

해외  
기술

# 落雷로부터 配電線을 지키는 耐雷變壓器 등의 新技術

복잡하고 고도화된 정보  
화사회에 있어서 高品質·高  
信賴性的의 전력공급이 더욱  
요구되고 있다. 전력설비의  
落雷에 의한 供給支障건수  
는 耐雷대책에 의하여 매년  
감소하고 있으나 연간 수백  
건의 落雷事故가 발생하고  
있다. 여기서 落雷事故減少  
에 힘쓰고 있는 東京電力의  
대책을 소개한다.

## 1. 耐雷설계에 대한 개념

配電線의 낙뢰로 인한 피해는 自然災

해에 기인하는 전력설비사고 중에서 고  
정적인 件數를 점하고 있다.  
특히 배전선의 絶緣 Level이 전력설  
비중에서 가장 낮은 탓으로 襲來빈도가  
큰 산간지역에서는 전체 사고의 반수  
정도를 점하는 경우도 있다.  
6600V배전선의 경우 그 絶緣設計는  
① 開閉서지 등의 内部異狀電壓에 견  
달만한 絶緣強度를 가질 것, ② 雷서지  
등의 외부이상전압에 대하여서는 避雷  
器, 架空地線을 설치하는 등의 적절한  
낙뢰대책을 세울 것 등을 기본으로 하  
고 있으나, 일반적으로 6600V배전선에  
서는 내부이상전압에 대하여서는 선로  
의 절연(6호A)으로서 충분히 견디는  
설계로 되어 있으므로 낙뢰대책을 강  
구하는 것이 절연설계의 기본으로 되어  
있다.  
또한 配電設備의 경우 落雷서지의  
발생빈도는 直擊雷보다는 誘導雷가 더  
 많으므로 誘導雷서지를 대상으로 설계  
하고 있다.

이 雷害對策에 관한 기본적인 생각의  
개요는 다음과 같다.  
(1) 6600V 배전선에서는 기기보호  
를 위한 避雷器(耐雷素子 내장)와 斷  
線防止를 위한 放電Clamp를, 雷서지  
(Surge)電壓을 가능한 한 억제하기 위  
하여 가공지선을 설치하는 것을 기본으  
로 한다.  
(2) 절연전선과 케이블 등이 混在하  
는 절연전선에서는 절연전선만의 선로  
와는 달리 雷서지의 반사·투과현상에  
 의한 雷擊點과 케이블 접속점의 전위가  
 상승하는 경우가 있으므로 케이블 접속  
점의 절연전선구간에 피뢰기를 설치한다.  
(3) 2회선 이상 併架된 선로에서는  
회선의 상하 등 시설위치의 상이로 인  
한 誘導雷서지의 크기에 大差가 없으  
므로 각 회선마다 설치되는 柱上機器에  
 대하여 보호를 한다.

(4) 배전선에 설치되는 각종 기기는  
 雷서지에 의한 기기내부의 절연파괴를  
 방지하기 위하여 기기의 외부절연과 내  
 부절연의 강조를 도모한다.

## 2. 雷害對策을 지향한 機材의 변천

### 가. 架空地線

架空地線은 피뢰기와 함께 뇌해대책  
 의 기본으로서 誘導雷서지를 억제하는  
 데 오랫동안 적용되어오고 있다. 雷서  
 지의 억제율은 接地抵抗에 따라 변화하  
 나 그 효과는 架空地線이 없는 경우에  
 배전선에 유도되는 전압의 70%정도로  
 경감되는 것이 실험 등에 의하여 확인  
 되고 있다. 이 억제율의 원리는 架空地線  
 上에 생긴 誘導雷서지전류가 접지선을  
 통하여 大地에 흐를때 逆起電力이 相  
 互誘導作用에 의하여 다른 배전선에 생  
 김으로써 雷서지전압을 저하시킨다고  
 생각되고 있다.

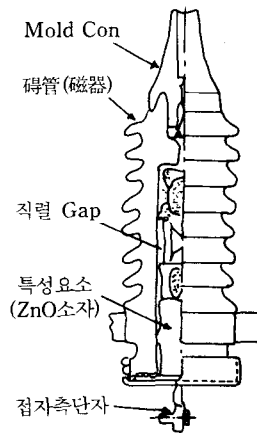
### 나. 避雷器

避雷器는 雷害對策의 가장 유력한  
 機材로서 발·변전소로부터 배전선에  
 이르기까지 電力系統 전반에 오래전부  
 터 사용되고 있다.

#### (1) 避雷器의 원리와 효과

避雷器는 雷서지 등에 의하여 고압선

에 생긴 이상전압을 접지선을 통하여  
 大地에 흘림으로써 一定電壓으로 억제  
 하나 피뢰기는 가공지선과 마찬가지로  
 직격뢰에 의한 Flash-over의 방지보다  
 는 誘導雷에 의한 雷서지 억제를 주목  
 적으로 설치되고 있다.



<그림 1>

#### (2) 避雷器의 定格電流(放電耐量)

雷서지에 의하여 피뢰기가 동작할 때  
 과거의 피뢰기 放電電流值의 조사결과  
 에 의하면 95% 이상이 2500A이내에  
 수습되는 것으로 알려져 있다.이로서  
 현재 배전선에 널리 사용되고 있는  
 2500A정격의 피뢰기는 모든 雷서지전류  
 를 처리할 수가 있다. 그러나 직격뢰의  
 경우 방전전류가 2500A를 초과할 때도  
 있어 이 경우 열에너지의 대폭적인 상  
 승으로 내부소자가 파손하는 경우도 있  
 다고 생각된다 (그림1 참조).

#### (3) 避雷器의 動向

피뢰기는 주로 시기와 특성요소라고  
 하는 内部素子로 구성되어 있다. 그 내

부소자로서는 종래 SiC(炭化珪素)가 사  
 용되었으나 최근에는 非直線性에 우수  
 한 ZnO(酸化亞鉛)소자가 사용되고 있  
 다. ZnO소자는 高純度의 酸化亞鉛에  
 미량의 金屬氧化物(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 배합하여  
 고온에서 燒成한 것이다. 그 구조는 導  
 電性의 ZnO입자(1-10Ω/cm)주변에 첨  
 물을 주체로 한 高抵抗氧化物(10<sup>10</sup>Ω/  
 cm 이상)이 둘러싸듯 粒界層을 형성하  
 고 있다. 이로 인하여 高抵抗氧化物의  
 특성이 지배적인 小-中電流領域과 ZnO  
 입자의 저항이 지배적인 大電流領域으  
 로 나뉘어져서 뚜렷한 非直線性을 나타  
 내고 있다 (그림2 참조)

### 다. 耐雷型變壓器

#### (1) 耐雷型變壓器의 開發經緯

피뢰기는 기기보호를 위하여 기기와  
 바로 인접하여 설치하는 것이 유효한  
 것은 분명하다. 피뢰기설치전주에서도  
 이제까지 사고는 계속 발생하고 있었  
 다. 이것은 피뢰기의 설치선에 雷서지  
 가 흐를 때 생기는 전압강하에 의하여  
 변압기의 外函과 내부에 전위차가 발  
 생. 이 부분에서 절연파괴가 일어나기  
 때문이다. 그래서 변압기 보호를 염두  
 에 두고 그림 2와 같이 ZnO소자를 ①  
 變壓器株에 설치한 경우(현행), ② 高  
 壓Cut-out옆에 설치한 경우, ③ 변압기  
 에 내장한 경우의 세가지에 대하여 검  
 토하였다. 배전선에 雷서지가 침입한  
 경우 機柱에 걸리는 전압(V)은 피뢰기  
 의 서지電流의 波頭峻度(di/dt)와 設  
 置線의 Inductance(L)의 積과 피뢰기  
 의 制限電壓(VA)의 합으로 표시된다.

di/dt와 VA가 일정하다고 가정하면 L이 적을수록 기기에 걸리는 전압을 낮게 制御할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그래서 L이 작아지는 ③의 ZnO소자를 내장하는 방법을 선택하여 ZnO素子內藏型變壓器를 개발하였다.

(2)耐雷型變壓器의 效果

同社에서는 實系統에 ZnO 소자내장

형변압기의 적용을 1985년부터 시작하여 1994년까지 전체의 65% 정도 설치를 완료하였다. 이제까지 耐雷型變壓器 자체가 雷害를 받은 사례는 적고 앞으로 設置率이 향상됨에 따라 변압기의 耐雷性能은 점차 감소하고 전력의 신외도향상에 크게 공헌할 것으로 생각하고 있다.

라. 放電 Clamp

(1) 放電 Clamp의 導入

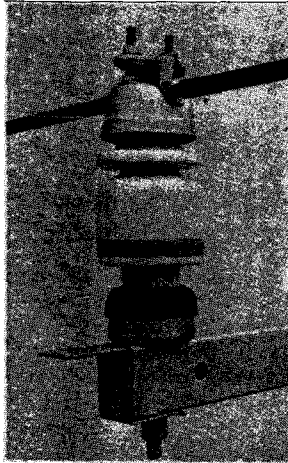
1965년대로부터 高壓配電線을 裸電線대신 皮복전선으로 대체함으로써 배전선 사고방지와 작업·공중안전면에서 현저한 효과를 올리고 있다. 그러나 雷서지에 의하여 한번 방전하면 皮복전선은 나전선보다 손상이 심하고 뇌에 의한 단선사고가 증가하는 결과를 가져왔다. 이것은 雷서지에 의하여 2相 이상으로부터 Arc地絡이 발생하여 異相間地絡으로 발전한 경우 나전선이면 電磁力에 의하여 Arc는 附加側에 이동하고 곧 자연소호한다. 그러나 皮복전선은 그 皮복때문에 Arc-spot가 고정되기 때문에 Arc가 자연소호되기 어려운 데다가 續流Energy가 한 점에 집중함으로써 斷線까지 가는 케이스가 多發한 것이다.

(2)放電Clamp의 構造와 原理

放電Clamp은 그림3과 같이 中實碍子の 頂部에 閃絡金具(放電Clamp金具)를 附設, 여기에 皮복을 벗긴 電線을 고정시킨다. 여기에 충전부를 은폐하기 위하여 放電Clamp cover를 설치한 구조로 되어 있다. 雷서지가 침입하면 방전 Clamp 금구와 완금 사이에서 Arc가 생겨 전선의 용단을 방지한다. 이때 단락전류에 의한 전자력에 의하여 極力Arc를 애자로부터 腕金밖으로 멀리하여 Arc에 의한 애자에 대한 영향을 경감하기 위하여 腕金の 양단에 L형금구를 붙이는 등의 검토를 하고 있다.

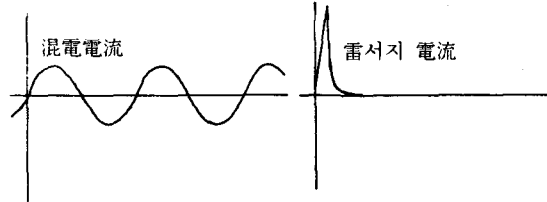
	①	②	③
	고압본선에 설치	고압cut-out컷아웃 옆에 설치	변압기에 내장
裝 柱 圖			
等 價 回 路			
	$V = L \frac{di}{dt} + VA$	L: 접지선의 Inductance VA: 피뢰기의 단자전압	

<그림2>設置位置와 發生電位

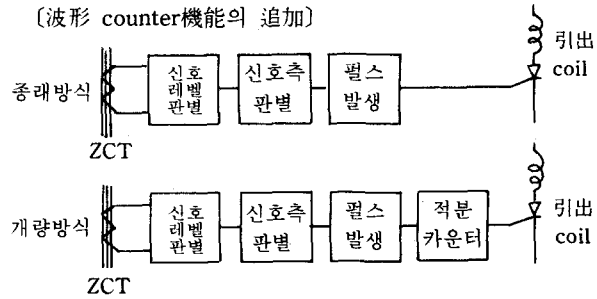


〈그림 3〉放電Clamp

〔混電電流와 雷서지電流의 差異〕



〔波形 counter機能의 追加〕



〈그림 4〉

### (3) 放電Clamp의 효과

同社에서는 1983년부터 설치를 시작하여 '94년까지 거의 100% 완료하고 있다. 이 결과 방전Clamp를 설치완료한 배전선에서는 단선사고가 없는 극히 좋은 효과를 나타내고 있다.

또 斷線의 걱정이 없기 때문에 自動再送電이 가능해져서 정전시간을 대폭 단축할 수 있었다.

### 마. 漏電遮斷器의 誤動作對策

漏電遮斷器는 수용가의 전기안전을 확보하는 역할을 하고 있으며 누전발생시 동작하여 漏電個所를 분리하는 역할을 하는 수용가소유의 보호기기이나 본래의 목적이외의 요인에 의하여 동작할 때도 있다. 누전차단기의 오동작 중에는 뇌에 의하여 누전차단기가 오동작하

는 실례가 있으므로 配線機器 메이커와 공동으로 뇌에 의한 오동작을 방지하는 누전차단기를 개발하였다. 雷에 의하여 오동작한 누전차단기를 회수하여 그 오동작요인을 분석한 결과 家電機器에 내장되어 있는 Surge-absorber를 통하여 雷서지電流가 흘러, 누전차단기의 오동작을 일으키는 가능성이 큰 것을 알게 되었다. 「누전사고전류」와 「뇌서지」의 차이는 그림4에서 보는 바와 같이 現象의 반복성에 있다. 「누전사고전류」는 누전현상이 계속되는 중에는 상용 주파수의 전류가 흐르나 「雷서지電流」는 雷가 자연현상으로 다양한 형태이기 때문에 한마디로 단정할 수 없으나 일반적으로 반복성이 없는 단발적인 전류가 발생한다. 이점에 착안하여 중전 것의 動作判別回路에 새로이 그림과

같이 波形 Count機能을 추가하는 개량을 하여 雷서지에 대하여 오동작을 일으키기 어려운 回路構成으로 하였다.

제작한 試製品을 두 지역의 배전주 510本에 설치하여 動作回數를 비교하여 그 효과를 측정하였다. 그 결과 개량품은 중전것과 비교하여 동작횟수는 1/8정도로 개량효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 개량한 누전차단기는 이미 주요메이커에 의하여 제품화되어 모든 주택용 누전차단기는 이 방식을 채용한 것이 유통되고 있다.

이로 인하여 앞으로 더욱 보급될 것이 확실하며, 쾌적한 電氣使用환경의 창조에 크게 이바지할 것이라고 생각된다.

(일본전기신문, 95. 10. 20)