

液體誘電體의 絕緣破壞와 電極效果

— 차례 —

- 1. 緒 言
- 2. 液體誘電體
- 3. 絕緣破壞機構
- 4. 平等電界와 不平等電界
- 5. 電極의 處理에 依한 影響
- 6. 電極材料의 影響
- 7. 電極形狀 및 配置에 依한 影響
- 8. 結 語

1. 結 言

電氣工學에서 放電現象 卽 絕緣破壞問題는 複雜하고 未解決의 問題가 아직도 많아 極히 重要한 Thema로 되어있다. 더욱이 plasma, laser等의 放電應用分野의 發展과 더불어 放電現象은 恒常 興味있는 問題들을 提供하여주고 있으나 關係하는 因子가 너무나도 많고 純粹한 形態로 現象을 把握하는 것이 困難하여 마치 泥沼에 발을 넣는 것과 같다고까지 말하여 왔다. 그러나 電子, X線의 發見 등 近代物理學發展의 端緒를 이룬 것은 放電이라고 하여도 遇言은 아니다. 또 現在 世界的 많은 學者가 다투어 研究하고 있는 核融合 plasma의 研究에 對해서도 그 源流는 放電이라 할 수 있다. 이와 같이 放電의 研究에 始作하여 빛나는 많은 成果를 올렸으며 더욱이 最近 放電現象에 關한 研究가 發展함에 따라 많은 變化를 가져왔다. 卽 plasma의 理論 및 實驗의 展開, gas絕緣·高分子固體絕緣, 極低溫液體絕緣 등의 新絕緣技術의 發達, 500~1,000KV의 超高電壓 絕緣이나, 直流高電壓絕緣 등의 技術開發, laser, 其他 放電加工 등 放電應用技術의 發達은 刮目하다 하겠다. 여기에 隨伴하여 放電現象에 關한 理論이나 實驗 Data도 여러 면에서 크게 一新되었지만 아직도 開發되지 못한 未解決의 問題가 너무나도 많으며 그 中에서도 특히 固體·液體絕緣物에 있어서는 더욱 그러하다.

2. 液體誘電體

液體絕緣物의 絕緣破壞現象은 電氣工學의 分野에서 重要한 研究課題 일뿐 아니라 物理學分野에서도 그 本質을 把握하는데 重要한 問題로 過去 數十年以上에 걸쳐 많은 研究가 進行되어 왔다. 특히 工業적으로 重要한 絕緣油는 空氣, 水分, 塵埃, 纖維質, 或은 電解質 등의 不純物을 含有하기 쉽고 微量의 不純物일지라도 絕緣破壞電壓을 相當히 變化시킨다. 더욱이 그것을 除

去하는 方法이 困難하기 때문에 破壞現象의 統一의 理解를 얻기란 困難한 것이다. 一般으로 液體는 物性論의 立場에서 보아 分子間의 距離가 固體와 別르 다를 바 없다. 假令 물과 얼음의 容積은 거의 同一하다. 그러나 液體의 分子는 固體分子와 같이 一定의 場所에 固定되어 있는 것이 아니고 流動性을 가지고 있다. 따라서 一面에 있어서 大端히 壓力이 큰 氣體라고도 생각 될 수 있는 것이다. 物性論의 分野에서 液體構造論이 氣體 및 固體構造論의 立場에서 研究되는 것과 같이 液體中의 放電現象도 氣體 或은 固體中의 放電의 立場에서 行한 研究도 많다. 最近에는 液體의 比重 및 比熱의 研究가 進歩하여 그 方面에서 말한다면 液體는 오히려 固體에 類似한 것으로 取扱하는 것이 便利한 것 같다. 또 X線解析으로 明白히 된 結果를 보아도 固體에 類似한 것으로 되어있다.

이와같이 液體의 構造는 氣體·固體와 같이 單純한 것이 아니고 極히 複雜하다. 더욱이 液體絕緣物로서 多量으로 使用되고 있는 變壓器油 등은 많은 成分(파라 위인系나 후텐系芳香族)으로 되어있다. 따라서 電氣의 性質에 對해서도 氣體나 固體에 比較하여 不明한 點이 많다. 液體絕緣物로서 使用되고 있는 變壓器油·cable油나 開閉器油 등의 絕緣破壞電壓은 元來 相當히 높은 것이나 그 中에 混入되어 있는 不純物의 影響을 받아 顯著하게 低下한다. 또 溫度 氣壓 電極의 處理 및 試驗 方法에 따라서도 破壞電壓은 顯著하게 相違하며 極히 不整함은 液體絕緣物의 絕緣破壞現象이 極히 複雜하다는 것을 意味하는 것이다.

3. 絕緣破壞機構

絕緣破壞電壓은 여러 면에서 關係하는 因子가 너무나 많고 現象把握도 힘들어 破壞現象의 統一의 理解를 얻는다는 것은 困難하다 하겠다. 그런데 液體의 絕緣破壞機構에 關해서는 研究의 進展에 隨伴하여 그 時點의 論評이 報告^{(1)~(4)}되어 있으나 液體의 構造가 氣

* 正會員: 全北大 工大 電氣工學科教授(工博)

體나 固體의 그것에 비해 複雜하기 때문에 아직 系統的인 整理가 되어있지 않다. 그렇기 때문에 Nikuradse⁽¹⁾와 같이 氣體에서의 電子衝突空離機構를 液體의 그것에 應用한다든지 Von Hippel⁽⁵⁾와 같이 固體의 破壞機構를 液體에 應用한 例도 있는 것이다.

1928年 Fowler-Nordeim⁽⁶⁾ 등이 液體의 電氣傳導現象에 量子論의 考察을 導入한 以來 破壞前電流에 關한 理論的 說明이 具體的으로 되었다. 1941年 鈴木⁽⁷⁾ 등은 分子構造가 比較的 簡單한 有機液體에 關해서 分子構造와 破壞電壓과의 關係를 明白히 하였다. 그後 1950年 부터 分子構造가 確實한 脂肪族炭化水素化合物液體(主로 n-Hexane)를 利用한 破壞機構를 理論的으로 解明하는 方向으로 研究가 進行되었다.

1951年 Edwards⁽⁸⁾는 主로 脂肪族炭化水素液體를 使用하여 短 gap에 있어서의 破壞遲時間에서 正 ion의 移動에 依한 影響을 解明하려고 하였다. 또 1953年 Goodwin⁽⁹⁾ 등은 分子構造는 勿論 物理的 諸量이 明白한 n-Hexane을 使用하여 電極의 work function과 破壞電壓과의 關係, 正 ion의 移動도가 破壞遲時間과 一致하는 것을 對驗的으로 證明하여 Nikuradse와 近似한 衝突電離機構를 提案하였다. 1950年 後半에 Sharbaugh⁽⁴⁾, Lewis⁽¹¹⁾,⁽¹⁰⁾ 등은 Von Hippel⁽⁵⁾이 提案한 固體의 分子振動에 依한 破壞機構理論을 導入하여 電離에 立脚한 液體中の 破壞機構를 說明하여 脂肪族炭化水素의 경우 理論値와 實驗値가 잘 一致하고 있음을 말하였다. 電子의 衝突電離에 따르는 破壞는 1940年 Race⁽¹¹⁾가 發表한 高電界中에 發生한 光의 觀測에서도 어느程度 認定되는 것으로 그後 1959年 Darveniza⁽¹²⁾, Dakin⁽¹³⁾ 등에 依하여 實證되었다. 그런데 液體 및 電極이 空氣中の 不純物氣體를 含有하고 있는 경우는 이 氣體로 因하여 破壞電壓이 顯著히 低下한다고 生覺되어 왔다. 이것은 從來부터 破壞電壓이 壓力에 依存한다고 하는 點에서도 認定되어왔다. 1961年 Kao⁽¹⁴⁾는 電極 및 液體를 脫 gas하여 더욱이 衝擊電壓을 印加하였는데도 不拘하고 破壞電壓은 壓力에 依存하는 實驗事實을 發表하여 새로운 泡理論이 展開되게 된 것이다. 그리하여 Sharbaugh는 高電界中の 電導電流에 依하여 液體가 蒸發하여 泡를 形成하고 泡內에서의 破壞가 行하여 以後 液體全體의 破壞에 이룬다고하는 學說을 發表하였다. 1966年 Krasucki⁽¹⁵⁾은 液體의 粘性 表面張力 溫度의 依存性에서 Sharbaugh의 생각을 支持하는 實驗結果를 發表하였다. 이것에 對하여 鳥山⁽¹⁶⁾은 純粹한 물에 衝擊電壓을 印加하여 Corona放電에 수반된 發光을 分析한바 發光은 主로 水素의 OH帶 Spectrum이라는 것을 確認하였다. Corona放電은 液體中

에 生인 泡內에서 일어나는 것이 아니고 液體自體의 眞正破壞가 먼저 일어나고 이어서 泡의 發生을 수반한다고 하였다.

1970年 Murphy⁽¹⁷⁾은 純粹한 油中에서의 實驗에서 衝擊電壓을 印加할때 發生하는 泡는 油蒸氣나 油中の 不純物 gas가 아니고 主로 水素 gas임을 發表하였다. 더욱이 1970年 Kao⁽¹⁸⁾는 變壓器油 및 n-Hexane에 4MV/cm/s以上の 直線上昇波를 印加할 때의 破壞電壓은 壓力의 依存性이 없음을 發表하여 液體의 眞正破壞現象을 暗示하고 있다. 또 Sharbaugh⁽⁴⁾의 實驗結果도 壓力依存性이 없음을 發表하고 있다. 이와같이 電子論의 解釋이 行하여져 있더라도 gap의 길이가 크다면 直流的인 電壓을 印加한 경우에는 液體의 部分破壞로 生인 氣泡가 完全破壞를 引導하는 것으로 생각되어 있다. 近年 低溫 및 極低溫에 있어서의 液體의 絕緣破壞現象의 研究가 活潑해 가고 있어 이 方面에서의 液體絕緣破壞機構의 解析이 期待되고 있다.

4. 平等電界와 不平等電界

氣體 液體 및 固體의 絕緣破壞理論은 平等電界의 경우가 많다. 鳥山⁽¹⁹⁾는 氣體의 絕緣破壞의 理論的 解析은 平等電界 및 不平等電界로 나누어 생각하며 不平等電界의 경우 針電極正 및 針電極負의 두개로 나누어 生覺할 것을 力說한다. 即 正放電과 負放電에서는 그 機構가 相當히 다르며 이것은 氣體의 경우만이 아니고 液體 및 固體의 경우에도 같다고 한다. 液體絕緣物에 對하여 正負의 放電機構가 크게 다르다는 것은 正負의 放電의 差는 所謂 불꽃放電前의 現象에 關해서 說明하면 좋으며 油中の 沿面放電을 電荷圓形을 利用하여 研究한 結果에 依하면 正放電에 있어서의 이 殘留正電荷 때문에 放電의 先端의 電界의 세기가 크게되어 放電은 進展하기 쉬우나 이에 反해 負放電의 경우는 殘留하는 正電荷 때문에 放電의 先端의 電界의 세기는 적게되어 放電은 正放電같이 進展하지 않는다. 또 鳥山 등⁽²⁰⁾,⁽²¹⁾은 正負의 沿面放電의 差를 研究한 바 이에 依하면 負의 沿面放電은 絕緣板의 表面에 密着하여 下方에 끌리면서 進行하기 때문에 表面에 있는 小溝에 落下하여 放電은 消滅하나 正放電은 下方에 그리 끌리지 않음으로 小溝의 影響을 받는 일이 적다. 뿐만아니라 森川⁽²²⁾도 油中에 있어서의 前驅放電의 光學的 研究도 正負의 放電의 機構의 相異함을 示唆하고 있다. 以上과 같이 鳥山은 不平等電界에 있어서 正負의 放電機構가 相異하여 液體絕緣物의 破壞理論에 對하여서는 平等電界 不平等電界(正 및 負)의 3部分으로 나누어 論하지 않으면 안된다고 말하고 있다.

5. 電極의 處理에 依한 影響

電極處理의 條件에 따라 液體誘電體의 破壞電壓이 變化하는 것은 既히 알려진 事實이다⁽²¹⁾. fig 1은 變壓器油中の 電極間에 衝擊電壓을 印加한 경우의 破壞回數와 絶緣破壞의 세기의 關係를 나타내고 있다⁽²³⁾. 即 最初의 數回의 電壓印加에 依하여 絶緣破壞의 세기가 480KV/cm에서 750KV/cm으로 上昇하여 10回 以上이 되면 減少하고 있다.

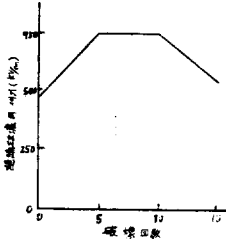


Fig 1. 變壓器油의 破壞圖數와 絶緣破壞의 세기의 關係

다. Watson⁽²⁴⁾ 등은 變壓器油를 使用한 경우 電極을 脫 gas하면 破壞電壓이 100% 增加한다는 事實을 밝혀냈다. 이 事實에서 보아 이 初期에 있어서의 絶緣破壞의 上昇을 電極間에 電壓을 印加하므로써 電極에 吸收되어 있는 gas가 除去된 것을 意味하고 있다.

Maksiejewski⁽²⁵⁾ 는 n-Hexane을 使用하여 種種의 電極材料에 關해서 破壞電壓을 測定하여 電極 및 液體를 脫 gas하지 않는 때의 破壞電壓은 表 1(a)와 같이

표 1. 脫gas電極과 絶緣破壞의 세기의 關係⁽²⁵⁾

(a) 電極 및 液體를 脫gas하지 않을 때의 絶緣破壞의 세기

電極材料	絶緣破壞의 세기			標準偏差 kV/cm	偏差率 (%)
	平板 kV/cm	最 小 kV/cm	最 大 kV/cm		
Ag	676	486	912	116	17.2
Pt	737	560	872	90	12.0
Al	756	576	992	76	10.0
Cr	791	584	952	93	11.5
Cu	814	527	972	120	14.7
Fe	853	486	993	118	13.9
Ni	873	592	1,012	64	7.3

(b) 電極 및 液體를 脫gas할 때의 絶緣破壞의 세기

電極材料	絶緣破壞의 세기			標準偏差 kV/cm	偏差率 (%)
	平板 kV/cm	最 小 kV/cm	最 大 kV/cm		
Cr	899	673	1,093	94	10.4
Fe	872	754 (486)	952	57	6.5
Ag	826	576 (397)	1,013	110	13.3
Cu	823	576	972	89	10.8

電極材料에 따라 相異하나 電極表面이 脫 gas하면 破壞電壓은 表 1(b)와 같이 電極의 種類에 無關係임을 나타낸다. 또 液體絶緣物을 空氣中에 曝露할 때 時間의 經過와 더불어 破壞電壓이 減少하나 이것은 液體中에 溶解된 空氣나 電極表面의 酸化등과 더불어 電極에 吸收되어 있는 gas의 影響이라고 생각된다^{(26),(27)}.

6. 電極材料의 影響

Sorge, Inge, Walter, Nikuradse 등이 여러 金屬材料의 여러 가지 破壞電壓을 測定하였는데 Sorge⁽²⁸⁾의 測定結果에 依하면 絶緣破壞의 세기의 크기의 順序는 Ag > Zn > Cu > Fe 順이다. Nikuradse는 破壞前 電流의 크기의 順序의 逆이 되는 것을 認定하여 또 Edler, Inge, Walter 등은 熱傳導率의 大小에 關係하는 것으로 생각하였다. 島山, 平野⁽²⁹⁾는 電極의 gas 吸着能의 順序 即 金屬分子의 磁氣係數에 密接한 關係가 있는 것으로 보아 Fe > Ni > Al > Cu > Zn > Ag > Bi 關係를 말하였다. Lewis⁽¹⁰⁾는 n-Hexane 中の 針對平板 電極配置에 있어서 fig 2와 같은 結果를 얻었다. 即 針電極이 負極性的인 경우는 破壞電壓은 電極材料에 無關係이

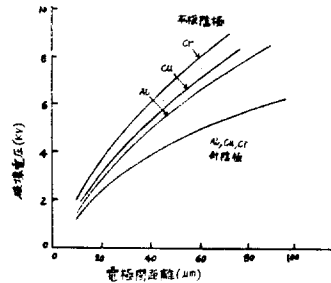


Fig 2. 陰極材料과 破壞電壓의 關係(針對平板)

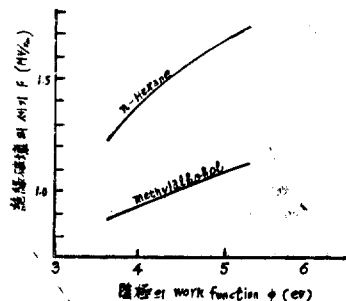


Fig 3. 陰極의 work와 絶緣破壞의 세기의 關係

나 平板電極이 陰極이 되었을 때는 電極材料에 依하여 相異하며 破壞電壓은 陰極材料에 따라 相異함을 나타내고 있다. Goodain⁽⁹⁾ 등은 陰極의 材料(즉 work function)에 따라 破壞電壓이 相異함을 實驗的으로 證明

하여 fig 3과 같이 破壞電壓이 上昇하고 있음을 보여 주고 있다. 이것은 球球-電極配置에 pulse幅 0.2~20us의 方形波電壓을 印加하여 oscilcope에 依해 測定한 結果이다. 그런데 Salvage⁽³⁰⁾는 直流電壓을 使用하여 같은 結果를 얻었다. 또 杉田·佐藤⁽³¹⁾의 實驗에 依하면 純度 높은 油中球一球(直徑 18mm) 電極構成에서 電壓-電流特性을 調査한바 fig 4와 같이 電極材料(脫gas하지 않음)에 따라 特性이 相違함이 明白히 되었다.

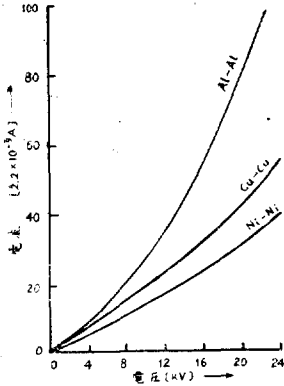


Fig 4. 電極材料에 依한 電壓電流特性(電極 gap mm)

다. 그리고 Edwards⁽³²⁾는 4鹽化炭素 및 Benjen에 關해 實驗하여 靑銅 電極인 때 1.57MV/cm였든 것이 絶緣破壞의 세기가 銀에서는 1.68, 鐵은 1.82MV/cm가 되어 Fe>Ag>Bronze인關係가 成立하여 陰極材料의 重要性을 말해 주고 있다.

한편 Hancox^{(23),(23)} 등은 變壓器油에 關해서 pulse電壓을 印加하므로서 表 2와 같이 絶緣破壞의 세기가 陽極材料에 依하여도 變하는 것을 말하였다. 그러나 Maksiejewski⁽²⁵⁾ 등은 電極을 脫gas하지 않을 때 表 1(b)에 나타난 바와 같이 n-Hexane의 破壞의 세기가 電極材料에 따라 變함을 實驗적으로 究明하여 光電子放出의 work function과 破壞電壓은 直接關係가 없다고 主張하였다.

생각컨대 電極表面에 脫gas 등의 處理를 充分히 行할 때 Goodwin⁽⁹⁾ 등이 말한바와 같이 陰極材料에 依存하는 것은 생각되거나 이것이 空間電荷의 作用과 어느 쪽이 破壞電壓의 減少增大에 必要한가가 重要한 일이다. Sugita⁽³¹⁾의 研究에 依하면 電極을 脫gas하지 않는 경우도 破壞前電流는 電極의 work function의 增加와 더불어 減少하고 있으며 破壞電壓과 work function과의 關連을 暗示하여 주고 있다.

Ward⁽³⁴⁾는 陰極表面에 酸化膜을 使用한 경우 n-Hexane中的 破壞의 세기가 0.8MV/cm로 增大하는 것을 實驗적으로 나타내어 酸化時間에 따라 peak破壞電壓이 생기는 것을 實證하였다. 이런 點에서 陰極表面의 酸化膜이 陰極에서의 電子放出을 妨害하는 일을 하고 있지 않느냐 하고 생각케 되는 것이다. Sakr⁽²⁷⁾는 電極表面의 酸化現象이 破壞에 크게 作用한다고 生覺하여 Stainless-Steel, Pt, Aluminium 등을 電極으로하여 破

表 2. 陽極材料와 絶緣破壞의 세기⁽²⁷⁾

陰 極		陽 極		絶緣破壞의 세기 (MV cm ⁻¹)
材 料	OP (min)	材 料	OP (min)	
스텐레스鋼	0	스텐레스鋼	0	1.53
	0	金	0	0.680
	30	스텐레스鋼	30	1.420
	30	아루미늄	30	1.01
아 루 미 늬	30	스텐레스鋼	30	1.33
	30	아루미늄	30	1.00

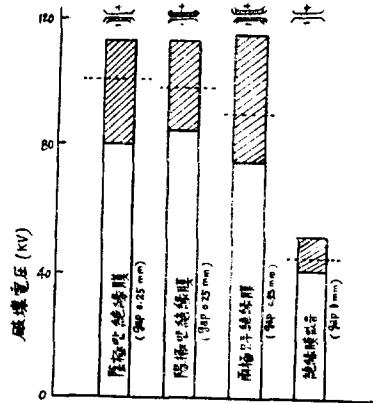


Fig 5. 電極表面에 얇은 絶緣膜(두께 0.25mm)를 配置한 때의 絶緣油의 破壞電壓의 變化⁽³⁵⁾

壞電壓을 測定하였다. 그 結果는 表 2와 같다.

Zaky⁽³⁵⁾ 등은 電極表面을 0.25mm의 polyester膜으로 싸고 表 3과 같이 變壓器油의 破壞電壓이 膜의 有無에 따라 變化하는 結果를 얻었다. 即 fig 5에서 볼수있는 바와 같이 膜으로 電極을 카바 할때의 破壞電壓은 카바하지 않을 때의 그것보다도 3배도 더 크다는 것을 알수 있다. 이 點에서 空間電荷에 依한 電界의 歪度가 破壞電壓을 크게 左右하고 있다고 結論 지을수 있다.

7. 電極形狀 및 配置에 依한 影響

電極의 形狀 및 크기에 따라 破壞의 세기가 變化하는 것은 極히 報告되어 있다⁽²⁸⁾. 一般으로 平板電極에서는 球電極보다도 破壞의 세기는 低下한다.

fig 6은 球의 曲率半徑을 增加할때 破壞의 세기가 低下하는 것을 나타낸 것이다. Weber⁽³⁶⁾는 電極의 크기에 따라 破壞電壓이 減少하는 關係式을 導入하였다. 即

$$E_1 - E_2 = \frac{S_E}{\sigma_N} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

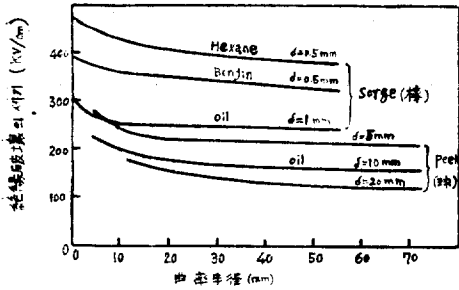


Fig 6. 絶緣破壊의 세기에 미치는 電極形狀의 영향

여기서 E 는 絶緣破壊의 세기, A 는 電極의 表面積, S_E 는 N 회測定한 破壞電壓值의 偏差 σ_N 는 N 단의 函數이다. Rogoski電極을 使用하여 測定한 變壓器油의 破壞電壓은 電極面積과 더불어 減少하는 結果를 얻었다⁽³⁶⁾. 그리고 이 實驗値는 上式에 立脚한 理論値와도 잘 一致하고 있다.

Nikolopoulos⁽³⁷⁾는 針對平板電極에 있어서 針光의 半徑과 絶緣破壊의 세기와의 關係를 測定하였다 fig 7은 針端의 半徑을 0.1 1.25 2.50mm로 할 때의 電極間距離에 對한 破壞의 세기를 나타내었다. 卽 電極

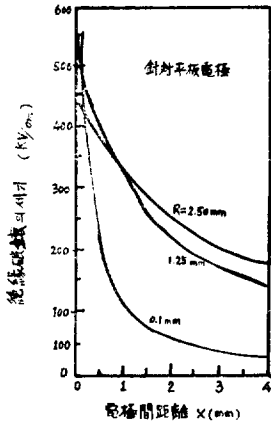


Fig 7. 針對平板電極配置에 있어서의 針電極光端의 半徑 R 와 絶緣破壊의 세기의 關係

gap의 길이 가 큰 때는 針端의 半徑 R 가 적을수록 破壞電壓은 적게 되지만 電極 gap의 길이 가 적게 되면 逆으로 R 가 크게 되는 쪽이 破壞電壓이 내려가 上述한 것과 같은 結果를 얻고 있다⁽³⁶⁾. 電極의 形狀에 關해서 問題가 되는 것은 効性效果이다.

Nikolopoulos⁽³⁸⁾은 針對針, 針對平板電極의 경우 絶緣油에 對해서 電極配置에 있어서의 破壞電壓과 電極間距離에 따르는 極性效果特性을 얻었다. 卽 針對平板電極의 경우 針을 正極으로 할 때의 破壞値는 針을 負

極으로 할 때의 그것보다 낮으며 針對針電極의 경우도 같은 傾向을 나타내지만 gap의 길이 가 100mm近處에 가까우면 接地側 電極의 形狀에 關係없이 負電壓을 印加할 때의 破壞電壓이 正電壓일 때의 그것보다 높다는 것을 밝혔다. 더욱이 電極 gap가 140mm以上이 되면 針對針, 針對平板電極의 破壞電壓이 一致하여 接地側 電極의 形狀은 破壞電壓을 決定하는 要因이 되지 않음을 實證하였는데 이에 對해 Lewis는 n-Hexane에 對하여 行한 實驗結果에서 針對平板에 있어서의 針電極을 負로 할 때의 破壞電壓은 正極性으로 할 때의 그것보다 적게 되는 것을 報告⁽²¹⁾하고 있다.

8. 結 言

以上에서 말한바와 같이 液體絶緣物의 破壞電壓은 電極效果 以外에도 液體의 不純物·溫度·壓力·印加電壓의 上昇速度 印加時間 및 周波數에 依해 크게 影響을 받는다. 特히 電極效果 卽 電極의 處理와 材料 및 形狀과 配置等에 依한 綜合的인 것을 調査하여 破壞電壓에 미치는 影響을 보면 다음과 같다.

一般으로 液體絶緣物의 破壞試驗을 보건데 電極의 材料가 다르면 破壞電壓이 變한다는 것은 一應 電極材料의 熱傳導度에 依하는 것이라고 生覺되는데 Nikuradse와 Sorge의 實驗을 檢討하건데 破壞電壓의 相違는 電極材料의 熱傳導에 依한다고 簡單히 生覺할 수는 없다. 여러가지 電極材料를 使用하여 여러 金屬을 電着시켜 그 表面狀態를 變化시켜 破壞電壓을 測定한 結果 電極材料의 gas吸着率이 큰 것일수록 破壞電壓이 가장 낮으며 金屬의 吸着率의 順序는 金屬分子의 磁氣係數와 密接한 關係가 있다. 따라서 電極을 充分히 脫gas하여 充分히 純度 높은 絶緣油를 使用한 경우 破壞電壓은 電極材料에 依한 差가 거의 없으며 溫度의 變化에 對해서도 一定하며 단지 100°C 以上이 될 때 若干 내려갈 뿐이다. 그러나 Goodwin이나 Macfadyen의 研究結果 純度 높은 絶緣油의 破壞電壓은 陰極의 work function에 依해 左右되며 이런 點에서 電極 및 液體를 充分히 脫gas한 경우 破壞가 純然的으로 되는 條件下에서는 陰極材料의 熱傳導率이 破壞電壓을 定하는 한 要因이 될 것이나 破壞가 pulse電壓과 같은 純電氣的으로 行할 때는 陰極物質이 오로지 電子放出의 work function과 關係하고 있는 것이다.

要컨대 液體誘電體의 絶緣破壞에 關한 理論은 氣體中의 그것과 달라 影響을 미치는 因子가 많고 物性論의 立場에서도 液體의 分子構造가 複雜하기 때문에 決定的인 立場이 確立되어 있지 않을 뿐만 아니라 破壞現象과 密接한 關係에 있는 破壞前機構에 對해서도 從來

많은 研究가 進行되어 왔으나 아직 系統的인 定立狀態에 이르지 못하고 있어 더욱이 近年 低溫 및 極低溫에 서의 液體의 絕緣破壞機構의 研究가 活潑함과 더불어 앞으로 期待되고 있다.

參 考 文 獻

- (1) Lewis, T.J.: Proc. Inst. Elect. Engrs, Vol. 100, 112, p.141 (1953)
- (2) Whitehead, S.: Electrical Discharges in Liquids; Delectric Phenomena II (1928) London, Benn.
- (3) Nikuradse, A.: Das Flussige Dielektrikum (1934) Berlin, Springer.
- (4) Sharbaugh, A.H. & Watson, P.K.: Progress in Dielectrics, 4, p.199 (1962) Heywood, London.
- (5) von Hippel, A.: J. Appl. Phys., Vol. 8, p.815 (1937)
- (6) Fowler, R.H. & Nordheim, L.: Proc. Roy. Soc., Vol. A117, p.173 (1928)
- (7)鈴木・藤岡: 電學誌, Vol. 61, p.226 (1941)
- (8) Edwards, W.D.: Canad. J. Phys., Vol. 29, p.310 (1951)
- (9) Goodwin, D.W. & Macfadyen, K.A.: Proc. Phys. Soc., Vol. B66, p.85 (1953)
- (10) Lewis, J.T.: J. Appl. Phys., Vol. 27, p.645 (1956)
- (11) Race, H.H.: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs, Vol. 59, p.730 (1940)
- (12) Darveniza, M.: Nature, Vol. 200, p.558 (1963)
- (13) Dakin, T.W. & Berg, D.: Nature, Lond., Vol. 184, p.120 (1959)
- (14) Kao, K.C.: J. Elect. Chem. Soc., Vol. 108, p.552 (1961)
- (15) Krasuchi, Z.: Proc. Roy. Soc., Vol. A294, 393 (1966)
- (16) 鳥山: 電氣絕緣論(1935)共立社.
- (17) Murphy, E.J.: Brit. J. Phys. D., Vol. 3, p.917 (1970)
- (18) Kao, K.C. & McMath, J.P.C.: IEEE, Trans. on Elect. Insulation, Vol EI-5, p.64 (1970)
- (19) 鳥山: 電學誌, Vol. 87, p.1625 (1967)
- (20) 鳥山岸田佐藤: 1971連大, No.217.
- (21) 岸田佐藤・鳥山: 電氣學會論文誌 [A], Vol.92, No.5, p.246 (1972)
- (22) 森川: 電氣電會論文誌[A], Vol.92, No.1, p.27 (1972)
- (23) Hancox, R. & Tropper, H.: The Institution of Electrical Engineers Paper, No.2408M, p. 250 (1957)
- (24) Waston, P.K. & Highman: Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 100, Pt. II (a), p.163(1953)
- (25) Maksiejewski, J.L. & Tropper, H.: Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol.101 Pt. II, p.183 (1954)
- (26) Swan, D.W. & Lewis, T.J.: J. Elect. Chem. Soc., Vol.107, p.180 (1960)
- (27) Sakr, M.M. & Gallagher, T.J.: Brit. J. Appl. Phys., Vol. 15, p.647 (1964)
- (28) Sorge, J.: Arch. Elektrotech. Vol.13, p.189 (1924)
- (29) 平野: 電氣學會論文誌 Vol. 4, p.193 (1943); Vol. 5, p.389 (1944) 平野: 電氣電會誌 Vol. 63, p.463 (1943)
- (30) Salvage, B.: Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 98, Pt. IV, p.15 (1951)
- (31) Sugita, K., Sato, T. & Toriyama, Y.: Brit. J. Appl. Phys., Vol.11, p.539 (1960)
- (32) Edward, W.D.: Canad. J. Phys., Vol.29, p. 310 (1951)
- (33) Hancox, R.: Nature, Vol. 178, p.1305 (1956); Brit. J. Appl. Phys., Vol.8, p.476 (1957)
- (34) Ward, B.W. & Lewis, T.J.: Brit. J. Appl. Phys., Vol.14, p.368 (1963)
- (35) Zaky, A.A., Eldine, M.E. Zein & Hawley, R.: Nature, Vol.202, p.687 (1964)
- (36) Weber, K.H. & Endicott, H.S.: Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol.104, p.542 (1957)
- (37) Nikolopoulos, p.: Elektrotech. Z(ETZ), Bd. 87, p.239 (1966)
- (38) Nikolopoulos, p.: Bull. Schw. Eleck. Vero, Vol. 57, p.565 (1966)