

# 油中코로나 放電으로 인한 絶緣油의 導電特性에 관한 研究

新丘專門大學 放射線科

金 英 一

— Abstract —

## A Study on Conductivity Characteristics of Insulating Oil by Corona Discharge in Oil

Young Ill Kim

*Dept. of Radiotechnology, Sin Gu Junior College, Kyung Ki-Do, Korea*

Not only the insulating oil used for extra high voltage and high capacity transformer has a lot of possibilites of a corona discharge in oil, but the oil is easily degraded by a response of light oxidization. This study is either to classfy, with priority given to a transformer oil produced in Korea belonging to, the insulating oil No. 2, the sample irradiated the ultraviolet rays, treated a corona discharge in oil by a high voltage DC source and done nothing, or to measure the characteristics of breakdown, V-i, I-t and electrode material.

The obtained results can be summarized as followings:

- ① Unless the sample is contacted with the air, on the process to irradiate the ultraviolet rays, the sample less influence on the changes of the electric characteristics. At the same time, if the sample is contacted with the air and irradiated the ultraviolet rays, the sample shows a remarkable changes of the electric characteristics, and a declined breakdown strength. This tells us that the influence of the light irradiation must be considered as a primary factor of degrading the insulating oil.
- ② In the oil treated by a corona discharge, breakdown voltage is declined more than in the oil not to be treated with it.

This means that the degradation of the insulating oil is getting increased by a corona discharge in oil.

(3) It shows that the increase of conducting current has little to do with breakdown voltage.

(4) The conducting current depending on the electrode materials can be put in order by value as  $Al > Cu > Fe$ . This is due to the differences of the work function of each metals, and an chemical reaction with the insulating oil.

These result can be a great help in verifying the degradation progress of the insulating oil and furnish a new technical information to the manufacturers of the insulating oil and electrical equipment designers and operators.

Besides, this study would be helpful to improve the electrical characteristics of the insulating oil produced in Korea.

## 目 次

### I. 緒 論

### II. 絶緣油의 電氣特性에 대한 一般의 理論

### III. 實 驗

#### 1. 試 料

#### 2. 實驗裝置

#### 3. 實驗方法

### IV. 實驗結果 및 理論的 考察

#### 1. 紫外線 照射에 의한 絶緣破壞

#### 2. 油中코로나 처리된 絶緣油의 絶緣破壞

#### 3. 油中코로나 처리된 絶緣油의 電氣傳導

### V. 結 論

#### 參考文獻

### I. 緒 論

오래 前부터 油入 電氣機器에 使用되어 온 液體 絶緣材料에는 여러가지 種類가 있겠으나 주로 石油系 原油에서 얻어진 鑛油인 電氣絶緣油가 많이 利用 되었고 電氣機器의 진보에 수반하여 電氣絶緣油도 수 많은 변천 과정을 거쳐 왔으며 銅이나 絶緣紙등의 電氣材料와 마찬가지로 絶緣油가 電力系統의 發展에 기여한 역할은 지대하였다고 볼 수 있다. 最近 電力수요의 급증으로 電力系統이 高電壓化 大容量化 및 高効率化의 경향이 있게 되고 이로 인하여 絶緣油에 대한 性能 구비조건도 다양한 要求를 必要로 하게 되는 實情이다. 특히 초고

압 大容量 變壓器에 使用되는 絶緣油에는 어떠한 形態로서든지 油中코로나 放電이 일어날 기회가 많을 것이라 생각되며 더우기 變壓器油는 絶緣과 冷却이라는 두 作用을 해야하므로 油中코로나 放電으로 인한 絶緣油의 絶緣破壞 現象의 前驅 과정인 導電現象을 검토한다는 것은 絶緣油製造者를 위시하여 電氣機器設計者 및 取扱者에게 새로운 지식과 이해를 줄 것으로 보며 아울러 國產絶緣油의 電氣의 諸特性을 向上시키는 대책의 일환이 될 것으로 사료된다. 따라서 本 研究에 있어서는 絶緣油가 高電壓 油入機器 使用中에 일어나는 劣化과정중에서 많은 영향을 줄 것이라 사료되는 油中코로나 放電 및 光酸化反應으로 인한 劣化現象을 電氣의 特性變化만을 관측하여 究明하려고 한 것이다. 그리고 實驗에 使用한 試料은 우리나라에서 製造된 天然鑛油中 絶緣油 2號에 속하는 變壓器油를 택하였고 試料에 低壓水銀燈에서 放射되는 紫外線을 照射시킨 試料과 高電壓直流電源으로 油中에서 코로나 放電을 發生시킨 試料 및 아무 처리하지 않은 試料로 分類하고 이들 試料에 대해서 絶緣破壞特性, V-i 特性, I-t 特性, 電極材料에 의한 特性等を 測定하고 理論的 檢討를 하였다. 따라서 이들에게서 얻은 結果는 國產變壓器油의 特性 理解와 紫外線 照射 및 油中코로나에 의한 絶緣油의 特性變化를 考察하는데 도움이 되고 絶緣油의 使用 및 取扱에 參考資料가 될 것으로 생각한다.

### II. 絶緣油의 電氣特性에 대한 一般의 理論

#### 1. 液體絶緣油의 電流 - 電界特性

液體絶緣油에 低電界으로 부터 高電界에 이르기 까지 導電電流를 測定하면 一般的으로 그림 1 과 같이 表示되며 數 KV/cm 以下の 低電界에서 Ohm의 法則이 成立하는 I 領域 數 KV/cm~50KV/cm 정도의 中電界에서 飽和되는 II 領域 및 50KV/cm 정도 以上の 高電界에서 指數 함수적으로 急增하는 III 領域으로 구분되고 있다<sup>1, 3)</sup>

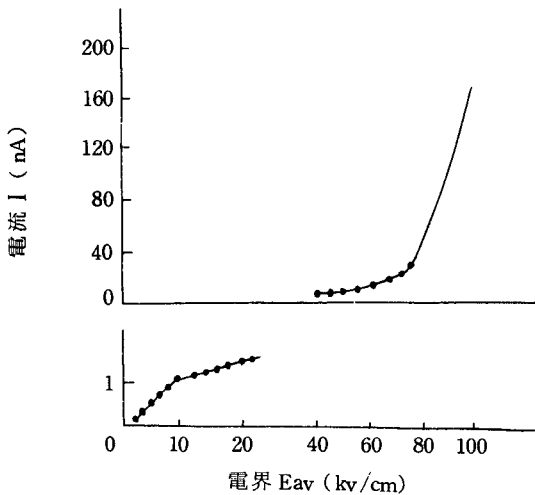


그림 1. 電流 - 電界特性

I 領域: Ohm의 法則이 成立하는 범위이며 電氣傳導는 주로 液體自身이 가진 희박한 解離度 또는 液體中에 포함하고 있는 解離하기 쉬운 不純物에 基因한 이온傳導나 光때문에 解離해서 생긴 遊離이온에 의한 것으로 보고 있다<sup>15)</sup>.

여기서 導電率  $\sigma$ 는 이온의 電荷  $e$  密度  $N$  및 移動度  $\mu$  라면

$$\sigma = N \cdot e \cdot \mu = \frac{N}{L} \cdot L \cdot e \cdot \mu = \text{mol} \cdot L \cdot e \cdot \mu$$

로 되고  $L \cdot e = 96494 \text{ C}$  (Faraday 定數) 이기 때문에

$$\sigma = 96494 \times \text{mol 농도} \times \mu$$

로서 表示된다. 따라서 低電界 中에서의 傳導는 거의 이와같은 形態로서 일어나게 된다. 이 低電界 傳導率은 溫度上昇에 의해서 增加하는데 이것은 溫度上昇에 대한 粘性的 低下에 따른 移動度の 增加에 의한 것으로

알려지고 있다.

II 領域: 飽和領域이라 하며 一般的으로 나타나지 않지만 아주 淸淨한 非解離性 液體에서 알려져 있다. 非解離性이라 말해도 극히 희박한 解離를 行하기 때문에 解離는 質量作用의 法則에 따르는 外에 이온 生成速度를 생각하지 않으면 안된다. 單位時間內的 이온 生成率을  $a$  라 할때 消失은 再結合과 電界에 의한 移動에 基因한다고 하면 어떤 점에 있어서 이온 密度는 質量作用 法則에 의하여 값이 定해지기 때문에 電流의 値는 電界에 比例하지만 電界가 크게 되고 이온의 移動이 빠르게 되면 이온을 生成하는 速度와 맞지 않게 된다. 따라서 이 범위의 電界에서는 이온 生成率  $a$  에 의해서 制限되는 電流가 흐르게 된다.

III 領域: 高電界 電氣傳導라 부르는 범위로 40~50 KV/cm 以上の 電界라면 導電電流가 急增하게 되는데 이 領域에서는 電流는 電界에 대해서 거의 指數 함수적으로 增大해서 결국 絶緣破壞로 移行되는 部分이다. 따라서 電流는  $\log I \propto E$ 로 表示되는 것도 있지만  $\log I \propto \sqrt{E}$ 에 근사적으로 取한 경우<sup>3)</sup>가 많다. 이 領域에서의 電流 急增의 代表的인 原因<sup>3)</sup>으로서는

- (1) 油分子 또는 不純物이 電界에 의한 解離
- (2) 陰極에서 油中 電子放出, Schottky 放出, 혹은 冷陰極放出
- (3) 油分子 또는 不純物의 衝突電離 등을 들을 수 있다.

House 氏<sup>6)</sup>에 依하면 가스 中의 傳導에 대한 Townsend 모델에 유사시켜서  $I \propto \exp(\alpha l)$ 로 나타냈으며 여기서  $l$ 는 電極간격  $\alpha$ 는 油分子 혹은 不純物의 電離係數이다. 山田·田中氏<sup>3)</sup>는 高電界 電氣傳導의 기구를 생각한 경우 坂本<sup>13)</sup>氏에 의한 것처럼 油 및 油中에 포함되어 있는 殘留 不純物의 解離나 電離보다도 오히려 陰極에서의 Schottky 形의 熱電子 放出로서 해석하는 편이 좋다고 생각하고 있다.

## 2. 空間電荷分布

液體中에서 對向하고 있는 電極間에 直流電壓을 印加하면 電極間的 電位分布 및 電界分布는 液體의 種類와 不純物의 混入狀況 電極의 電氣化學的 狀態 등에 依해 變化하고 이들의 分布는 時間的으로 變動을 하게 된다.

그러나 이러한 電位分布은 6 가지 전형적인 形으로 나타나는데 첫째는 電極間에 空間電荷가 存在하지 않는 경우로 均一 電界가 나타나는 것, 둘째는 液體中에 均等한 電荷密度로 正·負 等量의 이온이 存在한 경우, 셋째는 正電極 附近에 高密度의 負電荷가 負電極 附近에는 高密度의 正電荷가 있는 경우로 兩電極 附近의 電界는 中央 部分 보다도 크게 되는것, 넷째는 셋째의 逆으로 電極 附近에 電極과 同符號의 電荷가 存在한 경우인데 이 호모 電荷는 純粹한 絕緣液體에 微量의 電荷를 注入한 경우와 本 實驗과 같이 코로나 放電에 의한 電荷注入을 한 경우에 나타난다. 다섯째·여섯째는 電極 사이의 液體內에 負電荷 또는 正電荷중 어느 하나가 一方으로 우세하게 存在하는 경우이다. 이와같이 液體中에 殘存하고 있는 電荷는 空間電荷 分布를 形成하고 이 分布가 液體中의 電位分布에 따라서 電界分布가 定해지고 있다.

### 3. 導電電流의 時間變化

液體中의 電荷 移動에 따른 電流는 電荷의 移動度와 擴散係數에 의해서 지배된다. 지금 正負이온의 密度를  $n_+$ ,  $n_-$  移動度를  $\mu_+$ ,  $\mu_-$  擴散係數를  $D_+$ ,  $D_-$  로 하면 導電電流  $I$  는

$$I = e (n_+ \mu_+ + n_- \mu_-) E - D_+ \text{grad } n_+ + D_- \text{grad } n_-$$

의 관계식으로 나타낼 수가 있다. 그러나 絕緣液體의 直流導電率을 時間에 의해서 變動하는 경우가 많다. 그림 2는 벤젠의 導電率-時間變化 特性인데 電壓을 印加하면 순간적으로 큰 電流가 흐르고 時間이 경과할 수록 減少해서 一定值로 유지되고 있다. 이러한 導電電流(누설電流)는

- (1) 時間에 따라 서서히 減少하는(緩和)成分과
- (2) 펄스狀의 變化成分(雜音)으로 나타내고 있다.

導電電流는 電壓 印加後 20~30分 程度에서 거의 平衡值에 達하고 있으며 이같이 導電電流의 最初의 急峻한 減少는 成極에 基因해서 充電電流의 減衰이고 그 後는 液中의 이온이 移動해서 空間電荷를 形成할 때까지의 時間 및 不純物 이온이 減少하는 過程<sup>6)</sup> 이라고 생각되며 이와같이 時間에 따라서 變動하는 現象은 A-damczwski<sup>6)</sup>에 의하면

- (1) Cell (電極) 內部的 解離 不純物

- (2) 空氣, 酸素等이 液體中에 溶存해 있는것

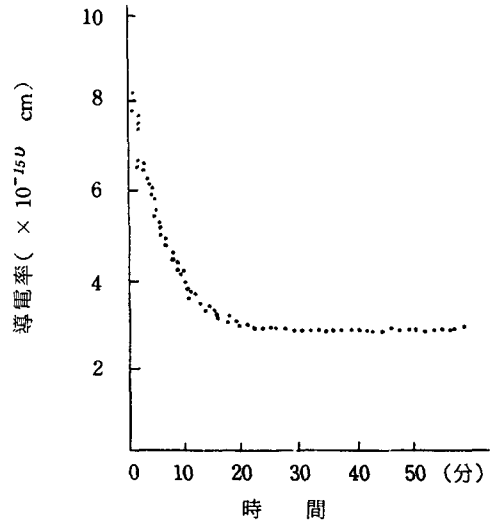


그림 2. 벤젠의 導電率-時間變化

- (3) 電極 表面에 吸着해 있는 氣體

(4) 初期에 液體中에 存在해 있는 過剩電子 이온類가 時間 經過에 따라서 차차로 消失하는것에 의해서 일어난다고 한다. 그러나 多少 明確하지 않는 경우도 있지만 이같은 原因이 支配的이며 大部分의 絕緣液體에서 的 電流-時間 變化는 그림 2와 같은 傾向을 나타내고 있다. 순수한 絕緣油일수록 最終 狀態의 電流가 적기 때문에 급격한 減少가 잘 나타나며, 不純한 液體에서는 最終 狀態의 電流가 많기 때문에 最初의 peak 值와의 差가 적다. 雜音成分을 無視한 導電率  $\sigma$ 는 時間  $t$ 의 함수로서

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_i \exp(-\lambda t)$$

의 形으로 나타낼 수가 있고, 여기서  $\sigma_0$ ,  $\sigma_i$ ,  $\lambda$ 는 定數이다.

### 4. 油中코로나 放電

油中에서 不平等電界를 形成하는 針端과 같은 電極에 高電壓을 印加하면 油中코로나가 發生하고, 이어 不安定한 불꽃을 發生하는 先行불꽃 放電이 일어나며, 좀더 電壓을 올리면 영구적인 電弧를 發生하는 불꽃放電

이 일어나 絶緣이 破壞된다. 油中코로나의 개시電壓은 油中の 不純物의 함유량에 따라서 현저하게 달라지며, 油中코로나가 發生하면 化學作用<sup>1)</sup>이 일어나며 油分子가 縮合하여 H가스를 主體로한 여러가지 가스가 發生하여 絶緣油는 주로 水素를 잃어버리기 때문에 絶緣油의 殘基는 不飽和되고 이들이 重合 또는 縮合한 結果 絶緣油보다도 分子量이 큰 物質이 生成되기 때문에 絶緣油는 응고점 및 粘度가 높게 되는 반면 劣化가 된다<sup>1, 4, 7, 9, 10)</sup>. 뿐만 아니라 電荷注入 効果도 있게 된다<sup>11, 14)</sup>. 發生 가스의 組成을 보면<sup>7, 10)</sup> 水素가 94% 에탄이 3.2%, 탄화수소가 5.5% 程度이며 기타 가스가 發生하고 있다. 油中코로나 發生時 육안적으로 관찰해 보면 電極 사이의 먼지의 교락현상이 생기며 이러한 교락현상은 絶緣油의 流動에 의해 움직이고 있었다. 또한 絶緣油의 液面은 電極봉을 따라 上昇하는 Sumoto 效果가 일어나며 이 液面의 上昇은 電壓이 높을수록 크게 나타났다. 그러나 A·C 放電을 시켰을 때에는 絶緣油의 流動 및 液面 上昇이 거의 없었다. 液面 上昇높이 h (cm)는 電源 周波數 f [Hz]에 反比例해서  $h = Af^{-\alpha}$ 의 실험식으로 나타나며, 電壓의 增加에 따라서  $\alpha$ 의 値는 減少하지만 A는 增加한다. 同一 周波數에서 電壓의 增加에 의해서 h는 增加한다.

### 5. 液體絶緣油의 絶緣破壞

液體 誘電體의 絶緣破壞에 대한 理論에는 아직 완전한 것은 없지만 주로 熱에 중점을 둔 熱的 破壞理論과 液體 誘電體 自身の 이온化에 의한 것으로 생각하는 이른바 純電氣의 破壞理論의 두가지가 있으나<sup>1)</sup> 最近에는 많은 學者들의 주장에 의해서 後者の 것이 유력히 되고 있다. 絶緣破壞電壓에 미치는 영향으로는 먼지, 水分, 가스 및 酸化生成物의 함유량에 따라서 현저한 영향을 미치며<sup>1, 5, 8, 10)</sup> 이들이 서로 공존한 경우에는 더욱더 破壞電壓이 低下되는 것으로 알려지고 있다. 또한 電極의 形狀과 材材, 電壓의 種類와 上昇速度, 溫度와 氣壓 등에 따라서도 變化하고 있다<sup>1, 7, 10)</sup>. 絶緣耐力는 주로 絶緣油의 純도에 관계가 있으며, 따라서 絶緣耐力를 測定하여 그 純도를 判定할 수가 있다.

## III. 實驗

### 1. 試料

天然鑛油는 造成成分에 따라 炭素의 直鎖狀 配列을 主로한 Paraffines, Olefines 와 六角形의 소위 거북 모양인 縮合 配列을 主로한 Naphthanes, Aromatico 로 分類되고<sup>1, 2)</sup> 使用上으로 1號, 2號, 3號로 나뉘는데 本 實驗에서는 國產 絶緣油 2號인 變壓器油를 택하고 이 絶緣油를 1, 3, 5時間 동안 各各 直流코로나 放電시킨 것을 試料로서 使用했다. 時間에 따라 油中 코로나를 發生시킨 試料의 一般의 性質을 本 絶緣油 製造會社의 시험소에서 測定한 値를 보면 表1과 같다.

表1. 코로나放電油의 一般의 性質

	1時間코 로나방전	3時間코 로나방전	5時間코 로나방전
비중 15/4°C	0.8927	0.8927	0.8927
전산가 KOH/mg	0.006	0.006	0.006
체적 저항률 80°C Ω cm	$4.1 \times 10^{13}$	$4.16 \times 10^{13}$	$4.9 \times 10^{13}$
굴절율 $D_n^{20}$	1.4944	1.4944	1.4944
아닐린링°C	72.5	72.5	72.5

여기서 알 수 있는 바와 같이 비중, 전산가, 굴절율, 아닐린점 등은 코로나 放電時間에 따라서 變化가 없으나 체적저항률만이 油中코로나 처리 時間이 갈수록 커진 狀態를 나타내 주고 있다. 光酸化反應에 의한 絶緣破壞 特性을 위해서는 紫外線 照射裝置에 의하여 紫外線을 1, 2, 3, 4, 5, 7日씩 照射시킨 絶緣油를 使用했다.

## 2. 實驗裝置

### 가. 絶緣破壞裝置

絶緣油耐力試驗器로서 試驗用變壓器의 入力電壓은 100 [V], 50/60 c/s, 出力電壓 50,000 [V]이며 耐壓試驗操作盤은 型式 19-5005, 入力電壓 100 [V], 50/60 c/s, 出力電壓 0~100 [V] 인 것으로 絶緣破壞電壓을 測定했다.

### 나. 紫外線 照射裝置

紫外線의 光源은 低壓水銀燈<sup>12)</sup> 200 [W] 를 使用하고 光源 밑에 油槽을 놓고 外部로부터 不純物 混入의 방지 및 光束의 集中을 위하여 Fe 製 원통으로 容器周圍를 덮었고, 이로 인한 內部溫度 上昇을 억제하기 위하여 원통 윗 부분에 구멍을 10개 뚫었고, 光源 部分 底面에도 뚫어서 自然通風을 利用한 內部溫度를 거의 一定한 溫度 43~45°C로 유지시켰다. 長時間 連續使用으로 인한 溫度 上昇은 선풍기로서 강제通風시켜 低下시켰다. 그림 3은 裝置의 平面圖이다.

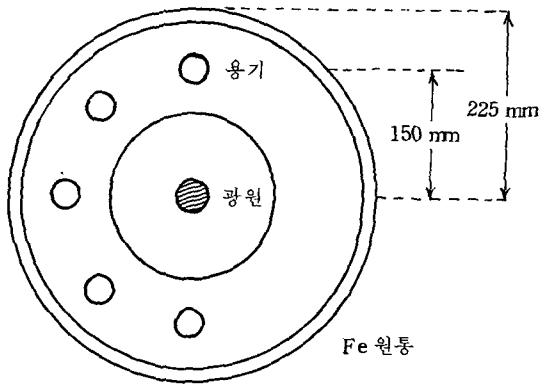


그림 3. 紫外線 照射裝置의 平面圖

다. 油中코로나 放電裝置

油中코로나 放電時 高電壓 電源으로 利用한 裝置는 그림 4 및 사진 1의 것으로 直流高壓 및 交流高壓 發生 裝置이다. 이 裝置는 日本 東京트란스會社 제품이며 主變壓器 容量은 50[KVA]이다. 그림 4와 같이 1次 側 電壓을 調整하여 2次側 電壓을 0~100[KV]까지 얻을 수 있으며 直流電壓은 Kenotron 管으로 整流하여 역시 0~100[KV]까지 얻게끔 되어 있다.

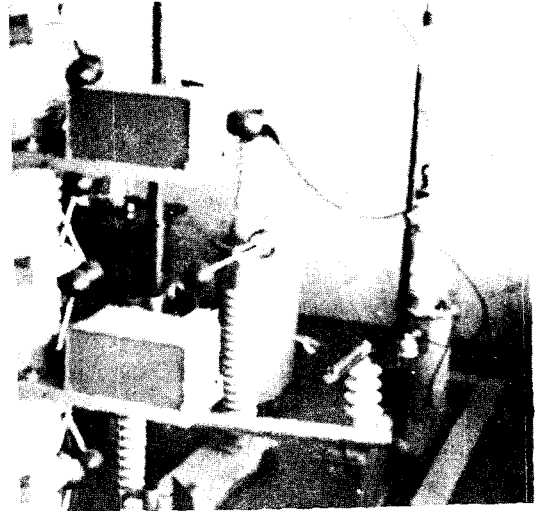
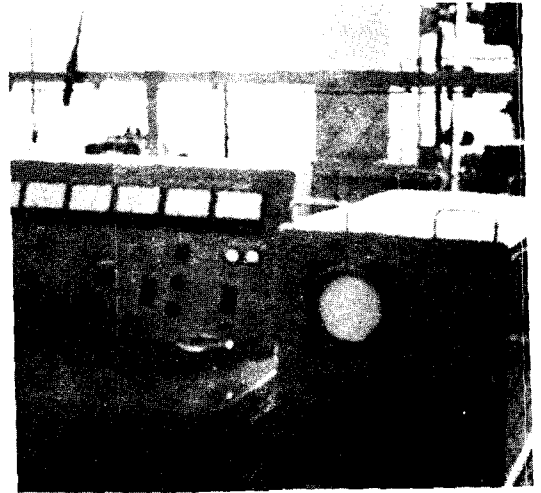


사진 1. 高電壓 發生裝置

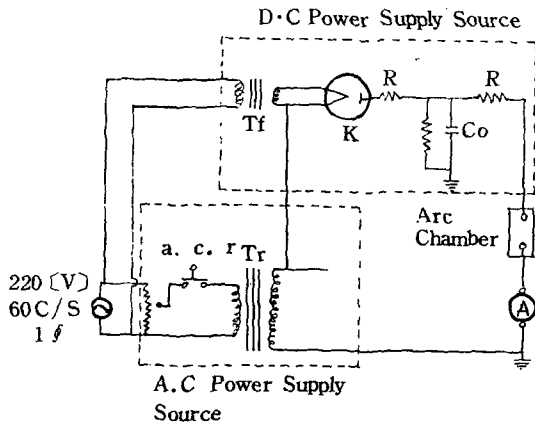


그림 4. Experimental electrical circuit

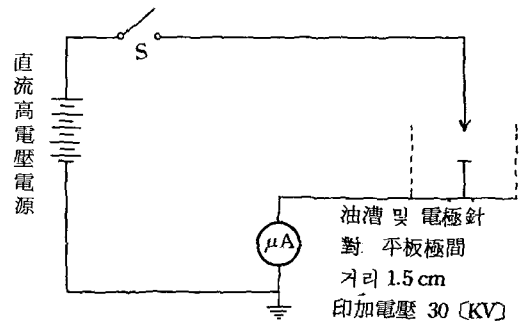


그림 5. 油中코로나 放電 回路 개략도

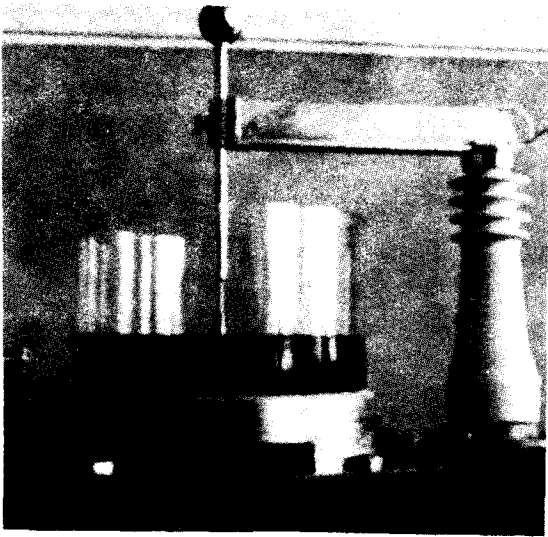


사진 2. 油中코로나 發生裝置

油中코로나 放電回路는 그림 5 와 같으며 油槽의 側面은 5mm 두께의 아크릴과 바닥은 알미늄계로 되어 있으며 이 内部에 電極간격 1.5 cm 針對平板 電極을 設置하고 國產 絶緣油를 4,000 cm<sup>3</sup> 넣고 (+) 電極을 針으로 (-) 電極을 平板으로 30 (KV)의 直流高電壓을 印加해 油中코로나 放電을 1時間, 3時間, 5時間씩 發生시켜 試料로 만들었다. 사진 2는 油中코로나 放電을 하는 油槽와 電極이다.

#### 라. 電氣導電 測定裝置

導電電流는 그림 6 과 같이 電極간격 2.5 mm 平板對 平板電極에 直流 電源을 9,45,90,180,270,360 [V] 등의 6가지 低電壓으로 各各 印加하고 Ampere full Scale 3 [A] ~ 10<sup>-13</sup> [A] Keithlex Instrument Co. 610C Solid State Electrometer 에 의해서 絶緣油의 直流 導電電流를 測定하였다. 사진 3은 Electrometer 의 外形이다. 使用 電極은 사진 4 및 그림 7 과 같은 크기의 電極으로 導電電流 測定에는 平板對 平板을 알미늄, 銅, 鐵 세가지 材料의 種類로 各各 測定했으며 針電極은 가정에서 사용하는 바늘로 油中코로나 放電時 使用했으며 2.5 mm ∅ 球電極은 絶緣破壞電壓 測定時 使用했다.

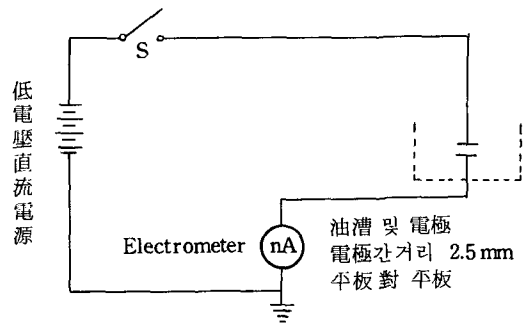


그림 6. 直流 導電電流 測定回路

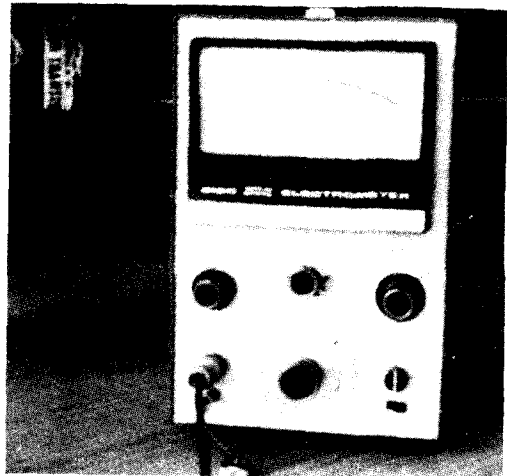


사진 3. Electrometer

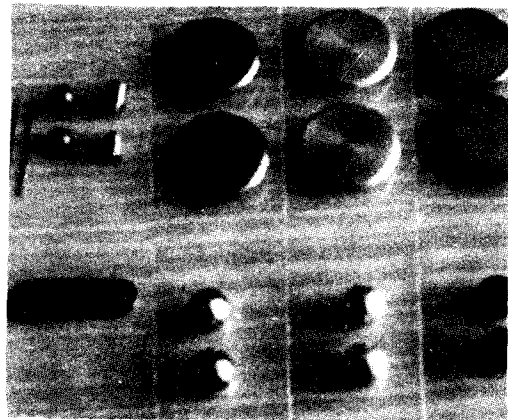


사진 4. 使用電極의 모양 (Al. Cu. Fe.)

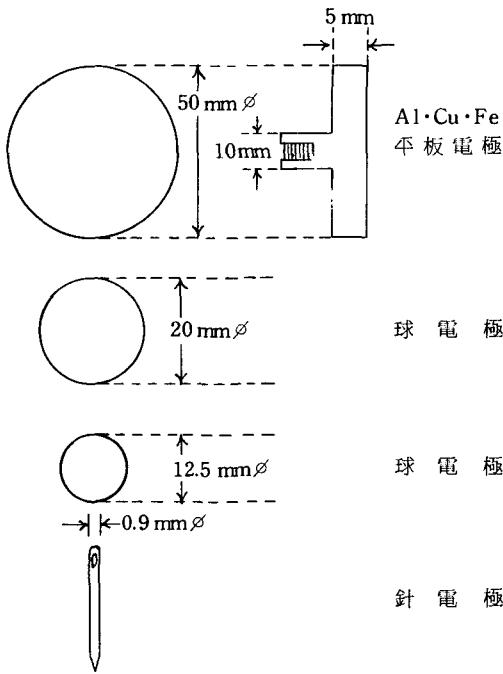


그림 7. 各種 電極의 크기

### 3. 實驗方法

그림 4, 5, 사진 1, 2에 의해서 電極간격 1.5 cm 針對 平板 電極에 先行 불꽃放電을 거친 다음 불꽃放電이 일어나기 前의 電壓 30 [KV]의 直流高電壓을 印加하여 油中 코로나 放電을 1, 3, 5 時間씩 시켰고 그리고 紫外線 照射裝置을 利用하여 1, 2, 3, 4, 5, 7 日씩 絶緣油에 照射 시켰다. 紫外線 照射中 裝置內의 溫度는 43~45°C로 一定하게 유지시켜 溫度上昇으로 因한 絶緣油의 劣化는 가능한 防止하고 오로지 빛 (光)에 의한 劣化만 究明되도록 하였으며, 光源用 入力電壓은 電壓調整器로 一定하게 유지시켰다. 따라서 코로나 처리된 油와 紫外線 照射된 油를 가지고 絶緣破壞電壓을 測定했다. 方法은 各 試料마다 3개의 샘플로 分類하고, 한개의 샘플마다 5번 絶緣破壞를 시켜 총 15번 시킨 것을 平均해서 한개의 試料에 대한 破壞電壓으로 하였다. 코로나 處理된 絶緣油의 導電電流 測定에는 感도가 높은 電流計를 使用하므로 外部影響을 가능한 피하기 위해 電源과 Electrometer 와는 完全히 격리된 狀態로 하고 導線도 가능한 짧게 하는 반면 通風의 影響이 미치지 않도록 했으며, 帶電體가 될수 있는 測定者도 가까이

接近함을 삼가했다. 모든 測定에서 絶緣油는 不純物의 微少한 함유 및 주위 조건 등에 따라 電氣의 特性變化가 크기 때문에 實驗前에 容器 및 電極의 狀態는 每 實驗마다 同一한 條件으로 하였고 大氣분위기에서도 가능한 그 差가 적은 날끼일 때만 測定을 行하였 으며 特性變化의 測定은 앞의 測定裝置에 의해 絶緣破壞電壓 低電壓에 의한 V-i 特性 I-t 特性 電極材料에 의한 導電電流 特性을 各各 試料에 대하여 비교 하면서 수회 반복 測定하였다.

### IV. 實驗結果 및 理論的 考察

#### 1. 紫外線 照射에 의한 破壞電壓

太陽 光線에는 赤外線이 80%, 可視光線이 13%, 紫外線이 7% 정도 함유<sup>7)</sup> 되어 있고 紫外線을 인위적으로 얻으려면 카아본燈과 水銀燈을 많이 利用하고 있다. 紫外線 透過도가 95%인 석영 水銀燈에서는 紫外線이 52%, 赤外線이 28%, 可視光線이 20%가 放出된다는 보고<sup>7)</sup>가 있으며, 이와같은 水銀燈에 의해서 絶緣油 2號를 容器에 各各 넣고 容器의 뚜껑을 열은 채로 紫外線 照射量을 1, 2, 3, 4, 5, 7 日씩 照射시키면서 各 試料에 대한 絶緣耐力的 測定을 plot 한 것이 그림 8의 A이고, 容器의 뚜껑을 닫고 外部 空氣와의 接觸을 전혀 없애고 위와같은 實驗方法으로 試料에 대한 各各의 測定值를 顯示한 것이 그림 8의 B이다. 그림 8에서 보는 바와같이 容器의 뚜껑 有無에 따라 絶緣破壞值가 현저히 다르다. 뚜껑을 닫고 紫外線을 照射시키면 빛 (光)으로 인한 酸化反應이 최소함을 알 수 있으며 이는 空氣와의 接觸 차단이 油自身의 吸收作用 및 酸化反應의 억제에 有效한 수단이 됨을 확인할 수 있으며 油劣化의 速度를 低下시키는 方法中의 일환이 됨을 明白히 究明할 수 있다<sup>2)</sup>. 그리고 照射量 變化에 따라 絶緣破壞值가 低下하는 것은 不純物 및 Sludge의 生成으로 인한 Siudge<sup>12)</sup>가 空氣中의 水分 吸收와 水分 保持性을 增大하기 때문에 容器의 뚜껑의 有無에 따라 絶緣破壞值에 큰 차이를 나타낸다고 할 수 있다. 不純物中 液體는 水滴이나 容解보다도 에말론 狀態로 存在하는 것이 電氣의 特性에 나쁜 影響<sup>1)</sup>을 주고 氣體는 氣流 狀態로 油中에 存在<sup>1)</sup>할 때가 油의 特性에 가장 나쁜 影響을 주고 있다<sup>2)</sup>는 事實을 알아야 한다.



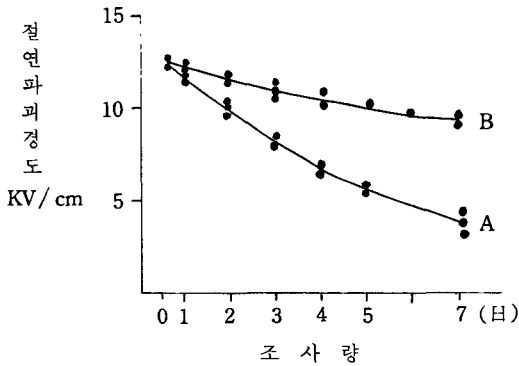


그림 8. 絶緣破壞경도와 照射線量과의 關係

## 2. 油中코로나 處理된 絶緣油의 破壞電壓

電氣 絶緣油의 絶緣破壞 特性은 絶緣油 自體의 成分과 또 그 内部에 함유되어 있는 여러가지 不純物의 量 또는 外部의 氣壓과 氣溫 및 油溫 뿐만 아니고, 加해진 電壓의 種別이나 電極 및 測定者에 따라서도 어느 程度 差가 있는 것으로 널리 알려져 있다<sup>4,2,7,9,10</sup>. 따라서 本 實驗에서는 가능한 오차를 줄이기 위해 電極의 不純物 제거, 電壓上昇速度等 모든 조건을 같게 하고 한개의 試料를 총 15번 破壞시킨 結果를 平均해서 圖示한 것을 보면 그림 9와 같다. 코로나 處理된 油는 處理안된 油보다 破壞電壓이 낮아졌고 코로나 處理된 油中에서도 코로나 放電時間이 길어 질수록 破壞電壓이 낮아지는 경향을 나타내고 있는데 이는 油中코로나 發生 지속으로 인한 絶緣油의 劣化作用이 많아짐<sup>4,7</sup>을 의미해 주며 油中코로나에 의한 H<sub>2</sub> 가스 發生

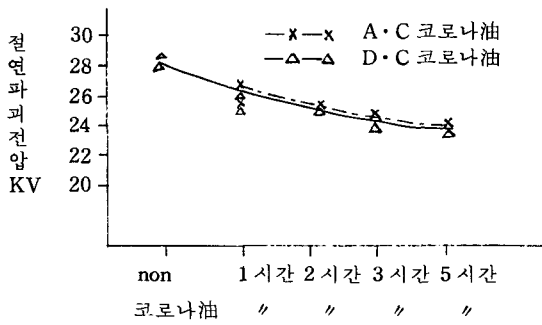


그림 9. A·C, D·C 코로나 처리油의 파괴전압특성

<sup>10</sup>)으로 絶緣油는 주로 水素를 잃어버리기 때문에 絶緣油의 殘基는 불포화<sup>1)</sup>로 되고 이들이 重合 또는 縮合한 結果 絶緣油보다도 分子量이 큰 物質의 生成이 많아진다는 結果로서 해석할 수 있다<sup>1,8,10</sup>. 또 A·C 코로나와 D·C 코로나에 의한 差는 거의 없음을 나타내주고 있는데 이는 그 劣化의 程度가 거의 같다는 사실을 추정할 수 있다.

## 3. 油中코로나 處理된 絶緣油의 電氣傳導

絶緣油이라고 하는 것은 그 物質內에 (1)自由로 運動할 수 있는 이온이 없고, (2)物質을 구성하는 原子內의 모든 電子群이 各各 소속 原子核에 속박되어 自由로 運動할 수 없는 狀態를 말하며, 즉 電流의 운반수단이 되는 自由電子나 이온이 存在하지 않음을 뜻하므로 이러한 物質에 대한 導電率의 값은 무시할 程度로 적게 될 것이고, 이러한 絶緣物은 誘電分極을 發生하기 때문에 分極의 立場에서 誘電體라고도 한다<sup>12)</sup>.

그러나 보통 말하는 絶緣油中에는 微量이지만 電離해서 自由이온이 되기 쉬운 解離性 不純物이나 이온 또는 劣化에 의한 유기산이 混入되어 있음으로 이들은 電界의 作用을 받아 液體內를 自由로 運動하게 되며, 導電性이나 電氣運動學的 現象(EHD)에 큰 影響을 미치고 있다. 그러나 導電性은 이들뿐만이 아니고 溫度 壓力, 極性, 電極의 材料와 形狀 및 電極面의 粗度<sup>9)</sup>에 따라서 變化하고 있기 때문에 絶緣油의 直流 導電率의 値는 測定者나 測定方法에 의해서 變化한다는 것은 널리 알려져 있는 事實이며 가장 큰 影響은 역시 試料의 純度라고 알려져 있다. 이와같이 絶緣油의 電氣傳導은 여러가지 原因에 따라 變動하기 때문에 이것을 항상 엄두에 두고 實驗 目的에 따라 세밀하게 測定해야 한다. 이하 測定 結果는 다음과 같다.

### 가. 油中코로나 時間變化에 의한 V-i 特性

그림 10은 우리나라의 絶緣油 製造會社인 M會社製와 Y會社製의 絶緣油 2號를 두가지 선택하고 여기에 直流電壓을 印加하여 코로나 處理를 하지 않은 油와 3時間 코로나 處理한 油의 V-i 特性인데, 試料의 種類에 따라 V-i 特性에 현저한 차이가 있었고 이는 絶緣油의 純度の 差에 의한 結果라 추정할 수 있었다. 육안적으로 볼때 M會社製는 색채가 밝으며 투명도가 좋고 油中코로나 放電時 먼지의 교락現象이 아주 적게 일어나는데 반해 Y會社製는 색채가 좀 짙은 느낌과

교락現象도 어느 程度 많이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 그림 11은 Al 電極 그림 12는 Cu 電極으로 했을 때의 V-i 特性인데 양쪽 모두 코로나 處理되지 않은 絶緣油보다 코로나 處理된 絶緣油의 導電電流의 값이 적어 졌으며 코로나 處理 油中에서도 油中코로나 時間이 길때 導電電流의 값이 減少함을 나타내 주고 있다. 이와같은 원인으로서는

1) 油中코로나 放電에 의한 絶緣油의 粘性이 높아져 電流 擔體의 移動이 低下된다는 원인을 확인할 수 있고 1, 9, 10)

2) 油中코로나 處理 時間에 따라 체적 저항(表1)의 增加로 인한 導電電流의 減少라고 볼 수 있다. 그러나 油中코로나 放電에 의한 이온 注入效果나 劣化作用面에서 본다면 코로나 放電時間에 따라 導電電流가 增加해야 할 것인데 反對의 結果를 나타내고 있다는 것은 前者의 원인이 지배적이라는 것을 알 수 있다. 또한 破壞電壓도 코로나 放電時間이 길수록 低下하는 경향이 있어 破壞電壓과 導電電流의 크기와는 관계가 없

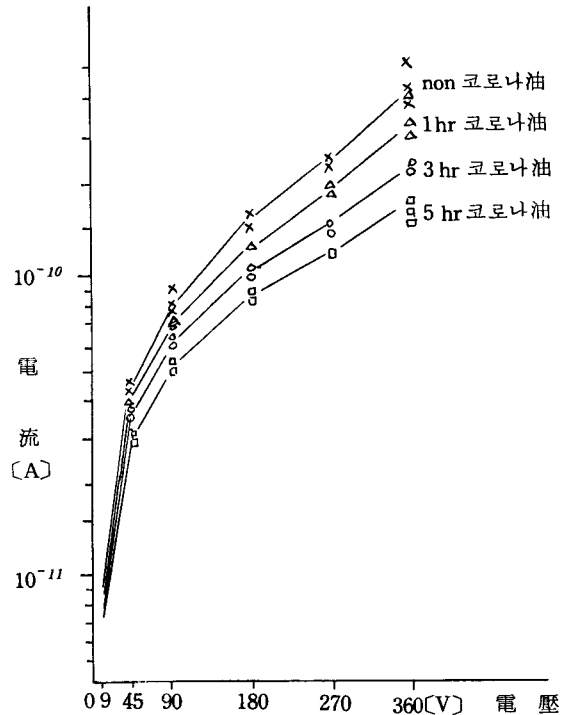


그림 11. Al 電極에 의한 V-i 特性

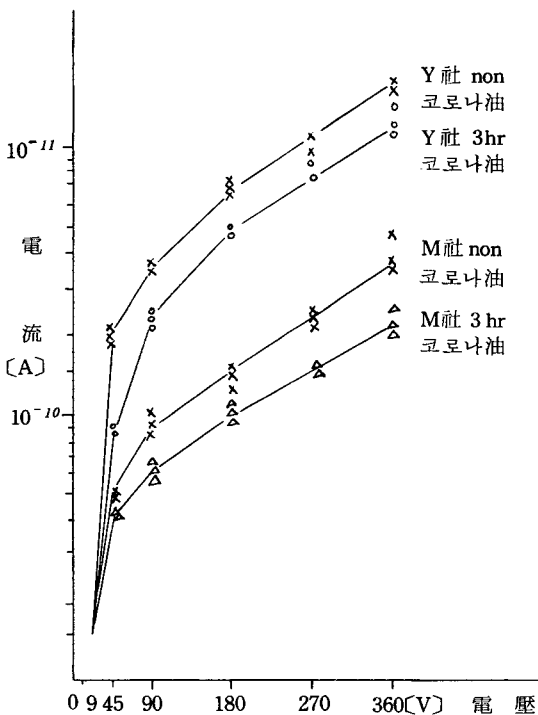


그림 10. 제조회사별 V-i 특성

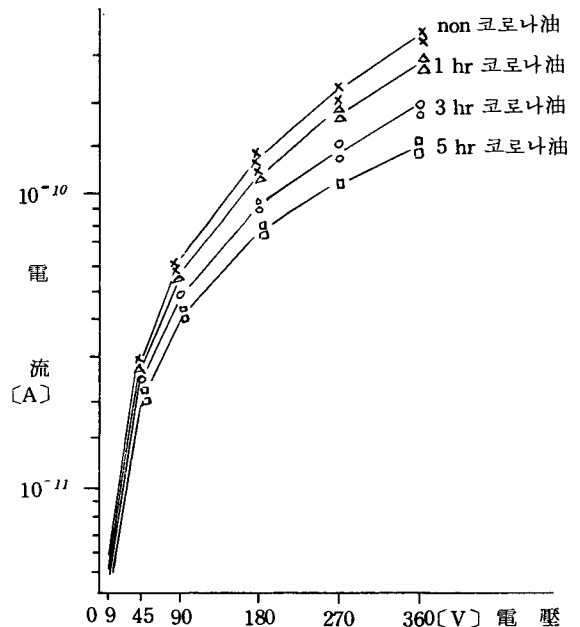


그림 12. Cu 電極에 의한 V-i 特性

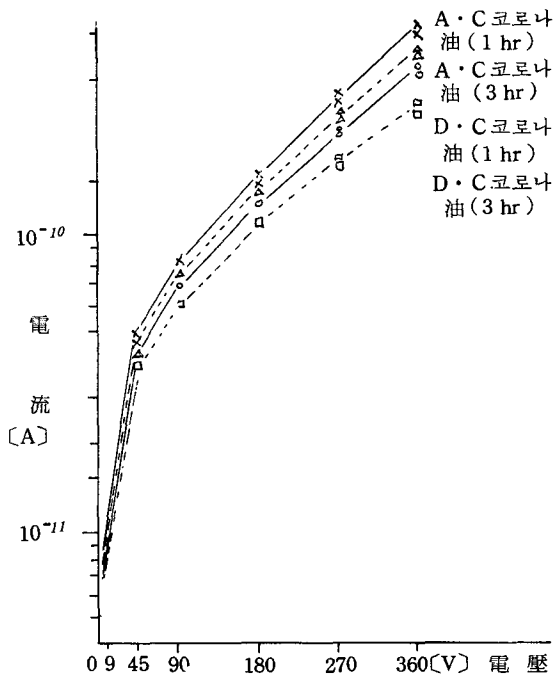


그림 13. A·C, D·C 코로나 처리油的 V-i 特性

음<sup>1)</sup>을 시사한 보고가 있다. 그리고 導電電流의 差는 印加한 電壓이 커졌을 때 약간 커지는 傾向을 나타냈고 Cu 電極보다는 Al 電極에서 약간 큰 값을 보이고 있다. 그림 13은 A·C 코로나 處理油와 D·C 코로나 處理油와의 비교인데 A·C 코로나에서 약간 增加하는데 이는 兩電極이 가지고 있는 일함수의 차이로 인한 것 같다. 코로나 處理時間에 따른 導電電流의 差는 A·C 보다 D·C의 것이 크게 나타내고 있다. 이들 導電電流의 값은 I-t 特性에서 나타나는 것처럼 電壓을 印加하는 當初에는 充電吸收電流의 成分이 많기 때문에 20~30分後 거의 一定하게 된 누설電流 成分을 관측 대상으로 했고 수회 반복하여 평균값으로 그린 曲線들이다.

나. 電極材料에 의한 V-i 特性

그림 14는 電極材料 Al, Cu, Fe로 모든 조건을 同一하게 하여 V-i 特性을 測定한 結果인데 그 導電電流의 크기는 Al > Cu > Fe 順으로 나타내고 있다. 油中에 있어서 電界 電氣傳導가 電極의 電子放射로 Sc-hottky 効果의 熱電子에 의한다면  $i = AT^2 \exp\{-\frac{e\phi}{kT}\}$

의 Richardson-Dushman 式에 의해서 생각할 수가 있다. 따라서 陰極 材料를 變化시키면 다음 두가지를 생각할 수 있는데 油中에서 일함수가 다른점과 熱傳導가

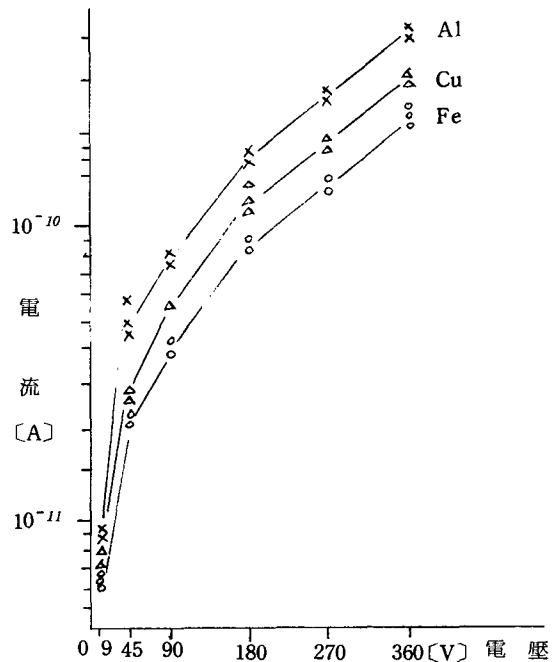


그림 14. 電極材料에 의한 V-i 特性

다른점 때문에 導電電流가 變化할 것을 추정<sup>3)</sup>할 수가 있고 전해질용액 中에서 電極反應<sup>8, 18)</sup>도 어떠한 影響이 미칠 것이라 생각된다. 여기서 各種 電極材料에 의한 眞空中 및 變壓器 油中에서 一함수<sup>3)</sup>를 보면 表 2와 같다.

表 2. 電極材料에 의한 일함수

陰極材料	眞 空 中	變壓器 油中
鐵	4.0 ~ 4.8	1.02
銅	3.9 ~ 4.4	1.02
알 미늄	3.0 ~ 4.4	1.03

여기서 보는 바와같이 眞空中보다 變壓器 油中에서 쉽게 적어지는 理由 및 그값이 電極材料에 큰 차가 없는 理由를 山田<sup>3)</sup>氏는 油의 電子 친화력 및 陰極表面의 酸化물에 基因하는 雜質에 의한 一함수의 低下라고

하였다. 따라서 學者들은 電極材料에 의한 導電電流는 단지 일함수의 차로서만 관계한다고는 하지 않고 있다<sup>15)</sup>. 알미늄에서 크게 나타난 것은 다른 材料보다 일함수가 油中에서 크고<sup>表2)</sup> 이온化傾向(이온化列)<sup>8, 10)</sup>이 커 弱酸性 絶緣油로 인한 電極表面의 부식성이 크기 때문이라고 말할 수 있겠다.

다. 一定한 電極에서의 I-t 特性

그림 15는 印加電壓에 따른 I-t 特性으로 電壓을 印加하면 印加하는 순간에 큰 電流가 흐르고 時間이 경과함에 따라 導電電流는 減少해서 一定值로 유지되고 있는 것을 보여 주고 있는데 그 原因은 成極에 基因한 充電電流의 減衰와 電極 内部의 解離 不純物 함유 및 初期에 液體中에 存在해 있는 過剩電子 이온類가 時間경과에 따라서 차차로 소실하는 것에 기인<sup>14, 17)</sup>한다고 하겠다. 순수한 絶緣油 일수록 급격한 減少가 잘 나타나며 不純한 絶緣油에서는 最終狀態의 電流가 많기 때문에 最初의 peak 值와의 差가 적은 것으로 알려져 있다. 그림 15·16에서 印加電壓이 높아졌을 때 Al 電極에서 減少되는 現象도 약간 심하게 나타내 보

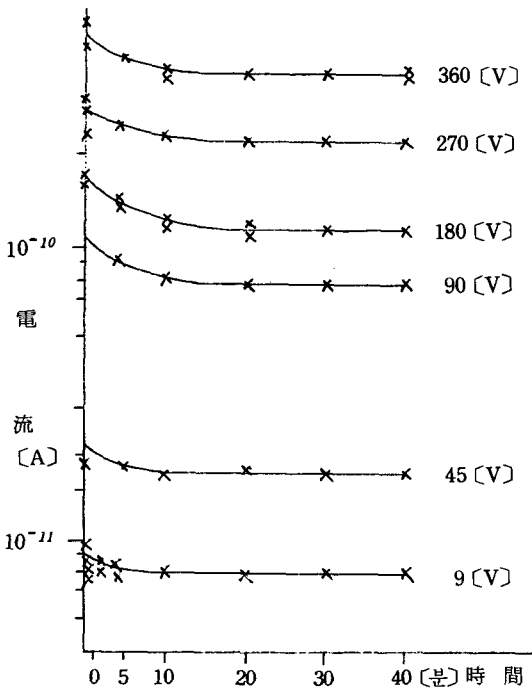


그림 15. 電壓에 따른 I-t 特性

이고 있다. 그림 16은 V-i 特性에서와 마찬가지로 油에서 導電電流가 減少했음을 보여주고 그 差는 印加電壓이 컸을때 약간 增加함을 나타내고 있다.

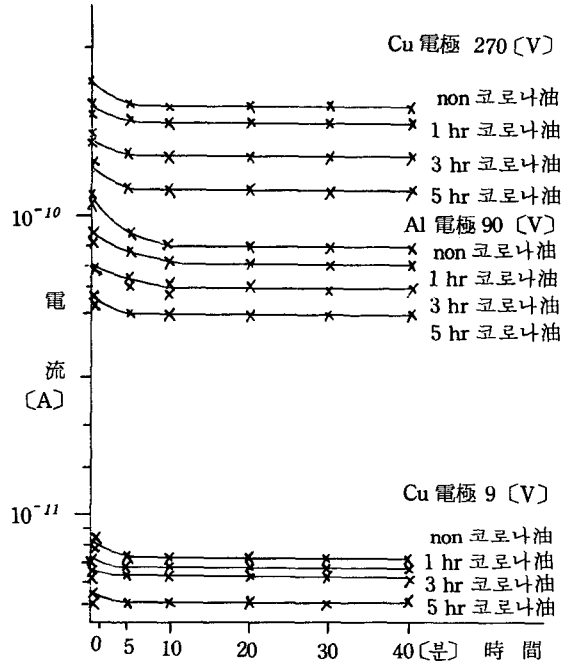


그림 16. D·C 코로나 처리 時間에 따른 I-t 特性

## V. 結 論

油入機器用 國產 絶緣油 2號를 紫外線 照射 및 油中코로나 처리된 油와 안된 油와의 絶緣破壞電壓 및 低電壓 直流에 의한 導電電流를 測定한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 紫外線을 照射시키는 과정에서 試料가 空氣와 접촉하지 않으면 電氣의 特性 變化에 영향이 적으나 大氣와 접촉하면서 紫外線이 照射되어 가면 電氣의 特性劣化가 현저하여 絶緣破壞경도가 低下하였다. 이는 絶緣油의 劣化 要因에 光照射의 영향도 고려해야 한다는 事實을 시사한다.

2. 코로나 처리된 油는 처리 안된 油에 비해 絶緣破壞電壓이 低下됨을 지적할 수 있었다. 이는 油中코로

나 放電으로 인하여 絶緣油의 劣化가 진전됨을 추정할 수 있다.

3. 導電電流 역시 低下됨을 관측하였고 導電電流의 크기와 破壞電壓과는 관계가 적음을 알 수 있었다.

4. 電極材料에 의한 導電電流의 特性은 Al > Cu > Fe의 順으로 크기에 차이가 있었다. 이는 각 금속의 일함수의 차이 및 絶緣油와의 化學作用에 起因한 事實임을 추정할 수 있다.

5. A·C 코로나 처리 油와의 絶緣破壞電壓은 거의 差가 없었으나 導電電流는 A·C에서 약간 增加하였다. 이러한 結果는 絶緣油의 劣化과정을 기초적으로 究明하는데 도움이 될 것이라 보며 油入靜止器의 설계에 고려하여야 할 것이지만 보다 精確하게 絶緣油의 電氣的 特性을 해석하기 위해서는 추후 繼續하여 溫度 特性, 極性效果, 電荷注入特性 등을 종합적으로 檢討하여 究明하여야 될 것이다.

#### 參考文獻

1. 丁性桂：高電壓工學，文營堂， p. 123~42, 1968.
2. 李德出：紫外線 照射에 의한 變壓器油의 劣化現況， 檀大論文集， p. 267~77, 1972.
3. 山田. 田中. 潮見：絶緣油의 導電電流と 直流破壞 特性，電氣學會誌， 51-A13, 1976.
4. 井關·倉橋：交流油中コロナ의 特性，日本電氣學會 誌， 36-78, 1961.
5. 芹澤·井上：液體誘電體의 研究現況，日本電氣學會 誌，Vol.87-4, No.943
6. H. House：Pro. Phys. Soc, B-70,913, 1957.
7. 河材：鑛油系絶緣油의 破壞電壓について，日石レビ ュー， 3卷,3號， 1957.
8. 全學濟 外：理化學大辭典，創元社， p 913, p 1300, 1977.
9. 高橋：電氣絶緣油綜說，電氣雜誌
10. 長谷：電氣絶緣油概說，日石レビュー， 3卷,3號
11. 宮本·土江：電氣絶緣油におけるイオン傳導，日本 電氣學會誌，53-A 3, 1978.
12. 高木：誘電體の物性工學，日本Ohm社， p. 49~55, 129, 1968.
13. 坂本：北大工研報， 8,96, 1963.
14. 牧島：液體·非晶體の物性工學，オーム社， p 268, 269, 1968.
15. 押田：液體の電氣物性，填書店， 1964.
16. I. Admezewki：Ann. d. Phys, 8, 309, 1937.
17. P. M. Scott：Electrotherapy & Actinotherapy, William & Willkin Co., 2nd Ed, 1976
18. 郭鐵：一般化學，先進文化社， p 137, 1977.