

# 空間沿面 直列間隙의 閃絡放電特性에 關한 研究

논문

25~1~1

## A Study on the Flash over Characteristics in Space and Surface Series Air Gaps

金 元 燮\*  
(Won Sub Kim)

### Abstract

The characteristic of flashover electric discharge has been brought to light in this paper for the situation in which the space and creeping gaps are laid out in series.

The result of this study has disclosed the facts that the over all flashover characteristics have three kind of features such as unilateral increase, decrease after increase, and increase after decrease in compliance with varied layout method and relative magnitude of gap length, and accordingly there exist a ratio among the magnitudes of gap length and a proper layout method through which the over all flashover voltage reaches the highest.

Also involved with this study is the theoretic analysis of flashover characteristics even in the case of creeping electric discharge from hand tip of the gauge, where the over all value of flashover voltage can be estimated from the peculiar value of flashover voltage and flicker voltage for the space and creeping gap within the extent of 5% error.

### 1. 緒 論

沿面 코로나의 發生 및 閃絡放電의 進展의 難易는 電極의 形狀, 配置, 固體誘電體의 比誘電率, 그 表面의 狀態, 空氣의 濕度에 따는 달라지는 것으로 空氣中의 固體絕緣物 表面에 接하여 일어나는 이러한 閃絡放電의 研究는, 電氣機器의 絕緣設計上 考慮하여야 할 重要한 問題로서 Lichtenberg. 圖形 및 表面電荷들을 利用한 많은 實驗의 研究가 이미 行하여져 왔고<sup>1)~6)</sup> 液晶에 의한 效電圖形<sup>7)</sup>도 研究되어 있으며, 空氣中의 針對平板 間隙放電에 對하여도 研究報告가 나와 있다.  
8)~9).

또한 絕緣物에 背後電極이 存在하는 경우의 沿面放電에 關하여도, Toepler氏의 針對平板 電極配置에 依한 Grünend<sup>10)</sup> Elsner, Rebhan<sup>11)</sup> 등과, 大木氏<sup>4)</sup> 依田氏<sup>12)</sup>등 詳細한 實驗의 研究가 나와 있다.

더우기 橋野·井關兩氏<sup>13)</sup>등 沿面 閃絡特性에 關한 研究發表 등도 볼 수 있다.

또 空間放電間隙內에 絕緣體隔壁을 삽입할 경우에 放電에 關한 Peek氏 등의 實驗結果<sup>15)</sup>와 더불어, 金屬

導電層을 間隙內에 삽입한 경우에 對해서도, 實驗의 研究가 報告되어 있다.<sup>16)</sup> 그런데 間隙의 中間에 固體 絕緣物을 놓았을 때의 全路破壞에 關한 研究는 空間破壞의 絕緣物의 實質破壞로 이루어지는 경우를 取扱한 것이며, 또 沿面의 放電路의 途中에 導電層을 놓을 경우는 沿面放電 뿐이라 할 수 있다.

한편 空間과 沿面이 直列로 된 間隙에서의 絕緣物表面의 沿面閃絡을 수반하는 全路閃絡放電에 關한 研究로는 針電極에 유리圓板을 接觸시키지 않는 狀態에서 行한 實驗外에는 別로 研究된 바가 없다.

筆者는 針電極과 平板電極 사이에 유리圓板을 놓았을 때 針端과 유리圓板이 接觸된 경우와 接觸되지 않는 경우를 포함한 여러가지 間隙配置에 있어서의 空間 및 沿面거리에 따르는 全路閃絡電壓 特性을 調査하였다.

현수애자나 봉경 또는 其他 高電壓絕緣에서의 閃絡現象은 一種의 空間과 沿面의 直列間隙에서의 閃絡放電이라 할 수 있으며 이는 高電壓絕緣上 매우 重要한 문제라 할 수 있다.

筆者는 沿面放電에 關한 基礎的 研究를 發表<sup>17)~20)</sup>한 바 있거니와 本研究에서는 上述한 空間 沿面直列間隙

\* 正會員·全北大 工大教授(工博)  
接受日字: 75年 10月 3日

에 있어서의 全路破壞特性에 關한 問題를 理論의 및 實驗의 由로 究明하여, 空間 沿面 直列間隙에서의 閃絡 放電特性에 關하여 重要한 結果를 얻었으므로 그 結果를 여기에 報告하는 바이다.

### 2. 實 驗

#### 2-1. 實驗裝置 · 回路 및 方法

그림 2-1은 本研究에 使用한 空間 및 沿面 放電裝置를 表示한다. 油處理板子 위에 接地電極인 銅圓板을 놓고 그 위에 絕緣體인 유리圓板과 高電壓電極인 針電極이 있으며 Bushing은 充分한 이격거리를 維持하도록 支持되어 있다.

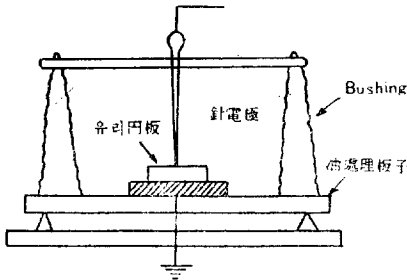


Fig. 2-1. Devise for space-creepage surface discharge

針電極은 그림 2-2에 그린 바와 같이 先端部가 30°의 角을 이루고 曲率半徑이 0.5mm 直徑 10mm의 銅製의 針狀電極을 高電壓電極으로 하였다.



Fig. 2-2. Figure of needle electrode

接地電極인 平板電極은 直徑 15cm 두께 2mm의 切削加工에 의하여 表面이 均一平滑하게 잘 研磨한 黃銅製平板을 低電壓電極으로 하여 油處理板子에 完全密着시켰으며 誘電體인 유리圓板은 두께 3mm 半徑 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7cm의 各 유리圓板을 使用하였는데, 이것은 圓形對稱인 현수예자 등에 있어서의 間隙配置의 大略的인 모양을 따르기 위한 것이다. 이 때 유리圓板 역시 硬質유리로서 오래 使用하더라도 알카리成分이 抽出되지 않은 것으로서 特히 그 表面形狀은 切削加工에 依해서 均滑하게 研磨한 것을 使用하였다.

各 沿面거리와 空間距離는 유리圓板의 半徑과 針端을 上下시킴으로서 調整하였다.

試驗方法으로서는 大略 標準試驗法에 準하였으며 印加電壓은 商用周波數 60HZ의 交流電壓이고 모든 測定値는 5回~6回 測定한 平均値를 取하였다. 測定時間間隔도 誘電體의 溫度上昇과 電荷의 影響을 없애기 위해 約 3分程度의 間隔을 두었다. 그리고 閃絡放電의 光

景을 잘 觀察하기 위하여 暗室을 利用 實驗하였다.

電壓의 上昇速度는 1000V/sec 정도이고, 모든 測定値는 氣壓 760mm Hg, 溫度 20°C, 濕度 50%의 標準狀態로 換算하였다.<sup>21)~22)</sup>

그림 2-3은 本研究에 使用한 實驗回路이다. 試驗用 變壓器 T는 0~220V/50KV이고 容量은 10KVA 分壓器 V를 使用하여 測定하였다.

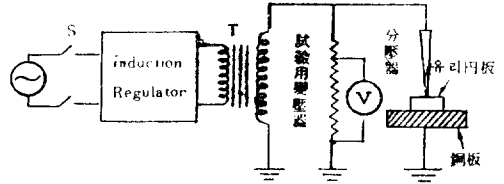


Fig. 2-3. Experimental circuits.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1. 空間放電과 沿面放電의 檢討

沿面放電은 絕緣物表面에 沿하여 放電路를 통한 放電現象으로 面上의 電荷의 蓄積, 對電極과의 사이의 等價靜電容量의 增大, streamer先端의 電界의 強化 등 付隨되는 影響이 있으나 本質的으로는 氣體의 絕緣破壞現象이고 氣體의 絕緣破壞機構와 關聯하여 많은 研究가 되어 있다.<sup>6)~23)~24)</sup>

여기에 對하여 空間放電은 近傍에 絕緣物이 存在하지 않는 正負兩電極間의 氣體中의 放電인데 本研究에서는 兩電極間에 絕緣物을 놓을 때의 放電形式이다. 兩者의 放電外觀은 沿面放電에 關하여는 鳥山<sup>1)</sup> 등에 依한 電荷圖에 依해서 空間放電은 中谷 山崎<sup>25)~26)</sup> 등에 依한 霧箱圖形에 依해서 明瞭하게 나타나 있다. 그 進展狀態에서 보아 兩者 사이에는 放電機構上 本質的 差異는 없다 하겠으며 따라서 空間放電의 機構를 電荷圖를 利用하여 解析할 수도 있는 것이다. 그런데 이러한 放電의 各 形態는 各 各 gap조건(氣體 종류 · 壓力 · 電極의 幾何學的 配置) 및 回路條件(印加電壓 종류 波高值 印加條件과 回路構成)에 따라 支配된다. 即 沿面 flash over 特性은 實際問題로 電極配置에 依하여 현저한 影響을 받아 誘電體에 背後電極이 存在할 때와 存在하지 않는 경우 등에 따라 다르고<sup>27)</sup> 이 경우의 特性도<sup>28)</sup> 交流 및 直流인 경우의 特性<sup>29)</sup> 등이 다른데 지금 그림 3-2를 보면 沿面거리가 增大하여도 沿面 flash over 電壓은 別로 上昇하지 않고 있어 大木氏의 特性<sup>28)</sup>과 一致하고 있음을 나타내고 있다. 다음에 空氣中에 있어서 誘電體의 flash over 電壓에 미치는 主要影響을 보면 다음과 같다.

1) 誘電率의 영향 : 誘電率이 클수록 flash over 電壓은 低下한다. 섬유질과 같은 吸濕性인 것은 計算等 實際의 吸濕狀態에서의 誘電率의 값을 使用하여야 한다.

2) 誘電體의 두께의 영향 : 두께를 增加시키면 flash over 電壓을 上昇시키는 效果가 있음을 알 수 있으며<sup>11)</sup> 前回の 放電에 의하여 誘電體에 殘留한 電荷가 다음 沿面 flash over 電壓에 影響을 미치는 경우가 있다.<sup>30)</sup>

3) 空氣層의 영향 : 誘電體內에 空氣層이 存在할 때는 flash over 電壓이 낮게 되는 바 空氣層의 氣壓을 大氣壓보다 低下하면 外部沿面 flash over 電壓은 차례로 低下하나 空氣層의 氣壓이 현저하게 低下하면 空氣層의 電離가 일어나기 힘들기 때문에 大氣中에 外面 沿面 flash over 電壓은 急昇함을 볼 수 있다.<sup>31)</sup>

4) 其他 極性에 의한 放電路의 差異, 氣壓의 影響, 波頭長의 影響 등을 들 수 있다.

한편 沿面放電의 進展速度는 電壓의 峻度나 波高值 其他 여러 條件으로 꽤 넓은 범위에 걸쳐 變化한다. 放電의 進展速度는 電壓에 의하여 變化하고 波頭에서 flash over 하는 경우는 對電極에 가까울수록 速度를 증가하나 波尾에서 flash over 하는 경우는 차례로 速度가 低下하는 傾向이 있다.<sup>32)</sup>

이 以外에도 氣壓의 影響으로서 氣壓을 減하면 불꽃 圖形의 直徑이 커지고 더욱 氣壓을 減하면 電荷의 擴散으로 放電路가 넓어져 圖形이 不明瞭하게 되며 誘電體의 表面形狀에 의한 影響 電極材料 및 表面處理過程에서 誘電體와 電極表面이 一樣하게 密着하지 않고 여기에 gap 등 他의 媒質이 介在하면 通常 이것이 먼지 ion化를 일으켜 影響을 준다고 볼 수 있다. 그 外에도 相對空氣密度와 濕度의 補正 등에 關해서도 flash over 電壓에 미치는 影響을 고려하여야 한다.

3-2. 空間 Gap G<sub>1</sub>의 固有閃絡 및 固有滅火電壓 特性

(a) 그림 3-1은 d<sub>1</sub>에 따른 究間閃絡放電電壓 V<sub>S1</sub> 및 그 滅火電壓 V<sub>G1</sub>의 測定結果를 그린 것이다. 여기서 V<sub>S1</sub>은 空間의 陰陽兩極間이 導電性이 높은 放電路를 橋絡된 時의 放電電壓이고 V<sub>G1</sub>은 그 橋絡이 없어져 消滅될 時의 電壓을 말한다. 이때 電極配置는 針對平板 電極 사이에 유리圓板을 接觸시킨 後부터 針電極을 유리圓板으로부터 1cm, 2cm……6cm의 間隙을 둘 時의 閃絡電壓을 測定한 것이다.

어느 曲線이나 d<sub>1</sub>이 커짐에 따라 V<sub>S1</sub>, V<sub>G1</sub>은 增加하나 그 增加率은 漸漸 적어져 가고 있으며 특히 d<sub>1</sub>이 커짐에 따라 V<sub>S1</sub>과 V<sub>G1</sub>과의 差가 若干씩 커져 가고 있으나 d<sub>1</sub>의 큰 값에 대해서도 僅少한 差異만을 나타

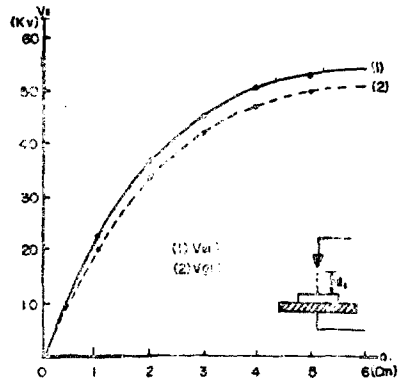


Fig. 3-1. Characteristic of flashover voltage only Gap G<sub>1</sub>

내고 있다. 空氣中의 針端對平板 gap의 放電特性에 關하여는 既히 많은 有用한 研究가 되어 있으며 閃絡電極은 氣壓 P, gap의 길이 L, 針端의 曲率半徑, 濕度, 등 여러 要因에 의해 그 特性이 달라지므로 여기서도 標準狀態로 換算하여 考慮하였다.

b) 沿面 gap G<sub>2</sub>의 固有電壓 및 固有滅火電壓 特性

그림 3-2는 沿面閃絡電壓 및 그 滅火電壓을 나타낸 것이다. 曲線 ①은 沿面距離 d<sub>2</sub>의 變化에 따르는 閃絡電壓 V<sub>S</sub> 卽 d<sub>2</sub>-V<sub>S2</sub> 曲線이고 曲線 ②는 d<sub>2</sub>-V<sub>G2</sub> 特性 曲線이다.

여기서 沿面距離의 變化는 各各 半徑 0.7cm, 1.7cm……5.7cm의 두께 0.3cm의 유리圓板을 使用하여 沿面 距離를 1cm 2cm……6cm로 하였으며 兩電極 사이에 密着하게 接觸시켜 測定한 것이다.

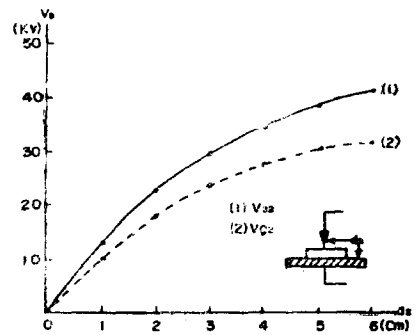


Fig. 3-2. Characteristic of flash over voltage only Gap G<sub>2</sub>

이 그림을 보면 V<sub>S2</sub>와 V<sub>G2</sub>와의 差가 甚하여 d<sub>2</sub>가 커짐에 따라 그 差異도 漸漸 커져 가고 있다. 電極에 電壓이 印加되면 電極近傍의 誘電體表面에 微光을 發하는 纖維狀의 沿面 corona가 나타나, 이것이 沿面불꽃

放電의 形式으로 轉移되어 伸展하면 電極間을 橋絡하여 flash over가 생기므로 一般으로 같은 間隙이면 空間放電보다 沿面閃絡放電의 경우가 훨씬 電壓이 낮다는 것을 그림 3-1, 3-2를 對比하여 볼 때 알 수 있음은 自明한 理致라 하겠다.

3-3. 空間 沿面直列間隙의 閃絡特性에 對한 考察

(a) 實驗(3-1)~(3-6)에 對한 比較 및 考察

氣中放電과 沿面放電의 組合에 對하여는 赤上, 成田, 門協,<sup>33)</sup> 등이 針對平板 gap 中에 固體의 絕緣바리 아를 삽입하여 유리板에서 針電極을 떨어진 狀態에서 交流電壓에 의하여 行한 實驗과 石黑, 牛山, 坂野<sup>34)</sup> 등이 flash over 現象에 關한 基礎實驗이 있으나 本實驗에 있어서는 그림 (3-1)~(3-11)에서 보는 바와 같이 針電極을 유리圓板에서 떨어진 狀態와 붙는 狀態뿐 아니라 유리圓板도 平板電極에 密着시킨 경우와 兩電極間에 실로 매달아 놓고 各各 두 空間 距離를 달리할 때의  $V_S$  特性과 및 같은 空間, 沿面이라 할지라도 그림 3-3, 3-5, 3-8, 3-10 등은 다른 直列의 경우로서, 서로 다르며, 그 영향이나 特性이 다르게 나타나고 있다.

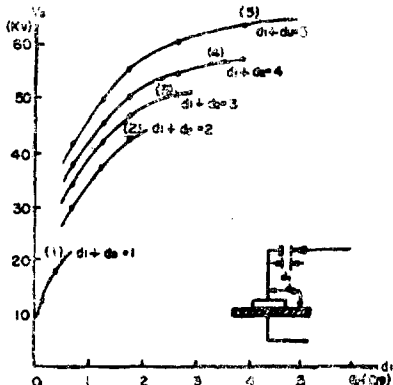


Fig. 3-3. Characteristic of  $V_S$  by  $d_1$ , in case of characteristic of  $V_S$  by  $d_1$  in case of  $d_1 + d_2 = \text{const}$

특히 그림 3-3, 3-4는 空間放電과 沿面放電의 arc의 charge가 서로 影響을 미치지 않도록 하기 위해서 1m의 距離를 두고 일어나게 한 경우의 그림으로 各各 獨立인 두 放電을 直列로 連結하여  $d_1 + d_2 = 1, 2, \dots, 6$ 으로 constant인 때  $d_1 - V_S$  곡선과  $d_1 - \text{const}$  일 때  $d_2 - V_S$  곡선을 그린 것이다. 여기서 유리圓板 위에 놓은 銅棒은 針電極에 對向하고 있는 한쪽 끝이 두께 2mm 直徑 5mm의 圓板으로 되어 있으며 그림 3-3을 보면  $d_1$ 이 커짐에 따라  $V_S$ 는 一方으로 增加하고 있다. 이것은  $G_1$ 과  $G_2$ 가 空間의 間으로 떨어져 있어 두 間隙 사이에 各各의 電界分布 및 spark channel의 影響을 받지

않으며 同一한 間隙 거리이면 空間 放電壓이 沿面 放電보다 높다는 事實에 起因한다고 생각된다.

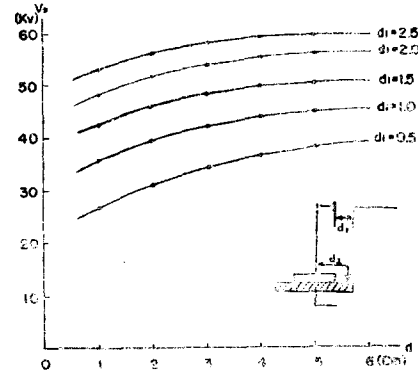


Fig. 3-4. Variety whole flashover voltage  $V_S$  by  $d_2$ , in case of  $d_1 = \text{const}$

또 그림 3-4에서는  $d_2$ 의 증가에 따라  $V_S$ 가 完滿하게 增加하고 있는데 이것은 沿面距離의 증가에 따라 그 固有閃絡電壓이 完滿하게 增加하고 間隔이 커지면 飽和 現象을 나타내기 때문이다.

또 그림 3-5, 그림 3-6은 空間閃絡放電이나 沿面閃絡放電이 서로 相對方에 影響을 미치는 것으로 針端 部分의 空氣가 破壞되어 corona 放電을 發生하는 結果 空氣中에 이온이 豊富하게 생기고 여기에 固體誘電體의 影響이 增進되어 閃絡現象에 影響을 미친다.

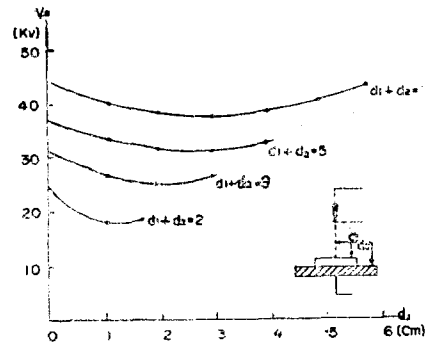


Fig. 3-5. Characteristic of  $V_S$  by  $d_1$ , in case of  $d_1 + d_2 = \text{const}$

그림 3-5는  $d_1 + d_2 = \text{const}$  일 때 이것을 媒介變數로 한  $d_1 - V_S$  特性曲線으로  $d_1$ 의 증가에 따라 처음에  $V_S$ 는 減少하나 最少로 된 후 다시 上昇하고 있다. 어느 曲線이나  $d_1 = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$  部分에서 最少值를 나타내고 있다. 즉 이 경우의 特性은 減少후 增加하는 V 特性인 것이다.

그림 3-6은  $d_1 = \text{const}$ 로 할 때  $d_2$ 를 媒介變數로 한 경우의  $d_2$  變化에 對한  $V_S$  特性曲線이다. 各 曲線마다

$d_2$ 의 增加에 따라 電壓이 一方으로 上昇하고 있으나 그 上昇率은 漸次 減少하고 있음을 알 수 있다.

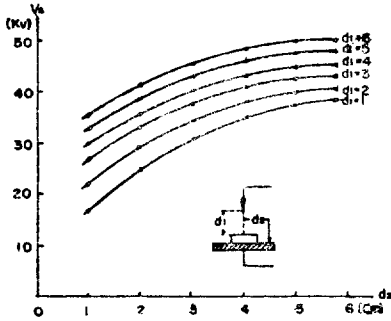


Fig. 3-6. Characteristic of  $V_S$  by  $d_2$ , in case of  $d_1 = \text{const}$

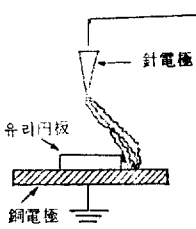


Fig. 3-7. Spark channel of space.

생각컨대 그림 3-5, 3-6에서 의 불꽃채널은 그림 3-7에서와 같이 불꽃이 가장 일어나기 용이한 채널을 통하여 破壞가 이루어진다. 그러므로  $d_1 + d_2 = \text{一定한 경우}$   $d_1$ 과  $d_2$ 의 어느 크기에 對하여 불꽃電壓이 가장 낮아질 불꽃채널이 이룰 수 있다고 볼 수 있기 때문에 曲線에서와 같은 最少點이 나타나는 것으로 생각된다. 즉 그림 3-8에서 大略  $d_1$ 이 空間距離와 沿面距離의 合의 中央部分의 點 근방에서 最少點을 나타내고 있으며  $d_1$ 을 媒介 變數로 하고  $d_2$  변화에 따른  $V_S$  特性을 보면 電壓이 上昇하나 그 上昇率이 점차 감소해 가고 있어 沿面 거리의 변화에는  $V_S$ 는 그다지 영향을 미치지 못하고 있다.

또  $d_1 + d_2 = \text{const}$  일 때 그림 3-3 그림 3-5를 對比하여 보면 두  $d_1 - V_S$  曲線이 顯著的한 差異가 있음을 알 수가 있다. 前述한 바 그림 3-3은 charge가 영향을 미치지 못하는 獨立的인 두 放電을 直列로 連結한 것이므로  $d_1$ 이 커짐에 따라 自然히  $V_S$ 도 一方의인 增加 曲線인데 反해 그림 3-5는 針端 부분의 空氣가 破壞되어 空氣中에 ion이 많이 생겨 여기에 유리圓板의 表面에 charge가 蓄積하므로써 생기는 電界의 變化와 誘電率의 영향 등으로  $d_1$ 과  $d_2$ 의 어느 크기에 對하여 불꽃電壓이 가장 낮아질 불꽃채널이 이룰 수 있다고 생각되어 最少點이 생겨 그 特性이 다르게 된 것이다.<sup>35)</sup>

한편  $d_1 = \text{const}$ 로 한 때의 그림 3-4, 3-6에서도  $d_2 - V_S$  曲線들이 같은 理致로 그림 3-6이 閃絡電壓이 낮아진 것이라고 생각된다.

(b) 誘電體 위에 작은 銅圓板을 놓은 때의 考察

誘電體 위에 작은 銅圓板을 놓을 때  $d_1 - V_S$ ,  $d_2 - V_S$  特性을 조사한 것이 그림 3-8 그림 3-9 曲線들이다.

여기서 유리板 위에 놓은 銅圓板은 두께 2mm, 直徑 5mm이고 表面이 均滑하게 研磨된 黃銅圓板으로 유리圓板과 密着되어 있다. 이 경우의 全路閃絡電壓은 그림 3-8에서  $d_1$ 의 증가에 따라 漸次 減少하면서 極少點

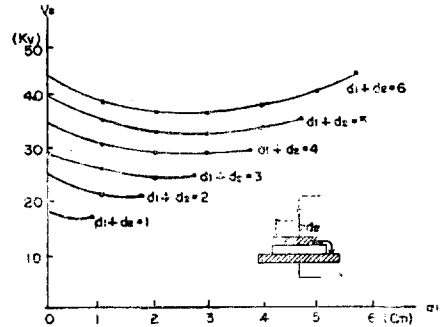


Fig. 3-8. Characteristic  $d_1 - V_S$  in case of  $d_1 + d_2 = \text{const}$ , when a circular copper plate was put on the circular glass-plate.

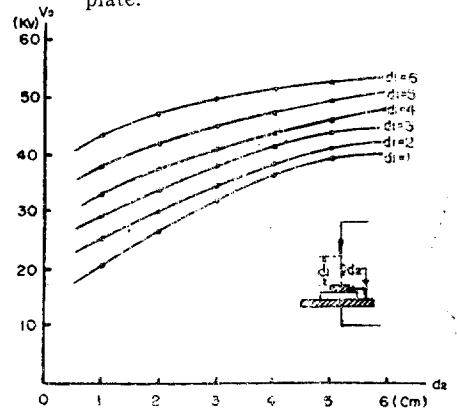


Fig. 3-9.  $d_2 - V_S$  characteristic in case of  $d_1 = \text{const}$  when a circular copper plate was put on the circular glass plate.

을 이루고 다시 漸次 上昇하고 있다. 이에 對하여 그림 3-9에서는  $d_1 = \text{const}$ 로 하고  $d_2$  변화에 따른 閃絡電壓의 特性은 直線의으로 上昇하지만 各 曲線은  $d_2$ 가 커짐에 따라 기울기가 적어짐을 나타내고 있다.

그런데 그림 3-8, 3-9은 유리圓板 위에 작은 導體를 놓는 경우이고 그림 3-5, 3-6은 導體가 없는 경우인데 各 各 曲線을 對比하여 보면 그림 3-8은 그림 3-5와 비슷한 特性이고 그림 3-9는 그림 3-6과 같은 모양이라 하겠다. 다만 導體를 놓는 경우가 없는 경우에 비해 閃絡電壓이 높아지고 있음을 알 수 있는데 이것은 前

述한 針端 부근의 空氣의 ion化, 空間 電荷分布, 유전체 表面의 charge 蓄積, 등 여러 要因에 起因한다고 생각된다.

즉 導體가 있는 경우는 電界分布가 달라짐과 同時에 spark channel 이 絶緣物의 中央의 導體인 銅圓板쪽으로 쏠려 spark channel 의 全長이 길어지기 때문에  $V_S$  가 높아진다고 생각된다. 그리고 誘電體 위의 導體가 그 有無에 關係 없이 그림 3-5, 3-8에서 空間 거리와 沿面거리의 合을 constant 로 할 때 空間 거리에 따르는  $V_S$  特性은 共히 V-特性을 나타내고 있으며  $V_S$  의 最少 값은 空間 거리와 沿面 거리 的 平均값 부근에서 일어난다는 事實들이다. 이 경우 沿面距離에 따르는  $V_S$  特性은 오히려 逆 V-特性이 되어 漸進的으로 增加하여 飽和狀態에 到達하게 되는 現象은 絶緣耐力 및 機器設計에 있어 留意하여야 할 點이라 하겠다.

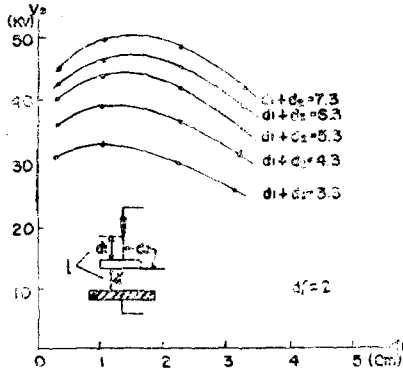


Fig. 3-10. Characteristic of  $V_S$  by  $d_1$  when  $d_1' = \text{const}$ .

(c) 針對平板의 兩電極間에 유리圓板을 매달은 때의 考察

針對平板의 兩電極空間에 유리圓板을 놓을 때의  $V_S$  를 考察하기 위해 그림 3-10, 3-11과 같이, 유리圓板을 실로 매달아 平板電極과 誘電體인 유리圓板과의 距離를 一定하게 하거나 針電極과 誘電體와의 距離를 一定하게 놓고  $d_1 - V_S$  및  $d_1' - V_S$  特性을 조사하였다. 여기서  $d_1$ 은 針電極과 誘電體 사이의 距離이며  $d_1'$ 은 誘電體와 平板電極 사이의 距離를 나타낸다. 그림 3-10을 보면  $d_1 + d_2 = 3.3, 4.3, \dots, 7.3$ 로 constant로 하여 이것을 媒介變數로 하고  $d_1$ 變화에 따르는  $V_S$  特性 曲線을 그리면 어느 曲線이든  $d_2$ 의 증가에 따라  $V_S$ 도 增加하여 最大値를 나타낸 以後는 다시 減少하여 逆V 特性을 나타내고 있다. 그림 3-11에서는  $d_1'$ 變화에 따르는  $V_S$  特性曲線인데 어느  $d_1, d_2$ 에 대해  $V_S$ 가 最大로 되는  $d_1'$ 이 있다는 것을 말하고 있다. 그 理由로서 는 그림 3-10에서 絶緣體가 針端 가까이 에 있는 때에

는 針端의 電界가 强해져 corona가 發生하기 容易하고 또 그것이 成長하기 쉽기 때문에  $V_S$ 는 比較的 낮은 絶緣體가 外端으로부터 멀어지면 즉  $d_1$ 이 增加하면 針端에 電界가 強化되는 率이 감소하여 Corona의 開始電壓이 높아지기 때문에  $V_S$ 가 上昇한다고 생각된다. 그러나  $d_1$ 이 너무 멀어지면 이번에는 spark channel은 그림 3-7과 같이 되어 가므로  $V_S$ 는 오히려 降下하여 그림 3-10에서와 같이  $V_S$ 의 最大點이 나타나게 된다. 그림 3-11의 結果도 同一하게 檢討될 수 있다.

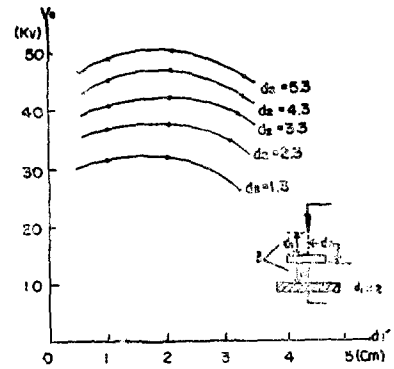


Fig. 3-11. Characteristic of  $V_S$  by  $d_1'$  when  $d_1 = \text{const}$

(d) 針端과 誘電體를 接觸시키는 경우의 考察

針端極을 誘電體에 接觸시켜 유리圓板과 平板電極間의 距離  $d_1'$ 을 여러가지로 變할때 全路閃絡電壓  $V_S$ 의 變化曲線이 그림 3-12이다. 이것을 보면 어느 曲線이

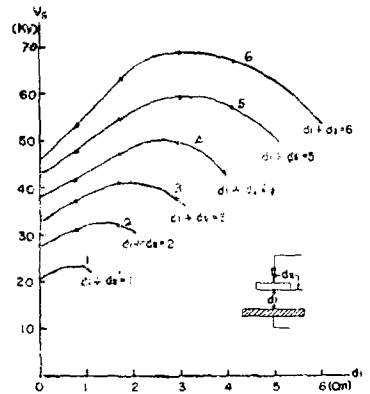


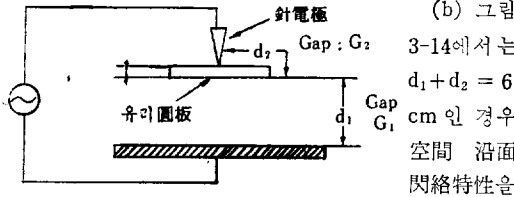
Fig. 3-12.  $V_S$  Characteristic of space surface series air gaps.

는  $d_1=0$ 에서부터 점차 增加하고 있으며 어느 點에서 最大로 된 후 다시 減少한다. 그런데 그림 3-5와 그림 3-12를 比較하여 보면 針端이 유리圓板과 接觸한 때와 떨어진 狀態의  $V_S$  特性인데 그림 3-5의 경우는 불꽃채널이 가장 일어나기 容易한 채널을 通하여 破壞가 이

루어지기 때문에  $d_1 + d_2 = \text{一定한 경우 어느 } d_1 \text{과 } d_2 \text{의 어느 크기에 대하여 불꽃電壓이 가장 낮아질 불꽃채널이 있을 수 있는 曲線에서와 같은 最少點이 나타나는 것으로 생각되는데 反하여 그림 3-12와 같이 針端이 유리板에 接觸되어 있는 경우에는 불꽃채널이 일어나기 容易한 채널이란 存在할 수 없기 때문에 } V_S \text{는 減少할 수 없고 오히려 } d_1 \text{의 增加에 따라 } V_S \text{도 增加하여 간다고 생각된다. 그리하여 } d_1, d_2 \text{의 어떤 比率의 點에서 } V_S \text{는 最大點을 이룬 후 減少한다고 생각되는데 그림 3-5에서나 그림 3-12에서 曲線의 極點은 } \frac{1}{2}(d_1 + d_2) \text{의 근방에서 나타나고 있음은 注目할 만한 事實이라 하겠다.}$

3-4.  $V_S$ 의 理論曲線과 實測曲線의 考察

(a) 沿面放電의 性質에 關한 理論的 研究로서 本多의 streamer model에 依한 解析<sup>36)~37)</sup>과 沿面 corona 電界의 解析<sup>38)~39)</sup>이 있다. 그리고 沿面 空間 直列 放電間隙의 配置方式에도 여러가지 있으나 여기서는 理論的 考察이 比較的 容易한 그림 3-13과 같은 配置를 생각한다. 그림에서  $d_1$ 은 空間間隙으로 Gap  $G_1$ 의 距離이며  $d_2$ 는 沿面距離 Gap  $G_2$ 의 距離를 나타낸다.



(b) 그림 3-14에서는  $d_1 + d_2 = 6$  cm인 경우 空間 沿面 閃絡特性을

Fig. 3-13. Series discharge gap of space and surface.

조사하는데 있어 理論的인 究明에서 얻어진

대로 第1區間에서 5區間까지의 特性曲線을 그린 것이다. 第1區間에서 5區間까지 차례로 OP, PQ,

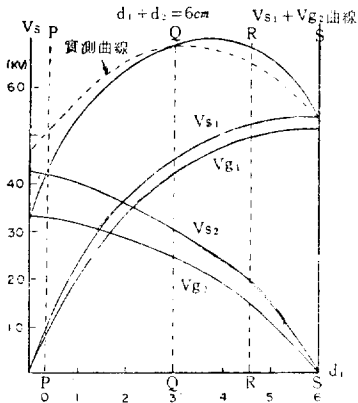


Fig. 3-14. Theoretical curve of  $V_S$  and measured curve. ( $d_1 + d_2 = 6$ )

Q,QR,RS間이 해당되는데 3구간은 Q點으로 表示되는 點이라 하겠다. 지금 實線으로 나타낸 曲線은  $V_{S1} + V_{S2}$  曲線이며 點線으로 나타낸 曲線은 實測曲線이다.  $d_1$ 이 적은 동안은  $V_S$ 는 거의 沿面 gap에 대한 불꽃電壓과 同一하므로  $V_S$ 는 比較的 낮으나  $d_1$ 이 증가하면 그러한 效果가 점점 없어져  $V_S$ 가 上昇한다. 그러나  $d_1$ 이 너무 적어서 絶緣體가 針端 가까이 가면 前述한 바와 같이 針端附近의 電界가 強化되어 corona 電壓이 낮아져  $V_S$ 가 다시 降下하기 때문에 그림 3-13에서와 같은  $V_S$  最大點이 나타나는 것으로 생각된다. 그런데 그림 3-13의  $V_S$ 의 實測曲線과  $V_{S1} + V_{S2}$  曲線은 OQ구간에서  $V_S$  實測值  $> V_{S1} + V_{S2}$  이고 QS구간에서는  $V_S$ 의 實測值  $< V_{S1} + V_{S2}$  가 되는데  $V_S$  實測值와  $V_{S1} + V_{S2}$  사이의 誤差의 最大는 7% 程度이다. 그리고  $V_{S1} = V_{S2} - V_{G2}$   $V_{S2} = V_{S1} - V_{G1}$  가 만족되는 點 사이에서는  $V_S = V_{S1} + V_{G2}$  로 計算하여도 誤差는 5% 以內가 된다.

4. 結 論

沿面 間隙과 空間 間隙이 直列로 된 放電間隙에 있어서 그들의 配置如何 및 間隙距離 사이의 比에 따라 破壞電壓이 甚하게 달라진다. 이러한 關係에 대하여 얻은 結論은 다음과 같다.

(1) 沿面 空間 直列間隙에 있어서의 全路閃絡電壓 特性은 그 配置方式 및 沿面 空間 間隙長의 相對的 크기에 따라 一方의인 增加, 增加後 減少 및 減少後 增加의 세가지 特性을 나타낸다.

(2) 空間 沿面의 gap의 合이 一定하든가 空間 gap이 一定할 때 沿面 距離에 따르는  $V_S$  特性은 誘電體 위에 金屬導體를 놓거나 놓지 않거나 그 有無에 關係 없이 恒常 增加하고 있다.

(3) 針電極과 平板電極 사이의 空間에 誘電體를 놓을 때 針電極이 誘電體와의 接觸여부에 關係없이 空間 距離에 따르는  $V_S$  特性은 增加후 最大點을 갖고 減少한다.

(4) 空間·沿面 gap의 合이 一定하고 平板電極과 誘電體가 接觸되어 있는 경우에는 空間 距離에 따르는  $V_S$  特性은 減少後 最少點을 갖고 다시 增加하는 傾向이 있다.

(5) 따라서 沿面 空間 直列間隙에서 全路閃絡電壓이 最大로 되는 適當한 配置方式 및 間隙長 사이의 크기의 比가 存在한다.

(6) (5)의 間隙配置의 경우 全路閃絡電壓值  $V_S$ 는

2~7% 誤差範圍內에서  $V_{S1}+V_{S2}$  로서 求할 수 있다.

(7) 針端이 유전체와 接觸된 경우의 特性에 對하여는 이것을 近似的으로 解析할 수 있다.

(8) 本實驗 結果는 沿面 空間 直列로 되어 있는 高電壓 絶緣系統의 設計에 있어서의 基礎資料가 될 것이다.

### 參 考 文 獻

1. Y. Toriyama : Dust Figure of surface Discharge and it's Application(1961) Kinukuniya.
2. 長田・池尻 : 日本電氣4學會連大 No.78 1956.
3. 長田・池尻 : 福井大學工學部研究報告. 1957.
4. 大 木 : 日本電氣學會誌 “空氣中における 誘電體の衝擊沿面閃絡特性” Vol. 76. No. 28. 1956.
5. 鳥 山 : 高電壓工學原論 pp.115~131 p. 128 第373圖(昭13-3)
6. Weizel, W. Kluth, K. : über die struktur der positiven Gleitentladung. Forschungsberichte des wirtschafts-und verkehrsmi-nisteriums Nordrhein-westfalen Nr. 443 1957. west-deutscher verlag.
7. 會禰・鳥山 : 放電研究資料 ED-71-13 1961. 早川, 會禰, 鳥山 : 日本電氣學會全國大會 No. 78 1972.
8. M. Toepler : Ann phys. 21. 193 1906.
9. Y. Tsuno Da : Surface charge on insulator due to point discharge and its effects on discharge phenomena 日本電氣學會誌 163. 1967. 8.
10. R.Grünwald : Elektrotech. Z(ETZ)—A 42. S. 1377 1921.
11. R. Elsner & J. Rebhan : Arch. Elektrotech. Vol. 31. P.398 1937.
12. 依 田 : The flash over phenomena on Terminals of Butyl Rubber insulated Power cables. 日本電氣學會誌 Vo. 80 N. 245 1960. 3.
13. 橋野・井關 : 變壓器の油中沿面 flash over に 關する考察” 日電誌 Vol. 79. No. 12 1969. 1.
14. 長 田 : 日本電氣學會誌 Vol. 80 p. 755 1960. 6.
15. 木 下 : 高電壓現象 オーム社 p.168 1951. 6.
16. 丁 性 桂 : 大韓電氣學會誌 pp.7~17 1968. 9.
17. 金 元 變 : 大韓電氣學會誌 pp. 11~14. 1969. 1.
18. 丁性桂外2人 : 大韓電氣學會誌 pp. 21~25. 1969. 3.
19. 金元變外1人 : 全南大工業技術研究誌 pp. 33~42. Vol. 6. 1970. 4.
20. 金元變外2人 : 全北大學校論文集 Vol.XIII. pp. 55~66. 1971. 11.
21. 日本電氣學會 : 電氣工學 Hand Book p. 487. p. 494.
22. 原 田 : 電力中研技術報告 No. 670. p. 9. 1937.
23. M. Toepler : Arch. Elektrotech. Vol. 10. p.157. 1921.
24. 大 木 : 放電研究. No. 15. p. 10. 1963. 1.
25. 中 谷 : “火花放電の理究” p. 59. 1936. 岩波書店.
26. Nakaya. U. & Yamasaki. F : Proc. Roy. Soc. Vol. 153. p. 542. 1936.
27. Nesser. E. : Arch. Elektrotech. Vol, XLIV. No. 7. p. 455. 1959.
28. 大 木 : 1966 電氣4學會連大 No. 102.
29. 宇波・岳田・谷藤・岩竹 : 1959 電氣4學會連大 No. 90.
30. Schiering. R : Arch. Electrotech. Vol. 30. p.455. 1936.
31. 大 木 : 日本物理學會, 電氣學會主催 第10回 放電物理分科會 No. 30.
32. 大 木 : 1667 電氣4學會連大, No.150.
33. 赤上・成田・門脇 : 放電研究, No. 12. p. 1. 1962. 4.
34. 石黒・牛田・坂野 : 1960 電氣4學會連大, No. 123.
35. T. Udo. : “sparkover characteristics of Large Gap spaces and Long Insulation springs, IEEE Trans power Apparatus Syst. PAs—83. 5 471. 1964.
36. 本 多 : 放電研究 No. 15 p. 1 1963. 1
37. Honda K : 東京電機大學研究報告 No. 15. p. 1 1967. 12.
38. Honda K : 東京電機大學研究報告 No. 13. p. 11 1965. 12.
39. 宅 間 : 1960 連大 No. 157.