

國產有機絕緣材料的 Treeing現象

論 文
26~2~1

Treeing Phenomena in the Home-made Solid Organic Insulating Materials

成 英 權* · 李 憲 用** · 李 啓 浩*** · 柳 基 漢****
 (Yung Kwon Sung, Heon Yong Lee, Kae Ho Lee, Ki Han You)

abstract

In order to investigate the influence of treeing on electric breakdown of solid organic insulator, the initiation and growing mechanism of tree itself, and the correlation between corona discharge and treeing phenomena in solid organic insulating materials, several experiments were carried out by means of needle test on polymethyl-methacrylate.

The obtained results showed that the existence of voids in specimen had important effects on initiation voltage of trees and, when the direct voltage was applied, the initiation voltage of trees increased by space charge effect.

And also the stagnation phenomena due to the transfer of vacancy cluster or polymer cage in specimen might be considered in process of growth of trees, and corona discharge seemed to be the pre-phenomena of treeing because trees were normally initiated by internal discharge in voids.

1. 序 論

最近에 눈부신 發展을 하고 있는 polyethylene, EPR(Ethylene Propylene rubber)등 電氣의 絕緣에 우수한 合成有機固體絕緣材料의 出現으로 高壓化된 電力機器의 絕緣技術의 向上에 많은 功헌을 하고 있다.

그러나 近來에 와서는 電氣機器 및 電力 cable이 高壓化 小型化로 나아감에 따라 過酷한 條件下에서 사용 되는 추세에 있어 각종 絕緣物에 放電劣化의 危險性이 증대해 가고 있다.

그中 특히 有機絕緣材料에 있어서 部分放電에 의한 劣化로서 Corona放電과 treeing現象이 주목을 끌고 있다.

특히 treeing現象은 D.W. Kitchin¹⁾이 PE케이블에서 實測한 以來 여러 선진국에서 그 對策에 부심하고 있는 상태이다.

그 이유로서는 treeing이 일단 發生하면 상당히 두

꺼운 絕緣物이라도 정지함이 없이 進展하여 電極間을 橋絡시켜 貫통破壞까지 도달하기 때문에 treeing發生이 곧 絕緣物의 壽命이라고도 할수 있기 때문이다. 따라서 treeing劣化에 강한 絕緣材料의 개발이 시급한 課題일 것이다.

이에는 treeing에 의한 劣化現象을 상세히 파악하고 그 機構를 究明함과 동시에 이를 바탕으로 材料配合, 構造設計, 安全제조법 및 抑制機構策을 수립해 나가야 한다.

지금까지 究明된 結果로는 treeing現象은 일종의 長時間破壞로 固體絕緣體의 內部 void등의 部分的 결합에서 미소氣中放電 또는 局部高電界의 存在로 因하여 發生되고 樹枝狀의 tree라 불리는 非導電性管²⁾이 部分的 破壞路가 되어 對電極에 도달하므로써 全路破壞가 일어나는 現象으로 보고 있다.

또 이와같은 treeing發生機構에 대해 Mason³⁾은 經時變化로 因해 생긴 部分放電 劣化에 의해 침식되어 생긴 pit狀의 구멍이 電界方向으로 進展하고 그 進展이 어느 정도 伸長하면 pit狀의 구멍 先端에 放電이 集中되어 高電界가 형성되므로 pit狀 구멍 先端의 電界가 그 材料의 眞性破壞値를 초과하므로써 tree가 發生하여 進展한다는 眞性破壞說로 설명하였고 Mc Mahon⁴⁾

* 正 會 員 : 高麗大學校 理工大學 教授(工博)

** 正 會 員 : " 大學院(博士課程)

*** 正 會 員 : 全南大學校 工科學 教授

正 會 員 : 忠州工專 電氣科 專任講師

**** 接受日字 : 1976年 12月 13日

은 局部電界에 의해 加速된 電子나 ion의 충격이 tree 發生의 주요한 原因이라고 說明하고 있다.

그러나 아직 treeing發生機構와 그 進展機構에 關係 根本的인 要因을 확실히 說明하지는 못하였고 단지 現象적 관찰만이 행해지고 있는 실정이다.

그 이유로서는 實用狀態에서 發生한 tree의 model 化가 곤란하고 또 treeing現象 그 自體가 여러가지 要因이 복합되어 일어나는 現象이기 때문이다.

현재 treeing現象의 電極 model로 가장 많이 사용되고 있는 것은 固體絶緣物中에 針電極을 삽입하므로서 針先端에 局部高電界를 模擬한 針電極法(needle test method)¹⁾에 의한 實驗方法이 가장 많이 이용되고 있다.

따라서 本 論文에서는 電力機器 絶緣으로 사용되고 있는 國產有機絶緣材料의 長期間 사용에서의 信賴性把握과 treeing現象이 有機絶緣體의 劣化 또는 破壞의 主因이라는 說 등을 確認하기 위해 市中에서 구입한 熱可塑性高分子中 無定形인 PMMA(polymethyl methacrylate)를 試料로 하여 針電極을 試料에 삽입한 needle test method에 의해 tree의 發生 및 그 進展상태와 void내에서의 corona放電과 treeing現象과의 關聯性 등을 追求하였다.

2. 試料 및 實驗方法

2-1. 試料

本 實驗에서 試料로 사용한 有機絶緣材料는 表面적 質이 크고 耐 arc性이 우수하므로 高電壓遮斷器 등의 機器絶緣에 사용되고 있는 PMMA(polymethyl methacrylate)로서 市中에서 구입한 國산재료이다.

그림 1에 PMMA의 構造式을 나타냈다.

PMMA의 光透明度는 Beckmann의 分光器를 통해 測정한바 大體로 약 92%로서 tree의 發生 및 進展상

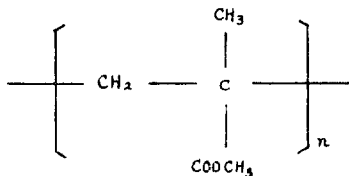


그림 1. PMMA의 構造式(n: 電合度)
Fig. 1 Structure of PMMA

태를 觀察하기가 용이하므로 試料로 選擇하였다.

이 PMMA를 needle test method¹⁾에 의해 針電極先端에 局部的인 結합을 모의하기 위해 그림 2와 같이 (15×5×30)mm의 block형으로 하고 針一平板電極을 사용하여 다음과 같은 試料作成法에 의해 實驗을 行하

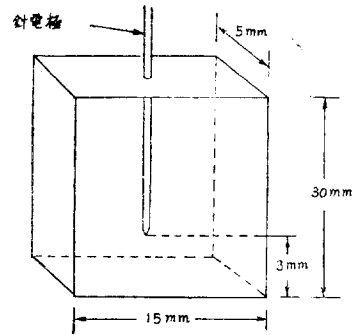


그림 2. 試料
Fig. 2. Specimen

였다.

室溫에서 試料에 針電極을 삽입하면 針先端이 부러 지거나 針端에 void가 생기기 쉬우므로 試料를 電氣爐 속에서 180°C로 10分間 加熱하여 軟하게 한 다음 針을 서서히 삽입하였다. 針插入후는 다시 190°C에서 약 30分間 熱處理시킨 다음 20°C/hour의 率로 徐冷하였다. 이때 試料가 冷却되어 굳어질 때까지 針에 일정한 힘(약 5kg/cm²)을 가하면(即 電極插入器) 針先端부근에 void가 거의 없는 상태의 試料를 제작할 수 있었으며 또 針을 빼었다가 다시 插入하므로서 일정한 형태 및 길이의 void(단 本實驗에서는 針狀 void길이는 0.1mm 이다)를 만들 수 있었다.

위에서 말한 void가 없는 상태라는 것은 50배정도의 顯미경에 의한 관찰로 void의 存在를 확인할 수 있다는 것을 의미한다.

2.2. 電極

이미 既述한 바와 같이 電極 model로서는 針一平板電極을 사용하였고 그림 3과 같이 平板電極을 接地시킨 直接接地方式²⁾을 擇하였다.

針電極은 市中에서 구입한 鐵鋼製의 바늘로서 길이 55mm, 直徑 1mm, 先端角度 30°, 針先端의 曲率半徑 20μm이하의 것을 選擇하였으며 平板電極으로는 直徑

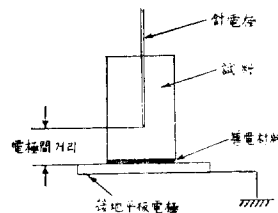


그림 3. 直接接地方式에 의한 電極配置
Fig. 3 Electrode arrangement by means of the direct grounding method.

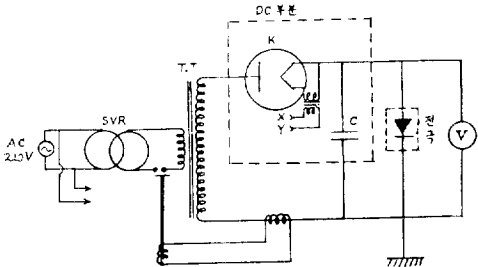
30mm, 두께 5mm의 원판 Brass를 사용하였다.

또 平板電極과 試料사이의 空隙(air gap)을 제거하기 위해 試料아래部分에 導電接着劑로서 silver paint를 塗布하여 平板電極에 부착시켰다.

2.3. 實驗方法

위에 열거한 방법의 의해 試料를 製作한 후 針—平板電極을 사용하여 다음과 같은 方法에 의해 實驗을 행하였다.

印加電源으로서는 試驗用變壓器(testing transformer)에 의한 60Hz交流전압과 Kenotron整流管에 의한 直流電壓을 사용하여 그림 4와 같은 測定回路에 의해 段階昇壓法 즉 最初印加電壓을 4kV 또는 6kV로 하고 5分 또는 10分 간격으로 2kV씩 단계적으로 昇壓하는



SVR: 전압조정기 T.T: 시험용변압기
K: Kenotron C: Condenser
V: 경전전압계

그림 4. 測定回路
Fig 4. Measurement circuit

방법을 취하여 印加電壓의 종류에 의한 tree發生電壓 (tree가 20 μ m진전했을 때의 印加電壓), 昇壓方法에 의한 tree發生電壓의 變化등을 實測하였고 일정電壓下에서의 印加시간에 의한 tree의 進展상황 등을 현미경에 의해 관찰하므로써 treeing現象이 有機絕緣體의 劣化 또는 破壞에 미치는 영향, treeing의 發生原因, treeing劣化壽命 推定등을 통해 treeing現象과 corona放電과의 關聯性 등을 追求하였다.

3. 實驗結果 및 理論的 考察

3.1. Tree의 發生

3.1.1 交流電壓 印加時의 tree發生電壓

間隙거리가 3mm인 針—平板電極을 사용하여 段階昇壓法으로 60Hz의 交流電壓을 印加하여 tree發生電壓을 測定하였다.

이때 段階昇壓法으로는 다음의 4가지 方法을 취하였다.

(i) 最初印加電壓 4kV, 5分간격으로 2kV씩 昇壓하는 方法

(ii) 最初印加電壓 4kV, 10分간격으로 2kV씩 昇壓하는 方法

(iii) 最初印加電壓 6kV, 5分간격으로 2kV씩 昇壓하는 方法

(iv) 最初印加電壓 6kV, 10分간격으로 2kV씩 昇壓하는 方法

위의 같은 단계昇壓法에 의해 구한 tree發生電壓은 그림 5, 그림 6과 같다. 그림 5는 針電極先端부분에 void가 存在하는 경우(void길이 0.1 \pm 0.05mm)이고 그림 6은 void가 없는 경우의 測定結果이다. 이때의

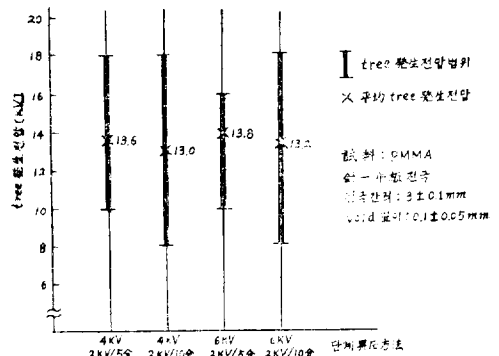


그림 5. 段階昇壓方法에 의한 tree發生전압(針先端에 針狀 void가 있는 경우)

Fig. 5. The starting voltage of trees (void)

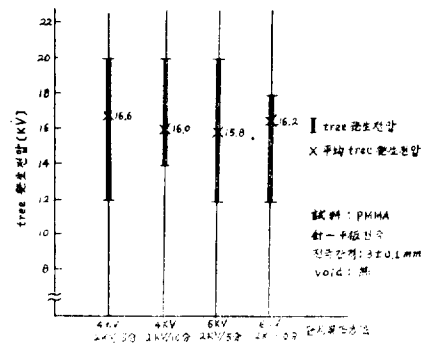


그림 6. 段階昇壓方法에 의한 tree發生전압(針先端에 void가 없는 경우)

Fig. 6 The starting voltage of trees (no void)

測定結果는 각 昇壓方法에 따라 試料 10개씩을 취하여 구한 平均 tree發生電壓이다.

또 그림 7은 針電極先端에 void가 있는 경우 印加電壓과 累積 tree發生率과의 關係를 각 昇壓方法에 따라 比較해 보기 위한 것이다.

그림 5, 그림 6, 그림 7에 나타난 바와 같이 tree發生電壓은 昇壓方法에 의해서는 別다른 차이나 나타나지 않았으나 void의 有無에 따라서는 현저한 차이를

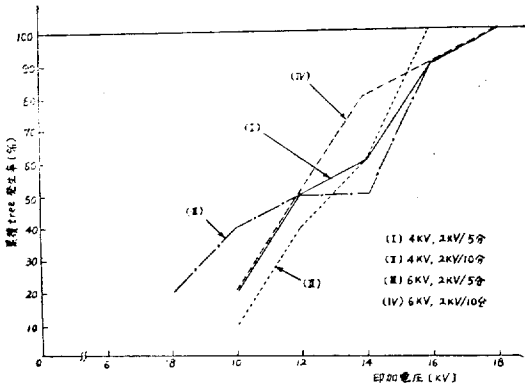


그림 7. 昇壓方法에 따른 累積 tree發生率의 比較(針先端에 void가 있는 경우)

Fig. 7. Tree generating ratio dependence of the voltage step-up

나타내고 있음을 알 수 있다.

즉 針電極先端에 針狀 void가 없는 경우가 있는 경우보다 tree發生電壓이 약 3kV높은 결과를 나타냈다.

이것은 void內에서 일어나는 部分放電이 treeing發生에 큰 영향을 미친다는⁶⁾ 것을 시사해 주는 것 같다.

즉 針狀 void가 있는 경우가 없는 경우에 비해 void內에서의 部分放電이 용이하게 發生되므로(이 경우 물론 void의 形狀, 크기, 깊이 등이 복잡하게 關與하겠으나 여기서는 圓錐針狀의 깊이 0.1mm)이 放電에 의해 供給된 에너지가 void벽의 어느 한 점에 집중하므로 因하여 그 部分에 局部的인 高電界가 形成되어 tree發生이 용이하게 되기 때문이라 생각된다.

이러한 推論은 針先端의 曲率半徑에 따른 tree發生電壓을 實測해 보면 그림 8에 나타낸 바와같이 針電極先端의 曲率半徑에 의해 현저하게 變化되어 즉 針先端

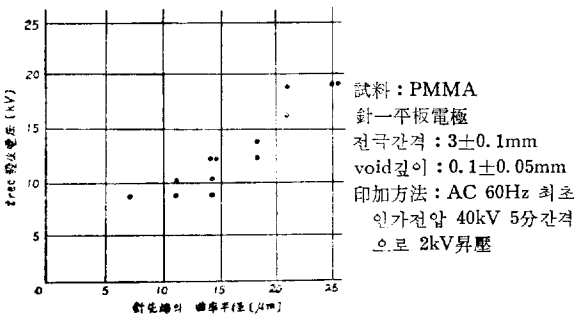


그림 8. tree發生電壓과 針端曲率半徑과의 관계

7Fig. 8 Relation between the starting voltage of trees and curvature radius of the tip of needle

曲率半徑이 적을수록 tree發生電壓이 低下되는 實測結果로도 局部的인 高電界가 treeing發生의 重要因子임을 시사하고 있는 것으로도 뒷받침된다.

그림 9와 같이 확대된 電極構造에서 針電極先端의 電界 $E^{(5)(6)(7)}$ 를 간단하게 표시하면 다음과 같이 된다.

$$E = \frac{2V}{2.3r \log\left(1 + \frac{4d}{r}\right)}$$

윗 식에서 V : 印加電壓

r : 針先端의

曲率半徑

d : 電極間거리

리

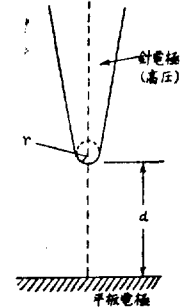


그림 9. 확대된 電極構造
Fig. 9. The expanded electrode arrangement

예를 들면 $d=3\text{mm}$, $r=20\mu\text{m}$, $V=10\text{kV}$ 라 하면 위의 식에 의해 針先端 바로 밑의 電界를 계산하면 $E=156[\text{kV/mm}]$ 로 되어 $1\mu\text{m}$ 의 void兩端에 걸리는 電壓은 156V로 이것은 PMMA등의 有機絶緣體의 眞性破壊를 일으키기에는 충분한 값이 되므로 tree가 發生되는 것 같다.

즉 Germer⁴⁾에 의하면 $1\mu\text{m}$ 이하의 空隙에서는 50~400V에서 放電이 일어난다는 實測結果로 미루어 볼 때 모순되지 않는다. 따라서 針電極先端에 어떤形態의 것이든 微小 void가 存在하면 void內 放電이 treeing發生의 主要因이 됨을 알 수 있다.

3.1.2 直流電壓 印加時의 tree發生電壓

앞절과 같이 間隙거리가 3mm밖의인 針-平板電極을 使用하여 直流電壓을 印加하므로써 針電極先端부근에 針狀 void가 있는 경우에 tree發生電壓의 分布를 각 昇壓方法에 의하여 試料를 5개씩 취해 實測한 結果 그림 10과 같은 分布를 얻었다.

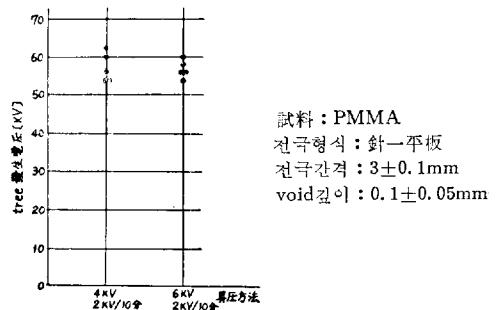
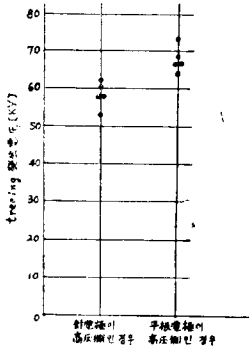


그림 10. 直流電壓印加時의 tree發生電壓

Fig. 10. The starting voltage of trees when DC voltage was applied.



試料 : PMMA
 전극형식 : 針-平板
 전극간격 : $3 \pm 0.1 \text{ mm}$
 void길이 : $0.1 \pm 0.05 \text{ mm}$
 昇壓方法 : 6kV, 2kV/5分

그림 11. 電極配置에 따른 tree發生電壓의 변화
 Fig. 11. The tree starting voltage dependence of electrode arrangement.

그림 11은 針電極에 高壓을 印加하고 平板電極을 接地시킨 경우와 反對로 平板電極에 高壓을 그리고 針電極을 接地시킨 경우의 tree發生電壓을 實測한 結果이다. 그림 11에 나타난 바와 같이 針電極이 高壓側인 경우가 平板電極이 高壓側인 경우에 비해 tree發生電壓이 낮다.

이것은 極性효과나 針-針電極間에서의 實測등도 고려해야 하나 追後에 미루기로 하고 일단 현 實測結果로는 高壓側이 針電極인 경우가 平板電極인 경우보다 電荷種類에 따른 散逸過程의 差異가 생기는 듯한 局部的인 高電界가 발생하기 쉽기 때문에 일어나는 現象인 것 같다.

또 그림 10에 나타난 實測結果를 보면 交流電壓印加時에 비해 直流電壓印加時的 tree發生電壓이 현저히 높다.

이것은 直流를 印加하는 경우 針電極先端에 發生하는 空間電荷效果(space charge effect)에 의해 電界가 緩和되므로 因하여 일어나는 現象이라는 事實을 확인할 수 있다.

3.2 Tree의 進展

Tree의 進展은 tree의 發生으로 因한 放電孔이 계속 放電의 先端이 되어 放電이 계속되므로서 tree가 伸張하는 現象을 말하며 이때의 tree는 그 先端部를 제외하고는 非導電性 管이라고 説明되고 있다.²⁾

그 tree進展機構로서는 void內的 氣體放電에 의해 tree先端部에만 放電의 集中으로 因한 高電界가 絕緣體의 眞性破壞를 일으키므로 放電에 의한 에너지가 電界에 의해 계속 先端部에만 주어지므로서 일어나는 現象⁷⁾ 또는 放電에 의해 加速된 電子나 ion이 tree先端部에 충돌하여 그 에너지를 tree先端部에만 줌으로서 일어나는 現象이라고 説明되고 따라서 tree의 進展速

도는 針先端部の 要件 즉 針先端의 曲率半徑, void의 형태, 發生가스 등에 의해 영향을 받게 된다.

本 論文에서는 一定한 交流電壓下에서 電壓印加時間에 의한 tree의 伸長速度와 進展하는 모양을 현미경에 의해 관찰하였다.

그림 12는 印加交流電壓이 각각 10kV, 12kV, 16kV인 경우 電壓印加時間에 의한 tree의 伸長을 나타낸것이다.

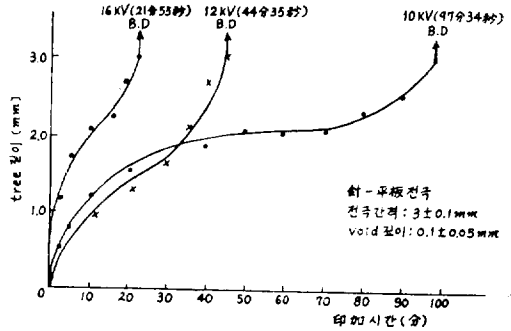


그림 12. 印加電壓과 tree伸張速度와의 관계
 Fig. 12. Relation between applied voltage and expansion of trees.

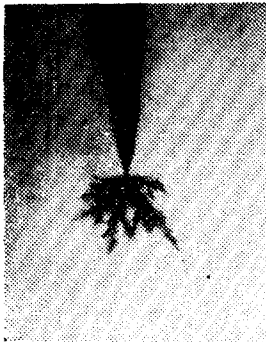
그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 印加電壓이 높을수록 貫通破壞까지의 시간은 단축되며 電壓을 印加한 初期에는 經過時間과 더불어 進展하나 時間이 얼마동안 경과한 후에는 一時 進展이 void放電에 의해 發生한 가스壓力증가 등의 內部壓力 또는 다른 因子에 의한 영향으로 因한 것 같은 停滯하는 領域이 생겨(여기에서의 停滯現象은 후에 說明)進展速度가 늦어지고 또 tree가 對電極에 도달하기 直前에는 다시 進展速度가 빨라져 全路貫通破壞에 이른다.

위와 같은 現象으로 tree의 進展이 어느 시간까지는 一定한 가지만이 進展하다가 어느 시간이 經過한 후에는 進展하던 가지가 정지되고 다른 가지가 進展하는 것 과같이 가지가 점차로 移轉되므로서 多數의 가지가 형성하게 되는 것이다.

이와같은 void有無에 의해 發生한 tree의 進展하는 形狀의 變化過程을 현미경으로 觀察해 보면 既報된 바와 같이 印加電壓의 大小에 의해 tree形狀이 변하는 것이 아니라 그림 13과 그림 14와 같이 tree發生電壓의 大小에 관계없이 針狀 void가 있는 경우는 나무가지 모양, void가 없는 경우는 둥근 해초 모양을 한다는 것을 確認하였다.

위의 두 형태에 대해 각각 60Hz, 10kV, 16kV의 1周正交流電壓下에서 印加電壓에 따른 形狀의 進展過程을 28배의 배율로서 현미경 사진촬영으로 통해보면 그림

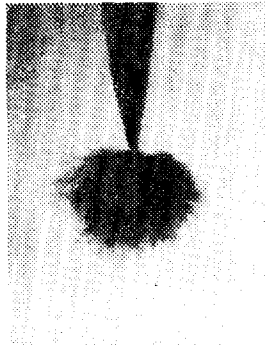
15, 그림 16과 같다.



인가전압 : 60Hz, 10kV AC,
전극간격 : 3.06mm
void길이 : 0.12mm
배율 : 28배

그림 13. 나무가지 모양의 tree

Fig. 13. Tree like a branch(void)



인가전압 : 60Hz, 12kV, 90분
전주간격 : 3.27mm
void: 無
배율 : 28배

그림 14. 둥근해초 모양의 tree

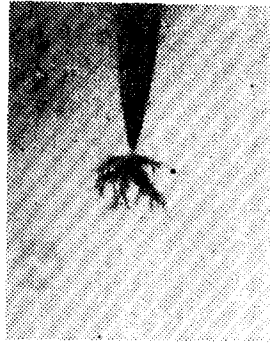
Fig. 14 Tree like a bush (no void)

그림 15, 16에서 아는바와 같이 印加時間에 따른 tree全體로서의 形狀進展過程은 다같이 長時間후도 비교적 類似한 경향을 보이고 있으나 void가 있는 경우가 tree分枝가 현저히 증가하여 絶보기로 큰 void를 형성한것과 等價인 樣相을 나타낸다. 즉 소위 treeing劣化→破壞過程을 거치나 void가 없는 경우에는 電極不整등으로 인한 局部的인 高電界로 인해 생긴 것으로 보여 같은 treeing現象이라도 形狀이 分枝되지 않는 둥근해초모양으로 계속 나타나 void放電→treeing劣化의 過程을 促進시키지 못하고 破壞前驅電界에서 바로 corona劣化에 의한 電界強度와 같은 値로 破壞에 이르는 소위 眞性 treeing現象이 나타나는 것 같다.

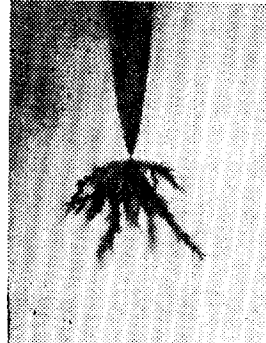
또 void가 있는 경우의 treeing劣化→破壞過程은 그 進展樣相으로 보아 전술한 바와 같이 tree가지 内部의 放電이 가지全體에 미치지 않고 어느 時間에 있어서는 特定한 가지(先驅 treeing가지)만에 集中되고 그放電은 잠시후에 後述하는 vacancy cluster나 高分子 cage의 移轉으로 인한 듯한 停滯現象이 나타나 곧 이어 다른 가지로 放電이 移轉되는 現象을 되풀이하므로



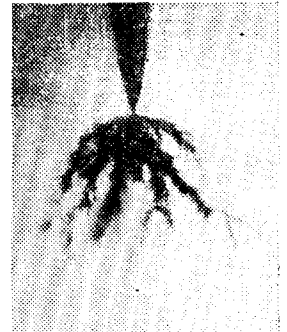
(a) 1分印加 0.25mm進展



(b) 1分30秒印加 0.39mm進展



(c) 10分印加 0.99mm進展



(d) 20分印加 1.40mm進展



(e) 30分印加 1.60mm進展



(f) 40分印加 1.91mm進展



(g) 50分印加 2.65mm進展

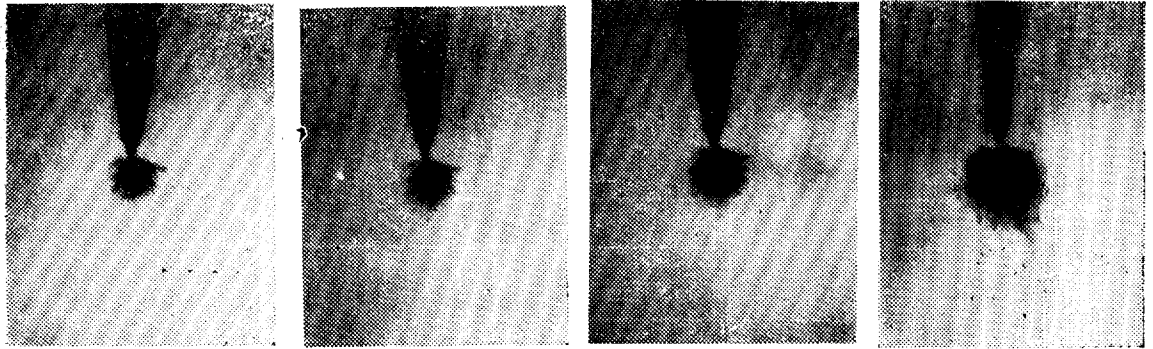


(h) 관동과피 97分 54秒

(인가전압 60Hz, 10kV AC, 전극간격 3.06mm, void 길이 0.12mm 배율 28배)

그림 15. 나무가지 形狀의 tree進展

Fig. 15. The expansion of tree like a branch



(a) 10分印加 0.28mm進展 (b) 20分印加 0.43mm進展 (c) 40分印加 0.45mm進展 (d) 120分印加 0.62mm進展
 인가전압: 60Hz 16kV AC, 전극간격: 3.03mm, void: 無, 배운 28배)

그림 16. 둥근해초 形狀의 tree進展

Fig. 16. The expansion of tree like a bush

서 對電極에 도달한다고 생각할 수 있을 것이다.

3.3. Corona放電과 treeing現象과의 關聯性

corona放電과 treeing현상과의 關聯性을 명확히 結論짓기에는 아직 data不尼이나 定性的으로는 다음과 같이 說明할 수 있다.

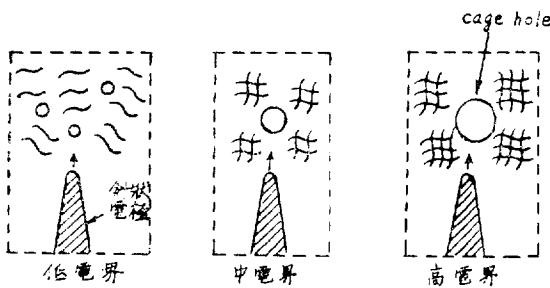
즉 treeing에 의한 劣化는 앞절 그림 15,16에서 설명한 바와 같이

(1) 針狀 void放電에 起因하는 corona streamer가 固體內에 侵入하여 void tree劣化가 생기는 것과

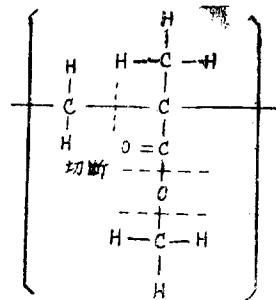
(2) 電極不整 등으로 因해 局部高電界가 發生하여 絕

緣體의 眞性破壞로 因한 眞性 tree劣化의 두가지 機構가 있어 다 같이 polymer分子와 自由電子와의 相互作用이 發生機構의 主役을 이루는 것 같다.¹²⁾

즉 polymer내에는 여러가지 微視的 缺陷이 있어 分子間의 vacancy로서 多數 存在하여 (1)은 이 vacancy들 내에서 自由電子는 電界에 의해 강력히 加速되며 한편 polymer分子는 그림 17에 나타난 바와같이 소위 cage로 化하여 이 cage의 外周에서 末端基도 나오게 아울러 vacancy의 集積(cluster)도 促進되어 이들이 高電界에서 高에너지를 받아 末端基의 切斷이 容易하



(a) Polymer cage의 형성



(b) 末端基

그림 17. Polymer cage의 형성과 末端基

Fig. 17. Formation of polymer cage and tail.

게 일어나고 아울러 이에 따르는 2次電子生成 및 官能基간의 反應에 의한 C₂, CO, CH₂, H₂등의 氣體發生이 促進하여 이들이 tree까지 進展에 기여하여 tree가지가 分枝되어 나가는 듯 하며 (1)은 이러한 現象이 緩慢해지는 것 같다.

이 외에도 高分子 絕緣物 에서의 treeing 劣化는

高電界로 因해 發生하는 Joule熱的인 作用이 수반하여 分解氣스, 氣스壓, 氣스漏洩 및 炭化物 生成등 여러가지 因子들의 複合要素로서 복잡하게 干涉할 것이지만 결국 主因으로서는 實驗結果 그림 5, 그림 6에 나타난 바와 같이 void가 있는 경우가 void가 없는 경우보다 비교적 treeing이 發生하기 쉽다는 것에 의해 試料의

劣化過程이 void放電→treeing→全路破壞로 생각되며 無 void인 경우는 電極과 樹脂物과의 界面剝離등에 의한 不安全한 微小空隙이 發生하여 이로 인해 void放電과 같은 部分放電이 용이하게 일어나게 되어 treeing으로 進展하는 것 같다.

즉 void가 없는 경우에는 局部的인 高電界로 인해 우선 部分放電인 corona放電이 發生하고 corona放電에 의한 放電孔의 發生으로 treeing發生의 先驅의 역할을 하는 것 같다. 즉 Mason이 提案한 바와 같이 corona放電의 劣化로 인해 pit狀의 구멍이 電界方向으로 進展하고 그 進展이 어느 정도 伸張하면 pit狀 구멍의 先端電界가 眞性破壞値를 넘으므로 tree가 發生하여 進展하는 것 같다.

따라서 이미 既報한 바와같이⁽¹²⁾ corona放電의 劣化로 인해 pit狀구멍의 發生뿐만 아니라 材料 그 自體가 劣化하여 眞性破壞電壓을 低下시켜 더욱 tree發生電壓을 低下시키는 등의 實驗으로 미루어 보아도 이와같은 機構를 示唆해 주는 것 같다.

이상의 corona放電과 treeing現象과의 關係解析은 絶緣物의 耐電壓壽命으로 부터의 考察로도 뒷받침할 수 있다.

즉 耐電壓壽命을 나타내는 식은 경험적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L = KE^{-n}$$

위 식에서 K : 定數

L : 壽命

E : 印加電界強度

n은 電壓依存性を 나타내는 定數이나 最近의 여러說을 간추려 보면 部分放電의 형태에 따라 그 값이 대체로 定해지는 것 같다.

즉 劣化→破壞의 過程을 생각할 경우 다음의 두가지

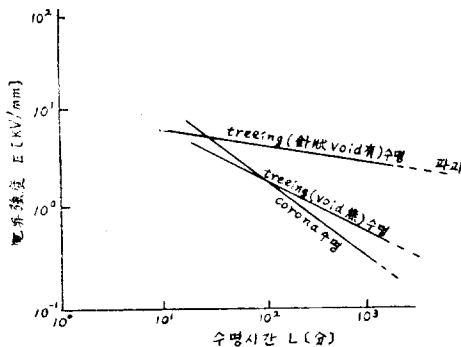


그림 18. 電界強度와 수명과의 관계
Fig. 18. Relation between electric field intensity and life

로 分類된다.

(ㄱ) corona 侵蝕(均一侵蝕); n=3

(ㄴ) tree 侵蝕(局部侵蝕); n=8~13

本 實驗에 사용된 試料의 常規사용 電界強度를 20kV/mm로 정하고 壽命推定値를 高찰해 보면 그림 18에 나타낸 바와 같이 長期課電初期는 放電 free이고 時間과 더불어 tree發生電壓이 低下되어 長期課電壓에서 微小空隙에 의한 treeing이 持續되어 더욱 發生電壓이 저하하여 破壞에 이른다.

그 중 針狀 void에서 treeing이 發生하면 放電電荷가 급격히 증대하여 電壓依存性이 커지며(약 n=7) 無 void treeing이 일어나면 放電電荷가 그렇게 急増하지 않아 corona劣化수명에 가까운 값(n=2~3)으로 낙착된다.

결국 前述한 treeing現象과 corona放電과의 關聯性에 대한 解析은 耐電壓壽命으로 부터도 타당함을 示唆해 주고 있다.

4. 結 論

이상과 같은 實驗結果와 理論的 考察에 의해 얻은 結論은 다음과 같다.

(1) 交流電壓印加時 昇壓方法에 의한 tree 發生電壓에는 별다른 차이가 없었으나 針電極先端 부근의 void有無에 의해서는 현저한 차이를 나타냈다.

이것은 void內的 部分放電이 void가 있는 경우가 용이하게 發生되므로 放電이 void內的 어느 한 점에 集中하여 局部的인 高電界의 發生으로 인한 것이라 생각된다.

(2) 直流電壓 印加時 高壓側을 平板電極으로 했을때 보다 針電極에 高壓을 印加했을 경우가 針電極에 局部的인 高電界가 發生하기 쉬우므로 tree發生電壓이 높았으며 直流를 印加하는 경우 針先端에 發生하는 空間電荷效果(space charge effect)에 의해 電界가 緩和되므로 交流印加時보다 tree發生電壓이 현저히 높았다.

(3) tree의 進展은 tree先端部에서의 void放電 集中으로 인한 void treeing劣化가 絶緣體에 眞性破壞를 일으켜 進展하는 것 같고 進展하는 現象은 tree가지 內部的 放電이 가지全體에 미치지 않고 特정한 tree先驅가지에만 集中하여 進展하나 그 放電은 잠시 후에 void cluster나 高分子 cage에 移動으로 인한 듯한 停滯現象을 거쳐 다른 가지로 放電이 移轉되는 現象을 되풀이하므로써 全路破壞에 까지 이른다는 것을 알 수 있었다.

(4) corona 放電과 treeing 現象과의 關聯性에서는 tree의 耐電壓壽命과 corona의 耐電壓壽命 등의 對比

를 통해 電壓依存性を 나타내는 定數 n 이 treeing劣化 속이 큰 것($n=7$)을 미루어 보아 절연체 内部의 corona放電劣화로 인한 pit狀의 구멍이 電界方向으로 進展하고 그 進展이 어느 정도 伸張하면 pit狀 구멍의先端 電界가 試料의 眞性破壞値를 초과하므로 treeing劣화가 생겨 進展한다고 생각된다. 즉 corona放電이 treeing現象의 先驅的인 역할을 하는 것이라 생각된다.

이상과 같이 treeing現象에 관한 몇가지 實驗을 통해 定性的으로 考察하였으나 앞으로 電源周波數, 溫度 등의 영향에 관한 實測 등을 보충하므로써 treeing現象에 의한 有機絕緣體의 定量的인 劣化機構와 그 防止策을 講究할 수 있을 것 같다.

參 考 文 獻

- 1) D.W. Kitchin & O.S Pratt; AIEE 77 pt III 180 (1958)
- 2) M. Olyphant; IEEE Trans. EI-2 2, 92(1967)
- 3) J.H. Mason; Proc. Inst. Elect. Engrs. 98 pt I 44(1951)
- 4) E.J. Mc Mahon; IEEE Trans. PAS-69 1128 (1963) E.J. Mc Mahon & J.R. Perkins; IEEE Trans. PAS 1253(1964)
- 5) J.H. Mason; Proc. Inst. Elect. Engrs. 127, 254 (1955)
- 6) 日本電氣學會技術報告 제100호(1971-9)
- 7) 松葉, 鳳; 日電學誌 89-5 201(1969)
- 8) Germer; J.A.P 30 46(1959)
- 9) 安井, 山田; 日電學誌 90-1 125(1970)
- 10) Dieter kind et al; IEEE Trans. EI-3 No. 2, May(1968)
- 11) 家田外; 日電學誌 91-7 208(1971)
- 12) 依田外; 日立評論 51 4, 366(1969)
- 13) 成英權外; 大韓電氣學會誌 24-5 492(1975)