

## A Remark on Diagnosis for Electrical Machinery

成 英 權\*  
(Young Kwon Sung)

### 緒 言

電力系統이나 電力機器保安上 絕緣診斷 또는 絕緣管理가 가장 重要한 位置를 차지하고 있다. 그러한 電力機器의 絕緣診斷에 關한 研究는 外國에서는 옛날부터 行해져왔으며 오늘날에 있어서는 絕緣破壞의 研究成果에 따라 새로운 絕緣診斷法도 研究開發되었다. 現在로서는 使用하고 있는 電力機器의 絕緣性狀을 定性的으로 診斷하는 것은 大體로 可能하나 定量的으로는 아직 不可能하며 앞으로의 研究開發의 促進이 더욱 要望된다.

그것도 基礎研究와 實用에의 活用開發이 併行해야 한다. 電力機器의 絕緣材로서는 回轉機의 卷線, 變壓器의 卷線, 套管, 遮斷器, 高壓 Cable 等, 對象이 大端히 相異하기 때문에 어느 것이나 高電界下의 破壞前驅現象을 探知하여 絕緣劣化度를 判定하는것이 原則적으로 可能하다. 그러나 現實에 있어서는 非破壞試驗의 立場에서 볼 때, 判定試驗때문에 機器에 損傷을 주는 것은 許容치 않기 때문에 問題는 比較的 複雜해 진다. 따라서 破壞前驅現象機構究明等の 基礎研究와 實用機器의 絕緣壽命 機構와의 關聯性을 究明하는 것이 時急하다. 또한 絕緣劣化의 現象을 早期에 發見해서 事故를 未然에 防止하는 것은 電氣工學에 있어서 大端히 重要한 問題의 하나로서 有効適切한 判定法의 確立이 要望되는 것이다.

現在 一般的으로 使用되고 있는 絕緣診斷法으로는 옛날부터 使用되고 있는 Meggar 試驗과, 最近에 널리 使用되고 있는 誘電正切試驗, 交流電流試驗, 直流試驗 등이 있고 研究段階에 있는 것으로서는 Corona 試驗 直流分試驗 등이 있다. 그 외에 交流, 直流 및 衝擊波에 의한 耐壓試驗이 있다. 그러나 現在使用되고 있는 여러 絕緣試驗法에서도 試驗電壓, 適用條件等에 對해서는 研究할 必要가 있다고 생각된다. 即 各各, 一長一短이 있고 各各의 試驗結果가 꼭 一致된 劣化傾向을 나타낸다고는 斷定할 수 없다. 또 試驗法에 따라서는 機器의 型狀, 치수를 正規化 할 수 없는 것도 있다. 이들의 試驗에 準據하던 同種同型의 機器내지 同一機器의 經年의 變化

를 比較檢討하는 경우에는 別로 問題가 없으나 機種이 다름직에 劣化度의 判定이 困難하다. 比較的 이러한 傾向이 적은것이 筆者가 본 見解로서는 既報한바 있는 Corona pulse 法, 誘電正切(tanδ)法等이다.

또 絕緣試驗法에 對해서 從來 그 方法이 구구했기 때문에 試驗結果를 考察하는 데 있어서 相互間의 理解를 얻기가 困難했다. 따라서 劣化判定法에 關한 問題의 解決目標인 機器의 여러 型狀, 치수에 관계없이 劣化度를 指示하는 數質豫報를 確立하는 것이 現在 아직 그段階에 到達하고 있지 않고 있는 것이다.

우리나라에서도 電力機器의 絕緣管理의 立場이나 經濟적으로 보아서도 學界와 業界가 서로 協助해서 絕緣試驗에 對한 檢討를 始作해야 할것이며 나아가서는 早速히 標準的인 絕緣診斷法을 確立하여야 할것이다.

여기에서는 絕緣劣化의 現象, 그에 따른 絕緣壽命, 絕緣試驗法等에 對해서 筆者가 내다본見地에서 簡單하게 概說코저 한다.

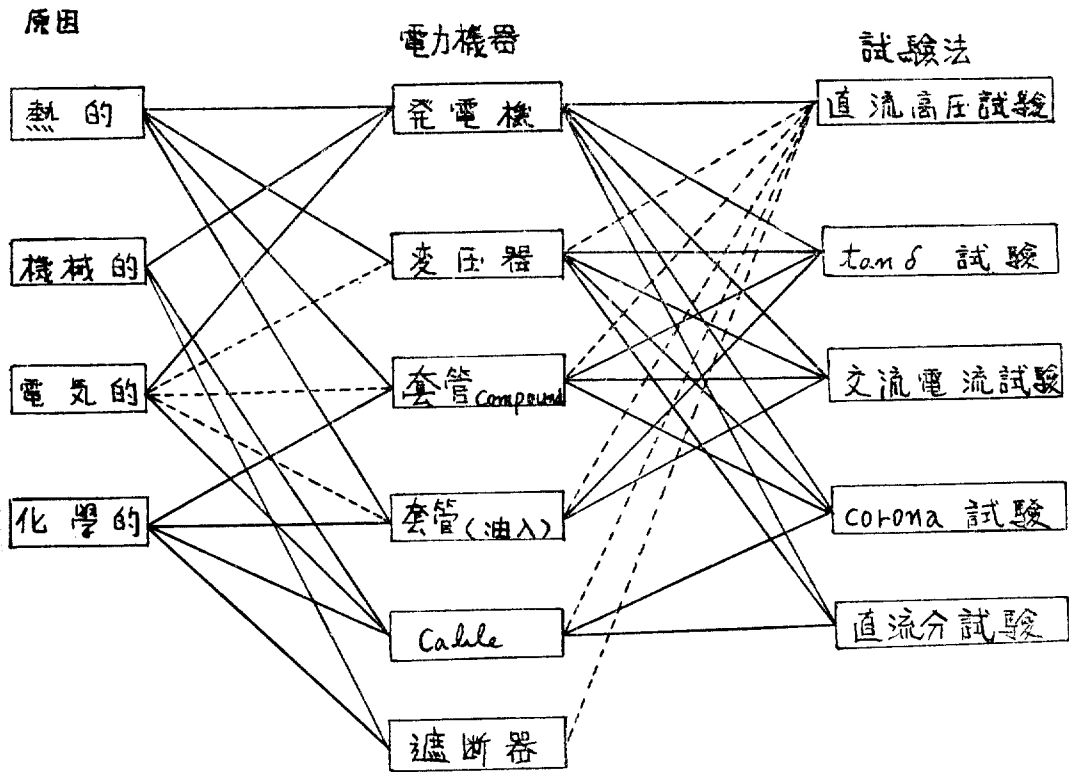
### § 1. 機器絕緣의 劣化

電力機器의 絕緣事故가 發生했을때 그原因이 不明한 경우 그該當機器가 數10年 사용한 것이라면 自然劣化에 因한 燒損이라고 할 수 있다. 即 使用年數가 10數年 經過한 機器의 絕緣事故의 原因이 不明하다고 하면 自然劣化 즉 長期間의 使用에 依해 機器의 絕緣이 劣化하여 絕緣耐力이 低下하기 때문에 일어나는 것으로 추단하여도 무방하며, 그 原因으로는 사용중에 生긴 短絡, 振動等에 依한 機械的應力, 運轉溫度 Corona의 發生, 化學的 變質等에 因한 것이며 그외로 그들의 頻度에도 左右된다. 大體로 溫度가 機器의 絕緣壽命을 支配하고있는 것은 概念的으로 理解되고 있다.

絕緣物이 劣化하는 原因을 大別하면 熱的機械的電氣的 및 化學的으로 區分할 수 있으나 劣化機構는 이들의 原因이 單獨으로 存在하는 것이 아니고 相互間에 關聯을 가지고 있기 때문에 複雜하며 따라서 絕緣壽命의 等價試驗이 困難하다. 지금 主要한 電力機器의 劣化의 原因과의 關係를 圖示하면 [그림—1]과 같이 推察된다.

以上 네가지 原因은 각각 單純한 것이 아니므로 이들

\*正會員：高大理工大 電氣工學科 教授



〔 그림--1 〕 電力機器와 劣化原因과의 관계

에 對해서 簡單하게 考察해보기로 한다.

(i) 熱的劣化

흔히 쓰이고있는 有機絶緣材料의 熱에 因한 劣化度에 對해서는 오늘날에와서 그機構가 어느程度 物理的으로 究明되고 있다.

一般的으로 使用되고 있는 電力機器는 負荷의 變動, 周圍溫度의 變化短絡時의 過電流에 因한 溫度上旬等이 있기 때문에 溫度는 一定하지 않다. 이들을 分類하면 다음과 같다.

(1) 定常運轉溫度에 依한 熱的劣化

絶緣種別에 따라서도 서로 다르나 보통 50°C~130°C 의 溫度에서 運轉되고 있으며, 이 運轉溫度가 熱的劣化에서의 主因이 된다.

(2) 短絡時의 過電流에 依한 短時間過熱

大體로 時定數가 크다는 것과 大部分의 電力用機器에서는 比較的 그回數가 적기 때문에 그다지 問題되는 要素는 아니다.

(3) 渦流損, 冷却의 不均一等에서 오는 局部過熱

使用中에 局部的으로 過熱되면 局部的으로 熱劣化가 促進되는 結果를 사타내므로 注意를 要한다.

(4) 遮斷器의 開閉等에서 生기는arc에 依한 熱劣化

接觸金属材料, 構成機構의 改善이 要望된다.

(ii) 機械的劣化

卷線에서는 短絡時 過電流에 因해 機械的應力이 過度로 加려져 絶緣物에 龜裂等の 損傷을 주게된다. 또 膨脹係數가 서로 다르기 때문에 導體와 結緣物의 接觸面에 應力이 加해져서 絶緣物에 損傷을 입게되는 것인데 結緣物에 加해지는 機械的 要討를 列擧하면 다음과 같다.

(1) 短絡時에 絶緣物에 加해지는 應力

卷線에서는 絶緣에 龜裂이 生기기 때문에 絶緣破壞의 原因이 되기 쉽다. 現在로서는 이를完全히除去할 수없다.

(2) 膨脹係數의 相違에서 오는 損傷

膨脹係數가 同等한 材料를 使用하면 이原因을 除去할 수는 있다.

(3) 振動

卷線에 많이 生기는 것으로 그振動 때문에 絶緣物에 龜裂이 생긴다. 振動의 幅과 周期가 어느程度면 無難한지는 아직 不明하다.

(ㄱ) 衝擊力

遮斷器의 開閉時 絕緣物에 衝擊力이 加해진다. 設計時에 充分히 考慮하면 除去할수는 있다.

(ㄴ) 張力, 壓縮力

碍子等으로 이問題는 除去할수 있다.

(ㄷ) 其他의 外傷

組立, 作業等에 注意하면 除去할수 있다.

以上 記述한 바와 같이 機械的인 것은 絕緣物에 損傷을 주기때문에 絕緣破壞를 促進시킨다. 따라서 그 回數가 적을적에는 絕緣耐力를 크게 低下시키지는 아니하나 反復回數가 많으면 一種의 劣化로서 耐力를 低下시키므로 注意를 要한다.

(iii) 電氣的 劣化

電壓을 印加했을 경우 波高值, 周波數, 電壓印加時間이 絕緣耐力의 低下에 關係하는 것은 實驗的으로 報告되고 있으나 그理由는 아직 여러 因子때문에 不明하다. 따라서 電力機器가 使用電壓에서 絕緣耐力이 實際로 低下하는지는 疑問이다. 大體로 電氣的劣化를 分類해보면 다음과 같다.

(1) Corona 放電에 因한 劣化

Corona의 發生에 依해 熱的, 化學的으로 絕緣物이 劣化되는 것은 널리 알려져 있으나 그劣化機構에 對한 正說은 確立되고 있지 않다. 다만 Corona 發生의 防止法은 어느程度講究되고 있음으로 Corona 發生을 防止한다는 것이 劣化防止策의 한 方案으로 간주된다.

(2) 過電壓의 反復加壓에 因한 絕緣耐力의 低下.

系統構成, 保護方式의 改善에 依해 過電壓의 發生과 그 波高值를 抑制하도록 하는것이 必要하나 經濟的으로 생각 할 때 過電壓의 反復에 因한 絕緣耐力의 低下에 對한 研究가 必要할 것 같다.

(iv) 化學的劣化

一般的으로 絕緣物은 酸素에 依한 酸化作用, 熱에 依한 分解作用 吸濕에 依한 加水分解等等으로 因하여 絕緣物이 變質해서 機械的性質이나 電氣的性質에 影響을 미치게 된다. 이러한 化學的 劣化에 對한 原因으로서는 大體로 아랫項目으로 列舉할 수 있으나 이들中에는 앞서 言及한 機械的劣化에서의 原因과 같이 充分히 注意를 하면 原因을 除去할수도 있다. 特히 材料自體의 開發改善에 依해서 劣化要素를 많이 減少시킬수는 있으나 經濟的인 問題와 關聯있기 때문에 問題가된다. 한편 高度로 發達改善된 有機絕緣材料의 劣化에 對한 主要素는 熱的劣화와 이에 隨伴해서 일어나는 化學的劣化인 것이다. 이에 反하여 無機絕緣材料는 有機絕緣材料에 比해서 一般的으로 熱的으로나 化學的으로나 安定하다.

(1) 酸素에 依한 酸化作用

(2) 熱에 依한 分解作用

(1) 吸濕에 依한 劣化

(2) 紫外線에 依한 劣化

(3) 微生物에 依한 劣化

§ 2. 絕緣壽命

앞서 概說한 여러가지 劣化原因으로 短縮되는 絕緣壽命에 對해서 筆者로서 考察한 絕緣壽命機構와 評價에 對해서 言及코져 한다.

既知된 바와같이 電氣絕緣物이 定格電壓印加的 使用狀態에 있어서 壽命의 有限與否는 研究者, 使用者, 製作者等에 따라 意見이 구구하다. 機器의 種別에 있어서도 眞空密封型 OF 蓄電器와 回轉機線輪의 絕緣性은 同一立場에서 論하기에는 困難해 보인다. 그러나 筆者가 恒常 생각해온 原理的인 見地에서 본다면 化學反應速度理論에 立脚해서 絕緣壽命의 問題는 長短은 있겠지만 모든 電力機器에 對해서 定義해야 할것이라고 생각된다. 單只 어떤경우는 壽命이란 工學的인 時間 scale을 훨씬 超越하고 있다고 생각되어 皮相的으로 無限壽命과 같은 解釋이 생기게 된다.

絕緣壽命의 實驗的인 見地에서는 便宜上 加速劣化試驗이 採用된다. 元來는 實用機器의 歷年的인 記錄 data를 比較對照하여야 할 것이지만 使用實績이 統計的으로 有意義할 程度로 豊富하지 않는 경우가 많기 때문에 (韓國에는 全然없다) 決定的인 關鍵을 잡지 못하는 缺陷이있다. 劣化의 要因으로서는 § 1에서 言及한것처럼 突發的인 原因이나 內部弱點에 因한 것은 除外하고 通常運轉時에 機器가 받는 作用에 限定하기로한다. 即 定常的인 熱的, 化學的, 機械的劣化過程을 생각한다. 이와 같이 問題를 單純化하면 劣化反應이 促進하는 경우 絕緣破壞強度는 電壓印加時間의 函數라고 생각할수가 있다. 劣化度는 絕緣破壞電壓의 低下에 依해 나타낼수 있는것이라고 생각하면 既知된바와 같이 化學的反應速度論的인 展開가 可能하게 된다.

一般的으로 어떤劣化反應의 進行이 活性化 energy E를 가지는 경우 그過程의 比反應速度 K는

$$K = A \cdot e^{-E/R \cdot T} \dots\dots\dots (1)$$

로서 주어진다. 여기서 R는 氣體定數, T는 絕對溫度, A는 分子衝突確率을 나타내는 函數로서 (K, T/h)의 形을 취한다.

化學反應速度는 反應物質의 濃度를 C라고하면

$$\frac{-dc}{dt} = KC^n \dots\dots\dots (2)$$

이다. 一次의 化學反應에서는 n=1 이기 때문에 이를積分하면

$$\ln C = -Kt + \text{const} \dots\dots\dots (3)$$

으로 된다. 絕緣物의 劣化過程이 簡單한 一次反應機構에 따른다고는 斷定할수는 없으나 現在까지 測定된 여

러基礎實驗值를 본다면 劣化를 나타내는 函數는 大體로 1차 反應에 따르는 것 같다. 即

$$(f) \text{劣化} = -Kt + \text{const} \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $f(\text{劣化}) = \ln V$ 인 狀態, 即 絶緣破壞強度로서 測定한 絶緣劣化가 一次反應으로서 記述되는 경우를 생각하면

$$\ln V = -Kt + \text{const} \dots\dots\dots(5)$$

으로된다. 따라서 아랫식이 成立된다.

$$\ln V = -A \cdot t e^{-E/RT} + \text{const} \dots\dots\dots(6)$$

(6)식의 對數를 취하면

$$\ln t = \ln \left[ \frac{\text{const} - \ln V}{A} \right] + \left( \frac{E}{R} \right) \cdot \frac{1}{T} \dots\dots\dots(7)$$

(6)식에서부터 時間에 對한 破壞強度의 對數  $\ln V$ 를 그 린다면 直線으로 되기때문에 이로부터 一定條件下에서 一定時間 使用한경우의 劣化狀態를 그예의 破壞強度로서 2,3測定하면 長時間 使用後의 殘存耐壓을 推定할수가 있다. 實測結果는 다음 機會에 報告하기로 한다.

### § 3. 電力機器의 絶緣試驗法

現在 電力機器의 絶緣法으로서 使用되고 있는것과 研究開發되고 있는 것은 大體로 (i) 直流高壓試驗 (ii) 誘電正切試驗 (iii) 交流電流試驗, (iv) corona 試驗, (v) 直流分法 등으로 列擧할수 있다. 이들에 對해서 簡單히 考察해보기로 한다.

#### (i) 直流高壓試驗

이 試驗法은 主로 發電機, 電動機 등의 絶緣試驗에 使用되며 Detroit Edison Co. 에서는 套管의 試驗에 利用하여 傳導電流의 電壓에 依한 變化로서 弱點部 (weak spot part)를 檢出하고 있다.

이 方法은 供試物의 絶緣抵抗, 成極指數, 弱點比 및 溫度係數로부터 絶緣의 性狀, 主로 吸濕의 有無를 診斷하는데 使用되고 있다. 또 弱點比는 絶緣의 弱點部の 有無를 鑑別하는데 使用되고 있으나 試驗電壓을 어느 程度로 해야할 것인가는 아직 定量的으로 定해져 있지 않다.

成極指數에 依한 絶緣性狀은 Schneider 氏가 定한 結果를 보면 [표-1]과 같다.

絶緣의 狀態	成極指數
Dry	2.5以上
Normal	1.5~2.5
Moist	1.5以下

[표-1] 成極指數에 依한 絶緣性狀의 基準(發電機)

發電機의 coil을 恒溫槽속에서 140°C의 溫度로 熱的으로 劣化시키고 있으나 [표-2]와 같은 結果를 나타내고

있다.

그外 A.W.W. Cameran等은 絶緣抵抗—電壓曲線으로

諸係數	劣化開始電壓	劣化 500時間	劣化 1,500時間
成極指數	1.97	3.03	3.52
弱點比	1.7	3.11	1.55
溫度係數	38.5	43.4	38.1

(註) 成極指數: 試驗電壓 5kV

弱點比: " 5kV, 20kV

溫度係數: " 15kV,  $\frac{t_2-t_1}{N} = \log \frac{R_1}{R_2}$

[표-2] Coil의 劣化現象

부터 破壞電壓을 豫知할 수가 있다고 하나 不正確한 것 같다.

結局 이 試驗法은 供試物이 吸濕하고 있는가의 與否를 調査하기에는 適合하나 絶緣物의 劣化與否를 가려내기에는 測定時의 條件이 關係하기 때문에 그러한 條件을 一致시키는 것이 매우 어려워 結局 判定可能이 稀薄하다.

#### (ii) 誘電正切試驗(tanδ法)

이 試驗法은 發電機, 變壓器 및 套管에 使用되고 있다. 套管에서는 그 tanδ가 큰것은 劣化되고 있는 것으로서 絶緣破壞가 容易하게 일어사는 狀態라는 것이 實驗적으로 判明되고 있다. 特히 compound型, 蓄電器型 등의 套管에 對한 劣化判定에 有効하게 利用되고 있다.

한편 變壓器의 劣化는 Gross 氏가 提案한 tanδ溫度特性에 對해서 實測結果, 劣化判定이 可能함이 判明되고 있다. 特히 吸濕程度를 알수 있으므로 變壓器의 乾燥度 測定에는 널리 利用되고 있다. 一例를 들면 測定結果 劣化되고 있다고 判定된 變壓器라도 變壓器油를 代替하고 本體를 眞空處理 하면 tanδ—溫度特性이 改善되는것 등으로 乾燥度의 測定에는 아주 適合한 方法이다. 油浸紙의 劣化는 電氣的性質에 別로 變化를 주지 않기 때문에 抗張力과 같은 機械的性質의 變化로서 判定하고 있다. 따라서 變壓의 tanδ值로 부터 絶緣의 性狀은 알수 있으나 壽命이나 破壞電壓에 對한 豫知는 할수 없다.

發電機에 對해서 考察해보면 다음과 같다. 即 發電機의 tanδ는 大體로 corona가 發生하지 않을때와 發生하기 始作한 後의 两部分으로 나눌수 있어 前者의 tanδ는 使用絶緣材料 및 製造技術 등에 따라 相異하나 最近의 coil에서는 5~8%의 값으로 나타나 驗試電壓에 對해 大體로 一定하다. 萬一에 吸濕狀態에 있다면 水分子의 變極子의 影響때문에 比較的 tanδ가 크게 나타나 10%以上으로 되며 同時에 電壓의 增加와 더불어 徐徐히 增加한

다. 또 熱的으로 劣化되어가면  $\tan\delta$ 의 값은 차차 減少해나가서 보통 2%程度가 되는것도 많다.

後者에 있어서는 絶緣物에 加해지는 電位傾도가 높아져서 絶緣內部에 corona가 發生하면  $\tan\delta$ 가 增加해진다. coil의  $\tan\delta$ 를 測定할적에는 coil의 表面에서 corona가 發生하기 때문에 이 corona를 包含해서  $\tan\delta$ 의 增加開始電壓이 定格電壓의  $1/\sqrt{3}$  以上으로되는 것이 使用狀態에 있어서 corona에 依한 coil의 損傷을 없애는 意味로서 바람직하다.

이와같이 發電機의  $\tan\delta$ 는 coil의 性狀을 鑑定하는데는 適合하다. 特히 吸濕의 與否 coil와 slot內의 接觸狀態 및 corona의 發生狀態等を 調査하는데는 適合하다. 絶緣物이 劣化되어가면  $\tan\delta$ 는 減少하고 corona의 發生開始電壓이 低下하며 더욱 吸濕하기쉽다는 點에서 逆으로 이들의 現象이 생기던 劣化되어가고 있다고 判定된다.

그러나 이들의 現象은 使用絶緣材料에 따라 相異하기 때문에 定量的인 判定은 아직 不可能하다. 特히 coil의 경우 劣化에 依한 絶緣耐力의 低下가 어느 程度인지는 正確하지 않기때문에  $\tan\delta$ 의 測定에서 coil의 破壞電壓值를 豫知할수는 없다. 單只 絶緣物이 劣化해지면  $\tan\delta$ 가 減少되어서 絶緣耐力이 低下한다는 實驗的結果로부터 絶緣破壞電壓은 新品當時 보다 低下되고 있으리라는 推定은 할수가 있다.

(iii) 交流電流試驗

이方法은 接地電流를 測定하여 그電流波形的 變化와 接地電流의 急增現象으로부터 絶緣性狀 및 絶緣破壞를 豫知하는 方法으로 變壓器, 發電機, 套管, 碼子 및 絶緣油의 劣化檢出에 使用되고 있다. 特히 이 方法은 運轉中에 機器의 異常을 檢出할수 있는 點이 特色이나 絶緣破壞를 豫知하는데는 좀더 研究檢討할 必要가 있다.

(iv) Corona 試驗法

試驗電壓을 上昇시켜가면 絶緣物로부터 corona의 發生을 볼수있다. corona가 發生한다는 것은 絶緣物에 異常電壓이 加해지고 있다는 것을 나타낸 것이며 또 絶緣破壞가 일어날적에는 一般的으로 corona放電을 隨伴하기 때문에 電力機器의 corona에는 注意를 기울여야 한다. 또 corona는 絶緣物에 損傷(物理的인 것과 化學的인 것의 重疊)을 흔히 주나 어느程度의 corona가 어느程度만큼 有害인가는 아직 定量的으로 解明되지 않고있다. 筆者가 行한 部分實驗에 依한 結果를 보면 供試物로서 두께 0.3mm의 mica tape 또는 myler tape를 사용해서 이것을 半徑 1mm의 棒狀電極間에 挿入하여 對極시켜서 連續 6時間동안 corona를 發生시켰을때 pin

hole 狀의 損傷이 생겼는데 이때의 corona pulse의 크기는 大體로  $10^{-9}$  coulomb 程度였다. 이들 corona의 發生이 溫度 吸濕에 依해 影響되는 既知의 事實이나 그機構에 對한定說은 아직 確立되어 있지 않다. 特히 電力機器의 絶緣에서는 單純한 模型과 달라 corona開始電壓을 推算하는 것이 困難할 뿐만아니라 印加時間과 더불어 變動하며 그 위에 corona檢出에 있어서 檢出感度を 높일 수록 開始電壓은 低下되어서 그臨界點을 定하기가 困難하다. 따라서 corona開始電壓은 強度를 定한다음에 定義해야 한다. 따라서 corona의 測定으로부터 破壞電壓을 推定하는 것은 오늘날은 아직 困難하나 corona와  $\tan\delta$ , 電流波形, 直流分과의관계等を 明確히 할必要가 있다. 特히 絶緣破壞의 機構에 있어서 corona pulse technique가 아마도 有効適切한 方法으로 생각되니 앞으로의 飛躍的인 研究開發이 注目된다. 그外 變壓器의 油中 corona를 檢出하는데는 油中 microphone을 사용하거나 中性點電流波形으로 부터 檢出하는 方法도 있다.

(v) 直流分法

供試物에 交流電壓을 印加했을때 흐르는 電流속에서 大體로 적으나마 直流分이 包含되고 있다. 이 直流分值의 크기, 方向, 動搖幅等を 測定하여 이로부터 絶緣의 電離點吸濕의 有無等を 判定하려고 現在研究開發中에 있다.

絶緣材料를 사용해서 實驗한 結果로는 印加電壓을 上昇시켰을 경우 溫度를 높이면 直流分值가 增加하는 傾向이 있다. 그러나 現段階로서는 破壞值를 豫知하는 것은 아직 困難하다.

結 言

- (i) 有機絶緣材料의 劣化는 主로 熱的, 化學的, 機械的 및 電氣的인 것이있으나 機械的인 原因은 注意를 기울리면 어느程度는 除去가 된다.
- (ii) Corona는 T.W. Dakin 등의 論文이있으나 우리나라에서도 檢討가할 必要가 있다.
- (iii) 現試驗法으로 單絶緣性狀을 알수있으나 實用機器의 구조상 破壞機構가 不明함으로 破壞는 豫知지 못한다.
- (iv) 새로운 材料가 出現함으로서 今後 溫度와 劣化와 絶緣耐力의 低下에 對해서는 여러材料에 依한 實驗부터 檢討할 必要가 있으며 그것도 여러가지 要素에 對해서 分析調査하여 統計的인 相關性을 追求함이 急先務일 것이다.