

論 文
1-2-3

Phenolic Resin의 C. T. I에 관한 研究

A Study on the C. T. I in Phenolic Resin

李 輔 鎬* · 朴 東 化**
 (Lee, Bo-Ho · Park, Dong · Wha)

요 약

이 論文은 Phenolic 樹脂의 Tracking 破壞의 CTI에 관한 考察로써 電極材料의 일부가 누설전류에 의하여 浸蝕되기 때문에 tracking破壞를 增進시키며 다음과 같은 영향을 받는다.

- ① 絶緣材料에서 C. T. I의 값이 350정도에서는 현재까지 規定하고 있는 白金電極보다도 黃銅電極이 더욱 근사한 값을 얻을 수 있다.
- ② C. T. I의 값은 電解液의 抵抗率과는 무관하다.
- ③ 試料表面의 接觸角이 增加함에 따라 Corona 開始電壓과 C. T. I의 값은 증가한다.

ABSTRACT

In the thesis research on the C.T.I for the borne by tracking phenolic resin, electrolytic errosion appearance of electrode materials causes the part of electrode to increase the failure of tracking.

- ① In the material of insulation in which C.T.I has 350 degree or so, We can obtain the constant value by Cu-Zn electrode than Pt electrode.
- ② C.T.I value has noting to do with resistance rate of electrolyte.
- ③ As the contact angle of interface grow, the starting electric stress of corona and the value of C.T.I increase.

1. 緒 論

近代社會에서의 電氣施設容量이 增大됨에 따라 發生되는 事故와 관련하여 各種 絶緣物의 耐久性에 많은 관심을 갖게 되었다.

現在 絶緣材料로 많이 사용되고 있는 高分子絶緣材料의 경우, 數年~數10年이 경과하는 과정에 絶

緣破壞가 進展되므로 長期壽命에 대한 選別方法으로 加速試驗^{*)}의 여러가지 方法이 연구되고 있다.

이의 한 方法으로 配電盤材料인 phenolic resin積層板(베크라이트)의 耐久性 判定에 tracking測定法이 쓰이고 있다.

일반적으로 tracking의 形成은 電極表面의 電位差에 의하여 電極間에 部分電流가 흘러 試驗液이 遊離되어 附着하는 炭化生成物이 導電路를 形成함으로써 發生된다고 생각할 수 있다.

지금까지 발표되고 있는 研究結果에 의하면 tracking 발생에 미치는 要因으로서 電極材質의 溶出

*正 會 員 : 崇實大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 **正 會 員 : 仁川大 電氣工學科 · 副教授

金屬量의 의존성^{3), 16)} 電壓特性⁶⁾, 溫度特性¹⁷⁾ 紫外線特性¹⁸⁾ 및 高周波電壓特性¹⁹⁾ 등 많은 研究結果가 발표되고 있지만 試驗者에 따라 結果値가 매우 불투명하다.

그 原因으로는 tracking 형성시 電極材質 및 試料表面에 부착하는 鹽의 종류, 濃度, 分布狀態에 따라 매우 복합적인 영향을 받고 있기 때문이다.

이와같은 問題點이 있음에도 國內외의 電氣, 電子機器에 사용되는 plastic 製品의 基準尺度(U.L基準)로써 I. E. C. publication 112(濕式法)에 의존하고 있어 많은 論亂의 대상이 되고 있다.

따라서 여러모로 보완책이 많은 研究者들에 의하여 강구중에 있으므로 本 論文에서는 I. E. C. pub. 112의 試驗方法과 공통적으로 지적되어 온 보완책인 Tracking指數(Comparative tracking index : 이하 C. T. I라 表記)方法에 의하여 phenolic resin의 C. T. I 特性을 考察하여 보았다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法.

사진 1은 I. E. C 勸奨 耐tracking(溫式法) 試驗法에 따라 製作한 實驗裝置이며 試驗回路 및 判定回路의 構成은 그림 1과 같다.^{1), 2), 4), 12)}

試驗用 變壓器(Tr)는 DC 0~600[V], 0~2[A] (日本, KiKusui製品)이며 Tracking判定回路는 兩極間에 短絡電流가 1.0±0.1[A]의 回路가 되도록 R₁을 조절한 후 Track의 短絡電流가 2[sec] 이상 흐를때 遮斷器가 動作하도록 設定하였다.

電極材料는 白金, 黃銅, 電氣銅이며 電極은 그림 2와 같이 30° 刃形인 背面電極을 사용하였다.

低電壓(일반적으로 300[V]이하)에서의 Tracking發生 起點을 고려하여 電極의 背面 및 曲率는 2000番의 研摩紙로 研摩하여 일치시켰다.

電極間에 滴下하는 電解液의 規定容量은 比重瓶에 의하여 測定한 比重에 準하여 10滴의 平均値가 같도록 秤量하였으며 滴下水의 침전 및 증발에 의

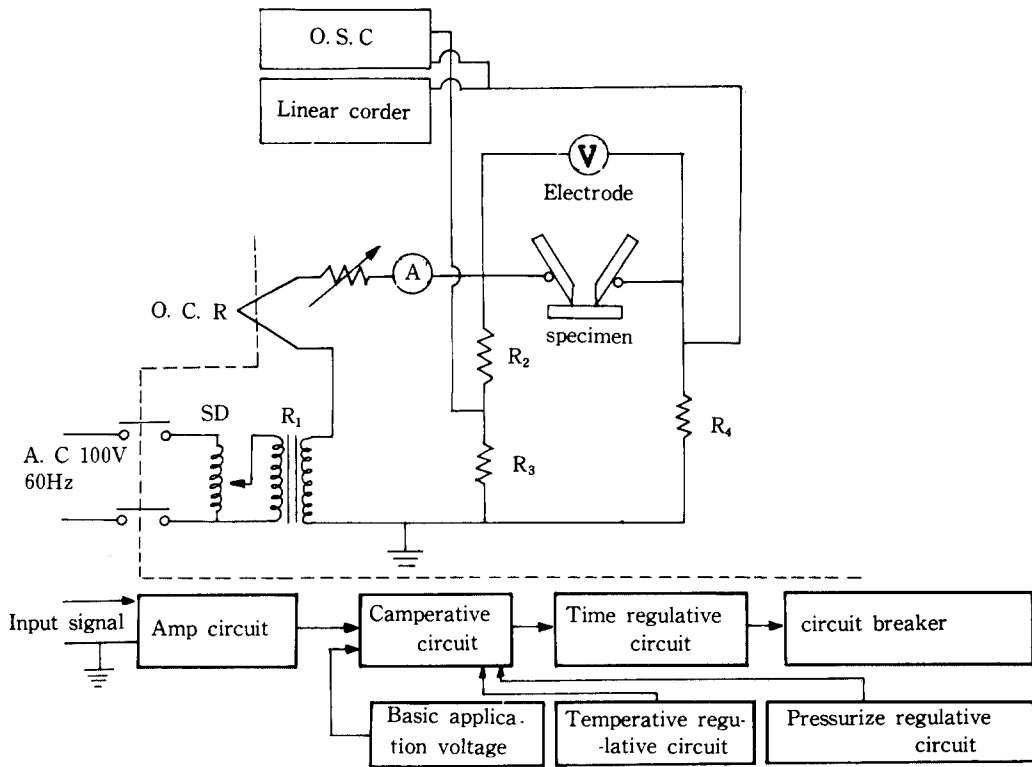
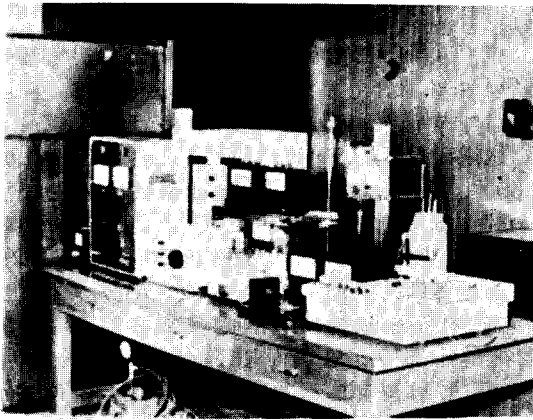


그림 1. 實驗回路 및 Tracking破壞判定裝置의 概略圖.

Fig. 1. Experimental circuit and block diagrams for finding tracking failure.



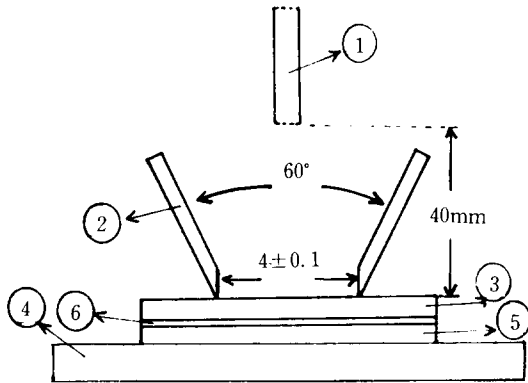
사 진 1. 實驗裝置圖

Photo. 1. The diagrams for experiment

한 結露現象을 방지하기 위하여 滴下前後에 混合 및 遮壁이 되도록 하였다.

電解液은 0.05~0.5[%]의 NH_4Cl 水溶液 (25[°C]에서의 抵抗率은 600~69[$\Omega \cdot cm$], 日本, 純正化學 Co.)과 添加物로 界面活性劑 ($C_{10}H_8SO_3Na$)를 사용하였다.

溫度 및 壓力調節裝置의 壓着荷重은 試料가 成形溫度에 가까와짐에 따라 부풀음의 발생을 고려하여



- 1) Injector
- 2) Electrode
- 3) Sampling
- 4) Support
- 5) Automatic pressure
- 6) Automatic temperature

그림 2. 電極配置

Fig. 2. Arrangement of electrodes

100+2[g]으로 유지되도록 設定하였다.

實驗方法 및 試料의 處理는 I. E. C Draft 15A, 32⁶에 준하였다.

試驗片은 phenolic resin(維新 Co.)積層板이며 纖維質의 方向으로 일치시켰으며 메칠알콜로 세척하여 70[°C]에서 7일간 건조시킨 후 테시게이터 속에 보관하였다.

C. T. I의 값은 50滴의 試驗液이 滴下時 이에 對應하는 兩極間에 發生되는 電壓으로 定義되며 단위는 쓰지 않는다.

Tracking이 발생된 試驗片은 濃硝酸(HNO_3)에 넣어 1시간 가열하면 試料表面에 析出된 銅은 硝酸第 2 銅으로 溶離된다.

試驗片을 다시 증류수에 넣어 브러시로 잘 씻어 낸 후 증류수에 1시간 담가 두었다가 테시게이터속에서 3시간 건조시킨 후 浸蝕깊이를 측정하였다.

3. 實驗結果 및 考察.

3.1. 電極材質에 따른 C. T. I 特性.

그림 3은 電極材質에 따른 紙基材 phenolic resin積層板의 C. T. I를 測定하기 위한 試驗電壓과 滴下數와의 관계이다.

耐 tracking性이 큰 순서는 白金電極, 黃銅電極,

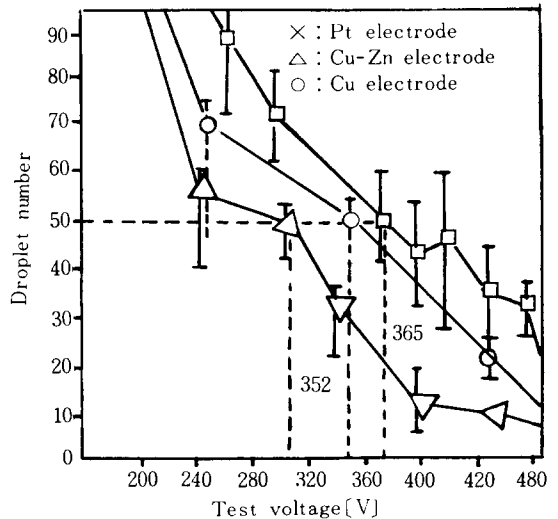


그림 3. 電極材質과 C. T. I 관계

Fig. 3. Relation between test voltage and droplet number to tracking for various electrode materials

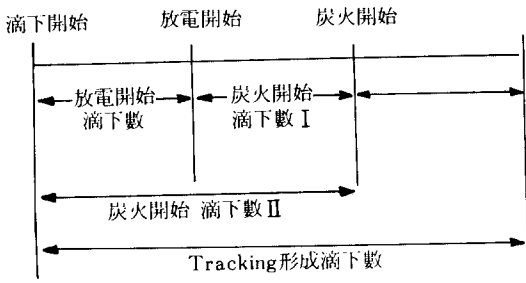


그림 4. Tracking과괴사까지의 과정
Fig. 4. Number of drops for tracking failure

銅電極으로 나타난다.

白金電極의 경우에는 塩化암모늄인 엷은 白色의 殘留物이 신틸레이션으로 電極間 中央에 형성되어 tracking을 發生하는 遊離炭素가 관찰되고 있으나 黃銅이나 銅의 경우에는 電極에서 溶出되는 신틸레이션의 析出金屬이 集中的으로 發生되어 Tracking의 起點을 형성하는 遊離炭素가 관찰된다.

이러한 遊離炭素에 의하여 電極間的 熱傳導에 따른 熱容量이 試驗片 및 試液의 溫度를 상승시켜 Tracking을 촉진시키고 있는 것으로 생각할 수 있다.

그림 4는 Tracking이 형성되기까지의 과정을 분류한 것이다.

그림 5는 100[V]의 直流電壓을 印加한 상태에서 電解液(NH₄Cl, 0.1[%])이 滴下後 時間이 경과함에 따른 電解液의 감소량과의 특성이다.

여기에서 放電開始過程은 電解液이 滴下後 析出金屬이 發生되는 一定時間이 경과하면 部分電界에

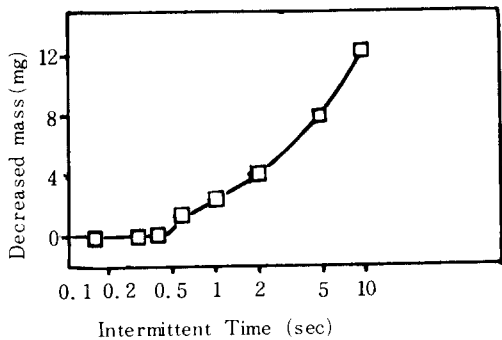


그림 5. 時間經過에 따른 電解液의 감소량
Fig. 5. Decreased mass of electrolyte with intermittent time

의한 Track이 형성되어 局部的인 微小 불꽃放電이 발생되며 滴下數가 증가됨에 따라 乾燥帶에 의한 불꽃放電은 점차 강하게 되어 炭化가 이루어진다.

이와같이 低電壓에서도 表面의 汚損에 의해 絶緣耐力이 저하됨을 알 수 있다.

특히 phenolic resin은 充填劑로서 纖維素系를 사용한 積層板이기 때문에 吸濕하는 경우에 誘電率이나 誘電損의 영향으로 重合度가 변화되므로 arc에 의한 炭化速度가 매우 빠른것으로 생각된다.

C. T. I判定法에 의한 加速試驗을 하는 경우 絶緣材料에 따라 判定基準電壓 設定의 필요성과 phenolic resin은 현재 規定하고 있는 白金電極 보다도 350[V]이상에서는 黃銅電極이 표준편차가 적은 것으로 보아 黃銅電極을 사용하는 것이 바람직한 결과를 얻을 수 있을것으로 생각된다.

3.2. 試驗液의 濃度에 따른 C. T. I 特性.

그림 6은 NH₄Cl의 濃度の 변화에 따른 試驗電壓과 滴下數와의 관계이다.

電解液의 滴下數가 증가함에 따라 析出金屬으로 인한 Track이 형성되는데, 이때 發生되는 等價銅析出量(Dcu)과 印加電壓(V)은 다음 式에 의하여 계산된다.

$$Dcu = \alpha V^{-\beta} [mg/V \cdot cm^2]^{5)}$$

$$\alpha = 0.152$$

$$\beta = 0.8 (常數)$$

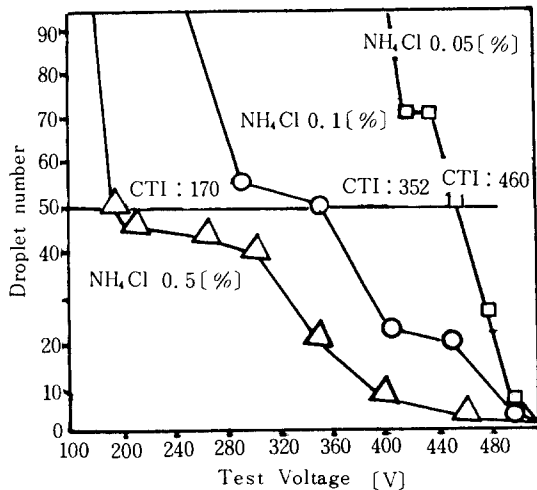


그림 6. 試驗液의 濃度에 따른 滴下數와 電壓特性
Fig. 6. Relation between test voltage and droplet number

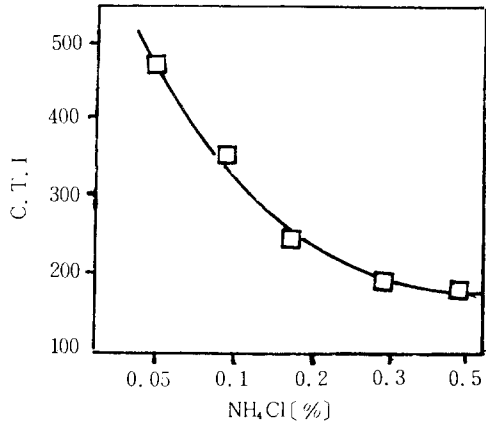


그림 7. 試驗液의 濃도와 C. T. I 特性
 Fig. 7. Relation between C. T. I and density of electric source

NH₄Cl의 濃도가 높아짐에 따라 Dcu는 증가되고 tracking破壞 滴下數는 감소되며 C. T. I는 그림 7과 같은 변화를 나타낸다.

이 특성은 다음과 같은 두가지의 원인으로 생각할 수 있다.

그 하나는 NH₄Cl이 tracking發生 初期에는 cathod 消極劑로서 作用하기 때문에 濃도가 높아짐에 따라 track의 형성시간이 加速되다가 一定濃도를

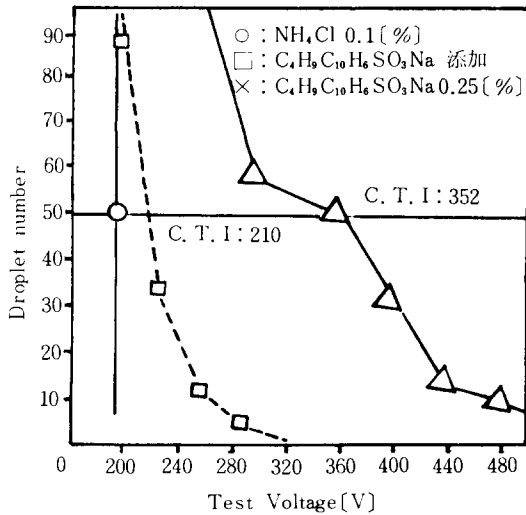


그림 8. 試驗液의 抵抗率에 따른 滴下數와 電壓特性
 Fig. 8. Relation between test voltage and droplet number

表 1. 電解液의 特性

Table 1. Characteristics of electrolyte

添加量 [Wt %]		抵抗率 [Ω. cm. 25 °C]	C. T. I
NH ₄ Cl	C ₄ H ₉ C ₁₀ H ₆ SO ₃ Na		
0.1	0	395	352
0.1	0.5 ± 0.001	220	210
0	0.25 ± 0.005	390	154

초과하게 되면 그 作用이 완만하게 되며, 다른 하나는 cathod反應이 H⁺나 OH⁻와의 관계로 發生하는 경우에 cathod 電位는 pH의 변화에 의해 腐蝕狀態가 의존되므로 濃도가 증가되면 水溶液의 酸素溶解度가 감소되며 酸素消耗型 腐蝕에서는 NH₄Cl의 濃도가 높아짐에 따라 腐蝕速度가 감소되기 때문에로 생각할 수 있다.

그림 8은 試驗液의 抵抗率과 C. T. I의 관계이다(表 1).

NH₄Cl水溶液과 界面活性劑(C₄H₉C₁₀H₆SO₃Na)를 첨가한 水溶液의 抵抗率이 같은 값일경우라도 C. T. I는 매우 큰 差異를 나타내고 있다.

이러한 特性은 耐tracking性이 絶緣材料의 界面構造에 큰 영향을 받고 있음을 뒷받침해 준다.

界面活性劑의 界面吸着能은 유화안정도에 중요한 요소가 되며 임계미셀濃度, 界面吸着 등에 의해 界面抛動이 감소되기 때문에로 생각된다.

3. 3. 表面의 接觸角에 따른 C. T. I 特性.

電極間에 tracking이 形成되기까지의 乾燥帶形成過程은 電解液의 狀態에 의존되는 경우가 많다.

絶緣材料의 종류에 따라 接觸角(그림 9)은 相異하므로 이 接觸角의 크기에 따라 電解液의 狀態는 변한다.

電解液의 界面吸着量이 증가하면 보다 견고한 界面膜을 形成하여 界面壓이 증가하기 때문에 接觸角의 크기가 증가하여 電解液의 斷面積은 증가하게 되며 그 形상은 雙曲拋物面과 흡사하므로 拋物面의

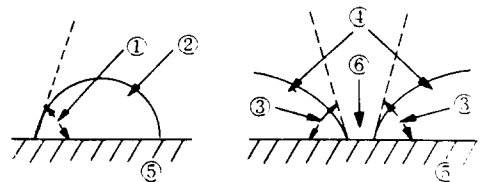


그림 9. 接觸角과 電解液이 이루는 角의 概略圖
 Fig. 9. Schematic model of contact angle and angle of the electrolyte

表 2. 試料의 接觸角

Table 2. Contact angle of samples

Sample	Sc	Sp	Sp/Sc	contact angle(°)
Phenolic resin	4.4	6.0	1.36	52
polycanite	4.1	6.3	1.54	70
epoxy resin	4.4	6.9	1.59	96

로 가정하면 電解液의 斷面積(S)는 다음 式에 의해서 계산된다.

$$S = 2 \int_0^x (-ax^2 - b) dx$$

이 式에 의한 電極間 中央部分의 斷面積(Sc) 과 電極과 接觸하는 部分의 斷面積(Sp)의 계산치와 接觸角의 크기는 表 2와 같다.

그림 10은 各 電壓에서의 코로나放電이 발생하는 최초의 滴下數와의 관계를 나타낸 것이다.

코로나放電은 Track端부근에 電界가 충분히 높게 되면 많은 陽이온이 針端으로 접근하여 충돌에 의한 電子가 방출되어 그 電子는 針端부근에서 Townsend機構에 의하여 충돌電離를 일으킨다.

電離를 일으키는 高電界領域에서 光子는 陰極으로부터 많은 電子를 방출시켜 새로운 電子沙汰를 일으키므로 電流가 급상승하게 되어 Dry band가 형성된다.

이 Dry band의 形成時間은 코로나放電開始 滴下數와 相關되며 코로나放電開始 滴下數는 絶緣材料의 接觸角이 커짐에 따라 증가되고 있다.

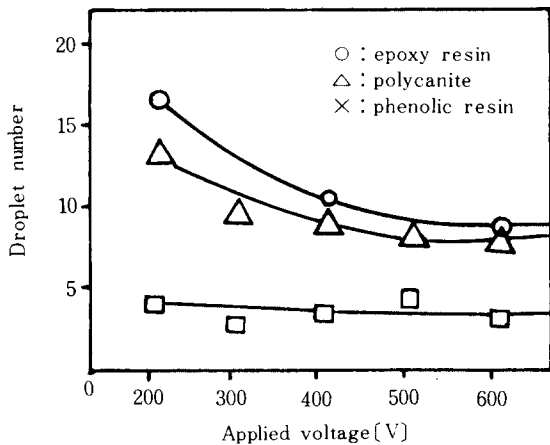


그림 10. 電壓과 코로나開始滴下數의 관계

Fig. 10. Relation between applied voltage and droplet number of corona discharge inception

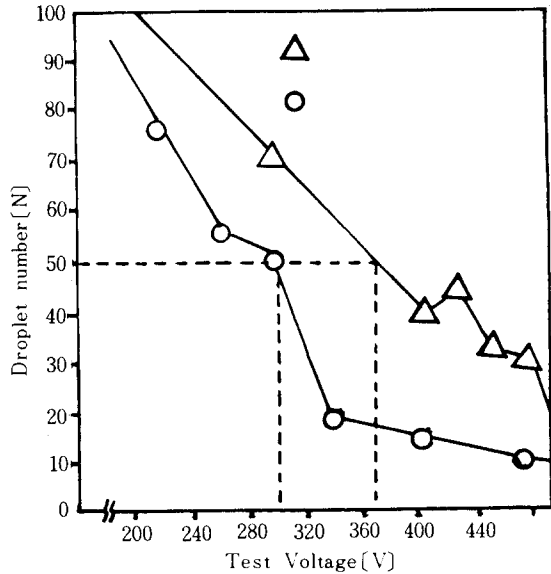


그림 11. 接觸角의 變化에 따른 試驗電壓과 滴下數와의 관계

Fig. 11. Relation Test voltage and droplet number (Phenolic resin)

그림 11은 接觸角의 크기에 따른 C. T. I를測定하기 위하여 接觸角이 다른 phenolic resin과 polycanite를 比較한 特性이다.

이 特性은 위의 내용을 잘 뒷받침해 주고 있다.

3. 4. 浸蝕깊이와 C. T. I特性.

그림 12는 C. T. I와 絶緣材料의 浸蝕깊이를 알아 보기 위한 特性曲線이다.

浸蝕깊이는 C. T. I의 크기에 대한 의존성보다도 Track의 條件과 耐arc性에 큰 영향을 받고 있는 것으로 생각할 수 있다.

따라서 木粉을 充填劑로 하는 phenolic resin積層板의 경우 吸濕防止를 위한 界面活性劑를 첨가하거나, 縮合度가 낮은 樹脂를 사용하여 纖維素의 미세間隙¹⁹⁾, ²⁰⁾에 樹脂를 함침시키거나 水酸基를 감소시켜 親水性을 저하시키는 것과 이온化 및 耐熱性에

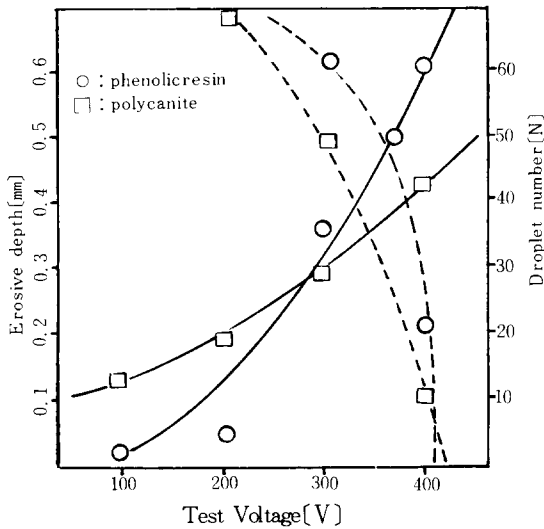


그림 12. C. T. I와 浸蝕깊이와의 관계
 Fig. 12. Relation between C. T. I and Erosive depth.

대한 충분한 注意가 필요하다.

電壓이 증가됨에 따라 浸蝕깊이가 높아지고 있는 放電時 電極間에 水溶液의 噴發과 飛散으로 발생된 導電性 殘滓物이 track의 形成度에 강하게 作用하여 불꽃放電이 크게 作用하기 때문에 생각된다.

4. 結 論

本 論文은 C. T. I判定法에 의한 配電盤材料로 많이 사용되고 있는 phenolic resin積層板의 耐久性을 考察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 耐tracking性이 큰 電極材質은 白金, 黃銅, 銅 電極의 순서를 나타내며, C. T. I判定法에 의한 絶緣耐力의 評價時 各種 絶緣材料의 基準電壓設定이 중요한 사항이며, phenolic resin積層板의 경우 試驗電壓을 350~500[V]의 범위에서 設定時에는 표준전극인 白金보다도 黃銅電極이 양호한 特性을 나타내고 있다.

2) NH₄Cl의 濃도가 높아짐에 따라 tracking發生 初期에는 cathode 消極劑作用에 의하여 C. T. I의 값이 높다가 0.3[%]이상에서는 酸素溶解度가 감소되므로 완만해진다.

3) 絶緣材料의 表面과 水溶液의 接觸角 크기에 따라 水溶液의 斷面積은 증가하며 C. T. I의 값은

감소된다.

4) Tracking 破壞에 의한 浸蝕깊이는 C. T. I의 크기에 대한 依存度보다 耐arc性에 큰 影響을 받으므로 吸濕에 대한 注意가 필요하다.

이상과 같은 結論에서 일반적으로 本實驗에 사용된 sampling의 경우 表面處理는 양호하지만 配電盤의 製作過程에서의 局部的인 防濕處理의 필요성을 제시하며 各種 絶緣材料의 C. T. I判定을 위한 基準電壓의 設定必要性을 절감하며 phenolic resin積層板의 경우는 D. C 100[V]에서 C. T. I의 값이 350程度로 設定함이 가장 타당성이 있을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) Draft appendix to I. E. C. publication, 112, 1962, 12, 1967, 6, 1971, 12.
- 2) Draft appendix to I. E. C. Sc-15A(Central office)32, 1977
- 2) 河村, 能登, “紙基材フェノール樹脂のドラッキングにおける溶出金屬の影響”日本電氣学会論文集 A, 1979, pp439~445.
- 4) “ドラッキング現象の耐ドラッキング性試驗法の動向”日本電氣学会技術報告, 第86号, 1968, 7.
- 5) “I. E. C. publication 112, による絶緣耐力の耐ドラッキング性試驗方法”日本電氣材料耐ドラッキング性試驗法特別專門委員會, 日本電氣学会技術報告 II, 1980, 6.
- 6) 吉村, 西田, 能登, “有機絶緣材料のドラッキングにおける炭化開始過程”日本電氣学会論文集 A, 1982, 8, p. 101. pp. 429.
- 7) 西田, 吉村, 能登, “有機絶緣材料表面のドラッキング破壞におお乾燥帯の形成過程”日本電氣学会論文集 A, 1983, pp. 593~600.
- 8) 蒲田, 丹, 清原, 中西, “屋内用エポキシ樹脂の耐ドラッキング性絶緣材料研究会(昭53).
- 9) N. Yoshimula, M. Nishida & F. Noto : Influence of the electrolyte on tracking break down of organic insulating materials, IEE. Trans. Elect. Insulation, EI-16, 1981, p. 510.
- 10) Manclcorn, L & Somme man, G. M, Tracking and arc resistance of materials Proc., Electrical Insulation Conf., 1963
- 11) Kaufmann, W., A testing method for tracking resistance of insulating paths, (in Ger-

- man) Electrotech, Z. 83, 801~7, 1962.
- 12) K. T. L. paciorek, R. H. Kratzer, F. F. C. Lee, J. H. Nakahara, D. H. Harris, Moist Tracking Investigation of organic Insulating materials IEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-17, No5, 1982. 10.
 - 13) UL standard 746A, 1976.
 - 14) 石原, 石割, 各種有機材料の耐ドラッキング特性の比較, 日本電気学会絶縁材料研究会, EIM-78-30, 1978.
 - 15) 朴東化 “phenolic resin의 tracking에 미치는 溶出 金属의 影響, 大韓電気学会 放電 및 高電庄 研究会 1983, 7
 - 16) 朴東化 “I. E. C. pub 112에 의한 tracking 에 미치는 温度特性” 大韓電気学会 放電 및 高電庄研究会 1983, 7.
 - 17) 鴨澤, 吉村, 西田, 能登, “紫外線照射의ドラッキング破壊への影響” 日本電気学会材料研究会, EIM-84-111 1984, 9.
 - 18) 鴨澤, 吉村, 西田, 能登, “高周波電圧による高分子材料의ドラッキング破壊と放電現象, 日本電気学会材料研究会, ED-84-103, 1984, 11.
 - 19) T. S. Carswell, “phenoplastics”, Interscience Publishers Inc, New york, 1947.
 - 20) 住友ベークライト(株), “住友ベークライト(株) 技術資料, 日本, 1966.