 사이	변전소 내 : 전력선과 대지 사이
동작원리	피뢰기 설치 시 1차 섬락 후 피뢰기소자의 비선형 특성으로 절연이 회복되어 전원전압에 의해서도 섬락이 지속되지 않고 차단기 동작 없이 지속적 전력공급 가능	피뢰기 설치지점에 도달한 뇌과전압이 피뢰기 제한전압 크기보다 큰 과전압일 경우는, 특정 크기이상의 과전압은 피뢰기의 비선형특성에 의해 대지로 방전
구 조	기본적인 구조는 동일내부 산화아연 소자와 외부 절연재(애자)로 구성	



[그림 10] 송전선로용 피뢰기 동작원리

[표 5] 송전선로용 피뢰기의 기본 조건

구분	기본 조건
기능	<ul style="list-style-type: none"> • 뇌씨지 침입 시 애자련의 아킹혼(애자련)을 통한 섬락을 방지 • 피뢰기 유니트의 고장에도 선로의 재투입이 가능 할 것
적용	<ul style="list-style-type: none"> • 방압변 동작에 의한 폭발 방지 • 자연환경 조건에 견딜 것 • 기설 철탑에 쉽게 부착 가능할 것 • 유지보수가 용이할 것

3. 향후 계획

현재 기술로 낙뢰고장을 예방하는 가장 효율적인 대책은 송전선로용 피뢰기 설치이다. 한전은 2014년부터 신설 154kV 송전선로에는 피뢰기 설치를 기준화하였으며, 2016년까지 국가산업단지 공급선로, 석유화학, 반도체 공단 등 순간전압강하 민감 부하에 공급되는 송전선로에 지속적으로 설치를 확대하여

전체 송전철탑의 62%까지 피뢰기를 설치할 계획이다. 더 나아가 현재까지 전량 외국에서 수입해서 사용한 154kV용 피뢰기를 중소기업과 함께 2014년까지 국산 개발을 추진 중에 있다.

또한 345kV급 송전선로용 피뢰기를 올해 원자력 발전소 연계선로에 시범 설치하여 효과를 분석한 뒤 대규모 발전단을 중심으로 설치를 확대해 나갈 예정이다. 