

# 絶縁試験論考

李 衝 載\*  
(Hyung Jai-Lee)

## 1. 緒 論

絶縁試験方法は 여러가지 있으나 이들은 工場에서 또는 特殊한 施設을 갖추지 않고는 어려운 경우가 大部分 이므로 이에 現場에서 또는 現在 電力을 使用하는 工場 및 發電所가 갖이고 있는 計測器類와 絶縁試驗器 (megger) 등을 使用하여 發電機 電動機 등의 絶縁의 絶縁物에 對한 絶縁度 및 cable 과 高壓 Bushing 의 絶縁度를 決定하므로써 豫防整備의 實効를 거두어 電氣機器管理의 適正을 期하기 爲하여 그 技術과 方法을 考案檢討 하고져 한다.

A種 또는 B種 固定子 絶縁物の 實質의 有効壽命은 機械的衝擊을 加하여 龜裂이 發生하것금 破碎될 때라고 본다. 破碎現象은 高溫運轉과 長時間運轉으로 材質의 枯化(aging)現象으로 柔軟性이 消失되어 생기는 直接的인 原因과 破裂되어 있는 絶縁物에 싸여있는 導體에 機械的인 衝擊을 받아서 發生한다. 이와같은 變歪의 機械的 衝擊은 (1) 短絡電流에 依한 磁氣變歪 (2) 導體溫度變化에 依한 팽창 및 收縮作用 그리고 (3) 振動에 依한 것이다. 絶縁物の 絶縁耐력은 破碎만에 依하여 材質의 損傷을 입을 뿐 아니라 破裂로 因하여 繼續해서 急進的으로 絶縁劣化現象이 進行된다. 따라서 絶縁物の 破裂은 綿密히 點檢을 자극하여 必要하다면 곧 補修해야 한다. 絶縁抵抗이나 誘電體力率은 이 破碎現象의 測定尺度가 될수는 없고 現在方法으로서는 絶縁破壞試驗을 하지 않고서는 다른 方法이 없다. 發電機의 稼動經歷은 絶縁狀態를 나타내는데 必要한 하나의 要因이 될 수 있다. 가령 種絶縁物에 抵抗溫度計法을 써서 測定한 溫度 90°C 에서 15年間 24時間 繼續 全負荷로 運轉하면 絶縁物이 그림 1에 나타낸것과 같이 破碎된다. 이 동안 絶縁破壞가 發生하지 않은 現象은 多幸히도 線路의 短絡事故가 發電所에서 먼곳에서 發生하여 그 短絡電流가 機械的 衝擊을 coil에 주어 coil이 變形하므로써 絶縁이 破壞되는 狀態까지는 이르지 않았든 것으로 생각한다. 그後 短絡은 絶縁을 破壞하것금 充分히 가까운 곳에서 發生하였다고 생각한다. 過負荷가 變壓器나 發電機의 絶縁壽命의 短縮을 促進한다는 것에 對하여는 此後說明키 로한다.

絶縁無敗의 大部分의 原因은 吸濕에 依한 것이고 發

\*忠洲工業高等學校副教授 正會員

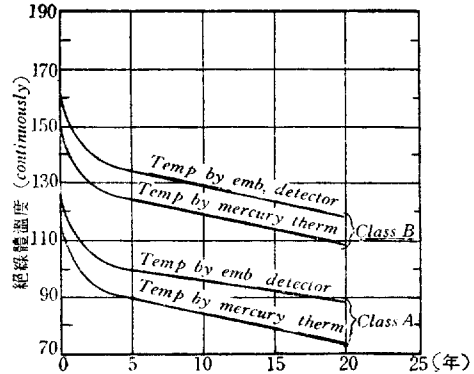


그림 1. 溫度와 絶縁物の 壽命  
(Ref. Steinmetz and Lamme, Vol. 48 Page 659)

電機나 變壓器의 捲線에 使用한 纖維質絶縁物은 吸濕性이 높아 그를 둘러싸고 있는 油中 또는 大氣中の 濕氣를 吸收한다. 따라서 週期的으로 자주 接合部의 不實 또는 gasket의 破損 冷却管의 漏水 등으로 因한 水分의 吸收 如否를 試驗해야 한다. 먼지나 油氣로 絶縁物の 露出部의 汚損은 絶縁耐력을 低下시키고 絶縁破壞의 原因이 되는수도 있다. 또한 機械的 振動 化學反應 및 熱作用으로 因하여 低下된다.

## 2. 絶縁試驗法

近來 使用되고 있는 方法은

- (1) 絶縁抵抗測定 및 誘電體 吸收法 (Insulation Resistance and Dielectric Absorption Test)
- (2) 力率試驗 (Power Factor Test)
- (3) 交流 및 直流 印加試驗
- (4) Corona 試驗
- (5) 衝擊波形式試驗

등이 있으나 (1)과 (2)를 除外한 다른 方法들은 工場에서 또는 特殊施設이 必要하기 때문에 現場에서는 主로 (1)과 (2)의 方法에 依하여 試驗하게된다. 이들 方法도 絶縁物이 어느程度의 높은 電壓에 견딜 수 있느냐 하는 正確한 指標가 될수는 없다. 試驗結果는 그 絶縁物이 新品인 境遇서부터 週期的으로 測定 記錄하여 그 값이 下降하느냐 또는 上昇하느냐의 傾向을 알된다. 絶縁試驗에서 얻은 여러가지 Data를 綜合하여 보면 어느것이

고 特定한 한가지 方法에 依하여 稼動中 絕緣이 破壞될 것이라고 하는 絕緣劣化狀態를 暗示해 주지는 못한다. 變壓器의 絕緣抵抗試驗에 있어서 吸濕狀態를 提示받고 있다는 事實이 많이 알려져 있으나 捲線의 力率試驗은 明白하게 吸濕狀態를 나타내며 이는 乾燥하므로써 쉽게 고칠 수가 있다. 때로는 이와 反對現象을 示顯하는 경우도 있다. 恒常可能하면 다음 列擧한 方法中 二種以上の 方法으로 各種施設의 絕緣試驗은 週期的으로 하는 것이 좋다.

施 設		適切한 絕緣試驗法
電動機와 發電機의 固定子 및 界磁捲線		(1) 誘電體吸收試驗 (2) 絕緣抵抗測定
電力用變壓器	絕 緣 油	(1) 絕緣耐壓試驗 (2) 力率試驗
	捲 線	(1) 力率試驗 (2) 誘電體吸收試驗
高 壓	Cable	(1) 絕緣抵抗試驗 (2) 直流耐壓試驗 (3) 力率試驗
高 壓	Bushing	(1) 力率試驗 (2) 絕緣抵抗試驗
遮 斷 器		(1) 力率試驗 (2) 絕緣抵抗試驗

絕緣抵抗은 電壓印加後 一分이 經過한 後의 값이라야 그 意義가 있다. 誘電體吸收試驗의 各指示値는 電壓印加後 10分間 段階的으로 指示値를 記錄해야 한다. 絕緣油試驗方法은 KS C 2101 및 C 2301을 參照하면 알 수 있다.

### 3. 絕緣抵抗 및 誘電體吸收試驗

絕緣抵抗試驗(megger test)은 電氣의 絕緣狀態를 決定짓는 한方法으로 被試驗器를 損傷시키지 없이 一般的으로 가장 널리 오랫동안 使用되어 왔다. 이 方法은 絕緣物內部的 吸濕程度와 絕緣物의 表面의 水分 및 먼지 등의 汚物로 因한 漏洩電流의 程度 그리고 時間과 絕緣抵抗의 相關曲線을 만들어 捲線의 絕緣劣化 및 破損을 檢出할 수 있다. 이와같은 方法은 徐徐히 그리고 不完全하기는 하나 그 技術과 課論이 發展改善되어가고 있다. 이 技術의 利用으로 重要한 새로운 方法과 精度를 나타낼 수 있는 技能과 方法을 研究啓發하지 않으면 안된다. 絕緣抵抗의 試驗値는 結果의 變動에 對한 原因을 알고 있으면 注意깊게 이를 分析하고 最低限度로 推定하므로써 實際의 값보다 높은 값이 되는 것이 普通이다. 絕緣

抵抗이 그 絕緣物의 耐壓程度를 나타내는 正確한 尺度는 될 수 없으나 適切한 說明과 推理를 하므로써 捲線의 繼續인 運轉이 可能한가 如否를 指示하는 有用한 값이 된다. 또 絕緣抵抗은 同一한 機械 및 狀態에 있어서도 廣範圍하게 그 값이 相達함을 알아야 한다. 絕緣抵抗値의 大小보다는 이 값의 變動이 더욱 重要한 意義를 갖이고 있다.

捲線 또는 絕緣電線의 絕緣抵抗은 直流電壓을 印加하였을 때의 抵抗을 Megohm 으로 나타낸 것이다. 이때 흐르는 電流는 (1) 導線과 Frame 또는 對地容量으로 因한 充電電流와 (2) 絕緣物의 誘電體吸收에 相應하는 成極電流(Polarizing current) (3) 絕緣物을 通過하는 電流와 表面을 흐르는 電流의 合成인 漏洩電流로 構成되어있다. megger 나 또는 다른 試驗器도 모다 直流電壓을 갑자기 印加하기 때문에 初期指示値는 낮고 時間이 經過하는데 따라 徐徐히 增加하고 相當時間 經過後 指針은 安定値를 指示하게 된다. 時間에 따른 絕緣抵抗의 變化狀態를 나타낸 曲線을 誘電體 吸收曲線(Dielectric Absorption curve)이라함은 이미 아는 바이며 初期의 指示가 낮은것은 初期充電電流가 크기 때문이다. 絕緣體가 充電되어감에 따라 이 電流는 次々 減少하고 普通 15秒程度면 充電現象은 終了된다고 본다. 또한 初期絕緣抵抗値가 낮은것은 初期誘電體吸收現像이 크기 때문이기도 하다. 이것도 時間이 經過함에 따라 減少하나 完全히 吸收現像이 끝나자면 10分以上 또는 24時間以上 所要되는 增遇도 있다. 그러나 實用的인 目的을 爲해서는 10分後의 變化는 極히 적으므로 無視할 수 있다. 漏洩電流는 電壓이 一定한 限 時間에 關係없이 一定하고 試驗電壓을 印加한 10分後의 絕緣抵抗指示値에 依하여 決定된다.

絕緣抵抗은 두께에 正比例하고 被試驗絕緣物의 表面積에 逆比例한다.

이미 序論에서 論及한 바와 같이 一般的으로 保有하고 있는 Megger에 依한 試驗方法이므로 우리 周邊의 電氣關聯事業所의 megger는 大部分이 手動式이고 이는 局部點檢(spot check)에는 適合하나 誘電體吸收試驗에는 適當치 않다. 그 理由는 大部分의 사람이 10分間以上 安定値를 指示할 때까지 一定한 速度로 回轉하기란 大端히 困難하기 때문이다. 電動式 megger 나 또는 眞空管型 및 Transistor型이 適切하다. 印加電壓에 따라 絕緣抵抗이 變動하므로 試驗器의 容量이 充分해야 할 것이 大端히 重要하고 그러므로써 長時間 定格電壓을 發生供給할 수 있다.

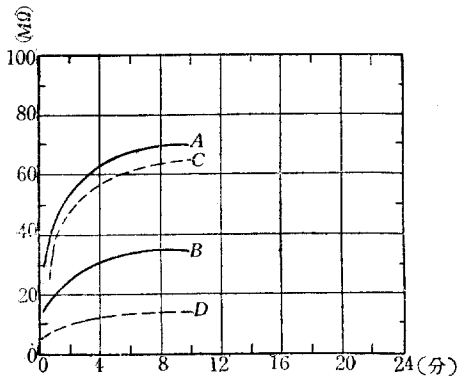
특히 큰 捲線試驗時는 이에 留意해야 한다. 이 때문에 小型試驗器는 大容量發電機 및 變壓器에는 相當한 吸收電流가 흐르므로 適切치 않다. 試驗器는 後述하는 바

와 같이 두가지 電壓을 發生하는 것이 좋다. 絶緣試驗器는 그 誤差의 更正과 作用이 제대로 되나 의 如否를 알기 위하여 Radio에 흔히 쓰이는 2~3 MΩ程度의 抵抗을 函內에 붙여서 標準試驗用으로 使用하는 것이 便利하다. 한가지 被試驗器에 對하여 週期的인 試驗을 할 때 마다 同一한 試驗器를 使用하는 것이 좋다.

그것은 試驗器의 出力特性이 다르면 誘電體吸收曲線에 變化가 생기고 特히 下部에 그 影響이 顯著하다.

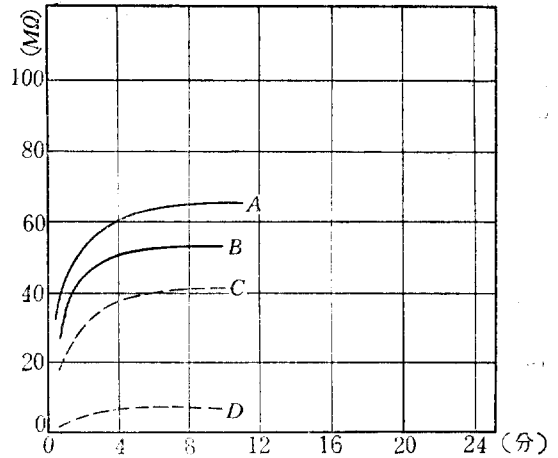
高度의 技術없이 絶緣抵抗을 測定하면 後述하는 바와 같은 몇가지 要因으로 그 값의 變動이 甚하며 結果的으로 그 값의 効用價値를 喪失케 한다. 各 要因은 絶緣抵抗의 測定値에 카다란 誤差를 發生케 하고 이는 計器의 맞이 아닌 것이다. 이 問題는 主로 發電機 固定子 捲線에 適用되나 모든 回轉機 Cable 變壓器 그리고 絶緣抵抗值가 絶緣狀態가 良好하다는 것을 나타내기 어렵다고 생각되는 磁器碍子 避雷器 Bushing 等を 除外한 것들에 適用된다. Bushing의 狀態를 點檢하는데 가장 優秀한 方法은 力率測定法이다.

絶緣抵抗의 測定値에 影響을 주는 第一要素因은 megger 또는 다른 計測器에 依하여 供給되는 試驗電壓의 印加期間이다. 即從前까지 Megger의 Handle을 돌리고 電壓印加時間에 關係없이 指示値는 局部點檢外에는 그 값이 지니는 意義가 別로 없다. 局部點檢時 普通電壓은 500 V이고 1分後의 값을 읽는다. 깨끗하고 잘乾燥된 新發電機의 皮相的인 絶緣抵抗은 試驗電壓이 印加된 동안 每分增加함을 示顯한다. 抵抗值 그 自體는 그다지 重要性을 띠고 있지 않다. 重要한 것은 後述하는 濕氣의 影響과 같이 時間에 따른 抵抗值의 變動狀態 即 曲線의 기울기이다. 이는 그림 2와 그림 3에 나타낸 것과 같다.



A, B: 破裂前 A, C: 2,500V인가  
C, D: 破裂後 B, D: 15,000V인가

그림 2. 유전체 흡수곡선



A, C: 인가전압 2,500V  
B : " 10,000V  
D : " 20,000V

그림 3. 유전체 흡수곡선

試驗電壓은 標準時間인 10分間을 印加해야 하고 每分 또는 이보다 짧은 間隔으로 抵抗值의 變化를 記錄해야 한다. 約 3分 또는 이 以前에 定常值보다 낮거나 一定하게 되는 曲線은 漏洩電流가 크다는 尺度를 나타낸 것이며 이는 成極電流는 이보다 極히 적기 때문이고 捲線을 깨끗이 막고 다시 電壓을 印加하든지 또는 더욱 充實한 調査를 한다. 이와같은 掃除作業은 絶緣試驗 實施前에 하는 것이 바람직스러운 일이다.

吸濕이 甚한 境遇 誘電體 吸收曲線은 上部에서 시작하여 윗쪽으로 올라가다 떨어져서 처음 試驗值보다도 下部로 내려간다.

第二의 要因은 試驗電壓의 크기이다. 吸濕 汚物 其他形態의 絶緣劣化로 因하여 漏洩電流가 큰 捲線은 試驗電壓이 높아감에 따라 그 絶緣抵抗值가 顯著하게 低下한다. 이와같은 現象은 그림 2와 3에 表示한 것과 같다. 그림 2에서 誘電吸收試驗電壓 2,500 V와 15,000 V를 固定子捲線에 印加한 것이다. A와 B는 각각 吸收特性曲線이며 10分後의 兩抵抗比가 2:1이 되어 있다. 그런 다음 捲線을 高壓試驗으로 破損시킨 다음 다시 誘電體吸收試驗을 한 結果를 나타낸 것이 曲線 C와 D이고 앞서와 같은 溫度에서 10分後의 抵抗比는 5:1이다. 이와같은 抵抗比의 變化는 皮相的으로 나마 絶緣物이 破壞되어 있다는 것을 示顯하고 있다. 그림 3에서 容量이 같고 使用期間이 같은 두 機械를 같은 電壓體吸收減試驗을 한 結果이다. 曲線 A와 B는 機械의 捲線의 絶緣狀態가 優秀한 境遇이며 抵抗比는 1.2:1이다. 曲線 C와 D는 兩機械中 다른 하나의 捲線은 外觀

上으로도 쉽사리 다시 捲線을 해야한다는 것을 알 수 있을 정도로 不良한 狀態이며 그 抵抗比는 7:1 임을 나타내고 있다. 여기서 보는 바와같이 絶緣狀態가 나뉠수록 抵抗比의 差가 甚해짐을 알 수 있다. 萬若充分히 乾燥시킨 다음이라면 이 對比는 捲線의 絶緣破裂을 나타내는 것이며 이를 劣化比(Fault Rati)라고도 한다. 아직까지는 安全한 許容劣化라고 할 수 있는 값을 決定하고 있지 못하지만 이 값은 낮은 電壓과 높은 電壓을 印加試驗하므로써 劣化比는 廣範圍한 絶緣狀態의 差異를 나타내며 各種을 調査檢討하여 確認할 것이 必要하다는 것을 提示하고 있다. 界磁捲線이나 其他 低壓絶緣物은 絶緣破裂을 避하기 爲하여 500 V 以下の 試驗電壓을 使用하는 것이 安全하고 바람직스럽다. 이때 Brush 는 메어 올리고 聚電環의 絶緣은 조심하여 試驗前에 Solven 等を 써서 깨끗히 清掃를 해준다. 回轉子絶緣抵抗도도 固定子の 그것과 同一한 重要意義를 갖이고 있다. 위에서 舉論한 것은 機器의 各部品別試驗을 함에 있어 두가지 電壓을 使用했을 때의 使用電壓과 印加電壓이 各各 같아야 한다. 이 두가지 電壓은 最少限度 4:1 以上の 電壓差가 있어야 한다.

第三要因은 捲線의 靜電容量이다. 이 要因은 第一要因과 密接한 關係를 가지고 있으며 그것은 誘電體吸收現象과 같이 絶緣物構成體인 mica 內面間 vanish 된 纖維體間 優秀 vanish 또는 其他 絶緣物間 및 이들 相互間에 고루 電荷가 荷電되는데 甚 時間이 所要되고 이들을 完全放電시킨다면 10 分以上 捲線을 接地하여야 하며 誘電體吸收特性을 求하려면 반드시 미리 이와같은 節次를 거쳐야 한다. 發電機의 中性點을 接地하지 않았으면 定期的인 運轉時에도 荷電되고 또는 앞서 施行한 絶緣抵抗試驗으로 因한 때도 있다. 絶緣抵抗測定을 하는 境遇를 除外하고는 發電機의 捲線은 恒常接地시켜서 試驗하는 것이 能率的이다.

第四의 要因은 溫度이다. 大部分의 絶緣物의 絶緣抵抗은 溫度에 逆比例하여 變化한다. 週期的인 絶緣抵抗測定은 서로 適切한 相關關係를 갖게 하기 爲하여 各測定時의 溫度가 같아야 하고 萬一 그렇지 못할 때는 同一한 溫度의 값으로 換策해야 한다. 이와 같은 換策表는 後述하는 바와 같은 標準方式에 依하여 두가지 獨立된 溫度에서의 그림 5의 曲線 C 및 D 와 같이 誘電體吸收曲線을 求하므로써 만들 수 있다. 첫 誘電體吸收曲線 即 高溫吸收曲線(Hot Dielectric Absorption Curve)은 全負荷運轉時 溫度上昇이 安定된 後 機械를 停止시킨 即後에 얻은 曲線이고 이것이 C 이다. 第2 即 低溫吸收曲線(Cold Dielectric Absorption curve)은 稼動中斷後 相當時間 放置하여 器機의 溫度가 낮아진 다음의 것이다. 兩曲線上의 10 分後의 값을 그림 4와 같이 對數

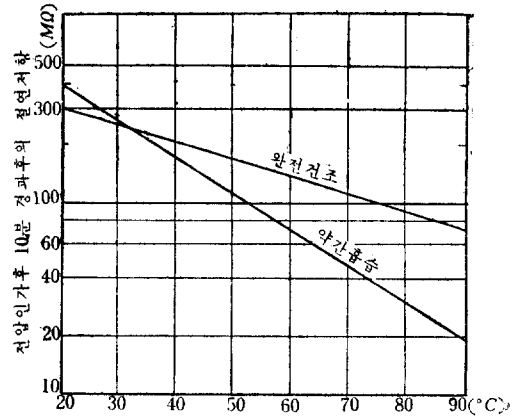
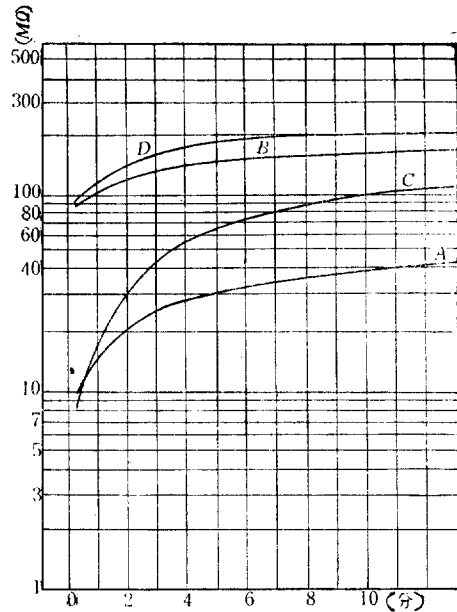


그림 4. 그림 5에 상응하는 온도 교정곡선



- A: 75°C에서 약간흡습 68,750 KVA
- B: 40°C에서 약간흡습 1,800 R.P.M.
- C: 75°C에서 완전건조 13,200 V
- D: 40°C에서 완전건조 60 cps

그림 5. 유전체 흡수곡선

graph에 直線을 긋는다. 이 直線을 20°C서 75°C까지 延張한다. 40°C를 基準溫度로 잡아야 하며 이는 日本 및 歐美系統에서도 40°C를 基準으로 하고 있다. 이 較正曲線이 一旦 만들어지면 大修理 또는 捲線을 다시 하기 前에는 그대로 適用이 可能하다. 이 曲線에 依하여 어떤 溫度에서 測定한 絶緣抵抗值라도 이 graph 內에 있는 任意的 溫度에 對한 값으로 換算할 수가 있다. 萬

若 위 溫度換算曲線이 없으면 近似曲線을 40°C를 基準으로 換算한 그림 10으로부터 求할 수 있다. 正確하고 綿密한 溫度의 測定은 絕緣抵測定에 있어 大端히 重要하다. 抵抗溫度檢出計를 가지고 있는 發電機에서는 이들 여러개의 提示值의 平均値를 使用한다. 그렇지 않은 때는 여러개의 溫度計의 提示值를 平均한 것을 使用한다. 負荷를 끊고 關係되는 諸器機의 開閉器를 열고 필요한 處는 Bolt 를 풀어 完全히 孤立시키고 試驗準備에 必要한 時間은 被試驗器機와 緣物間의 溫度傾度(Temperature Gradient)를 알아내는데 큰 도움이 되지만 이 時間은 한時間을 超過해서는 않된다. 變壓器의 境遇는 溫度變位를 除去키 爲하여 한時間以上 經過한 것이 좋다. 어떠한 形態이든 冷却器는 負荷除去와 함께 停止시켜야 한다.

第 5 要因은 吸濕度이다. 濕氣는 發電機 또는 電動機의 捲線에는 大氣中에서 吸收되고 變壓器의 捲線은 水分을 含有하고 있는 絕緣油로부터 吸收되며 絕緣抵抗値에 커다란 差가 생긴다. 이 現象은 Turbo 發電機의 例를 든 그림 5의 曲線을 보면 明白하다. 曲線 A는 發電機設置使用後 얼마 안있다가 75°C에서 測定한 것이고 曲線 C는 75°C에서 曲線 C를 爲한 값을 測定하기 直前까지 發電機는 定格負荷의 95%로 2年間을 그期間의 75%를 稼動하였을 때의 結果이다. A의 경우보다 더 잘 乾燥되어야 하며 또한 絕緣物內의 揮發性物質이 모두 蒸發되고 없어야 하고 또한 修理한 事實이 있거나 枯化(aging)된 것은 相當한 影響을 미치게 된다. 濕氣에 露出됨으로 因한 絕緣抵抗의 降下는 運轉不能이라는 것을 뜻하는 것은 아니고 特別 定期的으로 測定한 여러 絕緣抵抗値와 相互比較하면 더욱 잘 알 수 있다. 指定된 溫度에서의 誘電體吸收曲線의 傾斜도가 絕緣의 吸濕程度를 나타낸다. 이를 傾斜率(Slope Factor) 또는 成極指數(Polarization Index)라고 한다.

$$\text{Slope Factor} = \frac{R_{10} - R_1}{R_1}$$

$$\text{Polarization Index} = \frac{R_{10}}{R_1}$$

여기서

$R_{10}$  : 10 分後의 絕緣抵抗値(MΩ)

$R_1$  : 1 分後의 絕緣抵抗値(MΩ)

第 1 은 그림 5의 4 個曲線에 對한 이 값들이다. 이表가 提示하는 바와같이 絕緣物의 乾燥 또는 吸濕時의 絕緣抵抗値의 差異는 溫度가 높을수록 激甚해지므로 高溫試驗을 해야한다. 成極指數는 計算이 容易하고 傾斜率보다 標準値로서의 意義가 더 깊다. 그러나 두가지보다 그 本來의 物理的意義는 같다. 이 값들의 增加는 乾燥함에 따라 生기고 그림 6은 이들 變化狀態를 1分 및 10分曲線으로 여러가지 나타낸 것이다.

表 1

曲線	絕緣狀態	溫度°C	Slope factor	Polarization Index
A	若干吸濕	75	1.63	2.63
B	若干吸濕	40	0.57	1.57
C	充分히乾燥	75	5.25	0.25
D	充分히乾燥	40	0.66	1.66

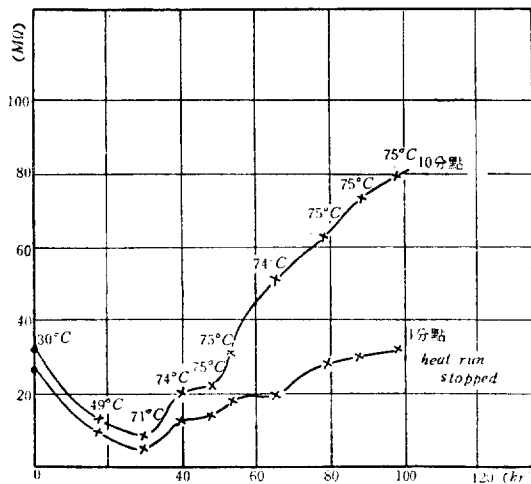


그림 6. 13.3KV 37,500KVA 수차발전기의 건조중의 1 및 10 分 후의 절연저항

#### 4. 各種絕緣抵抗의 標準値

다음 表에 나타낸 絕緣抵抗値는 1950年 AIEE가 發表한 實用値이다. 이들 表는 더 詳細하고 AIEE의 舊標準値보다도 効用價値와 信賴도가 높다. 여기에 나타낸 絕緣抵抗의 標準値는 捲線이 乾燥해 있고 淨潔한 때의 最低限度의 값이다. 特別 여기서 絕緣抵抗値가 낮다는 그 自體보다 定期的으로 測定한 絕緣抵抗値의 低減이 絕緣의 劣化狀態를 나타내는 尺度가 됨에 留意하여야 한다. 이 값들은 特別히 指定치 않는 限 40°C에서 500 V-DC를 加印 하여 1分後의 指示値를 나타낸 것으로 본다. 三相發電機의 二相을 接地하고 他一相單의 捲線絶緣抵抗은 三相捲線全體의 絶緣抵抗의 1.75~2.5倍가 된다. 만일 Guard 回路를 나머지 二相捲線에 連結한 交絶緣抵抗은 三相捲線의 그것의 約 3倍가 된다.

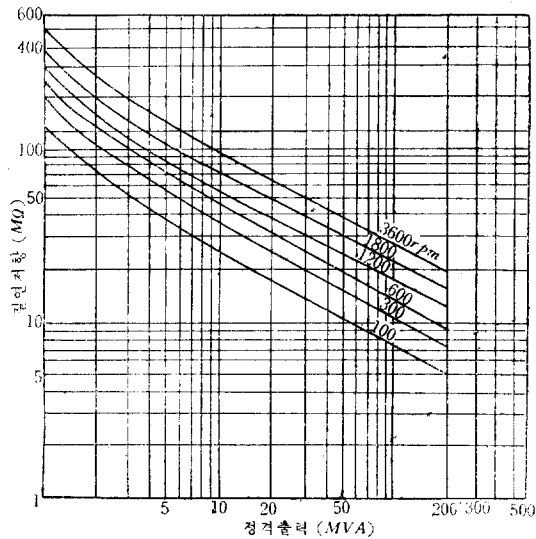
연流電機子捲線 1,000KVA	그림 7의 曲線을 使用 또는 이 以上
交流電機子捲線 1,000KVA 末滿 A 및 B種絶緣	1MΩ에 定格電壓을 1,000 V 超過할 때마다 1MΩ을 더하면 75°C의 값이 된다.

同期機의 界磁捲線 A 및 B 種 絶緣	75°C에서 1MΩ
捲線型誘導機 A 및 B種 絶緣	75°C에서 1MΩ에 誘起實効電壓 1,000V마다 1MΩ을 더한다.
直流電機子捲線 100KW 또는 이 以上 直流電機子捲線 100KW未滿	그림 8의 曲線을 適用 75°C에서 1MΩ
直流界磁捲線	75°C에서 1MΩ

機器端線輪은 高壓으로 因한 Corona 現象을 除去키 爲하여 半導體材料로 處理된 絶緣物을 使用하고 이와같은 配慮가 없을 때는 絶緣抵抗이 多少낮아진다.

이제까지 發電機와 電動機에 對하여 主로 論述하였으나 變壓器에도 適用된다.

變壓器의 絶緣抵抗을 測定하는 技術은 잘 알려져 있지 않고 標準化되어 있지 않다. 捲線이 油中에 들어가



곡선의 조건

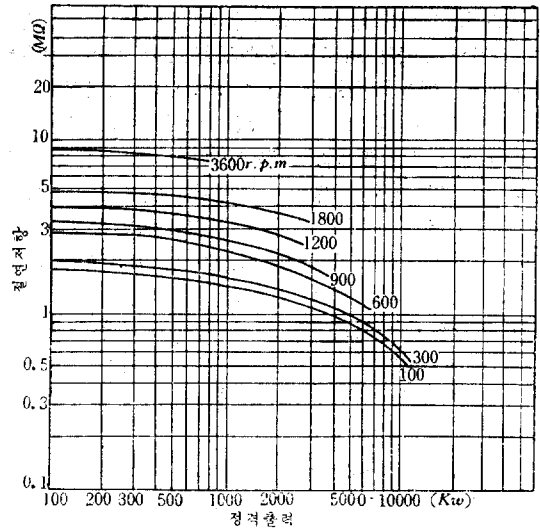
- (a) 3상권선전부
- (b) 1분간 직류 500 V 인가
- (c) 권선온도 40°C
- (d) B종 절연
- (e) 권선정격전압 13.8 KV

13.8 KV 가 아닌 경우

전압	배수
2.3 KV	0.35
4.1	0.45
6.9	0.60
16.5	1.15

A종 절연의 경우 0.36 배한다. 시험당시의 온도에 대한 절연저항을 40°C의 값으로 환산한다.

그림 7. 교류 전기자 권선의 표준절연저항(1,000KVA 또는 그 이상)



곡선의 조건

- (a) 1분간 D.C. 500 V 인가
- (b) 권선온도 40°C
- (c) 기계의 정격전압 451~800 V
- (d) A 및 B종 절연

451~800 V 범위의의 기계에 대하여 다음 계수를 곱한다.

정격전압	배율
450 또는 이하	0.9
801~1500	1.2
1501~2400	1.4
2401~3000	1.6

本표는 AIEE Standard No. 40에 의한.

그림 8. 직류전기자 권선의 표준 절연저항(100 KW 및 이상)

있지 않으면 絶緣抵抗 特性이 發電機나 電動機의 捲線과 같은 性向을 가지고 있다. 絶緣抵抗은 油中에 넣으므로써 低減되고 이는 絶緣油가 固體絶緣物을 並列로 連結시킨 形態가 되기 때문이다. 따라서 絶緣抗線의 指示值만으로 捲線의 乾燥狀態가 良好하다고 速斷할수 없으며 이는 이두 絶緣抵抗을 分離할 수 없기 때문이다. 絶緣油는 이것대로 따로 耐壓試驗을 하고 必要하면 濾過를 해야 한다. 變壓器捲線의 油中에서의 溫度에 따른 絶緣抵抗의 變化는 發電機의 그것과 같고 그림 4에서와 같은 曲線은 最少限度 溫度만이라도 標準化하는데 有用하다. 이 溫度特性의 傾斜도가 油中에서 吸濕의 影響을 받는가의 如否에 對하여는 確實히 알려져 있지 않다. 現在까지의 알려져 있는 文獻內容으로는 絶緣抵抗試驗보다는 變壓器에 關한 限 力率試驗이 適合하다는 것으로 믿고 있으나 더 明白한 論據와 研究가 發表되기 前까지는 可能하면 두가지 試驗을 모다 하는 것이 좋다. 試驗은 各 捲線間 各捲線과 對地間(이때 餘他 捲線은 接地)

그리고 接地하지 말고 餘他捲線을 Guard 回路에 結線한다.

cable 에도 絕緣抵抗法이 널리 適用되고 直流耐壓試驗 및 力率試驗이 이에 따른다 cable 의 絕緣抵抗試驗法은 機器의 捲線과는 달리 그 靜電容量이 크기 때문에 많은 差異가 있고 萬一 cable 의 長이가 길면 充電時間이 길고 溫度測定이 매우 困難하다 絕緣抵抗測定은 每 1,000ft 에 對한 絕緣抵抗值로 나타내고 어떤 一定한 最少值보다 작지 않다고 確認하는 것보다, 그 값들을 比較檢討하는데 그 効用性이 있다. cable 의 溫度는 大端히 重要하고 絕緣抵抗值와 함께 記錄保全되어야 한다. 이는 cable 의 一部가 屋内外로 설치되었을 때 一部는 露出되고 一部는 管內에 있는 때 또 一部는 地上 他部는 地下에 있을 때 大端히 어렵다. 萬一 溫度測定이 不可能한 때는 長이에 따라 溫度를 推定하지 않으면 않된다. 各 芯線間 그리고 各 芯線과 大地間(이때 다른 芯線은 接地) 또 對 絕緣抵抗은 餘他 芯線을 接地하지 않고 Guard 回路에 連結한다.

5. 試驗節次 및 記錄

誘電體 吸收試驗節次는 다음과 같이 한다.

[1] 高溫絕緣抵抗試驗

最少限 4 時間 以上 全負荷로 運轉하여 溫度上昇이 安定된 다음 停止시키고 한다.

(1) 各種 開閉器를 열어 다른 機器와의 結合狀態를 끊고 또한 Bolt 을 풀어 結線을 끊는다. PT 또는 相과 對地 또는 中性點 및 接地된 것을 보다 풀어 놓는다. 萬若切斷이 不可能한 外部回路가 있으면 이는 반드시 明示해 두어야 한다.

(2) 被試驗捲線은 最少限度 帶電電荷를 完全히 放電시키기 爲하여 10 分間 以上 接地한다.

(3) 接地線은 뜬 다음 絕緣試驗器를 連結하고 誘電體 吸收試驗을 한다. 10 分間 每分指示值를 記錄한다. 捲線全體와 大地間 그리고 界磁捲線과 大地間을 試驗한다.

(4) 試驗前의 機器의 溫度를 記錄한다. 여러곳의 溫度檢出結果의 平均值를 使用한다. 또는 여러곳의 溫度計의 指示를 읽어 가장 適格하게 平均溫度를 示顯하리라고 믿는 값을 決定한다. 溫度誤差를 手準化하기 爲하여 30 分 또는 한時間以上 負荷를 斷絶한 後 溫度測定을 느추면 測定值는 平均絕緣抵抗溫度보다도 더 適確한 값이 된다. 一般의으로 이 期間은 試驗準備를 爲하여 必要한 時間이기도 하다.

(5) 捲線은 다시 最少限度 10 分間 以上 接地한다.

(6) 接地線을 끊고 (3)과 (4)를 다른 電壓을 인가하여 試驗한다.

[2] 低溫絕緣試驗

(1) 高溫絕緣試驗이 끝난 後 4~8 時間이 經過한 後 即 機器가 冷却되어 大氣溫度와 같게 된 다음 高溫試驗時와 같은 方法으로 試驗을 進行한다.

[3] 處 理

各 測定值는 適切한 表를 만들어 記錄하고 誘電體吸收曲線과 溫度較正曲線을 求한다. 다음 成極指數를 計算한다. 또한 大氣溫度와 濕度가 記錄되어야 한다.

6. 絕緣抵抗의 溫度較正係數

前述한 바와 같이 試驗時의 溫度差를 크게 할 수 없을 때는 다음과 같은 方法으로 어떤 溫度에서의 絕緣抵抗을 指定된 基準溫度에서의 絕緣抵抗值로 換算한다. 다음 表는 近似值로서 絕緣抵抗의 溫度係數는 物質에 따라 또는 狀態에 依하여 廣範圍하게 變化되고 같은 物質이라도 恒常 一定하지 않기 때문이며 여기 값들은 다만 指標가 될 뿐이다. 絕緣抵抗值는 誘電體吸收曲線에서 10 分點의 絕緣抵抗을 使用해야 한다.

어떤 溫度  $T_2$ 에서 絕緣抵抗  $R_2$ 를 알고 基準溫度  $T_1$ 에서의 絕緣抵抗을 求하는 式은

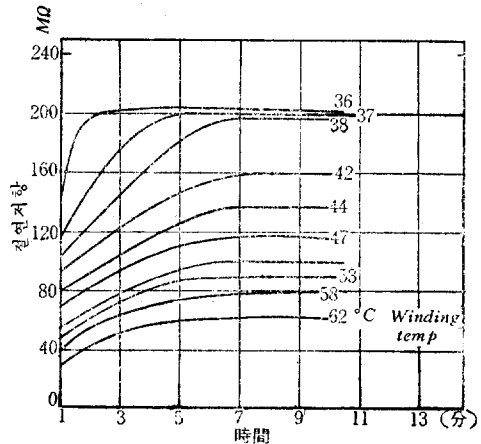
$$R_1 = fR_2$$

$f$ : 溫度較正係數(그림 10의 曲線으로부터)

$$f = 10^{A(T_2 - T_1)}$$

$A$ : 다음 表에서 주어지는 絕緣抵抗의 溫度係數

그림 10의 曲線은 40°C의 값으로 換算하는데 使用



68, 750KVA  
13.2KV  
60cps  
3φ  
1800R.P.M.

그림 9. 絶緣 저항시험

表 2.

機器 또는 材料	絶緣抵抗의 溫度係數의 平均値 A
油中變壓器의 A種絶緣	0.030
變壓器油	0.0173
交流機의 電機子捲線 A種絶緣	0.033
交流機의 電機子捲線 B種絶緣	0.0168
直流電機子捲線	0.024

키 爲한 것이다. 同一한 曲線을 어떤 다른 基準溫度에 對하여도 上式을 利用하여 만들 수 있다. 上記表는 James G. Biddle 會社에서 發刊한 Technical Publication 21T4의 論述과 AIEE 標準(1950年 4月) No. 43에 依存한 것이다.

參 考 文 獻

1. 絶緣劣化檢出의 實際 by Terase 1956.
2. Recomendad practice for Testing Insulation Persistence of Rotating Machinery AIEE Standard No. 43 Apr. 1950.
3. Temperature-Resistance Characteristic of Electrical Insulation Tec. Pub. 2114 by Ja-es G. 13 : ddle Co.
4. AIEE Transaction, Volume 60 page 28, 308, 605, 934, 1941.
5. AIEE Transaction Volume 70 1951.
6. Insulation testing As Applied to power Trans. E.L. and P, Feb. 1945.
7. Insulation Testing As Applied to App. Busnings, E.L. andp, Aug 1945.
8. Maseer test code for Resistance Measurement AIEE Standard No. 550, May 1949.

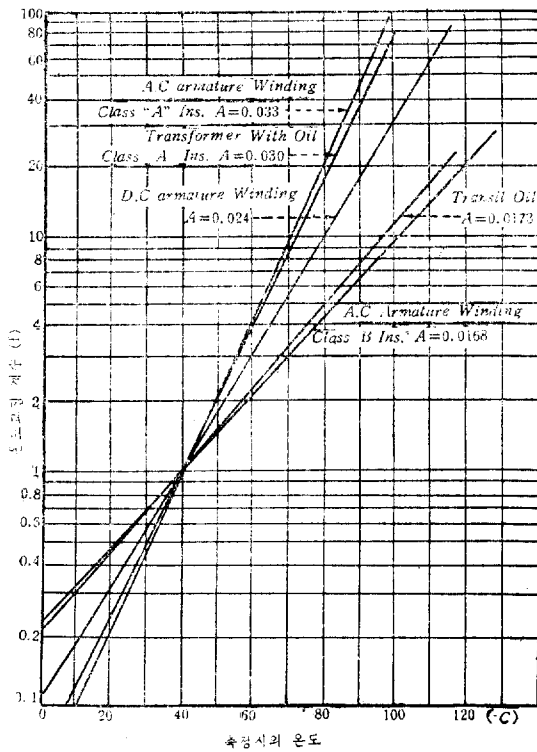


그림 10. 온도에 대한 절연저항 교정계수