針端間隙의 불꽃 電壓特性

論 文
26~3~3

The Spark Voltage Characteristics of Needle Gaps

丁 性 桂*
(Sung Kae Chung)

Abstract

The effects of sharpness of needle electode on the spark voltage in needle-plane and needle-needle spark gaps at atmospheric pressure was investigated experimentaly in this paper. As the sharpness of needle electrode increases, the spark voltage increases, and the rate of increase is greater in needle-needle electiode than in needle-plane gap. The effects of sharpness is greater in small gap length. These characteristics can be explained by the electric field strength at the needle tip depending on the sharpness of needle, electro-static capacity between the electrodes, and the polarity effect in needlle-plane gap. These experimental results will be able to play an important roles on the design of needle-needle gap as high voltage measurement devices and of needle-plane gap as high voltage rectifier equipments.

1. 緖 論

針電極으로 구성된 불꽃間隙에 있어서의 電界는 대표적인 不平等電界를 형성한다. 針間隙에는 針對針 및 針對平板間隙이 있다. 針間隙에 있어서는 심한 不平等電界를 형성하기 때문에 필연적으로 코로나放電이 수반된다. 針對針間隙에서는 間隙距離가 十數 cm이하일 때에는 글로우코로나로부터 직접 불꽃放電으로 이행하나, 이보다 큰 間隙距離에서는 글로우코로나, 부러쉬코로나의 단계를 거쳐 불꽃 放電이 일어난다. 또 針對平板電極에서는 間隙距離에 불구하고 글로우코로나와 스트리이마코로나를 거쳐 불꽃放電으로 이행하며, 부러쉬코로나는 間隙距離가 十數 cm 이상으로 되어야 비로소 나타난다.[1][2]

針對針間隙은 高電壓의 簡易測定에 사용된다. 그러나 針端의 形狀 즉 尖銳度에 따라 불꽃 電壓이 달라지고, 間隙距離가 커서 부러쉬코로나를 경유하여 불꽃放電으로 되는 범위에서는 불꽃電壓이 大氣濕度의 영향을 받는다는 것등의 결점이 있다.[3] 반면 針電極은 그 工作이 용이하다는 장점이 있다. 한편 針對平板電極은 현저한 極性効果를 나타내므로 이것을 이용하여 高電壓을 整流하여 高電壓直流를 얻을 수 있다. 筆者는 針對針 및 針對平板間隙에 있어서 실제로 이용되는 비교적 적은 間隙距離에 대한 불꽃電壓에 미치는 針電極의 尖銳度의 영향을 조사하여, 이들이 高電壓의 測定器 또는 高電壓整流器로 이용되는 경우에 필요한 基礎資料를 얻어 針電極尖銳度의 効果를 명백히 하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

그림 1 (a)는 實驗回路, (b)는 그 裝置를 표시한다. 그림 (1), (a)에서 T는 試驗用變壓器(220V/50KV, 30 KVA) R는 抵抗分壓器, K는 針對平板間隙이며 그 모

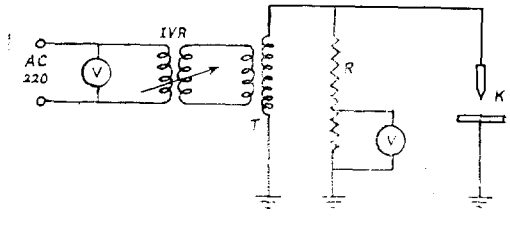

그림 1 (a) 實驗回路
Fig. 1 (a) Experimental circuit

*正 會 員 : 서울工大敎授·工博(當學會終身理事)
接受日時 : 1977年 3月 21日

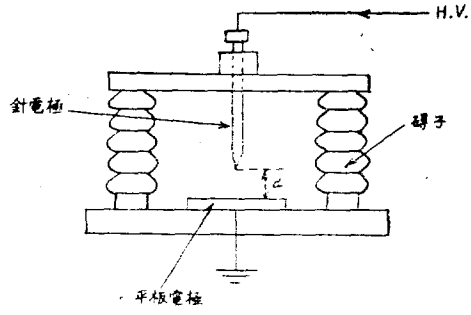

그림 1 (b) 實驗裝置
Fig. 1 (b) Experimental device

양은 그림 1, (b)와 같다. 針電極과 平板電極의 材料는 燐靑銅이며, 針電極의 지름은 0.5(cm), 平板電極의 圓板지름은 18(cm)로 하였다. 針電極의 尖銳度는 그림 2에 표시한 바와 같이 角 θ로 나타내도록 하였다. 針對針 및 針對平板間隙의 電極間距離 d를 변화시킨 경우의 可視코로나 電壓과 불꽃電壓을 測定한다. 이때 針端의 尖銳度 角 θ를 변화시킨다. 印加電壓은 秒當 2,000V의 率로 올린다. 可視코로나 電壓을 測定하기 위하여 實驗은 暗室에서 실시하고, 實驗中 大氣濕度는 15(g/m³)로 일정하게 유지한다. 實驗値는 10回 程度를 測定하여 그들의 平均値로 한다.

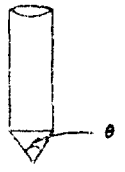

그림 2. 針電極의 尖銳度 角 θ
Fig. 2. Angle θ, the sharpness of needle electrode

3. 實驗結果

그림 3은 針對平板間隙에 있어서 針端의 尖銳度 θ를 媒介變數로 하여, 間隙距離 d와 불꽃電壓 V_s와의 관계를 나타내는 曲線이다. 이 曲線에는 코로나電壓 V_c도 표시하였다. V_s와 V_c는 尖銳度 θ가 적어짐에 따라 감소하고 있으며, 間隙距離 d가 증가함에 따라 V_s,V_c는 증가하고 있으나 d가 커짐에 따라 그 증가율은 감소하고 있다. 또 d가 커짐에 따라 불꽃電壓에 미치는 尖銳度의 영향은 적어지고 있다. d가 대단히 커지면 이들 曲線은 한개의 曲線으로 수렴하게 된다. 코로나는 d가 約 0.5(cm) 이상으로 되어야 비로소 나타나고

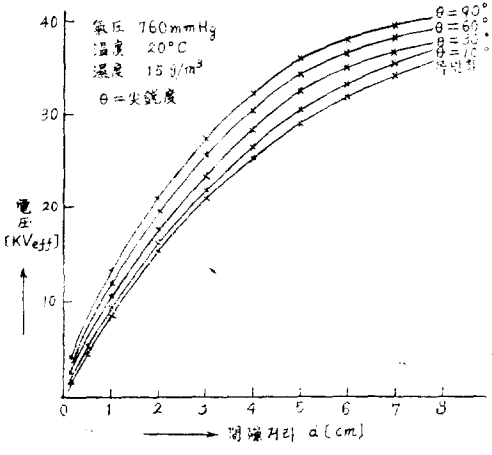

그림 4. 針對針間隙間의 불꽃電壓
Fig. 4. spark voltage in needle-needle spark gap.

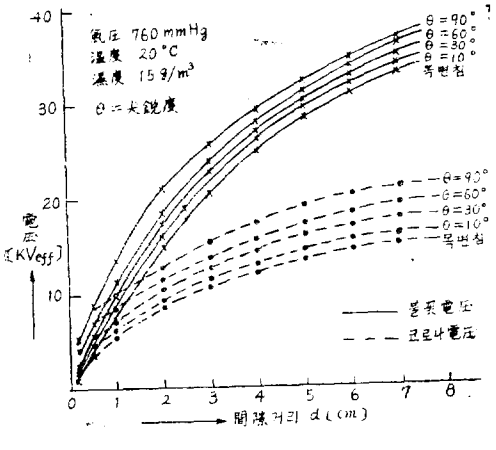

그림 3. 針對平板電極間의 불꽃電壓과 코로나電壓
Fgi. 3. Spark voltage and corona voltage in needle-plane spark gap.

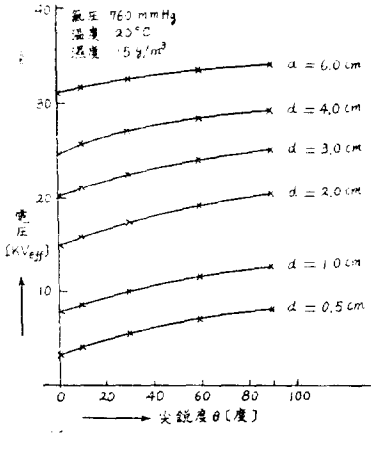

그림 5. 尖銳度와 불꽃 電壓(針對平板)
Fig. 5. Sharpness of needle vs spark voltage (needle-plane electrode)

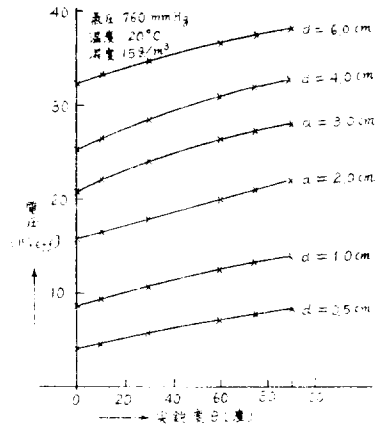

그림 6. 尖銳度와 불꽃電壓(針對針)
Fig. 6. Sharpness of needle vs spark voltage (needle-needle electrode)

있다. 그림 4는 針對針間隙에 대한 불꽃電壓特性이다. 間隙距離, 尖銳度와 불꽃電壓 사이의 관계는 그림 3에서의 針對平板間隙에 대한 그것과 동일한 경향을 나타내고 있다. 針對針間隙에서는 間隙距離 d가 8cm 정도 이내의 範圍에서는 그로우코로나만 나타나며, 동일 間隙距離와 동일尖銳度에 대한 불꽃電壓은 針對針間隙쪽이 높으며, 針端尖銳度의 영향은 針對針間隙에서 더 심하게 나타나고 있다. 그림 5와 6은 각각 針對平板 및 針對針間隙에 대한 尖銳度 θ와 불꽃電壓사이의 관계를 나타내며, 針對針間隙에서는 間隙距離 d가 적은 범위에서는 불꽃電壓은 尖銳度에 따라 대략 직선적으로 증가하고 있다. 그림 7은 尖銳度와 불꽃電壓사이의 관계를 針對針와 針對平板間隙에 대하여 비교한 것이

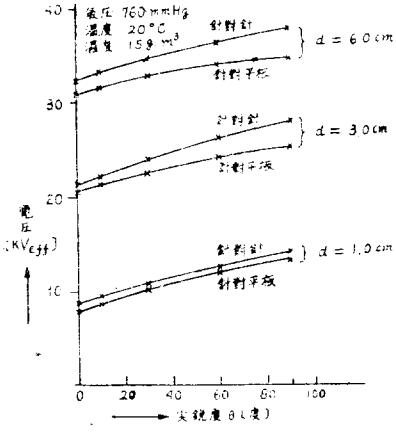

그림 7. 尖銳度와 불꽃 電壓(針對針과 針對平板)
Fig. 7. Sharpness of needle vs spark voltage (needle-needle electrode and needle-plane electrode)

며, 尖銳度에 따른 두 電極사이의 불꽃電壓의 차이는 尖銳度가 커질수록, 間隙距離 d가 커질수록 증가하고 있다.

4. 考 察

針對平板 및 針對針間隙에 있어서 間隙距離 d의 증가에 따라 불꽃電壓이 증가하나 d가 커짐에 따라서 그 증가율이 감소하는 것은 다른 間隙에서와 마찬가지이다. 일반적으로 平等電界에서나 不平等電界에서나를 막론하고 間隙距離에 따른 불꽃電壓의 증가는 直線的이 아니고 間隙距離가 커지면 불꽃電壓特性을 나타내는 曲線은 아래로 처지게 된다. 즉 불꽃電壓은 間隙距離에 비례하지 않고, 間隙距離가 커지면 불꽃電壓의 증가율은 둔해진다. 따라서 間隙距離가 커지면 平均불꽃 電位傾度가 감소한다. 지금 α, β를 각각 電子 및 陽이온의 衝突電離係數라 할 때 슈우만이 가정한 바와 같이 $\alpha=\beta k$라 놓면 타운센드의 放電條件으로부터

$$d=\frac{1}{\alpha-\beta}\log\frac{\alpha}{\beta}=\frac{k}{\alpha(k-1)}\log k \qquad 4-1$$

를 얻을 수 있다.[4] k는 定數이므로 間隙距離 d가 커지면 α는 적어도 된다는 것을 의미한다. 즉 α가 적어도 불꽃放電이 일어날 수 있다는 것을 의미한다. d가 적어도 된다는 것은 電界의 세기가 적어도 放電할 수 있다는 것을 의미하므로, 이것은 d가 클 때 放電하는 경우의 電界의 세기는 적어진다는 것을 표시한다. 이상은 平等電界에 대한 理論이지만 不平等電界에 대하여도 어느정도 적용되는 현상이다. 針對平板 및 針對針間隙에 있어서 針端의 尖銳度가 커짐에 따라 즉 θ가 적어짐에 따라 불꽃電壓이 감소하는 것은, θ가 적어질수록 針端附近의 電界가 강해지므로 첫째는 코로나가 낮은 電壓에서 일어난다는 사실과, 둘째는 間隙間의 平均電界强度가 높아진다는 사실에 기인한다. 또 그림 3에서 d가 커짐에 따라 불꽃電壓에 미치는 尖銳度의 영향이 적어지고 있는데, 이것은 d가 커짐에 따라 針端附近에서의 電束의 集中率이 점 적어지기 때문이다. d가 커질수록 針端面에서 나오는 電束이 擴散되기 때문에 針端部의 電束集中이 완화된다. d가 더욱 커지면 電束集中이 더욱 완화되어 d가 상당히 큰 범위에서는 θ에 관계없이 間隙距離에 따른 불꽃電壓特性은 한 개의 曲線으로 나타나게 된다고 생각된다. 間隙距離 d가 8(cm)정도의 크기까지는 針對平板間隙에서는 그로우코로나와 스트리이마코로나만이 나타나고 부러쉬코로나는 나타나지 않으면, 針對針間隙에서는 그로우코로나만 나타나고 부러쉬코로나는 역시 나타나지 않

는다.

동일間隙距離와 동일尖銳度에 대한 불꽃電壓이 針對平板間隙쪽이 針對針間隙쪽보다 낮은 것은 동일한 조건에 대하여 兩極間의 靜電容量이 針對平板間隙쪽이 더 크기 때문이다. 針對平板과 針對針間隙에 있어서 전자는 한쪽 電極이 平板이기 때문에 電極面積이 그만큼 크므로 靜電容量이 그만큼 커진다. 따라서 針端附近에서의 電束數가 많아지고 電束密度가 그만큼 커지기 때문에 電界가 강해져 針對平板間隙에서의 불꽃電壓이 낮아진다.

그림 7에서 불꽃電壓에 미치는 針端尖銳度의 영향이 針對針間隙에서 더 심하게 나타나고 있다는 사실은 針對平板間隙에서의 極性效果에 기인하는 것으로 생각된다. 針對平板間隙에 있어서는 코로나電壓은 針端이 負인 경우가 낮고, 불꽃電壓은 針端이 正인 경우가 낮다. 불꽃電壓이 針端極性이 正인 경우에 낮은것은 正의 스트리이마코로나가 負의 그것보다 더 성장하기 쉽기 때문이다.[5] 針對平板間隙에 있어서 針端의 尖銳度를 크게 하면, 즉 θ를 감소시키면, 針端附近의 電界가 더욱 강해져, 針端極性이 負일때 그 半波의 最大値附近에서 코로나 자체는 더욱 낮은 電壓에서 일어나지만 불꽃放電이 일어나는 것은 針端極性이 正일때이므로, 針端의 負코로나電壓이 θ의 감소와 더부러 낮아진다는 것과 θ의 감소와 더부러 불꽃電壓이 낮아진다는 것과는 그렇게 큰 관련성이 없다. θ가 감소할 다 針端에서의 正負코로나電壓은 낮아지나 正負코로나의 進展性은 변하지 않는다. 針端의 尖銳度는 코로나電壓에는 영향을 미치나 코로나의 進展性에는 영향을 미치지 않는다. 그런데 針對平板電極에서는 코로나의 進展性이 그 불꽃電壓에 큰 영향을 미친다. 이것은 針對平板電極에 있어서의 코로나電壓과 불꽃電壓에 대한 極性效果가 다르다는 사실로부터 명백하다. 이상과 같은 이유로 針對平板電極에는 針對針間隙에서보다 그 불꽃電壓이 針端尖銳度의 영향을 덜 받는다. 針對平板間隙에서는 그 불꽃電壓이 코로나의 進展性難易에 큰 영향을 받는데, 이 코로나의 進展性이 針端의 尖銳度와는 별로 관계가 없으므로 따라서 불꽃電壓이 針端尖銳度의 영향을 덜 받는 것이로 생각된다. 針對針間隙에서는 그 불꽃電壓이 코로나進展性과는 관계가 없기 때문에 針端尖銳度의 영향을 針對平板間隙에서보다 더 심하게 받는다. 그림 7에 尖銳度에 따른 불꽃電壓特性이 針對平板間隙과 針對針間隙에 대하여 종합되어 있는데, 尖銳度 θ가 증가할수록, 또 間隙距離 d가 증가할수록 針對平板과 針對針間隙의 불꽃電壓사이의 차이가 증가하고 있는 사실은 이상 考察한 바에 의하여 설명할 수 있다.

5. 結　論

針對平板 및 針對針間隙의 불꽃電壓에 미치는 針端尖銳度의 영향을 조사하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 針端尖銳度가 커지면 불꽃電壓은 낮아지는데, 針對針間隙에서는 間隙距離가 적은 범위에서는 尖銳度에 따라 大略 直線的으로 감소하고, 間隙距離가 큰 범위에서는 下向凹性的인 特性을 나타내며, 針對平板間隙에서는 항상 下向凹性的인 特性을 나타낸다.

2. 불꽃電壓에 미치는 針端尖銳度의 영향은 針對平板間隙에서보다 針對針間隙에서 더 심하다.

3. 間隙距離가 커짐에 따라 針端尖銳度가 불꽃電壓에 미치는 영향은 적어진다.

4. 針端尖銳度 θ가 커질수록, 또 針對平板電極에 있어서 間隙距離 d가 커질수록 針對平板 및 針對針間隙 사이의 불꽃電壓의 차이는 커진다.

5. 이상과 같은 針端尖銳度에 따른 불꽃電壓特性은 針端尖銳度에 따른 針端附近의 電界의 세기, 兩極間의 靜電容量, 및 針對平板電極에서의 極性效果등에 의하여 定性的으로 설명이 된다.

6. 本研究에서 얻은 結果는 高電壓測定器로서 針對針間隙을 사용하는 경우 또는 針對平板電極을 高電壓整流器에 응용하는 경우에 중요한 기초자료가 될것이다.

7. 大氣濕度에 따른, 針端尖銳度가 불꽃電壓에 미치는 영향에 대해서는 앞으로 더 연구할 필요가 있다.

끝으로 本研究는 1976年度 文敎部研究助成費에 의하여 실시된 것이며, 文敎部當局에 感謝의 뜻을 표함과 동시에, 본研究進行에 協調하여준 서울工大電氣科大學院學生李柱張君에게 謝意를 표하는 바이다.

參 考 文 獻

1) 放電 Hand Bcok. pp.120~127.
2) Loeb: "Fundamental Processes of Electical Discharge in Gases" 1939. pp.35~50.
3) 望月重雄："高壓工學" 1940. pp.16~20.
4) 鳥山："電氣絕緣論" 1935. pp.20~23.
5) 本多：理研彙報 10, 183 (1931)