

架橋폴리에틸렌의 內部放電効果에 依한 絶緣破壞特性

論 文
27~6~6

A Study on the Breakdown Characteristics in Cross-linked Polyethylene by Treeing Effect

郭 永 淳* 李 梁 成** 曹 井 守***
(Young Soon Kwak, Yang Sung Lee, Chung Soo Cho)

Abstract

This paper reveals the results of fundamental experiments with the breakdown strength- and treeing phenomena, by A.C voltage and impulse voltage, of cross-linked polyethylene insulator, respectively compared in each case of the various specimens; nonvoid, air void, water void, oil void and oil impregnated one, all articially made.

In this research, the $V-t$ and $V-n$ characteristics are investigated by means of the Weibull distribution and are analysed the characteristics of fatigue breakdown caused by the A.C and impulse voltage.

Based on numerous tests, treeing effect and treeing breakdown mechanism is investigated through microscopic photographs taken to clarify the shapes of each tree and treeing breakdown phenomena.

1. 緒 論

케이블의 絶緣階級 向上을 위하여 問題로 되는 것은 製作時 發生되는 絶緣體中の 보이드 및 크랙內에서의 部分放電에 依한 絶緣破壞現象이다. 이 部分放電에 依한 劣化現象은 보이드에서 treeing이 進展하여 絶緣破壞가 된다는 事實이 많은 研究者들에 依하여 여러方面으로 活發히 研究報告되어 왔다.¹⁻³⁾ 또 보이드 內의 氣中 tree에 對하여도 treeing 코로나 放電과 密接한 關係가 있으며, tree進展時 氣가 發生하고, 이에 따라 壓力이 높아져 tree가 伸張되기 어렵다는 것도 많은 實驗者에 依하여 認定되었다.⁵⁻⁶⁾

筆者등도 架橋폴리에틸렌 試料에 針狀보이드를 人工的으로 만들어 空氣, 물, 기름을 各各 注入한 것과,

試料을 絶緣油 속에서 加熱하여 絶緣油를 架橋폴리에틸렌 試料에 含浸시킨 것에 交流 或은 衝擊電壓을 印加하여 tree의 發生 및 全路破壞를 시켜 그 絶緣破壞現象을 觀察檢討하였다.

특히 water tree는 폴리에틸렌 絶緣케이블의 事故의 主要原因의 하나로 思料되며, 케이블의 浸水經年에 따라 일어날 수 있는 現象으로서 比較的 低電壓에서 破壞될 수 있다는 事實에서³⁾ 이러한 경우의 treeing現象 究明이 重要하다. 또 絶緣케이블의 絶緣階級 向上을 위한 한 試圖로서 oil void의 形成 및 絶緣體에의 絶緣油 含浸 등의 試料에 對한 絶緣破壞 및 treeing現象에 關한 實驗을 行하였다.

이들 實驗結果는 單純히 treeing破壞에 對한 機構究明을 위한 資料를 提供하는 것 뿐만 아니라, 高電壓의 絶緣케이블 設計 및 製作上的 基礎資料로서도 意義가 있는 것으로 思料된다.

2. 試料와 實驗方法

本實驗에 試料로서 使用된 것은 拒販 23kV 60mm²

* 正會員: 釜山大 工大 電氣工學科教授: 工博

** 正會員: " " "

*** 正會員: " " "

接受日字: 1978年10月5日

電力케이블에 使用된 絕緣體인 架橋폴리에틸렌으로서 22mm 길이로 切斷하여 그림 1과 같이 길이 方向으로 半分하고, 半導電層을 完全히 切削加工한 試片을 만들어 使用하였다. 本實驗에 使用한 針電極은 1號 木綿針으로 그 曲率半徑이 20 μ m, 길이 6cm 直徑 1.05mm이고, 平板電極은 直徑 5cm 두께 5mm의 黃銅圓板을 使用하여 接地하고, 그림 2와 같이 試驗片의 밑면은 鍍金하여 接地電極에 電氣적으로 密着시켜 針電極과 平板電極間의 間隔을 4mm로 하였다.

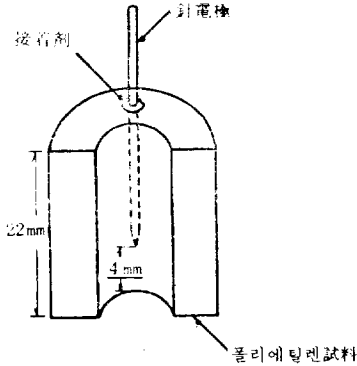


그림 1. 試料의 概形
Fig. 1. Schematic diagram of specimen

針電極의 試料內 挿入方法은 架橋폴리에틸렌 試料를 90°C로서 10分間 恒溫槽內에서 加熱하여 針電極을 挿入하고, 針電極이 挿入된 그대로를 常溫에서 서서히 冷却하였다.

人工的 보이드를 만드는 경우는 2號木綿針을 罫아 上記와 같이 한 後, 이것을 빼고 針電極(1號木綿針)을 挿入하고 針狀보이드의 長이가 400 μ m되게 하였다. oil

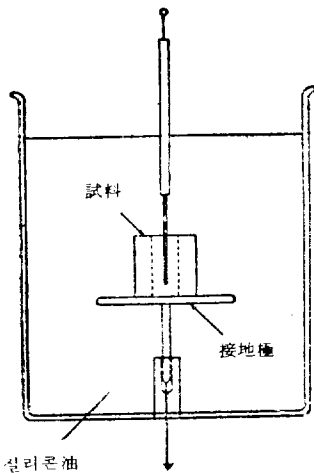


그림 2. 實驗裝置
Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus

void 및 water void를 만드는 경우는 빼낸 針孔에 注射器를 健用하여 絕緣油 或은 潤은 凝은 後 針電極을 挿入하였다.

絕緣油 含浸試料는 恒溫槽內에서 80°C의 絕緣油中에 3日間, 製作된 架橋폴리에틸렌 試料를 담구어 絕緣油가 自然含浸되게 하였다. 이때 絕緣油가 含浸된 試料는 含浸劑의 試料보다 그 무게가 15% 增加되었고 體積도 불어났으며, 따라서 針對 平板電極 間隔이 4.5 mm로 增大되었다.

또 試料에 電壓을 印加時 注入된 空氣, 絕緣油 或은 물의 外部 散逸을 防止하기 위하여 에폭시樹脂系 接着劑로서 그림 1과 같이 試料와 針幹部位를 完全 接着하였다. 또 試料는 실리콘 油槽속에 담구어 電壓印加時 沿面코로나 放電을 防止하였다.

實驗方法으로 正弦波 交流電壓 印加時는 50個의 試料를 샘플링하여 보이드가 없는 경우의 交流 瞬時破壞 電壓을 求하고, 破壞強度 E_c 의 平均值 E_A (9kV/mm)를 豫想破壞 스트레스로 定하고 이것을 基準으로하여 E_A 이하의 스트레스 레벨 SL_A 를 定하였다. 또 보이드가 없을때(none void)와 공기(air void), 絕緣油(oil void), 물(water void)을 各各 充填시킨 경우 및 絕緣油를 含浸시켰을 때의 各 試料群에 各各 同一 SL_A 의 交流電壓을 印加하여 破壞될 때 까지의 時間에 對한 頻度分布를 求하여 Weibull plot에 依하여 比較考察하였다.

또 上記의 各試料群에 對하여 $1 \times 40 \mu s$ 의 衝惠電壓을 絕緣破壞가 일어날 때까지 反復印加하여 階段昇壓法에 依한 豫想破壞電壓을 求하고, 破壞強度 E_S 를 算出하였다. E_S 의 平均值 E_B (36kV/mm)를 豫想破壞 스트레스로 하고 이것을 基準으로 하여 E_B 이하의 스트레스 레벨 SL_B 를 定하였다. 다음에 電壓이 印加된 各種 試料는 1.5~2.0mm 두께의 薄片으로 切斷하여 倍率 50倍의 顯微鏡을 使用하여 tree의 形狀을 觀察하고 initial tree 및 全路破壞된 狀態를 28倍의 顯微鏡을 使用하여 촬영하였으며 이에 따라 各種 現象에 應한 treeing 特性을 考察하였다.

3. 實驗結果와 考察

3.1 Weibull Plot¹⁰⁾에 依한 考察

그림 3 및 그림 4는 各試料群에 對한 交流電壓印加 時間 t 對 分布函數(累積破壞確率) $F(t)$ 의 Weibull plot이고, 그림 5 및 그림 6은 衝擊電壓 印加回數 對 分布函數(累積破壞確率) $F(n)$ 의 Weibull plot이다. 各 試料에 對하여 實驗結果에서 얻은 實測值를 平均強度 E_A , 或은 E_B 와 破壞까지의 時間 t 或은 電壓印加回

數에 대하여從軸에

$\log_e \log_e \frac{1}{1-F(t)}$ 或은 $\log_e \log_e \frac{1}{1-F(n)}$ 로 分布函數(累積破壞密度)를 取하고, 橫軸에 $\log_e t$ 或은 $\log_e n$ 을 取하여 確率變數로 하였다.¹⁰⁾

i) 各種 試料群의 V-t 特性

各種 試料에 60Hz 交流電壓을 印加하였을 때 보이드가 없는 경우나 絶緣油 含浸의 경우는 스트레스 레벨 0.9나 0.8의 경우 모두 摩耗의 劣化破壞로 나타났으나 air void, water void, oil void의 各 試料群은 複合型 Weibull 分布 或은 混合型 Weibull 分布 및 初期型 破壞로 나타났음이 特記할 만한 事實이다. 即 보이드가 없는 경우 및 絶緣油 含浸의 경우 스트레스 레벨 0.9 및 0.8의 範圍의 電界에서 摩耗의 劣化破壞로 表示되었다는 事實은 一般의 으로 架橋폴리에틸렌의 製造工程에 있어서 故障을 일으킬 만한 異常物質의 含有가 없

있고, 經年 劣化 即 電壓 印加時間의 經過에 따라 劣化가 蓄積되어 壞破가 일어났음을 뜻하는 것이다. 따라서 架橋폴리에틸렌에 絶緣油 含浸은 架橋폴리에틸렌의 高分子結晶에 아무런 變化를 주지 않고 安定된 狀態에서 浸透되었음을 나타낸다. 이에 反하여 air void, water void 或은 oil void 등의 경우는 보이드內의 物質들이 그 劣化의 進行에 影響을 미친다는 事實을 알 수 있다. 特히 스트레스 레벨 0.9의 경우에 있어서 air void 및 water void는 $m < 1$ 로서 缺陷에 의한 壞破分布인 完全 初期型 破壞로 나타났고 oil void의 경우는 $m < 1$ 과 $m > 1$ 의 混合型으로 되어 있어, 人工的으로 만든 보이드가 一般的으로 製造 課程에서 생긴 不良品을 試驗한 結果와 類似한 Weibull 分布로 表示되 있다.

以上的 各種 試料群의 破壞壽命을 摩耗의 劣化破壞 分布 만으로 比較하면 $S_L=0.9$ 및 $S_L=0.8$ 의 경우 다같이 絶緣油 含浸時가 가장 길고, 다음이 oil void, none void의 順으로 되고, water void 또는 air void 때가 가장 짧다. 여기서 絶緣油 含浸時의 破壞壽命이 가장 길게 나타났음은 絶緣油의 含浸이 絶緣體의 絶緣耐力 向上의 한가지 方案이 될 수 있음을 表示하는 것으로 思料된다.

ii) 各種 試料群의 V-n 特性

各種 試料群에 $1 \times 40 \mu s$ 衝擊電壓을 印加時 보이드가 없는 경우 및 絶緣油 含浸의 경우는 스트레스 레벨 및 0.9 및 0.8의 경우 모두 交流電壓 印加時와 같이 摩耗의 劣化破壞로 나타났으나, 그외의 試料群은 모두 複合型 Weibull plot로 나타났음이 特色이다. 即 人工的으로 air void를 만든 경우나 그 보이드에 물 或은 絶緣油로 充填하였을 경우는 複合型 Weibull plot로 나타났다. 이것은 衝擊電壓 印加回數의 變化에 따라 그 破壞의 樣相이 다름을 말하고 있다. initial tree의 形成後 어느程度의 tree의 進展課程에 이어서 보이드內의 空氣, 물, 絶緣油 등이 그 進展 및 破壞에 影響을 미치고 있음을 나타낸다.

衝擊電壓 印加時의 特記할 만한 事項은 交流電壓 印加時와 같이 絶緣油 含浸時의 破壞壽命이 가장 길고, 그림 5 및 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 絶緣破壞 分布가 交流電壓 印加時와 類似하다는 事實이다. 交流電壓 印加時나, 衝擊電壓 印加時나 架橋폴리에틸렌에 絶緣油 含浸時에 그 壽命이 가장 길게 나타났음은 架橋폴리에틸렌 結晶體內에 絶緣油가 分子狀態의 微細粒子로 存在하면 tree의 進展을 沮害하는 效果를 나타내어 絶緣耐力를 上昇시키는 作用을 함을 뜻한다. 이에 比하여 보이드에 絶緣油가 存在하는 경우 架橋폴리에틸렌內에 絶緣油가 콜로이드狀 即 에말존의 oil帶를 形

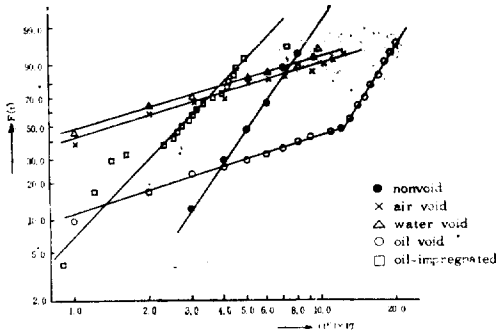


그림 3. t 對 $F(t)$ 의 Weibull plot ($S_L=0.9$)
Fig. 3. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$. ($S_L=0.9$)

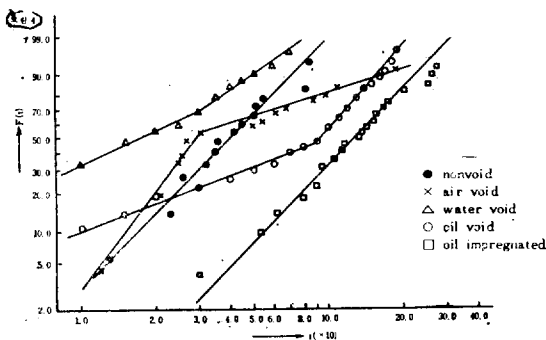


그림 4. t 對 $F(t)$ 의 Weibull plot ($S_L=0.8$)
Fig. 4. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$ ($S_L=0.8$)

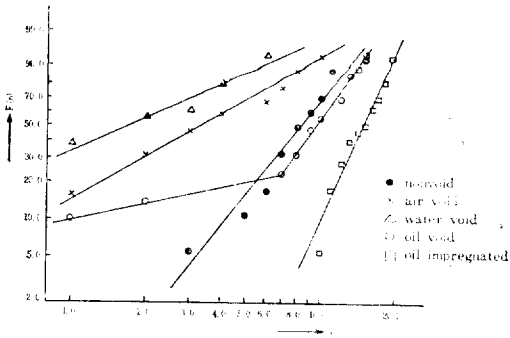


그림 5. n 對 $F(n)$ 의 Weibull plot ($S_L=0.9$)
 Fig. 5. Plot of the data on Weibull graph illustrating relation between n and $F(n)$. ($S_L=0.9$)

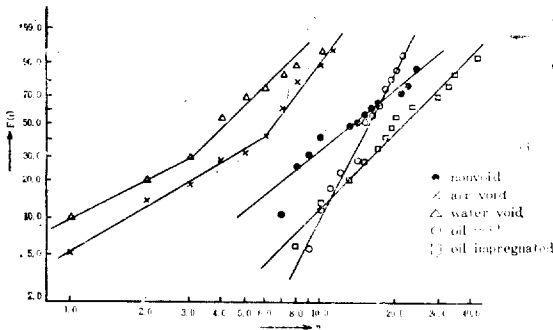


그림 6. n 對 $F(n)$ 의 Weibull plot ($S_L=0.8$)
 Fig. 6. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between n and $F(n)$. ($S_L=0.8$)

成한다. 이에 높은 電界가 形成되면 油中에서 코로나가 發生함에 따라 油分子가 縮合하여 粘度가 높아지며, H_2 가스를 發生하고 油壓이 높아지고 斷熱作用이 일어나 消弧效果가 豫想되나, 이에 後續하는 높은 電界는 繼續 코로나를 誘發한다. 이 경우 消弧限界를 넘어서 tree가 進展되면 매우 빨리 絶緣破壞가 일어날 수 있음도 생각할 수 있다. 卽 絶緣油 含浸時와 絶緣油를 보이드內에 注入한 경우에 Weibull 分布上 및 그 破壞壽命上에 있어서 顯著한 差異가 나타나고 있음은 固體 誘電體內에 油이 分子形態로 存在하느냐 콜로이드狀으로 存在하느냐에 의하여 決定됨을 表示하는 것으로 思料된다.

그림 3~그림 6에서 스트레스 레벨에 關係없이 破壞壽命이 가장 낮은 것은 water void 및 air void이나

특히 보이드內에 물의 存在는 코로나의 發生 및 tree의 進展을 돕는 役割을 하며 water tree가 絶緣耐力的 低下에 影響을 미침을 알 수 있다.

3.2. Treeing 形狀에 依한 考察

60Hz 正弦波交流電壓을 印加하여 架橋플리에틸렌試科內에서의 air void에서 發生된 tree (air tree), water void內에서 發生된 tree (water tree), void가 없을 때의 tree (nonvoid tree), oil void內에서 發生된 tree (oil tree) 및 絶緣油 含浸試科의 tree에 對하여 各各의 代表的 例를 그림 7~그림 11에 表示하였다. 그림 7은 nonvoid tree의 發生現象 및 nonvoid tree에 依한 全路破壞現象이고, 그림 8은 air tree의 發生現象 및 air tree에 依한 全路破壞現象이며, 그림 9는 water tree의 發生現象 및 water tree에 依한 全路破壞現象이고, 그림 10은 oil tree의 發生現象 및 이에 依한 treeing 破壞現象이다. 그림 11은 試科에 絶緣油 含浸性의 tree發生現象을 表示한 것이다. 이상의 實驗結果에서 觀察된 것은 모든 試科의 tree形狀이 Bush狀으로 나타났다. 또 高電界의 繼續의 維持에 따른 全量破壞로의 進展은 어느 것이나 分枝없이 伸張되었음이 其通의이다.

위의 觀察에서 tree發生機構를 다음과 같이 생각할 수 있다. nonvoid의 경우 針端近傍에 高電界가 形成되면 電界와 直角方向의 應力이 誘起되어 이 스트레스에 依한 void crack 등의 生成이 豫想되며, void crack 中에 眞性破壞強度에 相當하는 電界를 形成하는 코로나가 보이드尖端에 까지 點弧되면 尖端近傍은 局部破壞를 일으켜 顯微鏡으로서 觀察될 수 있는 Bush狀 tree가 確認되는 것으로 사료된다. tree의 進展機構로서 現在까지 알려진 바에 依하면 針電極에서 發生된 tree는 比較的 低電界에서도 서서히 進展하며 最後에는 兩導體間을 橋絡하게 된다. 本來 tree의 伸張에 關하여는 巨視的으로 보이드에서 發生된 放電 streamer가 tree의 最尖端 部分에 到達할 수 있느냐 없느냐에 따라 決定된다. 卽 放電 streamer가 tree의 最尖端 部分에 到達하면 電子衝突 및 熱的作用에 依한 破壞, 或은 streamer가 導電性이기 때문에 tree의 最尖端 部位에서 高電壓에 依한 眞性破壞 등이 일어날 수 있다. 따라서 treeing 絶緣破壞를 論할 경우 보이드 및 tree內에서 發生되는 放電 streamer의 伸長有無에 對하여 생각해야 할 것이다.²⁻⁶⁾ 따라서 void가 存在하는 경우에 있어서 放電 streamer가 tree의 最尖端部位에 到達할 수 없는 主要原因으로서 는 보이드內에서 어떠한 周圍條件에 依한 放電劣化 등이 생겨 電界緩和, 發生가스에 依한 보이드內의 壓力의 局部的 上昇, 或은 不均一性

으로 放電에 對한 抑制作用效果를 들 수 있다. 電壓印
 加時 針電極尖端이 高電界를 形成하면 가스壓이 上昇
 되어 放電이 停止되고 tree의 伸長이 停止된 것이다.
 따라서 새로 伸長된 tree의 尖端의 發生가스가 tree의
 계속 伸長 如否를 決定하리라는 것을 생각할 수 있다.
 그러므로 void가 存在하면 nonvoid에서 生成된 極히
 微細한 보이드 或은 crack에 比하여 壓力效果가 減少
 하여 tree가 伸長되기 쉽다라고 생각된다. 또 air void
 의 大小에 依한 tree의 伸長效果는 보이드가 微細한 範

圍內에서는 印加電壓의 上昇에 따라 보이드內 電界強
 度가 上昇하기 때문에 印加電壓의 크기에 따라 左右된
 다. 그러나 印加電壓이 一定할 경우는 一般的으로 void
 가 커짐에 따라 發生가스에 依한 壓力上昇은 減少되고
 高電界의 形成이 容易하여 쉽사리 tree가 伸長되리라
 豫想된다. 그런데 電界의 세기와 보이드의 크기와의
 相關關係가 tree의 伸長에 密接한 影響을 미치는 것으
 로 생각되어 앞으로 더욱 研究되어야 할 課額로 思料
 된다.

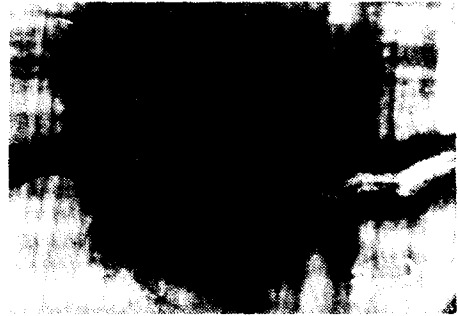
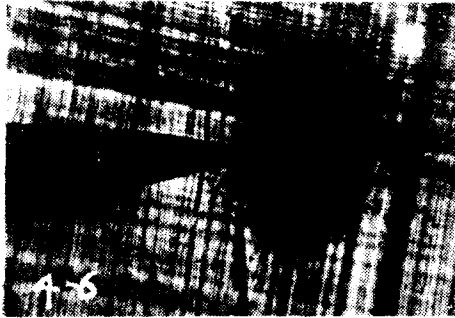


그림 7. 交流電壓 印加時 nonvoid 試料中에 觀察된 tree 및 treeing破壞

Fig. 7. Tree and treeing breakdown observed in a specimen subjected to an A.C voltage.

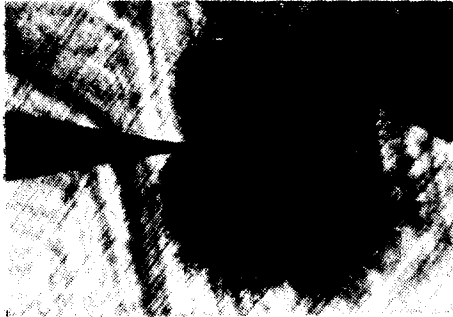


그림 8. 交流電壓 印加時 air void 試料中에 觀察된 tree 및 treeing 破壞

Fig. 8. Tree and treeing breakdown observed in a specimen with air void subjected to an A.C voltage.



그림 9. 交流電壓 印加時 water void 試料中에 觀察된 tree 및 treeing 破壞

Fig. 9. Tree and treeing breakdown observed in a specimen with water void subjected to an A.C voltage.



그림 10. 交流電壓 印加時 oil void 試料中에 觀察된 tree 및 treeing破壞

Fig. 10. Tree and treeing breakdown observed in a specimen with oil void subjected to an A.C voltage.

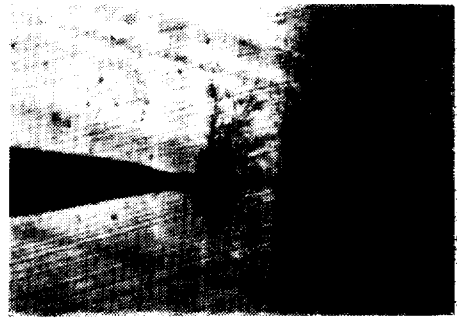


그림 11. 交流電壓 印加時 oil 合浸試料中에 觀察된 tree

Fig. 11. Tree observed in a oil-impregnated specimen subjected to an A.C voltage.

그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 air void의 경우가 가장 密한 Bush狀의 tree가 나타났다. 그러나 橋絡時는 nonvoid 및 air void가 모두 密한 Bush狀 tree로 나타나 있음은 nonvoid의 경우 tree의 伸長을 위하여 많은 勢力의 貯蓄이 必要한 것으로 보아진다.

Water tree의 破壞機構에 對하여는 다음과 같이 考察할 수 있다. 針電極 尖端과 같은 微細圓錐狀의 물에 高電界가 發生하면 이 部位에서 誘電破壞가 일어날 것이다. 따라서 crack等이 發生되면 容易하게 内部放電이 豫想된다. 即 void內의 물에 高電界가 形成됨에 따라 誘電熱 或은 Joule熱에 依하여 加熱될 수 있다.

結局 이는 微少量의 물을 含有하고 있는 針電極部位에 微少加熱領域이 發生되는 것으로 되어, 이 部位에서 water tree를 豫想할 수 있는 熱缺陷部位 或은 熱的損像部位를 透起하는 結果가 될 것이다. 또 部分的 加熱에 依하여 微少量의 물의 膨창을 생각할 수 있겠는데 이것은 針電極位의 crack을 誘發하는 原因이 될 수 있으며, 針電極尖端의 電界가 強해질수록 이때 發生되는 内部放電은 亦是 crack의 誘發을 促進할 것이다. 이들 모두가 water tree發生의 原因으로 思料된다 특히 void內의 물이 針狀으로 微細하게 存在하면 할수

록 電壓印加時 그 電氣의스트레스는 더욱 增大되어 tree의 發生은 容易하리라 思料된다. 그림 7~그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 어느 경우나 tree의 發生 및 橋絡의 形狀이 類似하나 water tree의 경우가 가장 疎하게 나타나 있음은 알 수 있다. 即 water tree의 경우 橋絡을 위한 tree의 伸長이 容易하게 이루어 질 수 있음을 나타내는 것으로 解析된다.

Oil tree의 破壞特性에 對하여는 針電極尖端의 微細部位 針狀油에 高電界가 發生하면 誘電劣化에 依한 crack을 豫想할 수 있고 따라서 内部放電이 豫想된다 即 void內의 絶緣油에 發生된 高電界에 依하여 極히 局部的으로 溫度上昇이 일어날 것이고 따라서 絶緣油의 熱的容解 或은 分解가 發生하리라는 것이 豫想된다 이 경우의 가스의 發生 및 應力의 局部的 上昇은 air void의 경우보다 훨씬 增大될 것임은 淸사리 判斷된다. 따라서 가스의 發生 및 壓力의 局部的 增大는 tree發生에 依한 放電의 效果 및 tree의 伸長效果에는 相當한 抑制作用으로 나타날 것이 豫想된다.

試料內에 絶緣油를 合浸시킨 경우의 treeing 破壞特性은 그림 10과 같이 Bush狀의 tree가 階段的으로 發生되어 있음은 觀察할 수 있다. 이는 tree의 進行課程

에 있어서 絶緣體格子內에 含浸된 oil分子가 tree伸長을 阻止하는데 作用함으로 tree伸長勢力이 減衰되어 다음의 tree伸長에 勢力의 貯蓄이 必要함을 表示하는 것으로 解析된다.

衝擊電壓에 依한 treeing破壞現象은 交流電壓印加時와는 顯著하게 다른 形狀으로 나타나고 있음은 그림 12~그림 15에서 알 수 있다. 衝擊電壓印加의 경우는 모두 많은 마디의 生成과 그의 連結로서, 橋絡으로 이어진 現象이고, 이 마디와 같은 部分에서 絶緣油를 含浸시킨 試料를 除外한 試料群에 있어서는 分岐가지의 發生이 觀察되었다.

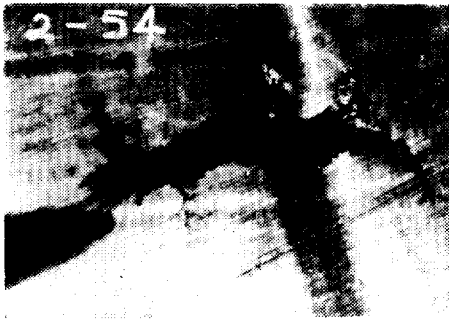


그림 12. 衝擊電壓 印加時 nonvoid 試料에 觀察된 treeing 破壞

Fig. 12. Treeing breakdown observed in a nonvoid specimen subjected to an impulse voltage.

이것은 電界의 形成이 短時間이고 또 高電界이며, 外部에서의 印加電壓이 衝擊的이고 되풀이하여 供給되므로 衝擊電壓을 印加할 때마다 荷電粒子가 放電路의 尖端 或은 마디部分으로 傳達되어 새로운 放電路가 生成되어 結局은 橋絡되게 되는 것으로 思料된다.



그림 13. 衝擊電壓 印加時 air void 試料에 觀察된 treeing 破壞

Fig. 13. Treeing breakdown observed in a specimen with air void subjected to an impulse voltage.



그림 14. 衝擊電壓 印加時 water void 試料에 觀察된 treeing 破壞

Fig. 14. Treeing breakdown observed in a specimen with water void subjected to an impulse voltage.

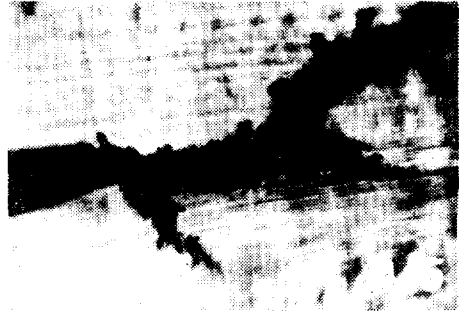


그림 15. 衝擊電壓 印加時 oil void 試料에 觀察된 treeing 破壞

Fig. 15. Treeing breakdown observed in a specimen with oil void subjected to an impulse voltage.

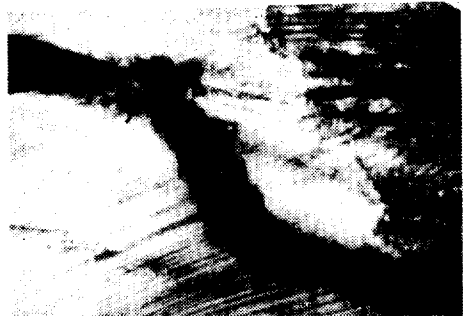


그림 16. 衝擊電壓 印加時 oil 含浸試料에 觀察된 treeing 破壞

Fig. 16. Treeing breakdown observed in a oil-impregnated specimen subjected to an impulse voltage.

衝擊電壓 印加에 있어서 絶緣油含浸 試料의 tree의 形狀에는 거의 分枝를 發見하지 못했다. 이는 위의 理論에서 미루어 볼 때 絶緣體內的 絶緣油의 分子의 存在가 分枝의 生成을 抑制하는 作用에 影響을 미치는 것이 아닌가 思料된다.

4. 結 論

以上 架橋폴리에틸렌 試料群에 商用周波數電壓 및 $1 \times 40 \mu s$ 衝擊電壓을 印加하여 各 試料群을 Weibull分布로서 劣化形態 및 壽命分布를 解析하고, 發生 tree의 形狀을 考察하여 各 試料群에 對한 破壞特性을 究明한 結果는 다음과 같다.

1. 商用周波數電壓을 印加時 nonvoid 및 絶緣油含浸試料의 Weibull 分布는 스트레스 레벨 0.9 및 0.8 모두 摩耗的 劣化破壞로 나타났으나 air void, water void 및 oil void의 試料群은 複合型 或은 混合型 Weibull分布 및 初期型破壞로 表示되었다.

2. 衝擊電壓 印加時 nonvoid 및 絶緣油를 含浸한 경우의 Weibull分布는 스트레스 레벨 0.9 및 0.8 모두 摩耗的 劣化破壞로 나타났으나, air void, water void 및 oil void의 試料群은 모두 複合型 Weibull分布로 表示되었다.

3. 交流電壓 및 衝擊電壓 印加時의 破壞壽命은 다같이 스트레스 레벨에 關係없이 絶緣油 含浸時가 가장 길고, 다음이 oil void 및 air void의 順으로 되고 water void 및 air void의 경우가 가장 짧은 것으로 나타났다.

4. 交流電壓 印加時의 tree의 形狀은 Bush 狀으로 나타났으며, 또한 tree의 伸長이 어느 것이나 分枝없이 進行되어 橋絡되었음이 觀察되었다.

5. 衝擊電壓 印加時의 tree의 形狀은 交流電壓 印加時와는 完全히 相異한 樣相으로서, 마디의 生成과 그의 連結로서 橋絡으로 이어졌으며, 絶緣油含浸試料는 分枝없이 橋絡되었음에 比하여 其他의 試料群에 있어서는 多少의 分枝의 發生이 觀察되었다.

以上の 結果에서 絶緣油含浸試料가 그외의 試料群과의 破壞特性에 있어서 差異가 있음을 알 수 있다. 이

것은 含浸된 絶緣油가 架橋폴리에틸렌 結晶體 格子內에 分子의 均一分布되어 Weibull分布에서 알 수 있는 바와 같이 初期的 或은 偶發的(故障的) 破壞가 아닌 摩耗的 劣化破壞로 나타나고, 破壞壽命도 nonvoid의 경우보다도 길어지고 따라서 絶緣耐力 向上에 이바지할 수 있는 것으로 思料된다. 이에 對하여는 oil의 種類, oil 含浸方法等 繼續된 研究가 必要한 것으로 생각한다.

參 考 文 獻

1. Sekii, Yoba : Deterioration by Treeing of Rubber and Plastic Insulated Cables Caused by Impulse Voltage. 1970. 11. 12 IEEE
2. McMahon, Perkins : Surface and Volume Phenomena in Dielectric Breakdown of Polyethylene. 1963. 2. 15 IEEE
3. Tanaka, Fukuda, Suzuki, Nitta, Goto, Kubota : Water trees in Cross-Linked Polyethylene Power Cable. 1973. 2. 12 IEEE
4. 宮下 : 폴리 에틸렌에 於ける 水中 Treeing 考察. 1970. 7. JIEEJ
5. Noto, Yosimura, Shibata : Growth and Forms of Tree in Polyethylene by Means of Intermittent Applied Voltage. 1973. 1. IEEJ
6. Kuto, Yamaguchi, Saito : Temperature Dependence of Tree Characteristics in Organic Insulating Materials. 1972. 4. IEEJ
7. 郭永淳 : 熱劣化된 폴리에틸렌 케이블의 衝擊電壓에 依한 破壞特性에 關한 研究 (I). 1975. 1. 大韓電氣學會誌
8. 郭永淳 : 熱劣化된 폴리에틸렌 케이블의 衝擊電壓에 依한 破壞特性에 關한 研究 (II). 1975. 5. 大韓電氣學會誌
9. 郭永淳 : Polyethylene의 空隙이 絶緣破壞에 미치는 影響. 1977. 5. 大韓電氣學會誌
10. 直壁 : 와이플 確率紙의 使用方. 1972. 11. 日本規格協會