

高電壓 現象과 雷放電 現象

工學博士 李 德 出

1. 高電壓工學의 意義

高電壓에 있어서 絶緣體에 나타나는 현상을 高電壓現象이라 한다.

이것을 원인적으로 고찰하면 高電壓에 있어서의 電界現象이라 볼 수 있고, 또 결과적으로 고찰하면 高電壓에 있어서의 絶緣破壞現象 또는 高電壓에 의한 放電現象이라 볼 수 있다. 이 高電壓現象에 관한 理論 및 실험결과를 근거로 하여 고전압에 있어서의 絶緣破壞 또는 放電을 방지하려고 하는 견지로부터 생긴 學問을 高電壓絶緣論이라 하며, 이것을 더욱 확장하여 高電壓機器와 施設의 絶緣設計, 제작 및 여기에 수반되는 시험, 測定에 關한 理論을 총괄한 것이 즉 高電壓工學이다.

2. 氣體的 絶緣破壞

2-1 空氣中の 部分放電

(a) 空氣中の 防電型式

空氣中の 放電을 非自續放電과 自續放電으로 크게 分類할 수 있다.

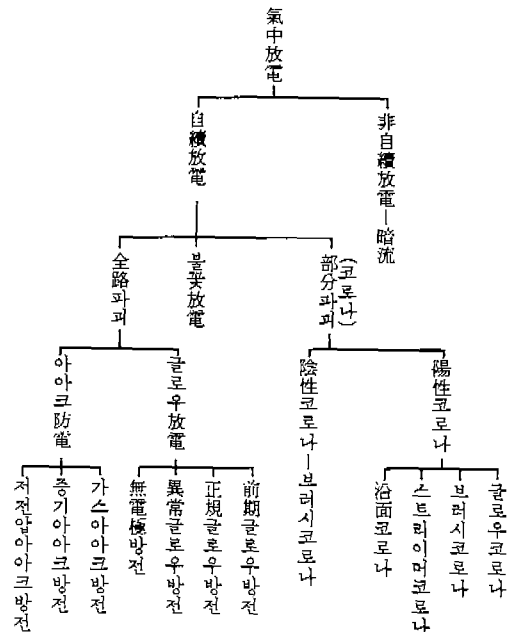
非自續放電이라 함은 電離를 시키는 外部作用이 없으면 電極사이의 電流가 0으로 되는 범위의 放電을 말하며, 暗流는 比自續放電에 속한다. 自續放電이라 함은 電離를 시키는 外部作用에 의존하지 않고도 충돌전리작용에 의하여 電極 사이에 電流가 흐르게 되는 범위의 放電을 말하며, 자속방전은 다시 코로나放電(극부파괴방전), 불꽃방전 및 全路破壞放電으로 세분할 수 있다. 電極 사이에서 電界가 강한 극부만이 절연과괴되어 發光하는 극부과괴의 상태가 코로나放電이며, 電壓을 올림에 따라 코로나放電으로부터 全路과괴로 移行할 때의 단시간내 과도현상을 불꽃放電이라 한다.

全路破壞放電이라 함은 電極이 글로우(Glow) 또는 電弧로 완전히 단락되는 상태를 말하며, 따라서 全路과괴放電에는 글로우放電(暈光放電)과 아아크放電(電弧放電)의 두 種類의 放電型式이 있다. 글로우放電은 비교적 저기압에서 電流가 적을 때 나타나며, 아아크放電은 비교적 높은 기압에서 電流가 클 때 나타난다. 그러나 글로우放電도 電流가 커지면 아아크방전으로 된다.

따라서 아아크放電은 방전의 최종형식이라 할 수 있다. 코로나放電은 局部불꽃放電이라고도 하며,

표 1

空氣中の 放電의 分類



이것은 다시 陽코로나放電과 陰코로나放電 또는 글로우코로나放電, 브러시코로나放電(芒光코로나放電) 및 스트리머코로나放電으로 나누어진다. 陽코로나방전은 글로우코로나, 브러시코로나 및 스트리머코로나방전의 형식을 취하고, 陰코로나放電은 브러시코로나방전의 형식을 취하는 것이 보통이다.

空氣中の 放電型式을 分類하면 表 1과 같다.

(b) 코로나와 불꽃

空氣中에 놓여진 전극간의 電位差가 불꽃전압에 도달하면 소위 불꽃放電에 의하여 兩電極이 단락된다. 그리고 電極의 모양이 針端, 가는線, 板 등과 같이 국부적으로 電界가 集中하기 쉬운 경우에는 불꽃電壓에 도달하기 이전에 電界가 集中되고 있는 부분에만 먼저 自續放電이 발생하고(즉 절연성이 파괴) 다른 부분에는 절연이 파괴되지 않는 상태로 경유한다. 이와 같은 放電을 코로나(Corona) 또는 局部破壞(Partial B. D), 不完全破壞(Uncomplete B. D), 部分放電이라 하고 있다. 그리고 코로나가 발생하는 전압을 코로나開始電壓 또는 단지 開始電壓이라 한다.

한 針端에서 發生하는 코로나에 의한 電流는 대략 μA 정도이기에 코로나가 발생하여도 절연상 그다지 해를 받지 않을 수도 있으나 경우에 따라서는 코로나의 발생이 좋지못한 영향을 초래하기도 한다.

예를 들면 送電線의 도체에서 코로나가 일어나면 한 點에서 나오는 電流는 적어도 전 길이에 걸쳐서 합산하면 상당히 큰 電流도 되며 電力損失을 가져오고, 消弧線輪(Peterson Coil)의 동작을 둔하게 하며, 라디오에 대하여는 방해하는 電波를 發生한다.

그리고 금속도체를 부식시키는 등의 영향을 나타낸다. 機器의 절연에 대하여는 코로나가 일어나고 있는 부근에 유기물 절연체가 있으면 코로나에 의하여 발생한 산화질소(NO), 오존(O₃) 電子충격 또는 발열에 의하여 절연물이 열화하는 원인으로 된다. 특히 高周波코로나는 해가 크다.

그리고 코로나를 경유하는가 아니하는가에 의하여 불꽃전압의 性質이 좌우되므로, 코로나 발생의 유무가 증시되고 있다. 한편, 전기집기와 정전도장 등에서는 코로나가 有效하게 利用되고 있다.

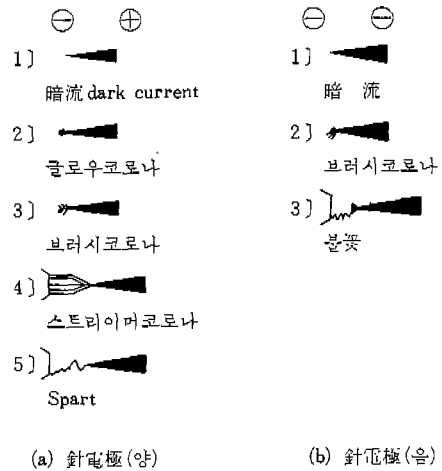


그림 1 코로나放電의 形狀

(c) 코로나의 性質

그림 1에 보인 바같이 針對平板 전극에 直流高電壓을 인가하면 코로나放電은 針端전극측에서 발생한다. 針端쪽이 陽極인 경우를 陽性코로나, 陰極인 경우를 陰性코로나라 부르며 양쪽의 性質은 매우 다르다. 이것은 電子나 양이온의 移動度(mobility)나 電離確率이 현저히 다르기 때문이다.

① 陽性코로나...電壓을 서서히 상승시키는 경우 최초로 나타나는 코로나는 그림 1 (a) 2에 도시한 바 같이 針端部가 微光의 막으로 둘러싸인 상태이다. 이것을 글로우코로나(暈光코로나, Glow Corona)라 하며, 이 코로나에 의하여 흐르는 電流(코로나電流)는 μA 정도이며 맥동이 적다. 더욱 電壓을 상승시키면 그림 1 (a) 3에서 처럼 束狀의 코로나가 나타난다. 이것을 브러시코로나(芒光코로나, brush corona)라 하고 있다. 電流는 맥동을 수반하며 꽤 큰 高周波 성분을 포함하고 있으며 특유한 코로나음을 낸다.

그리고 경우에 따라서는 그림 1 (a) 4에서 처럼 양전극간이 가느다란 線條로 이어진 모양을 하는 수도 있다. 이것을 線條코로나(Streamer corona)라 한다. 위에 적은 세 가지 코로나는 항상 나타나는 것이 아니고 電極의 形狀, 간격 등에 의하여 어떤 형식으로부터 불꽃으로 옮겨지는 것이 결정된다.

글로우코로나는 공기의 습도에 의하여 거의 영향을 받지 않으나 브러시코로나 및 스트리머 코로나는 습도가 높을수록 코로나의 성장이 저해된

다.

② 陰性코로나...·음성코로나의 형식은 브러시 코로나와 닮았고, 陽性코로나의 경우에 비하여 電壓上昇과 더불어 현저히 성장되지 않고 불꽃으로 옮겨간다.

(d) 코로나가 發生하는 條件

放電이 코로나의 상태를 안전하게 지속할 수 있는냐는 전혀 回路의 狀況, 특히 電界의 상황에 의존하여, 電極의 形狀, 크기 및 電極 사이의 거리 등은 코로나의 발생에 대하여 현저한 영향을 미친다. 일반적으로 어느 전극에 전압을 印加하여 그 값을 점점 올려 갔을 때 불꽃을 발생하기전에 코로나가 안전하게 발생하느냐 안하느냐의 條件에 대하여 생각해 보면 불꽃 발생전에 코로나가 發生하는 條件으로서의 다음 두 가지가 있다.

① 電界의 분포가 심하게 不均一할 것.

② 코로나의 발생에 의하여 最大電位傾度の 값이 減少할 것.

①의 條件은 극부적인 電離現象이 생기기 위하여 必要한 條件이며, ②의 條件은 코로나가 안정히 存在하기 위하여 必要한 條件이다. 만일 ②의 條件과는 反對로 극부적인 電離의 발생에 의하여 최대전위 경도의 값이 增加한다고 하면 電離는 더욱 더 進전하여 순식간에 電極사이가 導電化하여 불꽃방전으로 되어 버릴 것이다.

2-2 氣體中の 불꽃放電

宇宙線, 紫外線 또는 地中の 放射線 物質로부터의 방사선으로 인하여 大氣는 약간이나마 항상 電離되고 있으며, 거기에는 소수의 電子 및 陽이온이 발생한다. 이때 발생한 電子는 곧 다른 中性分子에 부착하여 陰이온으로 되어 있는 경우가 많다.

이리하여 대기중의 이온화 속도는 평균 10~20 (ion/cc/sec) 정도이다.

이러한 率로서 이온이 발생하지마는 한편으로는 陰陽이온이 서로 中和되므로 정상상태에서는 200~1000(많은 경우 700~800) [ion/cc] 정도의 이온을 포함하고 있다.

지금 그림 2와 같이 空氣中에 놓여진 平行板 電極에 直流電壓을 印加하는 경우를 생각한다. 電極 사이에 電壓을 인가하지 않은 경우, 또는 電壓을 인가하여도 그 값이 낮을 때에는 발생한 電子는 전기한 바와 같이 곧 다른 中性分子에 부착하여 陰

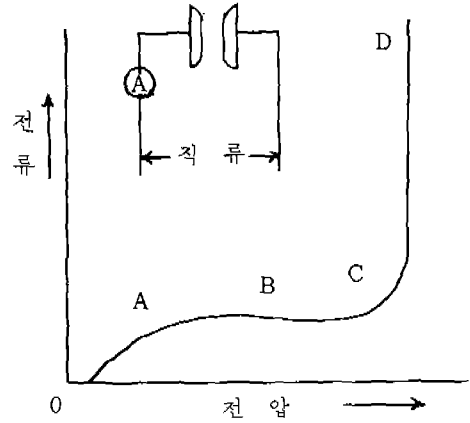
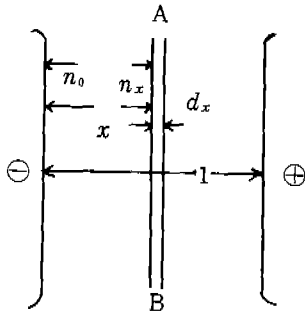


그림 2 空氣中の 導電

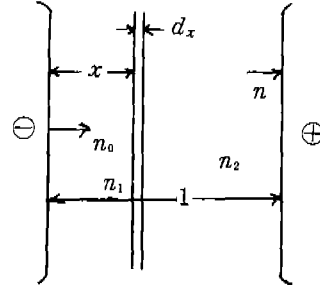
이온으로 되어 있다. 전극 사이에 전압을 인가하면 陰이온은 陽極으로, 陽이온은 陰極으로 각각 흡인되어 전류가 흐르게 되며, 電壓이 낮을 동안 즉 電界가 약한 동안에는 電流는 그림 2의 OA와 같이 대략 전압에 비례하여 증가한다. 더욱 電壓을 올리면 전극에 도달하는 이온의 數도 증가하게 되는데 電離作用은 대체로 일정하므로 單位 시간에 보급되는 陰陽이온의 數에는 한도가 있어 단위 시간에 발생한 陰陽이온이 전부 電極으로 흡인되는 상태가 되면 電壓을 올려도 電流는 그 이상 증가하지 않게 된다. 즉 그림 2의 AB 부분과 같이 되는데 이 때의 電流를 포화전류라 하며, 그 값은 10^{-17} [A/cm²] 정도의 극히 미약한 것이다. 다음에 더욱 電壓을 올리면 비교적 質량이 작은 電子가 우선 電離速度를 얻어 中性分子를 충돌하여 電離시킨 결과 電子와 陽이온이 發生한다. 電壓이 더욱 높아지면 衝突電離의 결과 발생한 電子도 또한 전기속도를 얻어 다른 中性分子를 電離시키게 되고, 이때 생긴 電子가 또 다시 電離를 일으킨다. 이리하여 電壓의 상승과 더불어 電子에벌레치 (Electron Avalanche)가 형성되므로 電流의 增加는 그림 2의 BC와 같이 현저하게 된다. 즉 갭에서 절연 파괴가 일어난다.

이 영역으로 되면 외부에서 자외선을 조사함에 의하여 光電子電流 i_0 가 공급되지 아니하여도 스스로가 i_0 를 보급할 수 있게 되어 放電이 유지되어 自續放電으로 된다.

自續放電은 갭을 구성하는 電極의 形態와 材料, 氣體 및 電源回路抵抗 등의 外部條件에 의하여 形



(a) 평행판 컵중의 電子증배



(b) 2차 효과를 고려한 電子증배

그림 3 電子增培과정

態가 다르게 된다. 雪路破壞로 이행할 때의 단시간의 과도현상을 불꽃방전이라 한다. 大氣 중에서의 불꽃방전은 소리와 강렬한 빛을 수반하나, 低氣壓下에서는 불꽃을 확실히 인정할 수 없는 경우가 있다. 回路의 상태에 따라 불꽃방전은 글로우방전 또는 아아크방전으로 이행하는데, 雷現象에 있어서와 같이 불꽃방전으로만 끝나고 후속하는 放電이 없는 경우도 있다. 이와 같이 氣體的 절연과파 (break down)에 대한 연구는 高電壓工學의 기초를 이루는 것이다.

(a) Townsend의 불꽃放電理論

平行平板電極 사이에 직류전압을 인가하고 음극면을 자외선으로 조사할 때 단위시간당 방출되는 光電子數를 n_0 개라 하고 (그림 3 참조), 이를 電子群이 電界로부터 충분히 큰 에너지를 얻으면 도중에서 中性分子와 충돌하고 이것을 이온화시키고 電子를 증가시키면서 양극을 향하여 간다. 이와같이 해서 음극으로부터 x 만큼 떨어진 AB 면에 도달하는 電子의 수를 n_x 라 하자 이 n_x 의 電子가 d_x 사이에서 충돌 전리를 일으키는 회수, 즉 d_x 사이에서 電子의 증가수 dn_x 는 n_x 및 電子의 비행거리 d_x 에 비례하므로

$$dn_x = \alpha n_x dx \quad (1)$$

로 된다. 비례정수 α 는 전자의 충돌전리계수라 부르고 1개의 電子가 電界로부터 에너지를 얻어서 電界方向으로 단위거리만큼 비행하는 동안에 中性分子와 충돌하여 이것을 電離하는 회수를 나타낸다. 그런데 식(1)을 풀면

$$n_x = n_0 e^{\alpha x}$$

로 된다. 즉 n_x 는 음극으로부터 n_0 개의 전자가 튀

어 나오고 충돌전리를 하면서 X [cm]거리를 비행한 경우의 電子의 총 수이며, X 에 대하여 지수함수적으로 증가하는 것을 表示하고 있다. 따라서 전극간의 거리를 l 이라 하면 陽極에 도달하는 전자의 총 수 n 은

$$n = n_0 e^{\alpha l} \quad (2)$$

로 된다. 따라서 식(2)에 電子電荷를 곱하면 電流의 式으로 된다.

$$I = i_0 e^{\alpha l} \quad (3)$$

여기서 i_0 는 陰極表面에 있어서의 電子流密度, l 은 電極사이의 거리이다. 電界가 약하면 α 는 0으로 되나 電界가 강해짐에 따라 α 가 급속히 증가하므로 따라서 식(3)으로부터 두電極 사이의 電壓이 높아지면 전류가 급속히 증가하게 되어 그림2의 BC 곡선과 같이 된다. 불꽃放電이 일어나기전에는 빛이 나지 않으므로 그림(2)의 OABC 부분의 電流를 暗流(dark current)라 한다. 暗流의 범위에서는 일반적으로 電離를 하는 外部作用이 없으면 電極사이의 電流도 0으로 되며, 따라서 이 범위의 放電을 非自續放電이라 한다. 衝突電離係數 α 는 氣體的 種類, 壓力 및 電界의 세기에 따라 달라진다. 同一한 電界의 세기인 경우에는 두 전극사이의 거리가 늘수록 전류는 커진다.

그런데 식(2)는 電極間隙이 작을 때에는 실험 결과와 잘 일치하지마는 간격이 커지거나 또는 電界의 세기가 커지면 실험결과와 잘 일치하지 않는다는 것을 알게 되어, 타운센드는 이 점을 설명하기 위하여 다시 陽이온의 충돌전리작용을 인정하게 되었다. 즉 電界의 세기 및 電極 사이의 거리가 상당히 커지면 陽이온의 운동에 의한 영향이 들어가

게 된다. 다시 말하면 E/P 및 l 가 적은 동안에는 陽極에 도달하는 電子數는 $n_0 \epsilon^{\alpha l}$ 가 되나, E/P 및 l 가 커지면 陽極에 도달하는 電子數는 $n_0 \epsilon^{\alpha l}$ 보다 커진다는 것이다.

(b) 파센(Paschen)의 法則

타운센드(Townsend)는 電子 및 양이온충돌 이온화계수를 각각 α, β 로 했지만 이들 계수는 당연히 전극간에 가해지는 전압과 기압에 의해서 변화한다.

$$V_s = F(P \cdot l) \quad (3)$$

(3)식은 불꽃전압 V_s 가 기압 P와 전극간의 거리 l 의 상수적에 의해서 표시할 수 있는 것으로서 이 사실을 파센이 실험적으로 확인하였으므로 이 법칙을 파센의 법칙이라 한다. 더욱 일반화하면 ① 전극 및 간극의 치수를 고르게 n 배 하고 기압을 i/n 로 하면 불꽃전압은 변하지 않는다. ②이 경우 放電에 의하여 흐르는 電流도 변하지 않는다. 이들 법칙을 총괄하여 相似律(law of similarity)이라 한다. 이 법칙은 평행한 平板電極의 경우에는 물론 間隙이 球반지름에 비하여 작은 球形電極의 경우에도 성립하는 법칙이다. 그러나 氣體의 압력이 너무 커지면 이 법칙은 성립하지 않는다. O. Zeier의 실험결과에 의하면 공기 $50(\text{kg}/\text{cm}^2)$, 질소가스 $30(\text{kg}/\text{cm}^2)$ CO₂가스($58.5\text{kg}/\text{cm}^2$)에만 성립한다고 한다.

(c) 불꽃放電에 관한 스트리머理論

타운센드의 방전이론은 갭이 짧고 기압이 낮은 경우에는 실험결과와 잘 일치하나 기압이 높게 되어 대기압 이상의 기압으로 되든가 갭 길이가 길게 되면 이 이론으로서는 설명하는 것이 무리가 있기 때문에 각 방면에서 많은 연구가 행하여진 결과 결합이 있음을 알게 되었다. 그리하여 타운센드가 보고한 放電理論이 몇 사람의 연구자에 의하여 수정을 받은 것이나 본질적으로 고쳐야 할 것이 있다고 한 것은 放電이 완성하는 時間에 관한 연구가 행하여지고 나서이다. 이들 이론 특히 α, γ 작용을 고려한 이론은 $P \cdot l$ (기압×거리)이 비교적 적은 범위에서는 실험결과와 잘 일치하나 $P \cdot l$ 이 공기중에서 $200(\text{mmHg} \cdot \text{cm})$ 이상으로 되면 적용이 될 수 없다는 것이 밝혀졌다. 極間的 공란전하효과를 고려한 새로운 불꽃방전이론인 스트리머의 이론이 미이크(Meek)에 의하여 완성되어 만족한 결과를 얻었다. 기압 P(mmHg)의 가스중에서 전극거리 $l(\text{cm})$ 의

평행판전극에 電界의 세기 E(V/cm)를 증가하는 경우 $2/P$ 가 충분히 크면 음극을 떠난 전자는 충돌 전리작용에 의하여 새로운 電子를 계속해서 만드는데 이때 처음 電子가 電界方向으로 X(cm) 움직일 때 만들어지는 電子數는 $\epsilon^{\alpha x}$ 가 된다.

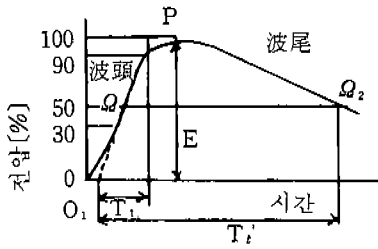
이러한 과정을 급속히 累加하여 이른바 電子에 벌린체(Electron Avalanche)를 형성한다. 파괴를 일으킬 정도의 電界의 세기에 있어서는 電子는 $2 \times 10^7(\text{cm}/\text{sec})$ 정도의 속도로 운동하고 한편 電子와 분리된 양이온은 약 $2 \times 10^5(\text{cm}/\text{sec})$ 의 속도로 운동한다.

그러므로 양이온은 電子에 비하여 정지하고 있다고 생각할 수 있으며 따라서 간극사이를 진전하는 電子에 벌린체의 배후에는 陽이온이 공간전하로 남아 있게 된다. 이것을 고려하면서 방전이 형성되는 과정을 설명한 것이다.

2-3 기타 상태하의 불꽃放電

- (a) 眞空中의 불꽃放電
- (b) 高氣壓中の 불꽃放電
- (c) 高周波 불꽃放電
- (d) 衝擊 불꽃放電

충격전압은 매우 짧은 시간내에 그 최고치에 달하고 또 매우 짧은 시간내에 감쇠하여 버리는 전압이므로 우발적인 원인에 크게 기배되어 동일 間隙에 동일 波形, 동일 波高值의 충격전압을 인가하여도 어느 경우에는 섬락이 생겨도 어느 경우에는 섬락이 생기지 않는 그러한 현상이 나타나기 쉽다. 즉 간극사이의 偶存이온의 유무, 외부적 원인에 의한 전극면으로부터의 電子放射의 유무 등에 크게 지배되어 어떤 경우에는 섬락이 생겨도 어떤 경우에는 섬락이 생기지 않는 현상이 일어나므로 그 파괴전압치를 간단하게 결정하기가 곤란하다. 또 충격전압에 의한 섬락전압치(또는 파괴전압치)는 충격파의 波形 즉 波頭的 峻度, 波高值 波尾의 減衰度 및 截斷波인가 아닌가 등에 따라 달라지며 더욱 전압이 인가되어서부터 섬락할 때 까지의 시간의 늦음이 문제가 되어 충격전압에 의한 섬락현상의 모양은 대단히 복잡하게 된다. 送配電系統에 접속되어 있는 電氣機器가 실제로 받은 雷 서어지波의 波形에는 여러가지 종류가 있을 것이나 각국에서는 실제로 일어난 雷에 의한 서어지波의 많은 기록을 기초로 하여 통계적 전지로부터 전기기기의



E : 波高値 P : 波高點
 T₁ : 波頭長 Q, Q₂ : 半파고점
 T₂ : 波尾長 O₁ : 규약원점

그림 4 衝擊電壓波形的 표시법

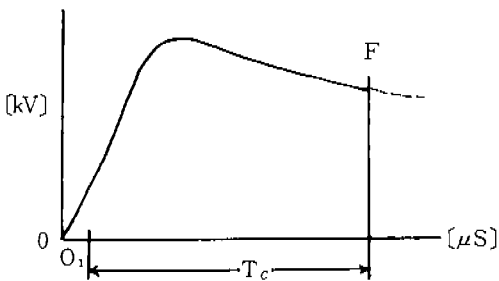
충격전압시험, 즉 耐雷性試驗에 대한 표준파형을 규정하고 있다. 예를 들어보면 일본에서는 $1 \times 40 \mu\text{S}$, 미국에서는 $1.5 \times 40 \mu\text{S}$, 독일 및 국제규격공업위원회에서는 $1 \times 50 \mu\text{S}$ 파를 각각 표준파형으로 규정하고 있다.

(i) 標準波形(Standard wave form)

송전선이나 발변전소에서 전기설비가 절연을 파괴하여 사고의 원인을 일으키는 異常電壓 中에서 특히 害가 현저한 것은 雷異常電壓을 대상으로 해야 한다.

따라서 이들 설비의 절연을 설계하든가 시험하고자 할 때는 雷異常電壓을 대상으로 해야 한다. 그래서 雷異常電壓中 자주 일어나는 대표적인 波形이고 또한 인공적으로도 비교적 쉽게 발생시킬 수 있는 것을 1종 또는 數種을 선정하여 標準波形으로 정한다. 이를 기초로 하여 각종 電氣設備의 설계나 시험을 해야 할 필요성이 있다.

標準波形을 나타낸 한 예가 그림 4이다.



F : 재단점
 T_c : 플레시오우버까지의 시간

그림 5 截斷波의 보기

波頭길이 (Duration of wave front)란 그림 4에 도시한 바와 같이 波高值의 30(%) 및 90(%)인 점을 직선으로 연결하여 이것이 零線과 만나는 점 O₁과 100(%)인 선과 만나는 점 사이의 시간(T₁)이다. 그리고 波尾(time to half value of wave tail)는 波尾에 있어서 電壓值가 50(%)로 저하하기까지의 시간(T₂)이다. 이와 같은 파형은 충격전압으로 정리된 파형이므로 全波電壓(full wave voltage)이라 한다. 파두길이가 $1 [\mu\text{S}]$, 파미길이가 $40 [\mu\text{S}]$ 를 표시하는 데 ($1 \times 40 [\mu\text{S}]$)라는 기호를 사용한다. 그림 5에 도시한 바 같이 도중에서 급하게 截斷波(chopped wave)라 한다.

(ii) 충격섬락전압치

충격전압에서는 電壓이 인가되는 시간이 매우 짧으므로 초기 電子의 공급, 혹은 우존이온의 존재 등에 기인하여 불꽃전압에 변동이 있기 때문에 불꽃전압치를 표시하는데 확실적인 표시가 필요하다. 이른바 50% 放電率의 충격파의 파고치로써 충격섬락전압을 표시하는 방법이 채용되고 있는데 이러한 방법으로 표시한 것을 50% 섬락전압 (50% flash over voltage)라 한다.

(iii) 불꽃의 늦음

충격전압에 의한 섬락에서는 전압을 인가해서 부터 섬락이 일어날 때까지의 시간이 문제가 된다. 종래에는 이것을 불꽃의 늦음(time lag of sparking) 또는 섬락의 늦음이라 부르고 있었다. 현재에는 이 불꽃의 늦음을 섬락까지의 시간이라고도 하며 인가한 전압의 규약영점으로부터 섬락이 발생하는 순간까지의 시간으로써 정의하고 있다.

이 경우 전압이 상당히 감쇠한 파미에서 섬락이 일어났을 때에도 파괴는 파고치에서 일어난 것으로 보고 이 경우의 섬락전압치는 그 波高值로써 표시한다.

(iv) 衝擊比

충격비라 함은 어느 주어진 간극에 있어서 주어진 파형의 충격전압파에 대한 불꽃전압치(波高值) V_i와 그 간극의 직류불꽃전압치 또는 상용주파수 교류불꽃전압치(파고치) V_s와의 비 V_i/V_s를 말한다. 즉

$$\text{충격비} = \frac{\text{충격불꽃(섬락)전압(파고치)}}{\text{직류 또는 상용주파수 교류불꽃(섬락)전압치}}$$

(v) 照射와 불꽃의 늦음

間隙을 조사함으로써 섬락의 늦음이 감소된다는 사실은 전부터 알려져 있었는데 최근에는 방사선 물질을 사용하거나 또는 자외선을 조사하여 간극에 방전개시하는데 필요한 電子를 공급하여 주는 방식이 채용되고 있다.

(vi) 緩波頭충격전압(개폐서어지電壓)

전력계통에서 차단기의 차단 또는 투입에 의하여 발생하는 과도적 異常電壓을 개폐서어지라 한다. 그 波高値는 常規對地電壓 波高値의 3배 이하인 것이 많으며 간혹 4~5배에 달하는 것도 있다. 전력계통의 전압으로서 특히 초고압을 사용하는 경우, 이 전압이 기기류의 절연설계에 중요한 의미를 가지게 된다.

3. 固体誘電体の 絶緣破壊

高電壓機器에 사용되는 固体絶緣物에는 여러 가지 種類가 있으며 대별하여 無機材料와 有機材料로 구분된다. 주로 사용되는 絶緣材料로는 磁器, 마이카 및 마이카製品, 종이 및 종이제품, 합성수지 成層絶緣술 또는 積層板, 木綿 및 면포제품, 고무제품 및 복재제품 등을 열거할 수 있다.

일반적으로 고체절연물의 절연파괴 전압을 측정할 경우에는 試料를 板狀으로 하고 그 兩面에 금속전극을 밀착시켜서 電壓을 인가하며 이때 시료 표면과 전극의 접촉이 문제가 된다. 전극과 절연물 사이에 갭이 존재하면 電壓을 인가할 때 절연물이 파괴하기 전에 갭에서 氣中放電이 발생할 수가 있다. 이러한 기중방전 때문에 절연물이 劣化侵食되며, 이로 인하여 낮은 전압에서 절연파괴가 일어나고 만다. 그래서 電極과 접촉하는 면에 금속을 증착시키거나 導電도료를 칠하기도 하며, 放電의 발생이 어려운 절연유 중에서 전압을 인가하기도 하나 局部放電의 발생을 완전히 방지하는 것은 곤란한 사항이다.

고체절연물의 절연이 파괴되는 모양을 연구하는데 있어서 가장 곤란한 점은 그 破壞電壓이 시험조건에 따라 현저하게 달라진다는 점이며, 그 주요한 것을 열거하면 다음과 같다.

- ① 파괴전압이 電極形狀에 따라 달라진다는 것.
- ② 電壓印加時間이 길수록 파괴전압이 저하한다는 것.
- ③ 온도가 높을수록 파괴전압이 저하한다는 것.

옛날에는 ①의 점에 착안하여 스트레스의 최대치가 어느 일정치 이상으로 되면 파괴가 일어난다는 최대 스트레스說이 발표되었는데, 이것은 ②, ③의 실험결과와 모순이 생기게 되었다. 그런데 스킨너(Skinner) 등에 의하여 절연파괴가 일어나기 전에 熱을 발생한다는 점 또는 誘電損失에 의하여 절연물의 온도가 상승한다는 점 등의 사실이 계속 발견된 후 이 방면을 대상으로 하는 연구가 진행되어 도리어 1922년에 이르러 熱破壞說이 와그너(K. W. Wagner: A. I. E. E. 1922)에 의하여 대성되었다.

이 설은 실험적으로도 어느 정도 설명을 할 수 있게 되어, 고체절연물의 파괴에 관한 연구 방침에 일대 혁명을 가져오게 되었다.

유리와 같이 비교적 그 질이 균일하다고 볼 수 있는 재료에 있어서는 그 破壞電壓과 온도와의 관계는 일반적으로 그림 6 과 같으며 低溫度에서의 파괴전압은 온도에 관계가 없으나, 비교적 高溫度에서는 파괴전압은 온도의 상승과 더불어 저하한다는 것이 명백하다. 더욱 低溫度에서는 그 파괴전압은 電極形狀에 따라 좌우되나, 전압의 印加時間의 장단에는 관계가 없으며, 高溫度에서는 마치 정반대로 그 파괴전압은 電極形狀에는 대체로 좌우되지 않으나, 전압인가시간의 장단에는 관계가 있다는 것이 밝혀져, 低溫度에서의 파괴현상과 高溫度에서의 파괴현상과는 당연히 구별하여 고찰해야 한다는 것이 명백해졌다.

- (a) 고체유전체의 절연파괴전압
 - (i) 절연내력의 측정

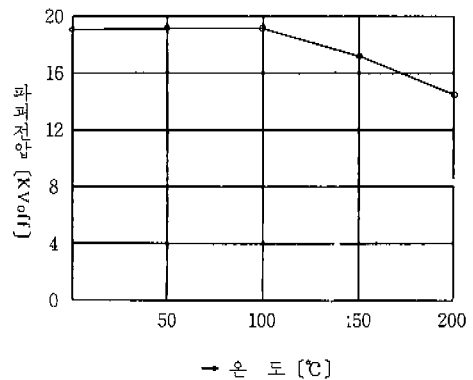


그림 6 온도와 파괴전압

- 절연내력의 표시법
- 油中파괴시험
- 煤質效果
- 交流絶縁耐力試驗

耐電壓試驗
絶縁破壊試驗
閃絡試驗

(ii) 절연파괴전압에 영향을 미치는 사항

- 고체유전체의 두께
- 電極의 크기
- 인가전압의 종류
- 고체유전체층의 수분
- 절연물의 成層
- 유전체의 온도

(iii) 絶縁破壊現象

- 코로나파괴
- 트리잉파괴

4. 液体誘電体の 絶縁破壊

液体絶縁物로서 가장 많이 사용되는 것은 變壓器油 및 舍侵油 등이 있으나 여기서는 주로 변압기유에 대하여 설명하기로 한다.

변압기유는 사용상으로 다음과 같은 세가지 중요한 성질이 요구된다.

- (1) 絶縁破壊電壓 및 기타의 전기적 특성이 양호할 것.
- (2) 변압기線論의 냉각성능이 양호할 것.
- (3) 물리적 또는 화학적으로 안정할 것.

변압기유 중에 포함되어 있는 산, 알칼리, 黃(S) 등은 변압기유의 絶縁耐力에 나쁜 영향을 미칠 뿐만 아니라, 다른 절연물 및 금속도 열화시키므로 이들은 당연히 제거되어야 한다. 그러나 이들 불순물 이외에 油中에는 먼지, 水分, 흡장가스 등의 불순물이 포함되어 있는 일이 많고, 이들이 변압기유의 絶縁耐力에 상당한 영향을 미치므로 絶縁油의 절연파괴에 관한 문제는 그 자체의 파괴에 관한 문제보다 오히려 절연유 자체의 절연파괴 전압을 저하시키는 것은 무엇이나 하는 것을 규명하는데 있다. 따라서 絶縁油의 절연파괴를 논하는 경우에는 먼지, 水分, 가스 등이 油中에 혼입되어 있는 모양, 그 정도 및 이들이 파괴전압에 미치는 영향 등을 고찰해야 한다.

또 이와 동시에 이들 불순물을 제거하는 방법 또

는 절연유의 열화방지책 등에 대하여도 항상 고려를 해야 함은 물론이다.

絶縁油에는 天然鑛油와 人造油가 있다. 천연광유는 原油로부터 分溜된 것이며, 보통 絶縁油로서 사용되고 있는 것은 分溜蒸氣溫度 170~200[°C], 비중 0.87~0.88 정도인 황색의 것이다. 原油의 주 성분으로서는 파라핀族(C_nH_{2n+2}), 나프텐族(C_nH_{2n}) 芳番族(C_nH_{2n+6}) 및 不飽和炭化水素系이며, 여기에는 미량의 酸素化合物(아스팔트, 樹脂), 黃化物, 窒素化合物 등이 포함되어 있다. 人造油로서는 3열화벤졸, 5열화지페닐 또는 이들의 혼합물이 사용되는 경우가 많고, 최근에는 珪素樹脂油(Silicon Oil)가 새로운 합성 절연유로서 등장하게 되었다. 실리콘油는 그 구성요소를 여러가지로 조합함으로써 여러가지 성질의 것을 얻을 수 있는데, 그 일반적인 특징으로서는 耐熱性이 풍부하고, 耐塞性이 있으며, 화학적으로 안정하여 열화되기 어렵고 不燃性이라는 점이다. 絶縁耐力은 100~120[kV/mm], 絶縁抵抗은 常溫에서 $7 \sim 8 \times 10^{14} [\Omega \text{cm}]$, 誘電体力率은 10^3 [Cps]에서 $1 \sim 2 \times 10^4$, 比誘電率은 60 [cps]에서 2.58정도이다.

- (a) 절연유의 절연파괴현상
 - (i) 절연유중의 코로나放電
 - (ii) 절연유중의 先行불꽃放電
 - (iii) 절연유중의 沿面放電
- (b) 절연유의 절연파괴전압
 - (i) 전극거리, 전극형상과 절연파괴전압
 - (ii) 기압과 절연파괴전압
 - (iii) 온도와 절연파괴전압
 - (iv) 인가전압의 종류와 절연파괴전압
 - (v) 전극재료와 절연파괴전압
- (c) 절연파괴전압에 미치는 不純物의 영향
 - (i) 먼지의 영향
 - (ii) 수분의 영향
 - (iii) 섬유질 먼지와 수분의 공존
 - (iv) 흡장가스의 영향
- (d) 절연유의 劣化防止

5. 複合유전체의 절연파괴

고체절연재료가 高電壓機器 또는 시설의 電氣絶縁材料로서 사용되고 있었는데 대부분의 경우 고체절연재료의 주위에는 공기(氣體誘電體) 또는 絶

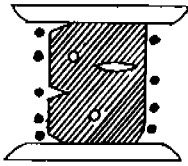


그림7 균일 및 氣泡 또는 空隙

緣油(液体誘電體)가 존재한다. 또 고체유전체와 전극과의 사이가 밀착되어 있지 않으면 거기에 생기는 空隙에도 공기가 들어 있게 된다. 또 고체유전체가 成層되어 있는 경우에는 고체유전체의 상호간의 空隙에도 공기가 존재하게 된다. 고체유전체의 표면에 생기는 균열로 인한 空隙의 경우에도 마찬가지로 그 空隙에 공기가 들어가게 된다. 때로는 그림7과 같이 고체유전체의 내부에 氣泡 또는 空隙에 있어 여기에 공기가 남아 있는 경우도 있다. 그러므로 고체유전체에 의한 絶緣이라할지라도 실은 그것이 단독으로 존재할 수는 없고 고체유전체와 기체유전체와의 複合誘電體로 되어 있는 경우가 많다. 따라서 고체, 기체 및 액체의 개개의 絶緣強度도 중요하지만은 그들 사이의 관련 또는 영향도 충분히 고려하여 절연강도를 논해야 한다. 일반적으로 고체유전체의 표면에 접하고 있는 공기는 공기만이 단독으로 電極 사이에 있는 경우에 비하여 낮은 電位頻度에서 파괴된다.

그림8은 막스타트(Maxstadt)에 의한 실험 결과이며, 아래쪽 곡선은 平行板電極間的의 공기 중에

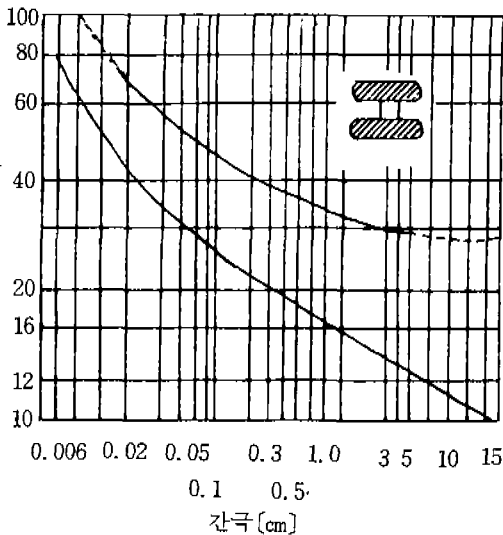


그림8 沿面閃絡電位頻度

유리 또는 磁器圓筒을 놓은 경우의 沿面閃絡에 대한 交流 60(cps)의 破壞電位傾度, 위쪽 곡선은 절연원통이 없는 경우의 공기의 破壞電位傾度を 표시한다.

이 경우 공기습도의 증가는 閃絡電壓의 심한 저하를 초래한다. 고체유전체의 표면에 沿面코로나 또는 沿面閃絡(外部閃絡 또는 外絡)이 발생하면 화학작용 및 熱作用에 의하여 고체유전체가 劣化 또는 손상되어 드디어는 파괴를 일으키고 만다. 이 경우 특히 放電이 高周波振動을 수반하므로 더욱더 나쁜 영향을 미치게 된다. 고체유전체의 내부에 존재하는 氣泡 또는 空隙에서 발생하는 코로나도 그 화학작용과 熱作用으로 인하여 고체유전체를 劣化시켜 드디어는 파괴에까지 도달시키게 하는 것이므로 전술한 沿面放電과 더불어 氣泡, 空隙에서의 이온화 방지에 대한 대책도 高電壓絶緣上 매우 중요한 문제가 된다.

(a) 복합유전체의 절연과괴현상

- (i) 평행판 전극 사이에 기체유전체와 板狀고체유전체가 직렬로 배치되어 있는 경우.
- (ii) 전극사이에 고체유전체가 병렬로 배치되어 있는 경우.
- (iii) 고체유전체의 내부의 氣泡의 존재
- (iv) 액체와 고체유전체의 組合
- (v) 기체와 액체유전체의 組合

(b) 放電圖形

- (i) 다스트 피규어
- (ii) 리히덴벨그 피규어

6. 雷放電現象

雷現象은 空氣中 電荷 특히 雲中에 分離蓄積된 電荷의 放電現象인데, 이 雷現象으로 인하여 여러 가지 災害가 일어나므로 옛날부터 무서운 天災의 하나로 생각해 왔다. 더우기 雷現象은 電力回路 및 通信回路에 異常고전압을 발생시켜 그 絶緣을 파괴함으로써 電氣機器와 공작물을 손상시키고, 그 결과 다시 電力系統의 安定度를 위협하여 停電 사고를 일으키게 하므로, 근래 電力의 이용 및 전기통신의 현저한 발달에 수반하여 가장 중요시된 연속 서비스를 저해하여 막대한 손해를 주게 되었다.

또 雷放電에 수반하여 강력한 電波가 발사되는

데, 이로 인하여 무선통신이 방해되고 또 항공기에 대하여는 전기사고 이외에 雷雲中の 강렬한 氣流로 인하여 비행이 방해됨은 물론 機體에 손상을 입히는 사고가 발생하는 등 雷害의 범위는 여러 방면에 이르고 있다.

따라서 이러한 사고를 방지할 수 있는 유효하고도 경제적인 避雷대책이 각 방면에서 필요한데, 그 중에서도 전력계통에 대한 雷害는 雷現象과 전력현상이 서로 엮힌 것이어서, 그 방지책에는 독특한 기술을 필요로 한다.

雷를 일으키는 구름을 雷雲 또는 積亂雲이라 한다. 이것은 적운이 더욱 발달하여 생긴 것이며 높이가 10[km] 이상으로 되는 것도 있는데, 발달함에 따라 電荷가 생성하여 이것이 구름의 각 부분에 분리축적되며 그 량이 증가하면 강한 電界가 생겨 電荷가 방전하게 된다.

이것이 즉 雷이며 雷光과 雷鳴을 수반한다. 이 방전이 한개의 구름 속 또는 두개의 구름 사이에서 일어난 경우 이것을 雲間放電이라 하고, 구름의 下部電荷와 이것에 의한 地上誘導電荷와의 사이에서 일어난 경우 이것을 地上放電 또는 落雷라 한다. 地上에 있어서의 雷害는 주로 이 落雷에 의한 것이다.

이 雷(lightning)라는 말은 엄격히 말하면 雷放電의 현상을 의미하는 말인데, 이것을 논하자면 雷雲의 발생, 電荷의 분리축적 및 雷放電이라 하는 일련의 계속된 현상을 고려할 필요가 있다.

이와 같은 일련의 현상을 종합하여 雷雨라 한다. 雷現象은 상당히 복잡하여 변화가 많기 때문에 여태까지 많은 연구가 실시되어 왔지만 아직 그 간단한 성질을 파악하는데 지나지 않으며, 상세한 점에 대해서는 아직도 불명확한 점이 많다.

(a) 雷雲의 발생

雷雲의 발생은 高濕度인 공기의 급격한 上昇氣流에 의한 것이다. 雷雲뿐만 아니라 일반적으로 구름은 上昇氣流에 의하여 생성된다. 즉 수증기를 포함한 공기가 상승하면 기압이 점점 저하하므로 팽창한다. 이 팽창은 거의 斷熱的이므로 상승공기는 냉각되어 氣溫이 점점 저하한다. 이리하여 含有濕氣量에 상당한 露點을 넘으며 수증기가 응결하는데 그곳의 온도가 氷點이상인 경우에는 水滴으로, 氷點이하인 경우에는 氷晶 또는 過冷却의 水滴으로 된다.

이들 수적 또는 氷晶의 小粒子가 대기중에 있는 것이 즉 구름이다. 전에도 설명한 바와 같이 雷害의 발생에는 특히 대기의 高濕度와 급격한 상승기류를 필요로 한다.

상승기류의 속도가 높고 含有水蒸氣량이 많으면 그 응결이 다량으로 급속히 일어나 潛熱의 방출에 의한 加熱에 인하여 상승기류가 가속되어 水滴 또는 氷晶의 생성이 촉진된다.

또 상승기류의 옆에는 하강기류가 나타나 이른바 亂流의 현상이 일어난다. 이 난류에 의하여 氷晶, 水滴 등의 입자가 심하게 교란되어 입자 상호간 및 입자와 공기와의 충돌, 마찰, 입자의 분열, 집합, 水滴의 氷結, 氷晶의 용해 등의 복잡한 현상이 일어난다.

이에 수반하여 陽陰의 電荷가 분리되는데, 한쪽 極性의 電荷는 帶電粒子 및 공기와 더불어 上昇氣流에 의하여 불어 올려져 구름의 상부에 모인다.

또 反對極性의 電荷는 帶電粒子和 더불어 重力 및 下降氣流에 의하여 下方으로 운반된다. 따라서 구름속에 陽陰兩極性의 電荷가 분리축적되는 셈이 된다. 蓄積電荷량이 증대하여 어느 값에 달하면 強電界로 인하여 放電現象이 일어난다. 이것이 즉 雷이다. 또 氷晶, 水滴 등의 粒子가 서로 집합하여 크게 되면 그 重力이 상승기류 및 공기 저항 등에 이기는 결과가 되므로 비, 霰 등의 降水로 되어 지상으로 낙하한다. 그러므로 電荷의 분리와 降水의 현상과의 사이에는 밀접한 관계가 있으며, 雷에는 흔히 소나기, 降霰 등의 현상을 수반한다.

雷雲을 발생하는 급격한 상승기류를 일으킬 원인으로부터 雷雲을 구별하면 다음과 같다.

① 熱雷……여름철 강한 日射로 地表가 가열됨에 따라 지표 근처에 있는 공기의 온도가 상승한다. 그리고 남쪽 海洋에서 불어오는 氣流에 의하여 습도가 높게 된다. 그래서 上空의 공기층보다 밀도가 적게 되어 불안정한 평형상태에 이르며 어느 곳에서 평형이 무너지기 시작하면 강한 상승기류가 발생한다. 이로 인하여 雷雲이 형성하게 된다.

② 界雷(前線雷)……불연속선에서 발생하는 상승기류에 수반하는 것이다. 차가운 공기가 따뜻한 공기의 밑부분으로 들어가서 상승기류를 만드는 것(寒冷 前線雷) 및 따뜻한 공기가 차가운 공기의 윗부분으로 올라가서 상승기류를 만드는 것(溫冷 前

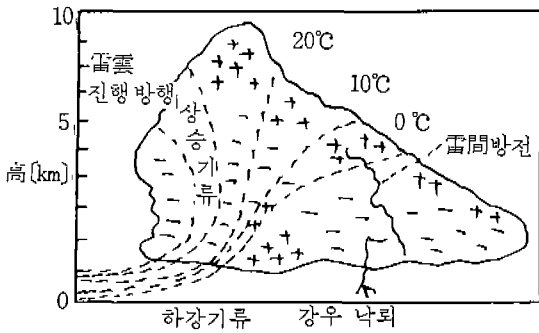


그림 9 雷雲의 구조

線雷)로 구별되고 있다.

③ 渦雷(低氣壓性雷)···태풍이나 低氣壓의 収束氣流 때문에 발생하는 상승기류에 수반하여 발생한다.

이 이외에 상기한 熱雷가 山腹의 斜面에서 일어난 山雷(地形雷) 및 砂風, 噴火大災에 수반하여 발생하는 雷 등이 있다.

(b) 雷雲의 구조

雷雲中の 電荷분포에 관해서는 G. C. Simpson에 의하여 많은 실험의 결과 거의 분명하게 되었다.

현재 비교적 확실시되고 있는 雷雲 中の 氣流의 電荷分布를 그림 9에 나타내었다.

雷雲은 전체로써 위쪽은 陽, 아래쪽은 陰으로 帶電하고 雲底의 일부에 陽으로 대전한 부분(Positive pocket)이 있다.

최근 여러 가지 관측한 결과 雷雲은 지름 5~10 [km] 정도의 크기인 수개의 細胞(Cell)로 구성되어 있고, 하나의 세포는 30분 내지 1시간이란 평균 수명이 있으며, 서로 발달하여 가다가 감쇠하는 것을 알게 되었다.

(c) 雷電荷의 생성

雷雲細胞의 電氣的 활동수명이 평균 약 30분이며, 電荷의 생성속도는 약 50(C/km³·h)이다. 雷雲 中の 陰電荷는 -5~-4 [C]의 高層低溫 영역에서 분리하고 그 총량은 1~100 [C] 정도로 보통 20~30 [C]의 것이 많다. 陽電荷는 이보다 수 [km] 위쪽에 분포한다. 이러한 雷電荷의 생성기구에 대해서는 여러說이 나와 있으나 아직 확실히 규명된 것은 없다.

(i) 感應理論에 의한 說(윌슨의 選擇接觸說)

대기중에 존재하는 電場에 의하여 대기 중에 떠 있는 水滴은 위쪽에 陰, 아래쪽에 陽의 感應

分極이 일어난다. 따라서 공기중을 낙하하면서 大形의 水滴은 電場에 연하여 강하하는 사이 陰이온을 흡착하여 점차로 陰으로 帶電하게 되며, 그리고 비교적 가벼운 陽電荷를 가진 미소한 水滴 및 양이온은 大水滴으로부터 반발작용을 받아서 雷雲 상부에 모인다고 생각하고 있다. 이 說은 雷雲의 上下部에 陽, 陰으로 대전하고 있는 사실과 잘 일치한다.

(ii) 水滴分裂에 의한 說(심프슨의 說)

水滴이 낙하하는 도중에서 분열할 때, 水滴은 陽으로, 부근에 있는 공기는 陰으로 대전한다. (Lenard 효과) 상승기류가 존재하면 陰이온은 가벼워서 雷雲의 상층부 및 후부에 운반되어 陰電荷를 축적하며, 큰 水滴은 무거워서 낙하하여 雷雲下面 및 前面에 모여서 양전하를 축적시킨다. 따라서 이 설은 밑부분에 양전하가 나타나는 것을 설명하는데 편리하다.

(iii) 氷晶帶電說

雷雲中에 있어서 電荷분리가 왕성하게 행하여지고 있는 부분은 상당히 高空이어서 이미 氷點 이하라는 관점에서 수립한 설이다. 高層低溫 영역에서 雷電荷가 氷晶의 충돌이나 마찰, 분열 등으로 인하여 분리된다는 것이며 電荷의 부호가 각 실험자에 의하여 일정하지 않다. 그리고 渦流體의 水滴이 고체 표면상에서 응결하여 氷晶이 생성될 때 氷晶은 陰으로 대전하는 현상이 실험적으로 확실시되었다(W. Findeisen, 1949). 그

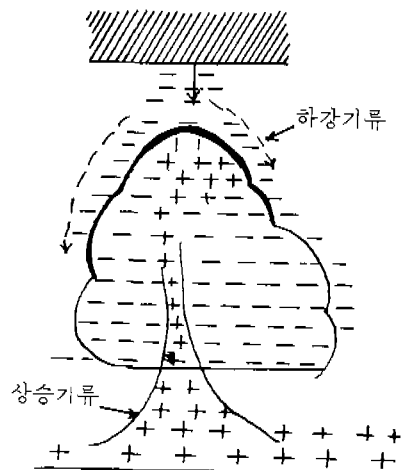


그림 10 對流說에 의한 雷電荷의 생성

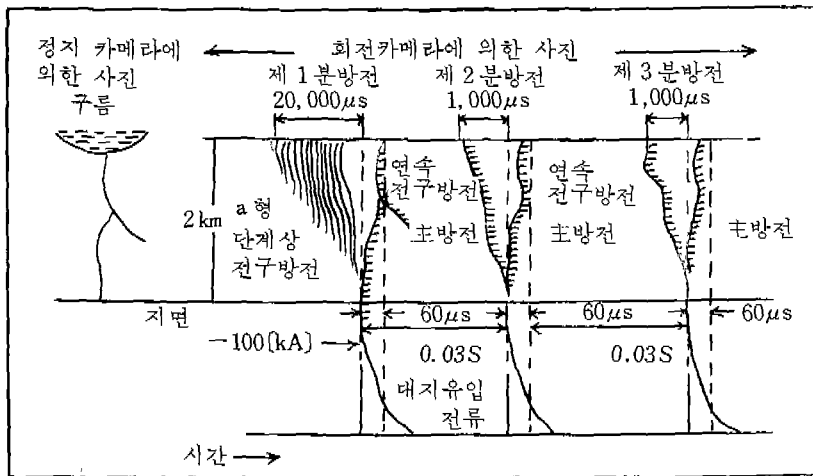


그림 11 地上雷放電의 모양

리고 B. Vonnegt와 G. Grenet에 의하여 제창된 對流에 의한 集電作用이 가장 有望視되고 있다. 이 설은 하층대기층의 미소 陽電荷가 상승기류에 의하여 雲內에 모이고, 그 電界에 의하여 高層大氣中(전리층)에서 陰電荷가 흡인되어 하강기류에 의하여 雷雲내에 陰電荷層을 만든다.

이것이 강한 電界를 발생시켜 地表로부터 陽電荷를 유리하여 상승기류에 의하여 雷電상층부에 양전하층을 만든다는 것이다(그림 10 참조).

(d) 雷放電의 機構

雷雲의 전압은 매우 높으며, 2~10억(V)라 추정되고, 被電路는 1(km) 이상 수(km)에도 미친다. 공기밀도는 全放電路에 걸쳐 균일하지 않다. 落雷직적의 地表面 電位傾度는 보통 30~40(kV/m), 최대 100(kV/m) 정도로 있다. 이 이외에 雷雲은 완전한 도체가 아니며, 많은 양의 공간저하가 존재한다는 점 등으로 雷放電은 실험실에서 행하는 放雷現象과 차이가 있으나 방전의 진정과정은 유사하다.

(i) 雷放電의 생성과정

보이스카메라(Boys Camera)에 의하여 관측된 사진을 그림 11에 나타낸다.

육안으로는 하나로 보이는 落雷가 그림 11에 도시한 바와 같이 시간의 경과에 따라 분해하여 전개된다.

최초 雷雲에서 放電路를 개척하는 파이릿 스트리머(Pilot Streamer)가 떨어 나가고 평균 속도 4×10^5 [m/s]이며, 어느 정도 진전하여 가면 일단

점지하고 나서 후속인 階段狀先驅(Stepped Leader)를 나타낸다.

계단상선구는 雲內의 陰電荷를 放電路에 주입하는 것이며, 그 선단에서 재차 파이릿 스트리머가 떨어 나간다.

이와 같이 해서 계단상선구가 평균속도 5×10^7 [m/s]로 明滅하면서 大地로 향하여 가며, 大地로부터 떨어 나오는 放電路와 서로 만나면 全放電路가 완성되어 순간적으로 大地에서 양전하가 상승하고 (평균속도 5×10^7 [m/s]), 雲內의 음전하를 中和시킨다.

이것을 主雷擊(main stroke) 혹은 歸還雷擊(return stroke)이라 하며, 여기서 강렬한 光柱를 수반하는 落雷現象으로 된다.

다시 上層에 있는 雲內의 陰電荷가 이미 이루어진 放電路에 주입되면 재차 先驅放電이 大地로 향하여 연속적으로 진행하며(이를 矢形先驅, dart leader라 한다) 主雷擊을 유발시켜 2회째의 落雷가 발생한다. 이와 같이 하여 수회의 雷擊으로 인하여 雲內高層部에 있는 陰雲荷까지 중화시키는 것을 多重雷擊(multiple stroke)이라 한다. 多重度는 보통 1~3회, 많은 것은 6~7회도 있다.

第1雷擊만으로 끝나는 것도 많으며, 이를 單一雷擊(Single stroke)이라 한다. 主放電이 0.04~0.2(s)間 지속하고 그 사이에 放電路가 빛이 계속 방사되는 경우도 있으며, 이를 連續雷擊이라 한다.

(ii) 雷電流

雷放電에 수반하는 電流의 파형이나 그의 최대

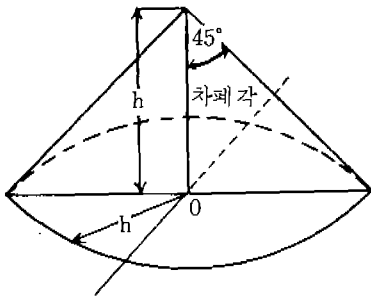


그림 12 Charles 에 의한 피뢰침의 차폐범위

치는 避雷문제를 고려할 때 중요한 요소가 된다. 이것을 측정하는 장치도 여러 가지 고안되어 있다.

雷電流는 보통 20~40[kA]이나 흔히 100~200[kA] 정도의 것도 있다. 雷電流의 波形도 여러 종류가 있으나 통계적으로 波頭長이 1~2[μ s], 波尾長이 30~50[μ s]의 것도 많다. 이른바 충격 전압의 표준파형에 가까운 것을 알 수 있다.

(e) 雷害防止

電氣工學의 분야에서 雷害防止라 하면 피뢰침 또는 架空送電線路의 架空地線과 같이 보호하려고 하는 建造物이 직접 雷擊을 받지 않도록 또는 雷擊을 받는 경우라도 그 피해를 경감하도록 하기 위한 것과 피뢰기와 같이 송전선로에 異常電壓이 생겼을 때 電氣機器를 이것으로부터 보호함으로써 그 피해를 경감하도록 하기 위한 것으로 대별할 수 있다. 避雷器에 관하여는 주로 이것이 送電工學에 속하는 것이고 뒷장에 간단히 소개하였으므로 중복을 피하기 위하여 여기서는 避雷針과 架空地線에 관한 雷遮蔽 사항을 약술한다.

(i) 避雷針

이것은 일반 建造物을 보호하는 목적이며, 높이 20[m]이상의 건물에는 설치해야 한다. 가능한 굵은 銅棒으로써 선단부터 건물의 端을 바라

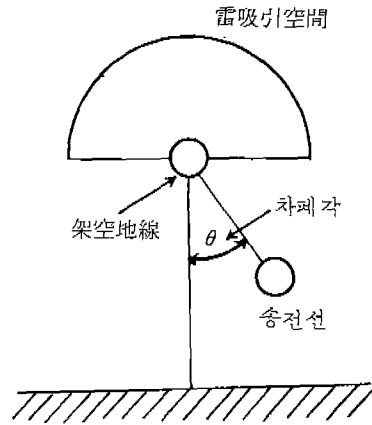


그림 13 架空地線에 의한 雷차폐

보는 각도를 수직선에서 측정하여 保護角이라고 부르며 保護角은 보통 60° 이하로 해야 된다고 한다(그림 12 참조).

특히 위험물을 저장하고 있는 경우는 45°이하로 해야 한다. 導體로는 충분히 굵은 銅線을 사용하고, 裸線으로 한다. 鐵管 가운데를 통과하면 인덕턴스가 증가하므로 좋지 않다. 충분히 낮고 10[Ω] 이하인 接地抵抗으로 될 필요가 있다.

(ii) 架空地線

送電線을 보호하기 위하여 鐵塔의 最上部에 1本 또는 2本の 架空地線을 架設한다. 架空地線에서 導體를 본 保護角은 30° 이하이면 좋은 보호효과를 얻을 수 있다(그림 13 참조).

架空地線 또는 鐵塔에 落雷가 있으면 雷擊電流가 鐵塔을 통하여 大地로 향하며, 철탑의 임피어스와 接地抵抗에 의하여 鐵塔 상부의 電位가 급격하게 상승하여 導體電位보다도 높게 되어서 鐵塔부터 導體에 향하는 逆閃絡(flash over)을 일으킬 수가 있다.

