

송변전설비의 낙뢰고장 및 고장 감소 대책

심 응보/한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원
 우정옥/한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원
 민병욱/한전 송변전처 송전운영팀 부장

1. 머리말

전력회사에서 낙뢰에 의한 설비의 피해는 송변전 설비 특히 옥외에 노출되어 있는 가공송전선로에 집중되고 있으며 연간 130건 정도가 발생하고 있다. 이러한 고장의 대부분은 송전선로의 재투입에 의해 재송전이 가능한 경우가 많으나 때로는 애자련의 섬락에 의하여 영구고장으로 진전되는 경우도 있다. 송전설비 뿐만 아니라 발전소의 굴뚝과 같은 높은 건축물에 침입한 낙뢰에 의하여 저압회로측의 섬락, 제어설비의 고장 등 매년 반복적으로 발생하는 고장은 전력 품질을 좌우하는 매우 큰 요인으로 작용하고 있으며, 고장률을 낮추기 위하여 지속적으로 노력을 경주하여 왔다. 그러나 낙뢰에 의한 피해를 완전히 예방하는 것은 기술적으로나 경제적으로 한계가 있으므로 적절한 사고율을 정하고 이 목적을 달성하기 위한 대책을 수립하는 것이 일반적이다.

낙뢰에 의한 고장률을 나타내는 기준으로는 1년간 100

C-km당의 고장건수로 나타내는데 한국전력의 경우 지난 10년간의 평균 낙뢰고장률은 약 0.611(건/100 C-km)이며 송전선로의 고장 중에서 낙뢰에 의한 고장이 차지하는 비율은 순간고장을 포함하여 약 63%에 이르며 그 중에서 전력공급에 지장을 초래한 경우가 13%였다. 공급전압이 높은 경우에는 애자련 또는 아킹흔간의 길이가 길기 때문에 자연적으로 내뢰성이 이에 비례하여 우수하지만 저전압 계급이 될수록 작은 크기의 낙뢰에도 설비의 고장을 일으키기 쉽다.

낙뢰에 의한 설비피해를 예방하기 위한 연구는 수십년 전부터 선진 각국에서 연구를 거듭하여 왔으나 아직도 그 특성을 완전히 규명하는 것은 기술적으로도 미완성의 상태이며, 간혹 제안된 방법들도 경제성을 가지기에는 어려운 것이 현실이다. 본고에서는 송변전설비를 중심으로 하여 낙뢰에 의한 고장의 발생 양상과 국내에서 관측된 뇌격의 특성, 고장 사례 및 낙뢰고장을 예방하기 위한 설비들에 대하여 소개하고자 한다.

2. 철탁 전위상승과 낙뢰고장의 종류

가. 뇌서지전압과 임펄스전압

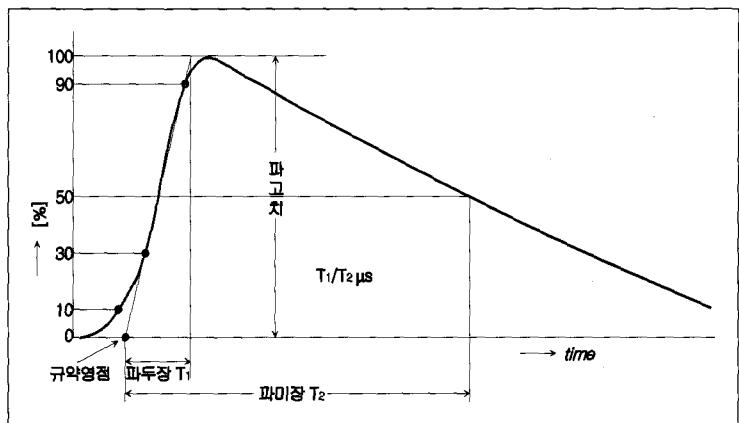
전압파 및 전류파가 송전선을 전파하여 변전소에 침입하면 여러 장소에서 왕복 투반사를 반복하여 전압의 크기나 파형이 변하게 된다. 전력계통의 서지성 과전압은 뇌격의 침입에 의한 뇌과전압과 기기의 개폐에 따른 개폐과전압이 대표적이며, 이것을 모의하여 기기의 실험용으로 발생시키는 전압을 임펄스(Impulse) 전압이라 한다. 뇌서지의 파형은 그림 1에 나타낸 바와 같이 단순하게 증가하고 감소하는 펄스파형으로 나타낸다. 파두장(Wave Front) T_1 (μs), 파미장(Wave Tail) T_2 (μs)로 정의되며 T_1 / T_2 (μs)로 표시한다. 전력계통에 접속되는 기기나 케이블에 뇌서지를 모의한 임펄스전압을 가하여 절연내력을 확인하는데 이용하는 국제 표준 임펄스파형은 1.2/50(μs)로 되어 있다.

뇌격전류의 실측 파형데이터는 세계적으로도 그리 많지 않으며 일본 전력중앙연구소의 발·변전소 내뢰설계가이드북에 뇌격전류의 표준파형은 1/70(μs)를 권장하고 있다.

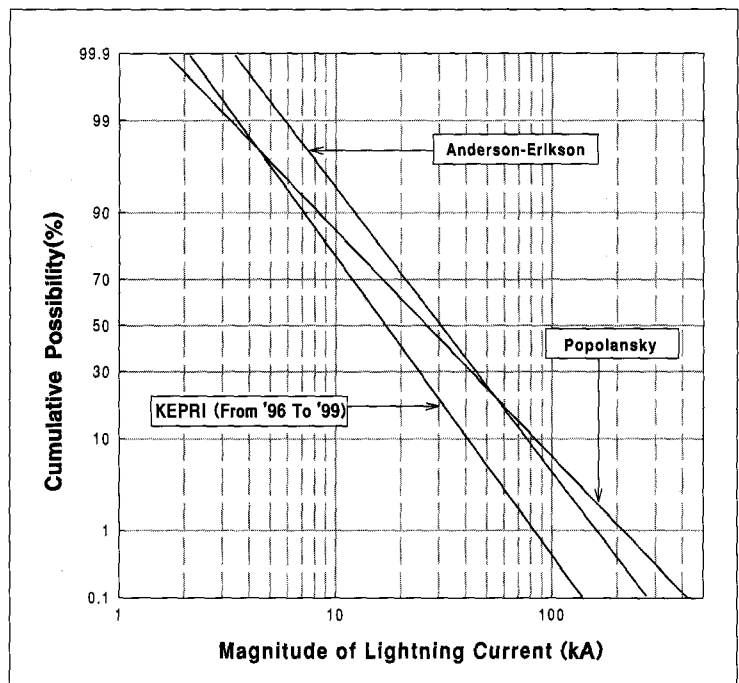
나. 뇌격전류의 발생확률과 전력설비에 뇌격될 확률

뇌격전류의 파고치는 자강편(磁鋼片)에 의한 기록으로 여러 나라에서 많은 데이터를 가지고 있다. 통상 몇kA 이상의 것이 전체의 몇% 인가를 누적분포 형태로 표시하며, 전류파고치 I는 횡축에 대수 값으로 나타내고 발생빈도는 종축에 정규누적분포(正規累積分布)가 되도록 나타낸다.

그림 2는 세계적으로 널리 통용되고 있는 Anderson & Erikson식, Popolansky식 및 한국전력에서 1996년부터 1999년까지 측정한 결과를 나타낸 것이다. 우리나라에서는 측정자료수의 부족으로 자강편에 의한 뇌격전류



〈그림 1〉 표준 뇌서지 파형



〈그림 2〉 뇌격전류파고치의 누적빈도곡선

파고치는 얻지 못하였으며, 1995년부터 한국전력에서 뇌격위치표정시스템(LPATS: Lightning Positioning and Tracking System)에 의한 간접측정으로 측정자료를 축적하여 오고 있다. 절연설계에 활용하기 위해서는 10년 이상의 측정자료 축적이 필요하다.

Anderson & Erikson식에서 뇌격전류 I(kA)를 초과하는 뇌격이 발생할 확률은 식(1)에 나타내었다.

$$P_i = \frac{1}{1 + (\frac{I}{M})^m} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, M=31, m=2.6(CIGRE 및 IEEE 기준치)이다.

한편, 뇌격이 송전선에 뇌격될 확률 NA는 식(2)와 같다.

$$N_A = 43 \times \sqrt{\frac{h}{25}} \times \frac{IKL}{30 \sim 35} \text{ (회/100km/년)} \dots (2)$$

여기에서, IKL은 연간뇌우일수(Iso-Keraunic Level), h는 철탁의 평균 높이이며 단위는 m이다.

다시 변전소 인입부의 철탁에 뇌격될 확률을 계산하면 식(3)과 같이 나타내진다.

$$P = \frac{P_{i(\%)}}{100} \times N_A \times \frac{L}{100,000} \text{ (회/회선/년)} \dots (3)$$

여기에서 L은 상정 뇌격 구간이며 단위는 m이다.

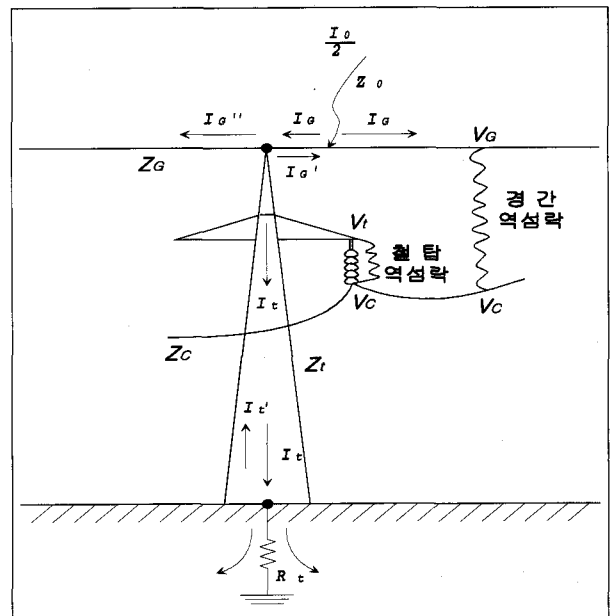
다. 송전선로의 낙뢰고장의 종류

피뢰기나 가공지선은 예로부터 뇌차폐에 유효한 수단으로 사용되어 왔다. 송전선로의 철탁, 가공지선 및 전력선에 낙뢰가 침입하는 경우 낙뢰에 의한 고장의 종류는 철탁 역섬락고장, 차폐실패고장 및 경간역섬락 고장의 세 가지로 분류할 수 있다.

뇌차폐의 범위는 여러 학자의 이론이 있으나, 1968년 미국의 Armstrong과 Whitehead에 의해서 제안된 A-W 이론으로 불리는 뇌격거리(Strike Distance)에 기초한 차폐이론이 가장 널리 사용되고 있다.

현재 대부분의 송전선로는 가공지선을 설치하여 뇌격이 직접 상도체에 침입하는 것을 방지하도록 설계되어 가설되고 있다. 철탁이나 가공지선에 침입한 뇌격전류는 결국 철탁을 통하여 대지로 흐르게 되며 이 때 가공지선이나 철탁의 각부에는 전위가 상승하여 절연파괴가 발생한다. 이것을 역섬락(Back Flashover)이라 하는 것은 상도체에 직격되어 도체의 전위가 상승하여 섬락하는 경우를 순방향으로 생각하기 때문이다.

그림 3에 나타낸 역섬락 현상은 분포정수회로로 설명된다. 우선 뇌도입피던스 Z0를 통하여 I0/2의 전류파와 Z0 · I0/2의 전압파가 진행되는 것으로 생각한다. 여기서 I0는 저항 0의 대지에 흐르는 뇌격전류이다. 일반적으로 어느 서지임피던스 Z의 분포정수선로에 전류 i가 흐르면 대지전압은 Zi가 되며, 선로의 한쪽 단을 접지하면 Zi의 전류가 대지로 흐른다. 이 Zi를 I0라고 생각하므로 거꾸로 뇌방전로를 구름으로부터 내려오는 진행파전류는 I0/2로 생각한다.



〈그림 3〉 철탁 및 경간역섬락 현상의 설명

뇌방전로가 가공지선에 도달하면 양방향으로 I_G 가 흐르고 가공지선의 전압은 $V_G = Z_G \cdot I_G$ 가 된다. 상도체의 전압을 V_C 라 하면 가공지선과 상도체 사이에는 $V_G - V_C$ 의 전압이 가해진다. 이 전압이 공기의 절연내력을 초과하는 경우에는 경간 역섬락이 발생한다.

한편, 첩탑쪽으로 진행한 전류와 I_G 가 첩탑 상부에 다르면 첩탑을 내려가는 전류 I_t , 반사되는 I_G' , 가공지선을 통해 다음의 첩탑으로 향하는 전류 I_G'' 로 나누어진다. 이때 반사파 I_G' 는 가공지선의 전위를 낮추는 작용을 하게 되어 이러한 뇌격이 첩탑부근에 발생하면 가공지선의 전위 V_G 는 낮아져서 경간 역섬락은 발생하지 않게 된다. 그러므로 뇌격점이 경간의 중앙이 될수록 전압이 높아져서 일반적으로 경간 역섬락이 발생하기 쉬워진다.

첩탑을 따라 전류 I_t 가 흐르면 첩탑의 암이나 애자련의 상단의 전위 V_t 가 높아지며, 애자련에는 $V_t - V_C$ 의 전압이 가해져서, 이것이 공기의 절연내력보다 높을 때 첩탑의 역섬락이 발생한다.

각부의 서지임피던스를 알면 분포정수 회로론에 따라 역섬락의 발생여부를 계산할 수 있다. 대지면에 평행인 가공지선과 상도체의 서지임피던스 Z_G 와 Z_C 는 식(4)로 구해진다. 즉,

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 L , C 는 단위 길이당 인덕턴스와 대지정전용량이다.

한편, 대지면에 수직인 뇌 방전로와 첩탑의 서지임피던스는 Maxwell 방정식으로 구할 수 있으나, 실험적인 방법으로 첩탑상부의 전위를 그곳을 흐르는 전류로 나누어 첩탑의 등가적인 임피던스를 계산한다.

뇌도의 임피던스 Z_0 의 값은 가장 보

편적으로 발생하는 뇌운의 직경과 높이를 가정하여 계산한 Bewley의 계산에 근거하여 보통 400Ω 을 사용한다.

아킹흔의 내전압특성은 그림 4와 같이 시간에 따라 지수함수적으로 감소하다가 일정한 값으로 수렴하는 특성을 갖는다. 아킹흔간에 발생하는 전압이 이 내압치보다 큰 경우에 역섬락이 발생하며 역섬락 발생 여부에 대한 상세한 계산에는 전자계 과도현상 해석 프로그램 (EMTP : Electromagnetic Transient Program) 등이 이용되며 전압-시간 특성을 무시한 간략한 계산에는 식(5)를 이용하여 구할 수 있다.

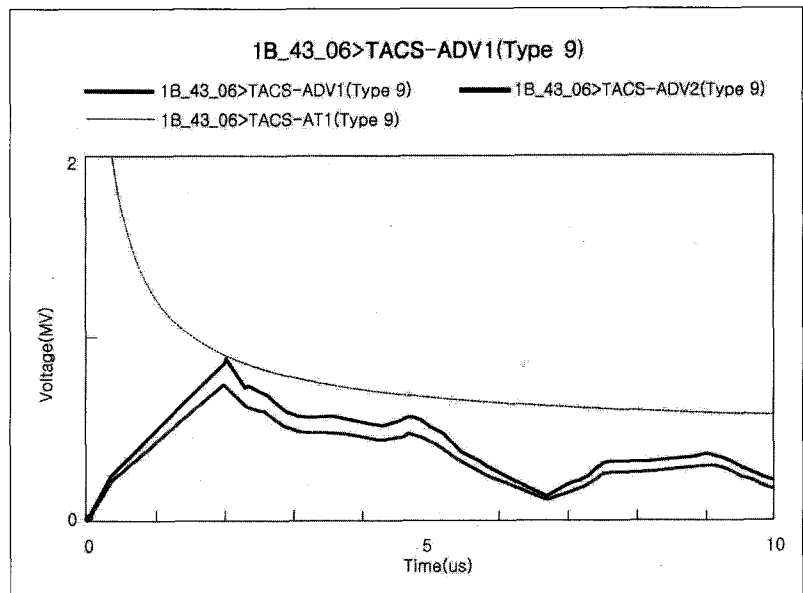
$$I_L = \frac{V - E}{(K - C) \cdot R_r} \text{ (kA)} \dots\dots\dots (5)$$

여기서

V : 아킹흔(50%) 임펄스섬락전압 (kV)
 $= (VF50 \cdot k) / L$

E : 교류대지전압과고치(kV), 최대치 $\times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

Z_r : 첩탑정부 전위상승을 임피던스로 표시한 값



<그림 4> 아킹흔간 발생전압과 아킹흔의 내전압 예시

- C : 결합률(0.3)
- K : 상단암 철탑내 전위상승률(0.8)
- V_{F50} : 표준충격과 50% 섬락전압(F.O.V) (V)
- k : 파형계수
- L : 섬락전압 저하계수(대기조정계수) 1.1

라. 낙뢰에 의한 변전설비의 고장

변전설비는 일반적으로 낙뢰가 직접 침입할 확률이 매우 낮으며 가공지선 등으로 차폐실패가 일어나지 않도록 설계될 뿐만 아니라 최근의 변전설비는 옥내형 설비가 주류를 이루고 있어, 송전선로에서 침입한 낙뢰가 송전선로를 통하여 변전소로 침입하는 형태로 되어 있다. 역섬락 또는 차폐 실패에 의해 변전소측으로 진행된 서지는 변전소 회로상에 개방단이 있는 경우에 반사파에 의해 과전압이 배가 되므로 통산 변전소의 모선부, 선로 인입부 및 변압기단에 피뢰기를 설치하여 과전압을 억제하고 있다. 피뢰기의 설치점에서 일정한 보호범위를 벗어나면 피뢰기에 의한 과전압 억제 효과가 줄어들게 되므로 피뢰기의 설치시에는 반드시 적정 보호범위 이내에 기기가 보호되고 있는지를 확인하여야 한다.

3. 한반도의 주요한 낙뢰 특성

지난 4년간의 누적 통계를 살펴보면 전체 낙뢰 중에서 약 7.5%를 점유하고 있는 운간의 방전을 제외하면 정극성 낙뢰의 비율이 약 16.7%, 부극성 낙뢰의 비율이 약 83.3%로 다른 나라와 비슷한 수준이다. 동일지역 동일시간에 발생한 낙뢰의 다중도는 대부분이 단일 낙뢰로 되어 있으며 2 이상의 다중도를 갖는 낙뢰의 확률은 7.8%였다.

시간 및 계절적인 분포를 보면 태풍과 비가 많은 7월과 8월에 집중되어 있으며 시간대별로는 주로 오후 16시에서 23시 사이에 많이 발생하고 있다. 한전이 보유하고 있는

낙뢰위치표정시스템(LPATS : Lightning Positioning and Tracking System)에서 지금까지 관측된 낙뢰 중에서 가장 큰 낙뢰전류의 크기는 1999년 6월 전남 장흥의 167.8kA(부극성) 및 1999년 3월 26일 충남 서천의 234kA(정극성)이었으며, 평균 낙뢰전류는 21.24kA로서 90% 이하의 낙뢰는 그 크기가 40kA 이하였다. 실제로 고장을 유발한 낙뢰 중에서 가장 큰 낙뢰전류의 값은 최대 150kA, 최소 10kA이며 평균 40kA이었다.

연간 뇌우일수는 지역별 및 연도별로 큰 편차를 보이고 있으며 위·경도 상의 1도를 각각 4등분하여 뇌우일수를 나타내고, 당해 연간뇌격일수보다 많은 연간뇌격일수가 나타날 확률이 10% 이하가 될 확률로 보면 연간뇌우일수는 약 30일로 나타났다.

4년간 낙뢰의 지역별 분포를 보면 경기, 충남, 경북 지역에서 비교적 많은 낙뢰가 발생하였는데 연도별 편차가 심하다. 1996년에는 강원, 경기, 경북 지역의 산악 지방, 1997년에는 경기, 강원, 전남, 전북, 경남지역의 산간, 해안 지역, 1998년에는 경기 지역에 많이 발생하였으며 1999년에는 강원, 경북, 경기지역에 많이 발생하였다. 이를 1km²당의 대지낙뢰밀도로 보면 서울, 경기, 충남, 대전지역이 다른 지역보다 훨씬 많으며 서울이 최대 1.46건으로 가장 밀도가 높았다. 낙뢰 크기의 최대값에 도달하기까지의 시간을 나타내는 파두장의 평균값은 2.89 μ s, 크기가 최대값의 절반으로 저하하기까지의 시간을 나타내는 파미장은 10.82 μ s이었다. 국내의 측정 데이터는 일본이나 다른 외국의 측정값에 비해 대체로 낮은 값을 보여 주고 있는데, 장차 직접측정방식에 의한 측정 결과로부터 측정 오차범위를 파악하여야 할 것이다.

4. 낙뢰고장 예방설비 및 고장 감소대책

낙뢰로부터 송전선로를 보호하기 위해 널리 사용되고 있는 방법으로는 가공지선의 설치, 철탑 탑각 접지

저항의 저감, 아킹흔의 설치 등이 전통적으로 많이 사용되고 있는 방법이다. 최근에는 뇌격발생 자체를 억제하기 위한 방법으로 낙뢰소산장치의 적용, 낙뢰에 의한 서지임피던스를 저감시키기 위한 접지방법으로 침상접지봉의 사용을 시범적으로 적용한 바가 있으며, 일본 등에서는 2회선 동시고장을 방지하고 내뢰성을 높이기 위한 송전선로용 피뢰기의 설치, 낙뢰다발지역의 송전선로에 가공지선을 3조로 시공하는 등의 내뢰 대책이 적용되고 있다.

기능적인 측면에서 보면 습뢰 자체를 방지하기 위한 방법으로 낙뢰소산장치, 차폐실패에 의한 고장을 줄이기 위한 방법으로 차폐각 감소, 역섬락에 의한 고장을 줄이기 위한 방법으로 탐각 접지저항의 저감과 송전선로용 피뢰기의 적용을 열거할 수 있다.

본고에서는 각각의 예방설비에 대한 주요 특징과 예방 효과에 대하여 소개하고자 한다.

가. 가공지선의 설치

가공지선은 현재까지 가장 오래되고 효과가 우수한 송전선로 내뢰대책으로 사용되어 왔다. 뇌차폐의 범위는 여러 학자의 이론이 있으나, 1968년 미국의 Armstrong과 Whitehead에 의해서 제안된 A-W 이론으로 불리는 뇌격거리(Strike Distance)에 기초한 차폐이론이 가장 널리 사용되고 있다.

한국전력에서는 154kV 이상의 송전선로는 가공지선을 2조로 설치하는 것을 기준으로 하고 있는데, 가공지선은 낙뢰가 상도체에 직접 뇌격되는 것을 방지하여 주는 차폐효과와 뇌격전류가 가공지선으로 잘 흐르도록 하여 철탁의 탐각으로 흐르는 뇌격전류를 분산시켜주는 분류 효과가 있다. 차폐효과에 대한 지표로서 가공지선 암에서 상부 도체로 연결한 직선과 대지에 대한 수직선이 이루는 각도로서 표시되는 가공지선의 차폐각은 전압 계급별로 표 1에 나타낸 바와 같다.

〈표 1〉 가공송전선로 차폐각 설치기준

전압별	설치 조수	차폐각		비고	
		개정전 ('95. 9. 5 이전)	개정후		
철탁의 경우	765kV	2	-8° 이내	-8° 이내	
	345kV	2	0° 이내	0° 이내	
	154kV	1	40° 이내	30° 이내	
		2	20° 이내	5° 이내	
	66kV	1	45° 이내	30° 이내	
목주, CP의 경우			50° 이내	50° 이내	

나. 지지물의 접지

접지저항을 낮추면 고장률은 저하하지만 접지저항을 매우 낮게 유지하려면 시공비가 급격히 증가하여 비경제적이 된다. 따라서 접지저항을 저감시키는 데에는 한계가 있으므로 설계기준에서는 전압 계급별로 접지저항 목표값을 정하여 관리하고 있다. 765kV 송전선로는 15Ω 이하, 345kV 송전선로는 20Ω 이하, 154kV 송전선로는 15Ω 이하로 하고 있으며 66kV급에서는 30Ω 이하를 목표값으로 하고 있다.

접지를 시공하는 방법으로는 접지봉 및 매설지선의 시공이 있다. 접지봉은 각철 또는 접지동봉을 사용하며, 접지선은 38mm²의 연동연선을 사용하여 왔으며 최근에는

〈표 2〉 매설지선 설계기준

대지고유 저항 (Ωm)	154kV 이하 T/L 매설지선 길이 및 조수		345kV T/L 매설지선 길이 및 조수		비고
	분포접지	집중접지	분포접지	집중접지	
300 이상 ~900 미만	30×4	-	25×4	-	경질토사, 고사점토 및 자갈섞인 토사, 호박돌 섞인 토사, 토사섞인 풍화암
900 이상 ~1200 미만	45×1 30×3	10×4			
1200 이상 ~1500 미만	55×1 30×3	20×4	25×4	10×4	풍화암, 연암, 연암 섞인 보통암
1500 이상	75×1 30×3	20×4	75×1 30×3	20×4	보통암, 경암

침상접지봉도 사용하기 시작하였다. 논, 밭 등 매설지선을 설치하기 어려운 지역에 주로 사용하며 대지고유저항이 300Ω·m 미만인 지역은 접지봉을 사용한다. 대지고유저항이 높아서 소정의 접지저항을 얻기 어려운 지역에서는 38mm²의 동복강연선을 사용하여 매설지선을 시공한다. 매설지선의 시공기준은 표 2와 같다.

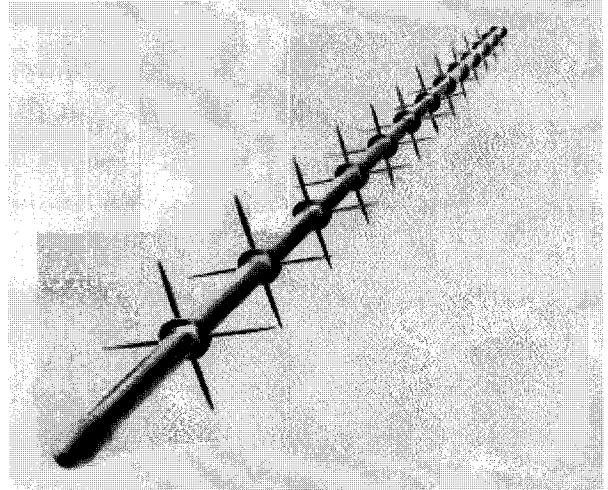
다. 낙뢰 서지임피던스 저감용 침상접지봉

매설지선에 의하여 탐각의 접지저항을 낮추어도 파도장이 짧은 급준파 뇌격전류가 침입하면 대지방전 서지임피던스는 큰 값을 나타내다가 시간의 경과에 따라 정상임피던스 값으로 수렴하게 된다. 반대로 파도상태의 접지저항값이 정상상태의 접지저항값보다 작은 경우도 있으나 대부분은 전자의 경우이다. 따라서 표 3에서 보는 바와 같이 정상상태의 접지저항 값이 기준치 이하인 경우에도 역섬락이 발생하고 있다.

침상접지봉을 사용하여 대지중간의 방전이 잘 되도록 하면 첩탑에서 역섬락이 발생하기 전에 지중방전이 일어나 역섬락을 방지할 수 있다. 낙뢰표시기, LPATS 등을 이용하여 154kV 시사용 구간 첩탑 32기에 대한 분석결과를 보면 침상접지봉이 설치된 첩탑의 역섬락고장 발생률은 0%, 침상접지봉이 설치되지 않은 첩탑의 역섬락고장 발생률은 3.4%로 나타났다. 일본 도쿄전력의 경우 침상접지봉이 설치된 첩탑의 역섬락고장 발생률은 9.1%, 침상접지봉이 설치되지 않은 첩탑의 역섬락고장 발생률은 60.0%로 나타나 고장확률이 현저히 줄어들었음을 알

〈표 3〉 낙뢰 고장개소의 접지저항

구분 연도별	설계기준치 (Ω 이하)	낙뢰고장개소 접지저항(건)			기준치 이하 점유율(%)
		기준치 이하	기준치 초과	합 계	
345kV	20	25	0	25	100
154kV	15	153	8	161	95.0
합 계		178	8	186	95.7



〈그림 5〉 침상접지봉의 형상

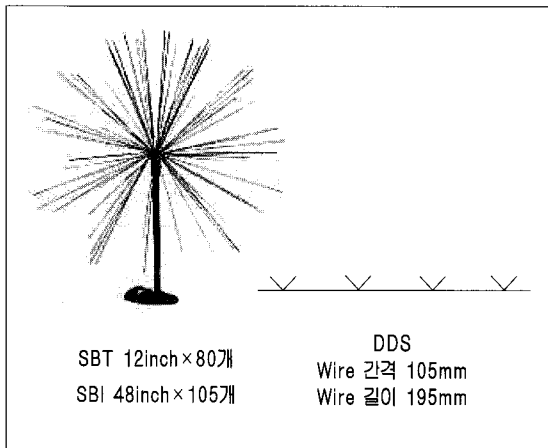
수 있다. 그림 5는 침상접지봉의 외형도이다.

라. 낙뢰 소산장치

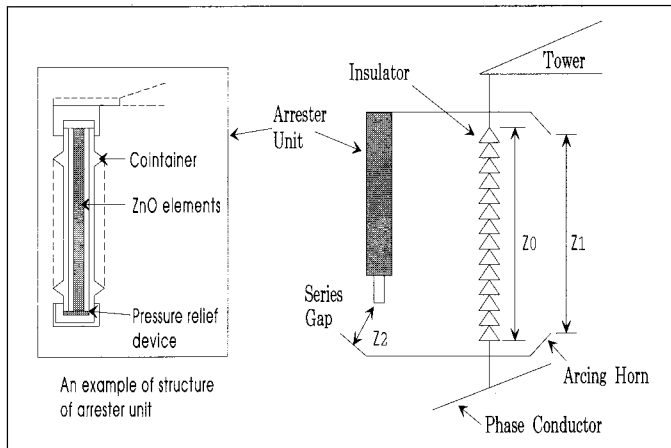
낙뢰 소산장치는 전기적으로 충전된 뇌운과 반대 극성으로 충전된 대지의 전하를 방산기(Ionizer)를 이용하여 정전하를 공기중에 방산함으로써 뇌운과의 사이에 발생한 전하를 중화시켜 뇌격의 발생을 사전에 방지하는 원리를 이용한 것이다. 낙뢰소산장치에는 이중소산장치(DDS : Dual Dissipation System), 밤송이 형태로 가공지선이 2조인 첩탑암에 설치하는 SBT(Spline Ball Terminal) 및 가공지선이 1조인 첩탑암에 설치하는 SBI(Spline Ball Ionizer) 등이 있다. 그림 6은 DDS, SBT 및 SBI의 외관으로 현재 156.1km 구간의 송전선로에 시범 적용하여 효과를 분석중이다.

마. 아킹혼

아킹혼은 낙뢰고장시 애자의 손상을 방지하는 것을 주목적으로 설치하며 금구류가 아크에 의해 용융되는 현상 방지, 전선 소선의 용융 방지 및 코로나 발생을 억제시켜 주는 효과가 있다. 345kV 이상의 선로는 최초 건설시부



〈그림 6〉 낙뢰소산장치의 종류



〈그림 7〉 송전선로용 피뢰기의 구조와 배치

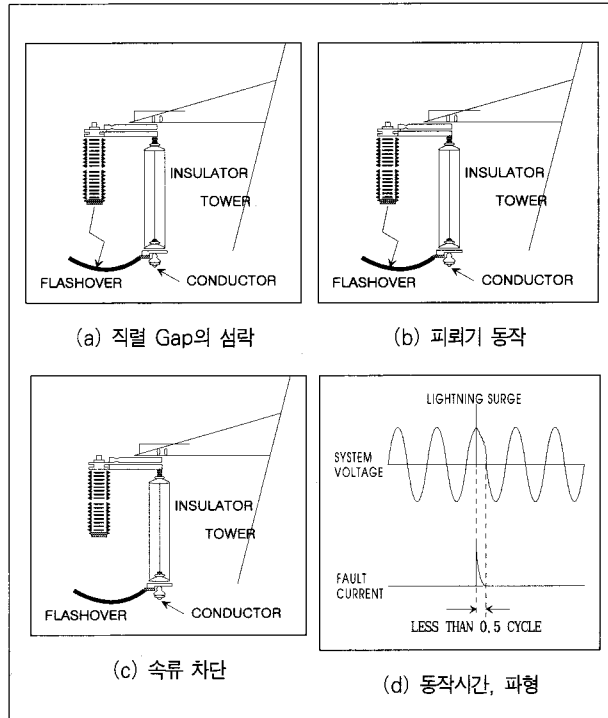
터 적용하고 있으며 154kV 송전선에는 1991년부터 부분적으로 적용해오다가 최근에 건설되는 송전선로에는 모두 설치하고 있다.

지속적으로 송전이 가능하다. 탑높이 25m인 154kV급 송전철탑의 경우를 모델로 하여 송전선로용 피뢰기를 설

바. 송전선로용 피뢰기의 설치

일본에서 많이 연구되어 사용하고 있는 방법으로서 뇌서지의 침입시 아킹흔에 의한 섬락 이전에 직렬 갭 및 피뢰기를 통하여 뇌서지 전류를 방전시켜서 송전선로가 차단되지 않고 상용주파의 속류도 흐르지 않도록 하는 방법이다. 전력 품질의 확보 측면에서는 우수한 방법이나 많은 비용이 필요하여 우리 나라에서는 아직 사용되고 있지 않는 방법이나 그 구조와 동작 원리를 여기에 소개하고자 한다.

송전선로용 피뢰기의 구조는 그림 7과 같이 기존의 아킹흔 형태와 병렬로 직렬 갭과 피뢰기 소자가 연결되어 있다. 그림에서 직렬 갭 Z_2 는 Z_1 보다 공기절연거리가 짧으므로 뇌격의 침입시에는 직렬갭을 통한 방전이 먼저 일어난다. 그림 8에서 보는 바와 같이 피뢰기가 동작하여 서지전류를 방전시키지만 산화아연소자의 특성에 의해 상용주파의 속류는 흐르지 않으며 차단기가 트립되지 않고



〈그림 8〉 송전선로용 피뢰기의 동작원리

〈표 4〉 송전선로용 피뢰기 설치시 역섬락 뇌격전류

단위 : kA

구 분	탑 각 접 지 저항 (Ω)				
	5	10	15	20	100
GW 1조	78	66	54	50	20
GW 1조+피뢰기	136	116	98	88	32
GW 2조	112	94	82	74	30
GW 2조+피뢰기	216	182	152	134	50

치한 경우의 내뢰성 향상 효과를 표 4에 나타내었다. 2회선 송전선로 중에서 1회선에만 설치하는 경우는 2회선 동시고장을 방지할 수 있으며 양회선 동시에 설치하는 경우는 동일한 탑각 접지저항을 갖는 경우에 내뢰성이 향상됨을 알 수 있다.

사. 가공지선 3조화 시공

이 방법도 일본에서 많이 연구되어 사용하고 있는데 낙뢰가 매우 심한 개소에 한정하여 사용중에 있다. 가공지선을 3조로 하여도 차폐실패에 의한 고장을 예방할 수는 없으나 침입한 뇌격전류를 효과적으로 분사시켜 탑각으로 흐르는 뇌격전류의 크기를 적게 함으로써 철탑의 전위 상승을 억제할 수 있다. 송전선용 피뢰기의 설치에 비하면 보다 경제적으로 시공할 수 있는 방법이다.

최근에는 변전소에서 철탑으로 인출하는 경우에 부지 확보가 어려워 4회선 또는 6회선의 송전선로가 시공되는 경우가 많아졌다. 철탑 하단에 설치된 2회선은 가공지선에 의한 차폐효과를 기대하기 어려울 뿐만 아니라, 상단의 2회선 선로는 철탑의 높이가 높아짐에 따라 탑정의 전위가 높아져 역섬락에 취약한 구조로 되었다. 탑각의 접지저항을 저감하는 것 또한 간단한 문제가 아니므로 4회선 철탑 구간의 가공지선을 3조로 시공하여 역섬락 사고율을 줄이는 것이 가능하다. 뇌격의 누적분포를 보면 작은 크기의 뇌격이 발생할 확률이 매우 많으므로 견딜 수 있는 뇌격의 크기를 조금만 향상시키면 뇌사고율을 대폭

줄일 수 있다.

표 5는 154kV급 4회선 송전선로로서 탑 높이가 약 53m인 철탑을 모델로 하여 상단에 설치된 회선을 기준으로 가공지선을 3조로 하는 경우와 2조로 하는 경우의 역섬락발생 뇌격전류를 계산한 결과이다. 표 2의 결과와 비교하여 보면 4회선 송전선로의 내뢰성은 2회선 선로보다 상당히 저하됨을 알 수 있으며 가공지선을 3조로 함으로써 역섬락 사고를 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

〈표 5〉 가공지선 3조 설치시 역섬락 뇌격전류

단위 : kA

구 분	탑 각 접 지 저항 (Ω)					
	10	15	20	30	40	50
가공지선 2조	38	36	34	30	28	26
가공지선 3조	48	46	44	40	38	34

5. 결 론

이상으로 송변전설비의 낙뢰에 의한 고장현상에 대한 설명과 현재까지 시행하고 있는 가공지선, 아킹혼의 설치 및 탑각 접지저항 저감을 위한 매설지선과 침상접지봉의 설치 등에 대하여 소개하였다. 또한 적용 가능성이 있는 뇌해 예방책에 대하여도 언급하였다. 이러한 여러 가지 내뢰고장 예방 대책에 대한 시행의 결과로 낙뢰로 인한 설비피해와 정전고장은 현저하게 줄어들었다.

낙뢰에 의한 고장은 현재까지 기술적 또는 경제적인 어려움으로 인하여 사고율을 적정수준으로 허용할 수밖에 없는 한계를 가지고 있으나, 고도의 정보화시대의 도래와 함께 컴퓨터 등 전자통신 기기의 보급과 국민 생활 수준의 향상으로 인하여 순간적인 정전도 사회에 큰 영향을 미치게 되었다. 따라서 현재까지 알려진 방법에 대한 적극적인 수용과 최신 장비를 이용한 뇌해 예측 및 예방 대책 등을 달성하기 위하여 지속적인 설비투자과 연구개발에 힘써야 할 것이다. ■