



# 뇌(雷)의 방전현상(放電現象)과 강전용(強電用) 및 약전용(弱電用) 피뢰기(避雷器) 발달의 최신 동향

(Discharge of Lightning and Improvement of Strong & Weak Current Lightning Arresters)

曹 圭 心\*  
Cho, Kyu Shim

## I. 머리말

인간의 생활에 위협을 주는 뇌(천둥번개)는 전기나 통신시설에게도 공포의 대상이다. 그리하여 전기 또는 통신시설에 대한 인간의 뇌방호기술(雷防護技術)은 옛적부터 행해졌고, 지금도 연구되고 있다. 다시 말해서 뇌방호기술(雷防護技術)은 낡은 것이면서도 새로운 테마이다. 지금까지 각종 설비의 뇌방호방법에 대해서 일관된 연구가 행해지고, 대책도 강구되어 왔다. 그러나 전기 및 통신서비스의 확충에 수반하여 교외·다뇌지역(多雷地域)으로 이들 설비들의 이전이 증가하고 또 설비의 고체전자화(固體電子化)·IC화의 진전에 수반하여 종래 보다도 뇌해(雷害)를 입기 쉬운 상황으로 되어버렸다. 나아가 전기 및 통신에 있어서는 신호의 디지털화 등에 대응하여, 보안 장치에 대한 기능·성능의 요구도 복잡화하고 있는데서, 전기 및 통신시스템의 신뢰성, 경제성에 관련하는 뇌방호대책의 중요성은 점점 증대되고 있다. 이와 같은 정세에 대처하자면, 뇌썩지(雷 surge)의 통계적 성질과 그 유기기구(誘起機構)를 파악·해명하여 현상으로부터 방호법에 걸치는 일관성이 있는 뇌방호기술을 확립하는 것이 필요하다.

이를 위해서는 될 수 있는 한 각종 데이터의 수집, 뇌썩지 유기기구의 해명, 각종 방호소자·회로의 구체적 설계·평가법 등 많은 연구가 행해져야 한다.

본자료(本資料)는 지면의 제한으로 각종 데이터의 수집, 뇌썩지 유기기구의 해명, 각종 방호소자·회로의 구체적 설계·평가법 등은 기술할 수 없었으나, 중요한 최신 자료에 대해서 기술하였으므로 일독(一讀)하면 뇌방호 기술의 최신의 흐름이 어떠한 것이라는 것을 알 수 있게 되어있다.

## II. 뇌방전현상(雷放電現象)

### 1. 일반사항

1752년 벤자민 프랭클린의 유명한 ‘연의 실험’에 의해 뇌(雷)는 방전현상이라는 것이 처음 명백해졌다. 벤자민 프랭클린의 연실험은 그가 가지고 있던 바와 같은 확고부동한 과학지식과 용기없이 아무나 할 수 없는 실험이었다. 프랭클린의 뇌실험은 기상학상의 주요업적으로서 이과년표(理科年表)에 실려 있다.

벤자민 프랭클린은 위대한 과학자였을 뿐만 아니라, 위대한 사업가, 정치가, 외교가였다. 그는 미국 독립선언의 기초위원이었고, 헌법제정회의에 참가했으며, 주불(駐佛)대사를 지냈다 함은 다 아는 사실이다. 프랭클린의 연의 실험은 보통사람으로서는 행할 수 없는 위험하고 어려운 실험이었다. 그의 실험 후 이것을 추가로 실험하던 구라파의 G.W. Martin이라는 사람은 실험중 진저의 낙뢰를 맞아서

\* 電氣通信技術士, 工博, 東亞엔지니어링(주)(東亞그룹) 技術顧問.

죽었다. 벼락을 끌어당기는 실험이란 죽음을 각오하지 않고서는 누구도 할 수 있는 실험이 아니다.

어떻게 프랭클린은 낙뢰를 만나지도 않고 안전하게 실험을 할 수 있었겠는가? 뇌(雷)가 전기현상이라는 것을 발견한 후 그는 이 사실을 왕실아카데미에 정식으로 보고하지 않고, 당시의 왕실아카데미의 한 친구에게 사신(私信)의 형식으로 하여 다음과 같이 남겼다.

「…… 연의 십자형 나무뼈대를 십자형 수직으로 만들고, 그 위에 뾰족한 전선을 30cm 정도 돌출시켜서 고정한다. 연의 실은 마사(麻絲)로 하고 손잡이 부위는 견사(絹絲)로 된 리본으로 결부하고 이 견사와 연의 마사 사이에는 키(Key)를 장치한다. 이 연을 뇌우(雷雨)의 돌풍이 일어날 때에 날리고, 마사를 잡은 프랭클린과 동료는 창문의 안쪽 뒤에 숨어서 견사가 비에 젖지 않게 해야했다. 더욱이 연의 마사를 창문틀에 닿지 않게 주의해야 한다. 뇌운(雷雲)이 연의 위에 오면 뾰족한 전선이 구름으로부터 전기의 불꽃을 끌어당기며, 연의 마사를 포함한 전체가 전기를 띠고, 마사의 주위의 솜털(毛絲)은 대전(帶電)하여 손을 대면 붙게 된다. 연의 마사가 전기에 젖어서 전기를 잘 통과시키게 되면, 손의 주먹을 키에 가까이 하면 키로부터 전기의 불꽃이 튀는 것을 잘 알았다. 키의 곳에서 콘덴서(condenser)의 역할을 하는 유리병(란이덴 병은 유리를 유전체로 한 콘덴서)을 대전 할 수 있다. 이와 같이하여 가죽장갑이나 유리관을 마찰해서 일으키는 전기의 실험을 뇌(雷)의 전기를 이용하여 행할 수 있어, 뇌(번개)도 같은 전기의 작용이라는 것을 확실히 표시할 수 있었다.」

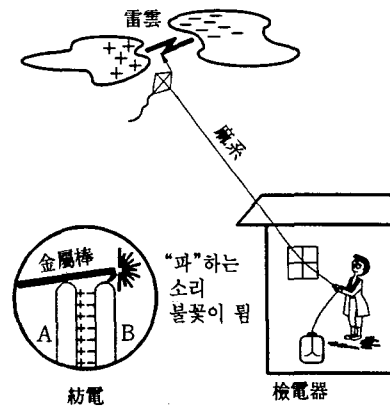
이와 같은 편지를 썼지만 왜 연에 낙뢰(벼락이 떨어짐)하지 않았는가는 명확하지 않다.

뇌를 전문으로 다루는 전문가에게 물어본 즉, 「당시는 뇌가 직격뇌(直擊雷)인가 유도뇌인가도 분명치 않았고, 하물며 낙뢰의 에너지가 어느 만큼 인가도 전혀 몰랐다. 이 실험은 확실한 결과를 기대치 않고 연을 띄웠다고 볼 수 있으며 뇌운이 아직 멀리 있는 동안에 단시간에 실험을 하였다고 볼 수

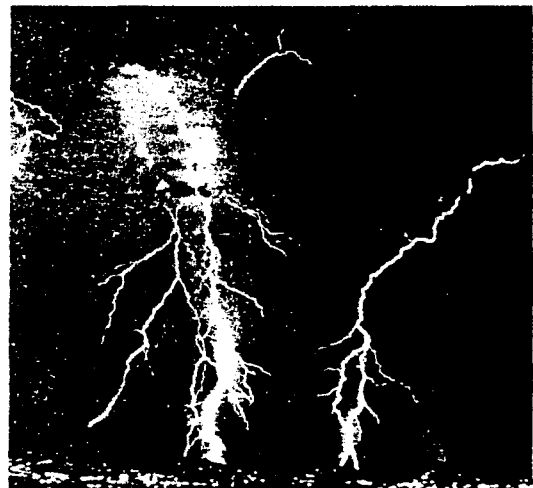
있으며, 그는 대단히 행운아였다고 생각할 수 있다.……」라고 대답했다.

〈그림 1〉은 프랭클린이 뇌가 전기현상이라는 것을 실증한 그림이다.

〈그림 2〉는 뇌가 전기현상에 불과하다는 것이며, 뇌의 정체(正體)를 나타낸 것이다.



〈그림 1〉 프랭클린의 뇌(雷)는 전기(電氣)라는 것을 실증(實證)했다.



〈그림 2〉 뇌(雷)의 정체는 전기(電氣)

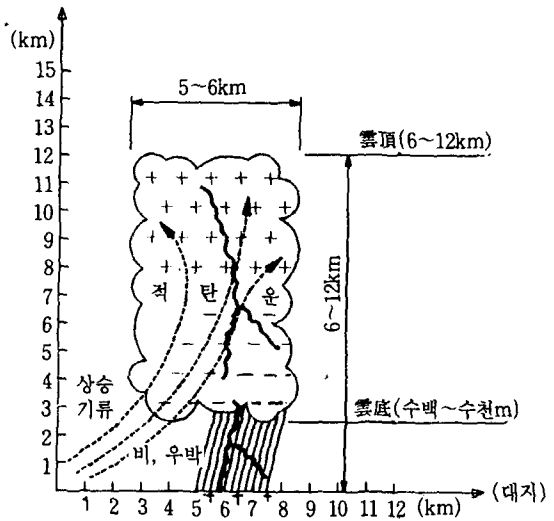
뇌방전현상의 특징은 누구나 알 수 있듯이 그 생을 제어할 수 없다, 생성으로부터 종료까지의 시간이 극히 짧다, 등의 이유에서 그 해명은 지극히

관란하였다. 그러던 것이 1928년에 C. V. Boys씨가 자신이 개발한 특수카메라(Boys Camera)를 이용하여 뇌방전의 진전과정을 기록하는데 성공한 이래 급속하게 그 해명이 진전하였다.

## 2. 뇌운(雷雲)의 발생(電荷의 생성)

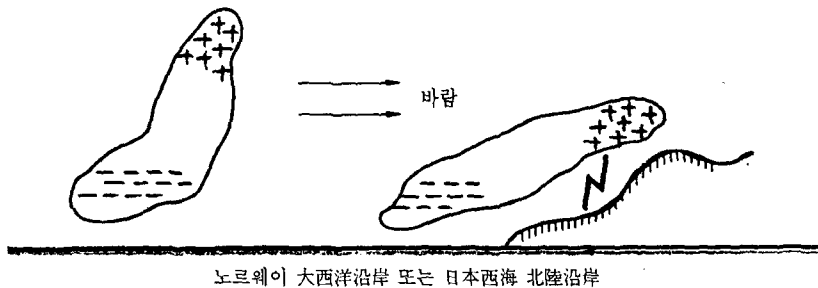
뇌운의 가장 일반적인 것으로는 적란운(積亂雲)이 있는데 (그림 3)은 그 뇌운의 모델(A Model of Thundercloud)이다. 뇌운(=적란운)이 어떻게 발생하는 가는 여기서는 모두가 안다고 가정한다. 여기에서는 이 뇌운 속에 생긴 (+) 및 (-)의 전하(電荷)가 서로 방전함으로써 일어나는 전광(電光)을 운간방전(雲間放電)이라 말하고, 운저(雲底)에 있는 (-)의 전하와 그 (-)의 전하로 인해 지표면상에 유기된 (+) 전하의 사이에서 일어나는 전광(電光)을 대지방전(大地放電)이라 한다. 이 대지방전이 일반적으로 말하는 낙뢰현상이다.

또, 겨울의 뇌에 관해서도 최근 연구가 진행되어서 (그림 4)와 같이 뇌운이 바람에 불려서 (+)의 전하와 대지와 사이에서 대지방전이 일어난다는



〈그림 3〉 여름철 뇌운의 성질양태

것이 보고되었다. 그리하여 낙뢰라 함은 반드시 (-)의 대전(帶電)에 의한 것이라고 말할 수 없게 되었다.



〈그림 4〉 노르웨이 大西洋沿岸 또는 日本北陸沿岸 지방에서 볼 수 있는 등계뇌(冬季雷)

## 3. 뇌의 종류

뇌는 앞에서 기술한 바와 같이 적란운에 인한 것의 이외에도 여러 가지 원인으로 발생한다. 우리 한국사람에게 가장 낯익은 뇌는 열뇌(熱雷)이다. 우리

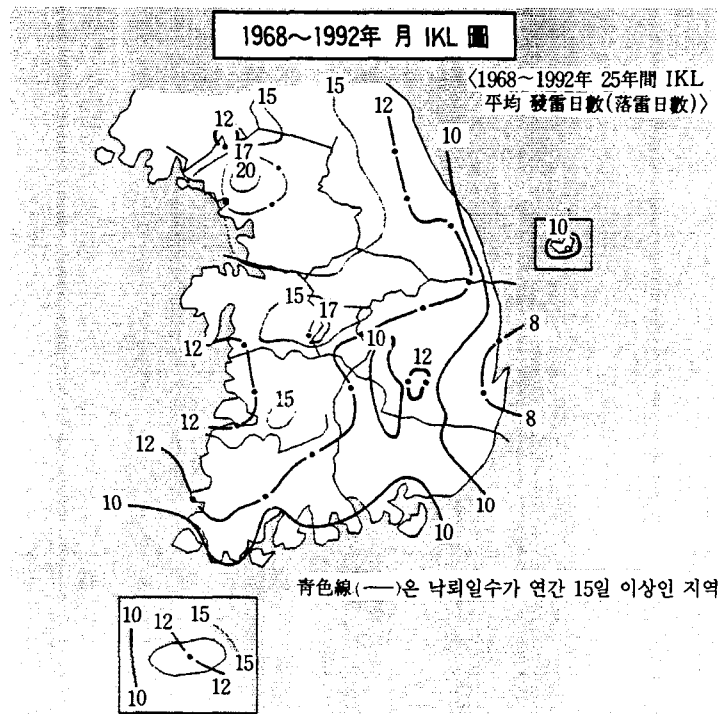
나라 사람이 지금까지 만난 뇌라는 것은 전부가 열뇌이다. 열뇌는 여름에 있어서 일사광선이 강한 날에 산악지대 등에서 지표부근의 공기가 달구어져 상승기류가 일어나서 뇌운(적란운)이 발생한다. 시

속 10~40Km의 속도로 산악지대부근 평야지대로 이동한다. 우리는 누구나 뜨거운 여름날 멀리 산 넘어에서부터 뭉게구름이 뭉게뭉게 하늘로 솟아오르는 뇌운을 볼 수 있다. 여기서 뇌의 종류를 다 적어 보면 계뇌(界雷), 열계뇌(熱界雷)와 와뇌(渦雷), 화산뇌(火山雷) 및 화재뇌(火災雷)가 있다. 화재뇌는 대화재가 일어났을 때 발생하는 뇌이다. 따라서 원자탄이 폭발하였을 때도 이 뇌가 발생한다. 봄철에도 뇌가 있는데 이는 계뇌에 속한다. 춘뇌(春雷)라고도 한다.

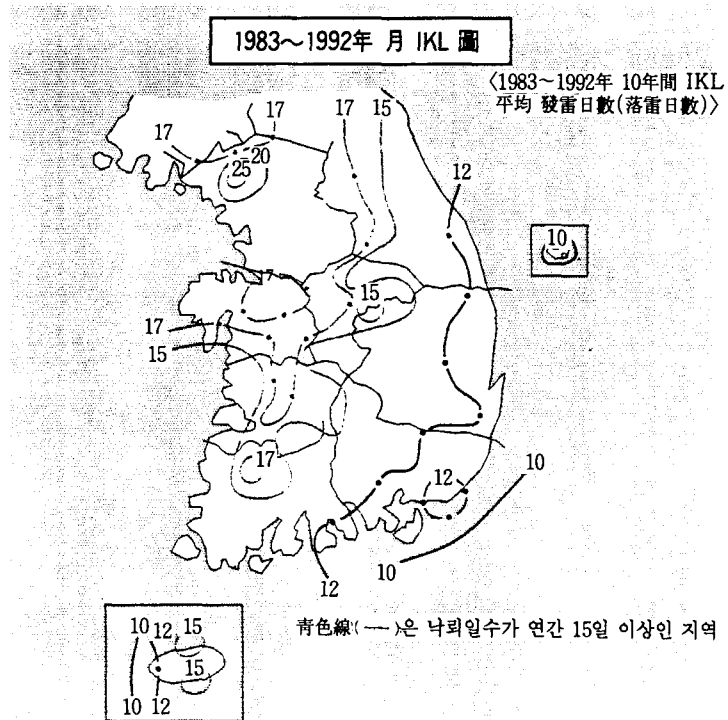
라 하며 증양기상대에 의해서 보고된다. <그림 5> 및 <그림 6>은 우리나라의 증양기상대 및 한국전력공사가 1968~1992년의 25년간 및 1983~1992년간의 10년간의 뇌명일의 수(數)를 연간 뇌우일수(1년간 발뇌일수)로하여 표시한 것이다. 뇌명이 많을수록 낙뢰가 많을 것이고 낙뢰가 많을수록 뇌해가 많으므로 관계기관에서는 반드시 IKL을 작성하여 뇌해에 대비한다. 우리나라는 특별히 다뇌지(多雷地)가 없으나 서울, 대전, 경상북도 내륙지방은 뇌명이 좀 많은 편이라 하겠다.

#### 4. 뇌명(雷鳴) 또는 발뇌(發雷)

뇌명 또는 번개가 확인된 날을 뇌우일(발뇌일)이

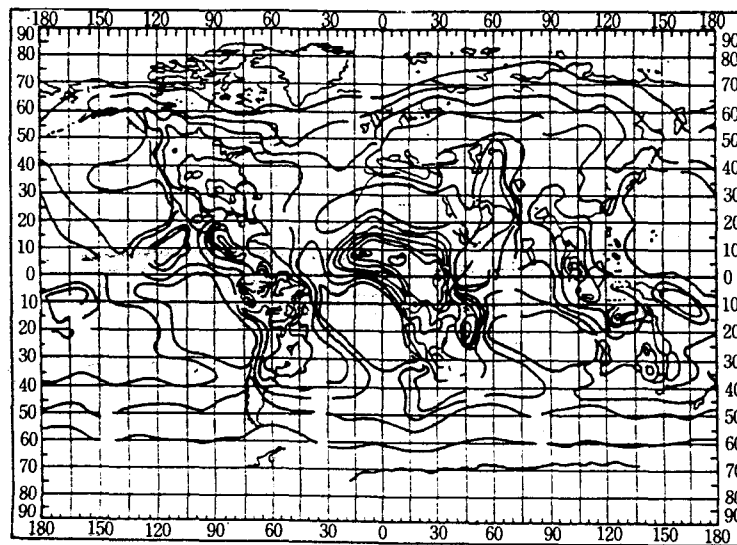


<그림 5> IKL(ISO Keraunic Level)<25年間 平均 發雷日數(落雷日數)>(韓國電力公社 資料)



〈그림 6〉 IKL(ISO Keraunic Level)〈10年間 平均 發雷日數(落雷日數)〉(韓國電力公社 資料)

한편 세계의 연간뇌우일수는 W. M. O. (World Meteorological Organization)에 의해 계속적으로 조사되고 있으며, 그 결과를 〈그림 7〉에 표시한다.



〈그림 7〉 세계의 IKL圖

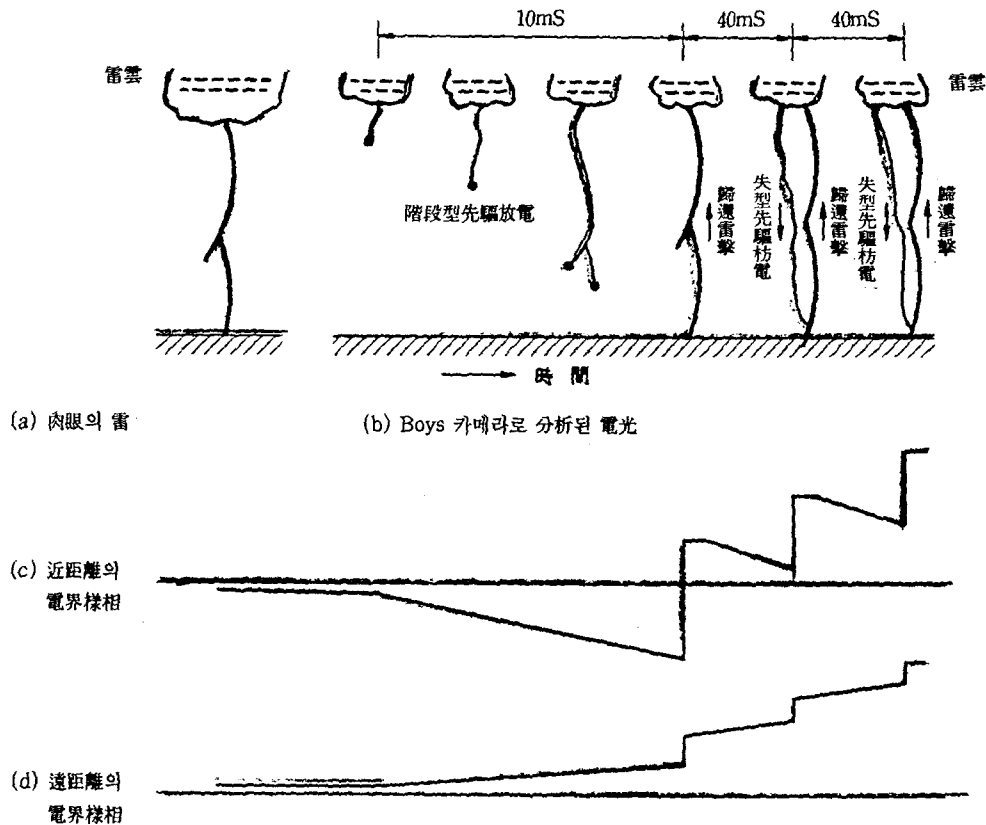
뇌(雷)의 방전현상(放電現象)과 강전용(強電用) 및 약전용(弱電用) 피뢰기(避雷器) 발달의 최신 동향 / 45

### 5. 뇌(雷)의 방전과정

이미 한 번 언급했듯이 뇌는 전기현상에 지나지 않는다고 벤자민 프랭클린이 인류에게 확신시켰지만 그 해명은 곤란하였다.

뇌의 방전은 <그림 8>에 나타나는 바와 같이 먼

저 운저(雲底)로부터 대지(大地)로 향해서 선구방전(先驅放電 또는 階段型先驅放電이라고도 함)이 약 50 $\mu$ s의 시간간격으로 단속적으로 방전로(放電路)가 형성되는데서 개시된다.



<그림 8> 略放電의 進行方法과 電界의 樣相

선구방전의 첨단(尖端)이 대지표면 가까이 까지 도달하면, 대지로부터 운저로 향해서 방전이 개시되며, 선구방전에 의해 형성된 방전로를 광속(光速)의 1/2~1/10 정도의 속도로 뇌격전류(雷擊電流 또는 歸還雷擊이라고도 함)가 상승하며, 방전로에 분포된 (-)부하를 중화(中和)한다.

통상적인 뇌의 방전에서는 이 귀환뇌격(歸還雷

擊)이 종료한 후에, 약 40ms 정도의 시간을 두고 다시 동일 방전도를 통해서 선구방전이 운저로부터 대지로 향해서 생기며, 이것이 대지에 도달하면 다시 귀환뇌격이 생긴다(<그림 8>에서 a, b로부터 쉽게 이해 가능). 이와 같이 동일 방전로를 통해서 반복되는 뇌의 방전을 다중전격(多重電擊)이라 한다.

<그림 8>(b)는 다중전격이 3회 일어나고 있을 때

이며, (그림 8)(c), (d)는 뇌의 방전이 일어났을 때의 공간의 전계변화를 표시한 것이다.

## 6. 뇌격전류(雷擊電流)의 성질

### 1) 뇌써지(雷過電壓)의 표시방법

뇌격전류 또는 전압의 파형(波形)은 O전류. 전압으로부터 급준(急峻)하게 입상(立上)하고, 최대치에 도달한 후 다시 강하하는 소위, 충격파형(surge wave form)을 나타낸다. 이 파형은 파형의 최대치(maximum value), 파두장(波頭長: virtual front time), 파미장(波尾長: virtual front time to half value)의 3개로 나타낸다.

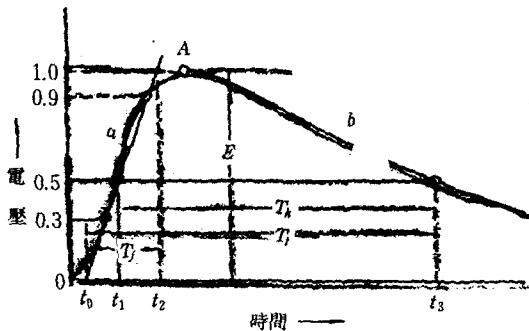
#### i) 최대치

충격파형의 최대가 되는 전류 또는 전압의 값

#### ii) (규약)파두장(virtual front time)

뇌써지전압에서는 파고치(波高值)의 30%로부터 90%까지 순시치(瞬時值)가 상승하는데 요하는 시간을 0.6으로 나눈 값.

뇌써지전류에서는 파고치의 10%로부터 90%까지의 순시치가 상승하는데 요하는 시간을 0.8로 나눈 값. <그림 9>, <그림 10>의 Tf.



a(O A間): 波頭, A: 波高點, b(A以後): 波尾, E: 波高值,

$t_0$ : 規約原點,  $T_f=(t_2-t_0)$ : 規約波頭長,

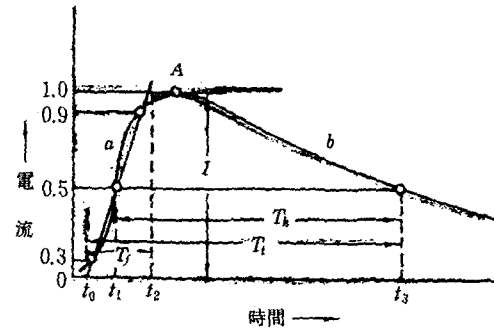
$T_{1/2}=(t_3-t_1)$ : 半波高時間,

$T_t=(t_3-t_0)$ : 規約波尾長,  $E/T_f$ : 規約波頭度

<그림 9> 衝擊電壓波形

### iii) (규약)파미장(virtual time to half value)

규약정점에서의 파미에 있어서의 파고치의 1/2과 같은 순시치에 상당하는 시각까지의 시간, <그림 9>, <그림 10>의 Tt.



a(O A間): 波頭, A: 波高點, b(A以後): 波尾, E: 波高值,

$t_0$ : 規約原點,  $T_f=(t_2-t_0)$ : 規約波頭長,

$T_{1/2}=(t_3-t_1)$ : 半波高時間,

$T_t=(t_3-t_0)$ : 規約波尾長,  $E/T_f$ : 規約波頭度

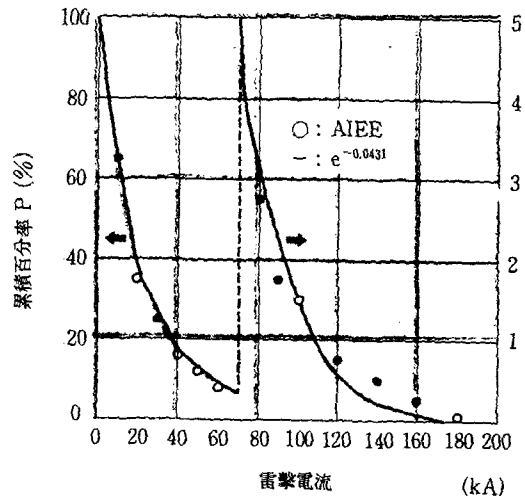
<그림 10> 衝擊電流波形

#### iv) 파형의 표시 ( $T_f / T_t$ ) $\mu s$

파두장과 파미장으로 표시한 파형 표시.

### 2) 뇌격전류(雷擊電流)

뇌격전류는 몇몇 지역에서 관측되어 있으며, AIEE에 보고되어 있는 데이터를 <그림 11>에 표시한다.



<그림 11> 指數圖數에 의한 雷擊電流의 分布의 近似

이 결과에 의하면 뇌격전류 I의 누적백분율(累積百分率) P는 다음의 식으로 표시된다.  

$$P = e^{-0.043I} \times 100\%$$

3) 뇌격전류의 특성  
 전격전류의 기본 특성은 <표 1>과 같이 표시된다.

<표 1> 雷擊電流의 性質(觀測值)

| 項 目                 | 最 小 值            | 代 表 值   | 最 大 值   |
|---------------------|------------------|---------|---------|
| 階段形先驅放電             |                  |         |         |
| 스텝(step)간의 時間間隔(μs) | 30               | 50      | 125     |
| 平均進度速度(m/s)         | 1.0×106          | 1.5×106 | 2.6×106 |
| 放電路의 電荷(c)          | 3                | 5       | 20      |
| 失型先驅放電              |                  |         |         |
| 進度速度(m/s)           | 1.0×106          | 2.0×106 | 2.1×106 |
| 放電路의 電荷(c)          | 0.2              | 1       | 6       |
| 歸還雷擊                |                  |         |         |
| 進度速度(m/s)           | 2.0×107          | 5.0×107 | 1.4×108 |
| 波高值(kA)             | -                | 10~20   | 110     |
| 波頭長(μs)             | <1               | 2       | 30      |
| 波尾長(μs)             | 10               | 40      | 250     |
| 波頭의 峻度(kA/μs)       | <1               | 10      | >80     |
| 電荷量(c)              | 0.2              | 2.5     | 20      |
| 放電路의 길이(m)          | 2                | 5       | 14      |
| 多重性                 |                  |         |         |
| 多重度(回)              | 1                | 3~4     | 26      |
| 時間間隔(ms)            | 3                | 40      | 100     |
| 雷擊繼續時間(s)           | 10 <sup>-2</sup> | 0.2     | 2       |
| 電荷量(c)              | 3                | 25      | 90      |

4) 뇌방전로의 임패던스(impedance)

Sundect Earth Conduction Effects in Transmission Systems, Dover Pub. (1968)에 의하면 50 정도가 된다고 기술되어 있다.

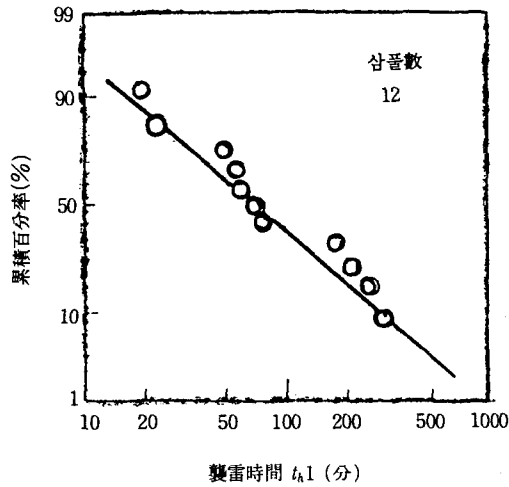
5) 뇌방전의 발생수와 습뇌시간(襲雷時間)

뇌운으로부터 대지로 방전하는 발생횟수도 언급할 필요가 있다. 이 값은 대단히 개략의 값이기는 하지만 100km<sup>2</sup> 뇌우일(雷雨日, 發雷日) 15회 즉, 15

회/(100km<sup>2</sup> 뇌우일)이라는 자료가 나와 있다.

또, 뇌의 방전이 발생 후에 끝날 때까지의 계속시간에 대해서 일본의 다뇌지(多雷地), 우스노미야(宇都宮)기상대의 데이터보고를 정리한 결과 습뇌시간은 <그림 12>와 같이 표시되며 근사적으로 다음의 식(式)으로 표시할 수 있다. <그림 12>에 의하면 습뇌는 약 1 시간 계속되는 것을 알 수 있다.





〈그림 12〉 襲雷時間의 累積發生頻度分布

$$f_{uk}(t_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{th}} e^{-\frac{(t_k - t_{hm})^2}{2\sigma_{th}^2}}$$

여기서  $t_{hm}$  : 습뇌시간의 평균치(NP)

(시간을 대수(對數)표시하면 정규분포형으로 표시되며 평균치, 표준편차에 의해 습뇌 시간을 표시할 수 있게 1분을  $ON_p$ 로하여 Nepper 표시하고 있다.)

$\sigma_{th}$  : 습뇌시간의 표준편차(NP)

또, 〈그림 12〉로부터 평균치, 표준편차는 다음의 특성으로 된다.

$$t_{hm} = 4.25(N_p)$$

### 6) 뇌방전의 스펙트럼

뇌방전의 스펙트럼해석은 근년에 이르러 사진기술의 비약적 발달 등에 의해 시간변화의 관측이 가능하게 되었다. 그 결과 뇌의 방전로의 플라즈마의 해석이 진전하여 뇌의 방전로의 최고 온도는 약 15,000°C, 전자 밀도는  $10^{24}$ 개/ $m^3$  정도임이 밝혀졌다.

### Ⅲ. 강전용피뢰기〔強電用避雷器 또는 아레스터(arrester)〕의 사명과 역할(1996년

## 5월 현재)

### 1. 사명과 역할

일반적으로 아레스터(arrester)라고 호칭되고 있지만 정식으로는 전력용피뢰기이다. 국내에서는 KS로 규정되고 해외에서는 IEC규격으로 Surge Arrester로서 규정되어 있다.

아레스터(전력용피뢰기)는 뇌(雷)로 기인하는 과전압으로부터 전력용 기기, 예컨대 변압기, 차단기 등을 보호하여 고장, 정전 등을 예방하여 양질, 안정된 전력을 수용가(需用家)에 공급하기 위해 전력계통에서는 없어서는 안되는 중요한 기기(機器)라 할 수 있다.

전력용피뢰기(arrester)는 일반적으로 변전소, 배전선, 전차(電車) 등에 설치되지만 근년에 와서는 송전선(送電線) 또는 기기 내장용(機器內藏用) 기타 폭넓게 적용된다.

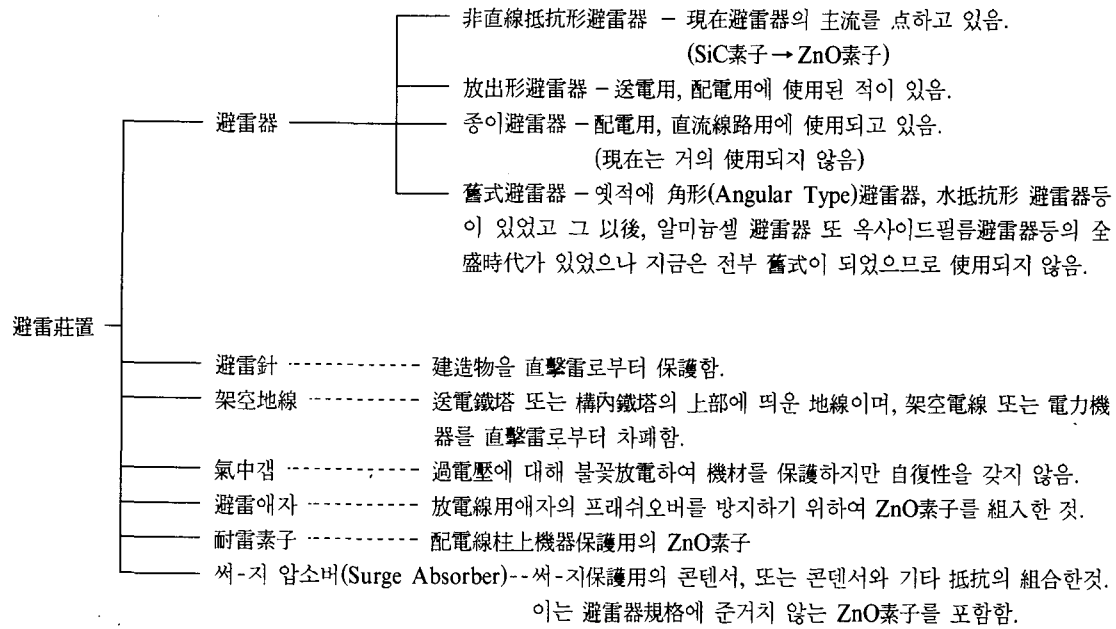
뇌과전압(雷過電壓)은 뇌썩지(lightning surge)라고도 부르는데 이것으로부터 기재(機材)를 보호하자면 반도체의 비직선저항특성을 이용하여 회로와 어스간에 접속하여 평상시에는 절연상태로 해놓고, 서지가 침입하면 즉시 저저항(低抵抗)으로 되어서 어스에 전류를 인도하여 전압을 억제하고 썩지가 통과한 후에는 원상의 절연상태로 되돌아오는 장치(arrester)가 유효하다. 이 비직선저항으로서 종래는 탄화규소(SiC) 소자가 사용되고 있었으나, 1975년 경부터 비직선특성이 극히 우수한 산화아연(ZnO) 소자를 사용한 전력용아레스터가 실용화되어 현재에서는 이 형태(정식으로는 산화아연형피뢰기)가 주류로 되어있다.

이하에도 주로 ZnO소자를 사용한 전력용피뢰기에 대해서 설명한다.

### 2. 종류와 특징

전력용 아레스터는 〈그림 13〉에 표시하는 피뢰 장치의 일부이며 〈표 2〉에 표시하는 것과 같은 종류의 아레스터가 사용되지만 대표적인 예로서 발변

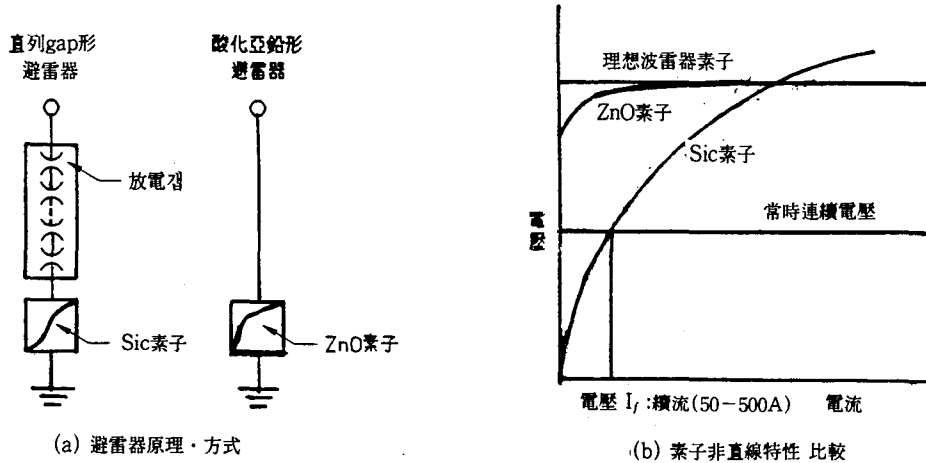
전소용에자형(發變電所用碍子形) 피뢰기의 특징에 대해서 이하에 설명한다.



〈그림 13〉 避雷裝置의 種類

ZnO소자는 〈그림 14〉에 표시하는 바와 같이 종래의 SiC소자에 비교하여 우수한 비직선저항특성을 보유함으로 항상 운전전압에 견디기 위해 없어서는

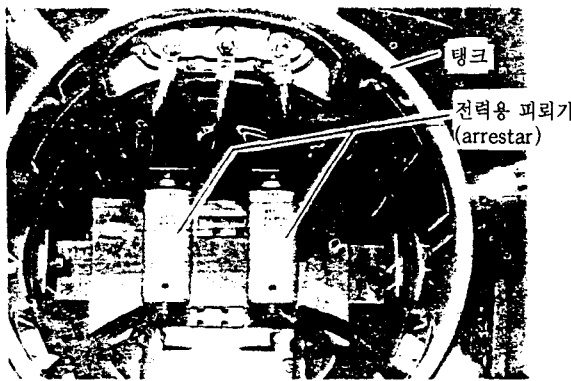
안되는 직렬 갭이 불필요하게 되고 소위 「gapless」가 가능하게 되었다. 이 때문에 종래의 직렬갭부착 아레스터(series gap attached arrester, 多種 gap形



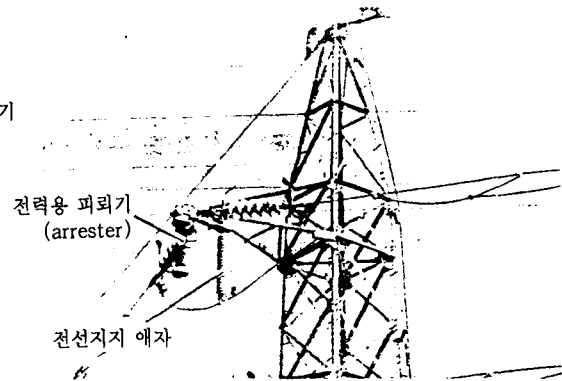
〈그림 14〉 ZnO素子의 原理·特性

避雷器라고도 부름)와 비교하여 보호특성, 썩지처리 능력(에너지 耐量), 내오손 특성(耐汚損), 소형경량화, 내진 성능 등의 제성능(諸性能)이 대폭으로 향상되었다. 또, 갭레스(gapless)이기 때문에 소형 그리고 또 모든 절연매체 중에서 사용할 수 있다는 이점(利點)이 있어 산화아연형피뢰기는 여러가지 분야, 용도에 적용이 확대되고 있다. 발전전소용에서는 SF<sub>6</sub> 가스절연기기 내장(GIS 등), 유입기기내

장(油入機器內藏) 즉 트랜스포머, 리액터 등에 의한 소형화, 신뢰성향상에 배전계통에서는 주상변압기, 개폐기 등의 복합화에 의한 내뇌보호성능(耐雷保護性能)의 향상에, 나아가서는 송전선철탑취부에 의한 정전(停電)의 방지 등이 있으며, 직류(D.C.)용으로서 전철용(電鐵用)으로부터 직류송전용까지 폭넓게 적용되고 있다. <사진 1> 및 <사진 2>는 적용례를 나타낸다.



<사진 1> 配電用柱上變壓器用耐雷素子の 油中取付狀況



<사진 2> 送電用避雷裝置

### 3. 개발의 경위

전력용피뢰기는 19세기 후반에서 시작해서 20세기의 초반까지(1925년경까지)는 각종 구식(舊式) 피뢰기(arrestar), <그림 13>을 사용하다가 1930년경 이후부터는 직렬갭부(直列 gap付) SiC소자형으로 옮겨왔다. 이것은 비직선저항형 또는 변저항형(弁抵抗 또는 벨브저항기)이라 불리며 구식에 비하여 보호성능, 썩지 내량(耐量) 메인테넌스 프리(maintenance free) 등의 점에서 우월하였기 때문에 2차대전 후는 전력용피뢰기의 대표로 되어왔다. 그러나 초고압계통의 실현으로 인해 썩지뿐만 아니고 개폐썩지(開閉 surge)의 보호까지 피뢰기에게 요구되게 되어, 단순한 불꽃갭(spark gap)이 아니고 속류차단능력(續流遮斷能力)이 큰 자기취소형갭형(磁氣吹消形 gap形)의 피뢰기가 미국에서 개발되어 1955년대로

부터 세계적으로 적용되어 왔다. 이 자기취소형갭형 피뢰기는 기본적으로는 직렬갭부비직선저항형의 개량형이기 때문에 직렬갭부피뢰기의 숙명적 과제인 내다중뇌(耐多重雷), 내오손(耐汚損), 초중책무(超重責務), 콤팩트화(compact 化, 複合化)라는 과제를 해결치 못했다.

1965년대 중반에 일본에서 개발된 산화아연을 주성분으로 하는 약전용바리스터(weak power varistor)는 상기의 제과제를 전부 해결할 수 있는 가능성을 가지고 있었기 때문에 이것을 기반으로 전력아레스터를 개발하는 연구가 진행되어, 1975년에는 세계적으로 퍼져 66kV급의 전력용 gapless 피뢰기가 실용화되었다.

이 ZnO소자는 비직선특성이 지극히 우수하고, 에너지내량(J/cm<sup>3</sup>)이 크기 때문에 갭(gap)화 콤팩

트화가 가능하게되고 병렬사용에 의해 써지내량을 자유로 크게 할 수 있으며 나아가 무속류(無續流) 때문에 내다중뇌. 내오손 성능도 대폭으로 향상

할 수 있는 이상적인 피뢰기였다. 이 때문에 1985년 이래 전세계적으로 전력용피뢰기의 주류가 되어 오늘에 이르고 있다. <표 3> 참조.

<표 3> 직렬갭형과 산화아연(ZnO) 피뢰기의 비교

| 기술과제               | 직렬형의 문제점                                             | 산화아연형(ZnO type)에 의한 해결내용                                                         |
|--------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 내다중뇌 성능의 향상        | 다중뇌에 대해 직렬갭(series gap)의 절연저항으로 인해 지락사고로 이어지는 수가 있음. | 소자의 전압, 전류비직선 특성이 극히 우수하기 때문에 상시 운전전압에서는 물론이고, 동작후의 속류가 없음(과열·절연열화로 인한 지락사고가 없음) |
| 내오손 성능의 향상         | 직렬갭의 절연이 불안정하게 되어 지락사고로 이어지는 수가 있음                   | 직렬갭이 없으므로 원편과 같은 문제가 없음                                                          |
| 개폐써지에너지의 흡수 능력의 향상 | 직렬갭의 개폐써지에 내지처리에 기인한 절연특성유지에 한계가 있음                  | 직렬갭이 없으므로 원편의 문제가 없음, 또 병렬사용으로 큰 써지에너지에 대응할 수 있음                                 |
| 소형화·복합화            | 직렬갭이 존재하기 때문에 소형화가 곤란함                               | 직렬갭이 없으므로 소형화가 용이하며 성능이 안정하며, 신뢰성도 향상                                            |

#### 4. 보전. 공사상(保全. 工事上)의 유의점

아레스터는 가동부분(可動部分)이 없고, 기본적으로는 메인테넌스 프리이며, 여기에 구조도 간단하기 때문에 보전. 공사상 특별한 유의점은 거의 없다고 생각할 수 있으나, 여기서는 애자형 전력용피뢰기를 상정 하에 통상적으로 실시되는 점에 대해서 설명한다.

보전에 있어서는 일상점검과 정기점검이 있다. 일상점검은 피뢰기(아레스터)를 위해서라기보다도 다른 기기의 점검 때마다 외견상의 이상유무를 점검한다. 또 정기점검은 2~3년에 1회 애자를 청소하여 절연저항과 누설전류의 측정을 실시하는 것이 바람직하다. 판단 기준은 기종. 정격에 상이한 경우가 있고 메이터의 기준에 의하기는 하나, 누설전류는 1mA이하라는 작은 값이고, 장소에 따라 상이한 경우가 있으므로 운전개시시의 값을 기준으로 하여, 극역 동일 타입의 계측기를 사용하는 것이 바람직하다. 우천이나 습도가 높은 시기는 피하는 것이 좋다. 또 동작회수계, 방전전류기록장치 등

의 부속품이 있는 경우는 같이 점검한다. 공사에 대해서는 특별한 유의사항은 없으나, 단자에 무리한 힘을 걸지말 것, 피보호기기(被保護機器)에 극력 근접해서 설치할 것, 고압측. 접지측의 워드선은 극력으로 짧게 할 것이 바람직하다.

## IV. 약전용피뢰기(弱電用避雷器)의 사명과 역할

### 1. 사명과 역할

피뢰관(弱電用)[이하 피뢰관]은 네온사인, 네온램프와 마찬가지로 가스를 봉입(封入)한 냉음극방전관(冷陰極放電管)이지만, 방전색을 이용한 표시관과는 상이하여, 방전의 응답특성(應答特性), 이상전류(異常電流)의 전류내량 등을 높인 서지방호디바이스 SPD(Surge Protection Device)의 하나이다.

피뢰관은 단체(單體) 또는, 절연트랜스포머, 바리스터 등의 디바이스와 조합하여 구성되는 여러가지의 보안기의 주요한 써지방호디바이스로서 사용되

고 있다.

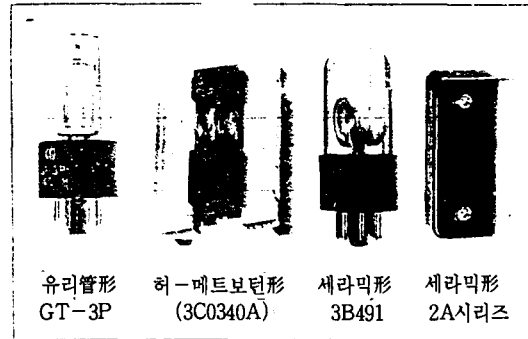
보안기(保安器)는 통신케이블, 배전선 등의 선로에 유도하는 뇌찌지, 전력선으로부터의 전자유도전압, 또 기전회로지락사고 시에 발생하는 구조물 및 대지전위상승 등의 이상전압(異常電壓)으로부터 약전기 장치 및 통신케이블을 보호하기 위해 사용된다. 또, 궤도회로보호용의 보안기에도 사용되고 있다.

## 2. 종류와 특징

### 1) 종류

우리나라의 철도 및 지하철 그리고 철도에서 사

용하는 종류와 주된 용도를 <표 3>에서 그리고 형상에는 <사진 3>에 표시한다.



<사진 3> 避雷管의 形狀例

<표 4> 피뢰관(약전용)의 종류 및 용도(일부)

| 종 류    | 직류(DC)방전개시 전압(V)            | 임펄스방전개시 전압(V)<br>10/200 $\mu$ s3kV인가 | 다음 旧규격 종류 | 주 요 용 도                           |
|--------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 2Z122  | 1200 $\pm$ 200 ( $\pm$ 300) | $\leq$ 2800                          | —         | TGV, 신간선 등의 통신회로                  |
| 2A231  | 230 $\pm$ 40 ( $\pm$ 60)    | $\leq$ 700                           | 2A0230    | 일반고속철도신호회로, 통신회로                  |
| 2A291  | 290 $\pm$ 50 ( $\pm$ 75)    | $\leq$ 750                           | 2A0290    | TGV, 신간선 등의 통신회로                  |
| 2A431  | 425 $\pm$ 60 ( $\pm$ 85)    | $\leq$ 750                           | 2A0425    | TGV, 신간선 등의 통신회로                  |
| 2A491  | 490 $\pm$ 70 ( $\pm$ 115)   | $\leq$ 800                           | 2A0490    | TGV, 신간선                          |
| 3B491  | 490 $\pm$ 90 ( $\pm$ 120)   | $\leq$ 900                           | 3B0490    | TGV, 신간선 신호회로, 통신회로<br>일반고속철도신호회로 |
| 3B351A | 350 $\pm$ 70 ( $\pm$ 90)    | $\leq$ 800                           | 3C0340A   | 일반고속철도 통신회로                       |
| 3B351B | 350 $\pm$ 70 ( $\pm$ 90)    | $\leq$ 800                           | 3C0340B   | 일반고속철도 통신회로                       |
| 5C491  | 490 $\pm$ 90 ( $\pm$ 120)   | $\leq$ 1000                          | 5C0490    | 일반고속철도 신호회로, 신간선,<br>변전회로(변전소)    |
| 5C701  | 700 $\pm$ 140 ( $\pm$ 200)  | $\leq$ 1400                          | 5C1400    |                                   |
| 5C172  | 1700 $\pm$ 570 ( $\pm$ 200) | $\leq$ 2600                          |           |                                   |

### 2) 특징

피뢰관의 이상전압억제보호를 위해 사용상의 중요한 특성은 방전개시전압과 방전전류내량이다.

a. 방전개시전압: 및치게 상승하는 직류전압에 대한 직류방전개시전압  $V_s$ 와 입상(入上)이 급준(急峻)한 뇌찌지 전압에 대한 임펄스방전개시전압  $V_{ss}$ 가 있다.  $V_{ss}$ 는 파고치(波高值)와 파형을 규정하는

임펄스전압에 대한 방전전압으로 표시된다. 교류방전개시전압(실효치)은  $V_s/\sqrt{2}$ 로 환산된다.

b. 전류내량(電流耐量): 파고치와 파형(波形)을 정한 임펄스전류내량과 전류치와 통전시간(通電時間)을 정한 교류전류내량에 의해 규정된다.

c. 보호레벨(Protection level):  $V_{ss}$ 가 뇌찌지에 대

한 보호레벨로 되며,  $V_s$ 는 피뢰관삽입회로의 평상의 사용전압에서는 절대로 방전시키지 않는 값으로서 선택의 기준이 된다.

기전회로지락사고 시(時)의 인근의 구조물 및 대전위상승(大地電位上昇), 전력계통으로부터의 전자유도전압으로 대표되는 교류 이상전압에 대한 보호레벨은 교류방전 개시전압이 기준이 된다.

d. 이상전압보호(異常電壓保護): 피뢰관은 이상전압으로 방전후 방전전압이 즉시 아크전압(arc voltage)[약 20V]으로 저하함으로 전압과 전류의 곱인 내부발생열이 타의 써지방호디바이스인 바리스터체너다이오드(Zenner diode) 등과 비교해서 극히 작기 때문에 뇌써지 보호 이외에 교류이상전압보호에 사용할 수 있다.

e. 전송로(傳送路)에 주는 영향: 피뢰관의 전극간(電極間)의 갭(gap)은 거의 완전한 절연상태이며 실제로 누설전류는 전무(全無)라 생각해도 좋다. 또 단자간의 정전용량(靜電容量)은 1pF 정도이므로, 신호전송회로에의 영향이 적다는 것이 특징이다.

f. 피뢰관의 속류(續流): 피뢰관은 기체방전현상(氣體放電現象)을 이용한 방전관이므로 단체(單體)로 전원회로에 접속하면 뇌써지로 방전하고 써지소멸 후도 전원회로로부터 전류가 계속 흐르는 속류가 있다. 전원회로용보안기는 바리스터 혹은 저항기를 피뢰관과 직렬로 접속한 속류방지형으로 되어 있다.

### 3) 피뢰관의 개발의 경위

1945년대(제2차 세계대전말경): 유리관형피뢰관이 개발되고, 진공관보안기, 진공피뢰관에 규격화되었다.

1955년대: 신호용보안기, 고속열차 ATC(궤도회로용보안기용피뢰관)이 개발되었다.

1965년대: GT-5P(변전소제어장치용 5극관), GT-3P(신호, 통신용 3극관)(사진 1 참조)피뢰기, 하-멜보턴형피뢰관이 개발되었다. 신호설비의 뇌해(雷害)대책조사연구위원회의 검토에 의한 보안기

(신호회로용)S100형 외에 3종류의 보안기에 GT 3P가 사용되었다. 통신용보안기 규격의 개정에 맞추어서 하-멜보턴형 3극피뢰관(사진 1 참조)이 사용되었다.

1975년대: 각종 보안기 개개에 규정되어 있던 다종류의 피뢰관을 성능별로 정리 통합하고, 피뢰관이 규격화되었다(일본의 경우). ATS용 피뢰관으로서 세라믹형 3극피뢰관이 처음으로 사용되었다(일본의 경우). 신호용정류기보호용으로서 피뢰관과 ZnO바리스터로 구성된 복합써지방호디바이스 AV-11형을 개발, 이 소자는 2C401CV로서 일본초고속열차(신칸센) 신호전송회로(교류)에도 사용되고 있다. AF2 주파조합궤도회로(기기집중식: 機器集中式)용피뢰관으로서, 교류전류내량(耐量)이 큰 세라믹형피뢰관(2Z형)을 개발하였다. 그후 여러 가지 방전개시전압 2Z형이 제조되어, 일본에서는 신칸센 LCX의 가공선(suspended line)접지용, ATC궤도회로용보안기 UP-11C형 기타에 사용되고 있다. 우리나라에서도 TGV고속열차가 개통되면 최신의 특수 피뢰관이 많이 사용될 것이다.

1985년대: 최근에 이르러서는 피뢰관 규격이 개정되어서 모든 피뢰관을 보호성능이 향상한 견고한 세라믹형으로 하였다. 유리관형, 하-멜보턴형의 구형과 호환성이 있게 하고 있다.

### 4)보전. 공사상의 유의점

피뢰관은 세라믹형으로 화하면서부터 장수명화(長壽命化)하고, 보수점검주기도 연장되었다. 유리관의 내부가 흑색화하면 대략적으로 열화(劣化)상황을 판단할 수 있는데 비하여 세라믹형은 외관상으로 열화상황을 판단할 수 없게 되었다. 세라믹형피뢰관은 일반 사용상태로 10년 이상의 내력(耐力)이 있어 장수명화하였다고는 하지만, 뇌써지 또는 이상 전압으로 인한 방전의 빈도에 따라서는 비교적 단시간에 열화하여, 충분한 보호성능을 보장할 수 없는 일이 있으므로 인근에 격렬한 낙뢰 또는 전력계의 대사고가 발생하였을 때는 특히, 보안기의 점검을 추가하여 행하는 것이 바람직하

---

다. 점검시의 특별체크는 기기로부터 떼어 내서 피뢰관시험기로  $V_s$ 를 측정한다. 측정한  $V_s$ 가 <표 4>의 직류방전개시전압 규격치 내의 범위 밖이라면, 일단 수명 한계를 판단하고 교환한다. 만일, 짧은 기간에 수명열화가 일어난 경우는 피뢰관의 종류 선택 시에 예상한 뇌써지, 교류이상전압 이외에 철도연선에서 발생하는 여러 가지 유도전압,

예컨대 전차가 트로리섹션(trary section)통과 시 팬다그래프이선(離線)으로 인한 써지 전압, 전력회로의 공진(共振)으로 발생하는 고조파(高調波) 등으로 피뢰관이 예상외로 방전하는 것이라 생각할 수 있기 때문에 잘 검토하여 노이즈필터(noise filter)의 사용, 혹은 대전류내량의 피뢰관의 사용 등의 대책이 필요하게 된다.