

主要送配電施設에 대한 絶緣劣化診斷

—차 례—

- 1. 序 論
- 2. 油入變壓器
- 3. PCT

- 4. Bushing
- 5. 電力 Cable

1. 序 論

送電施設의 主要한 部分을 占하고 있는 變壓器, Bushing 및 電力 Cable等에 대한 從來의 絶緣劣化의 判定方法으로서 Megger 試驗, 直流分試驗等의 非破壞試驗等에 여러가지 形態로 實施되고 있다.

이와같은 試驗結果에서 絶緣物이 어떤 狀態에 있는 가를 確實하게 알 수 있지만 그 壽命까지는 正確하게 알 수 있는 段階까지는 到達하지 못하고 있다.

따라서 電力機器의 保守管理方式으로써 새로 導入된 生産保全이라는 面에서 絶緣診斷을 새로운 角度에서 보더라도 100% 完全한 方法을 얻는다는 것은 現在로는 困難한 일이다. 그러나 다음에 記述하는 診斷方法을 適切히 生産保全의 面에 導入하여 保守管理를 하면 점차의으로 그 效果가 좋은 實績으로 나타날 것으로 期待하여 이 分野에 關係하는 분들에게 多少나마 도움이 된다는 생각으로 現行의 絶緣劣化診斷法을 소개한다.

2. 油入變壓器

2-1 絶緣劣化의 原因

變壓器의 絶緣을 構成하고 있는 中에서는 絶緣油가 그 大部分을 占하고 있으므로 變壓器의 絶緣劣化는 絶緣油의 劣化에 의한 것이 많다.

絶緣油의 劣化는 酸化라는 化學的 反應에 의한 것이며 加熱에 의하여 이 酸化作用이 促進되고 또 銅, 鐵, 水分, 먼지, Sludge等은 絶緣油의 劣化를 促進시키는 觸媒로써 作用한다. 따라서 絶緣油의 劣化를 防止하려면 酸素의 供給을 遮斷하고 油의 酸化에 대해서는 觸媒로써 作用하는 것을 極力除去하는 것이 必要하며 또 劣化速度를 늦게 할려면 變壓器의 溫度를 可能한 限

낮은 것이 좋다. 이 以外 絶緣油가 吸濕하면 그 絶緣耐力는 急激히 低下하는 것은 이미 잘 알려진 일이며 電磁力에 의한 機械的 Stress가 反覆되면 此때문에 變壓器 卷線의 絶緣組織이 풀어져 급기야는 絶緣破壞를 갖게 된다.

2-2 絶緣劣化診斷

變壓器의 絶緣을 構成하고 있는 中에는 絶緣油가 그 大部分을 占하고 있으므로 變壓器의 絶緣試驗의 結果로 얻어진 絶緣特性은 絶緣油의 性質에 의하여 左右되는 것이 大端히 많다. 따라서 變壓器의 絶緣診斷은 絶緣油에 대한 劣化判定이 된다. 絶緣油에 대한 劣化判定의 基準이 되는 것에는 現在 다음과 같은 方法이 있다.

- 1) 交流 短時間 絶緣破壞電壓이 30kV 以下
- 2) 直流絶緣抵抗이 $10^{13}\Omega$ 以下
- 3) 酸化가 0.6 以下

한 電力會社에서 3kV級과 6kV級の 變壓器에 대하여 酸化와 經過年數와의 關係를 統計的으로 調査한 結果 油의 酸化 限度가 되어 있는 0.5에 達하는데 經過年數는 9年이었다. 따라서 約 10年 經過하면 일당 다시 代替해야 한다.

- 4) $\tan\delta$ -溫度特性(Gross氏의 曲線)

그림 1에 表示한 $\tan\delta$ -溫度特性에 測定值를 代入하여 判定하는 方法이며 이것은 比較的 오래前 부터 採用해온 方法이다. 따라서 油入變壓器에 대한 生産保全으로써는 大體로 絶緣油에 대한 生産保全이 되어 重要하므로 大形의 油入變壓器에 대해서는 以上 記述한 바와 같은 絶緣試驗을 定期的으로 實施하므로써 豫防保全을 하고 補助的인 것이나 豫備的인 油入變壓器에 대해서는 事後保全을 하는 것이 된다.

또 變壓器의 絶緣試驗으로써는 以上 陣述한 以外에 變壓器內의 空氣 또는 絶緣油中에 包含되어 있는 可燃性의 가스를 檢出하고 그 %에 의하여 變壓器內部的

*正會員: 仁荷大工大電氣工學科教授·工博(當學會編修委員)

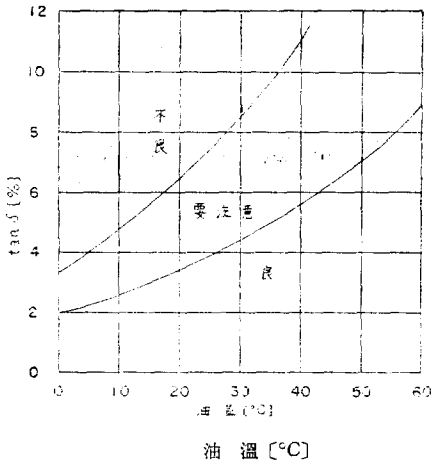


Fig. 1. Gross의 곡線

異常을 發見하는 方法 또는 油中 corona 試驗等이 一部에서 試圖되고 있지만 아직 一般化되지는 않고 있다

3. PCT

PCT에 관한 絶緣試驗의 資料가 적으므로 詳細한 것은 記述할 수 없지만 從來의 經驗에 의하면 濕式의 PT에 대해서는 大體로 油入變壓器의 경우와 同一하게 생각하면 된다. 乾式의 경우에 從來의 Compound形의 것은 그 特性은 發電機나 電動機固定子 卷線의 Compound 含浸 Coil과 大略 같은 傾向을 나타낸다. 그림 2는 新舊 Compound形 PT의 絶緣特性을 比較한 一例이다. 그림에서 보는 바와 같이 舊品에 比하여 크게 된다. 또 $\tan\delta$ -電壓特性은 常溫에서는 定格電壓까지 $\tan\delta$ 의 값은 增加하지 않지만 溫度가 높아지면 1.5~2kv에서 $\tan\delta$ 는 急增加하고 定格電壓에서는 $\tan\delta$ 의 값은 相當히 크게 된다. 이 點에서 新品은 60°C가 되어도 定格電壓까지 $\tan\delta$ 는 거의 增加치 않고 있다. 그러나 新品쪽이 $\tan\delta$ 가 크고 常溫의 絶緣抵抗이 낮은데 이것은 Compound 自體의 特性이며 運轉使用하고 있는 사이에 점차로 $\tan\delta$ 는 減少하고 絶緣抵抗은 增加하게 되는 것이다. 以上에서 Compound形 PT가 劣化하게 되면 溫度特性이 나빠지게 되는 것이 特徵인 것 같다. 이것은 同形의 CT에 대해서도 꼭 같다고 말할 수 있다.

最近 使用되고 있는 樹脂몰드形의 것은 發電機 固定子 卷線의 樹脂 Coil의 特性과 大體로 비슷한 傾向을 갖는다. 따라서 각각의 特性을 參考하는 것이 좋다. 또 몰드 PCT가 처음 使用하기 始作할 時期에는 製作不良에 의한 空隙이나 龜裂等이 發生하여 使用不能인 것이 있었지만 最近의 몰드 PCT에서는 이 點은 念慮

치 않게끔 되었다.

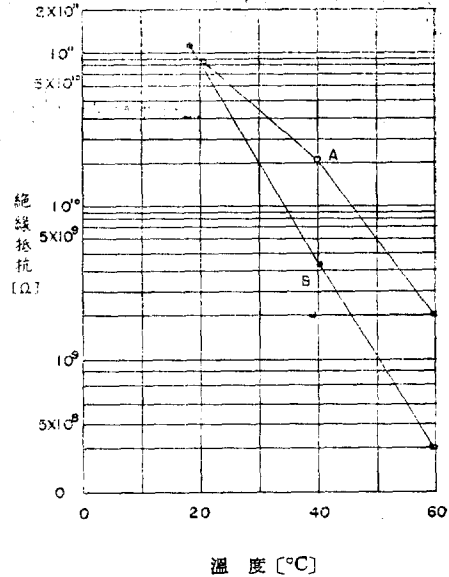


그림 2-(a) 絶緣抵抗-溫度特性

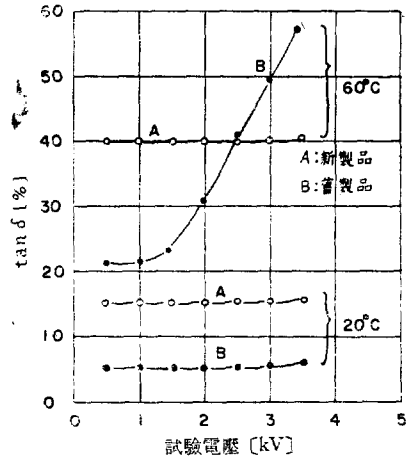


그림 2-(b) $\tan\delta$ 電壓特性

Fig. 2. Compound形 新舊 PT의 絶緣特性의 比較

4. Bushing

Bushing의 劣化는 主로 吸濕에 의한 것이 많다고 생각하고 있으므로 이것이 $\tan\delta$ 試驗이 有效한 點이다.

最近의 新品油入 Bushing의 $\tan\delta$ 의 20°C에서의 平均値는 77kv 以上の Bushing에서 0.6%, 100kv 以上の Bushing에서 0.3%였다. 從來의 經驗으로 보아 $\tan\delta$ 5% 程度까지는 使用에 견딜 수 있지만 일단 3% 以上이 되면 油를 代替하든가 어떤 手段을 講究할 必要가 있다.

Condenser形 Bushing의 $\tan\delta$ 는 油入形과 大體로

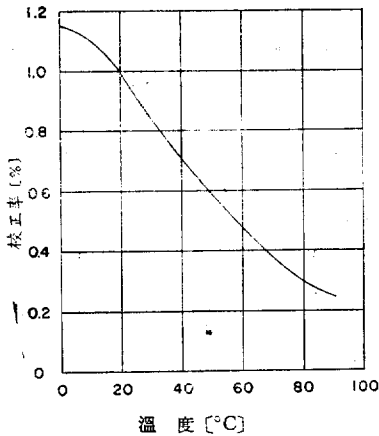


Fig. 3. tanδ의 溫度—校正曲線(Bushing)

同一하고 Compound形은 油入形보다 約 10% 程度 많다고 본다. 또 Bushing의 tanδ는 溫度가 높아지면 增加하므로 그림 3의 校正曲線에 의하여 補正하는 것이 좋다.

5. 電力 Cable

5-1 絶緣劣化的原因 및 絶緣試驗法

여기서 말하는 電力 Cable은 發變電所에서의 使用되는 10kv 以下の Belt紙 Cable을 對象으로 한 것이다. 電力 Cable의 絶緣劣化는 熱劣化에 기인 한다고 생각하는 것이 普通이지만 이 以外에 負荷 Cycle, 脫油 때의 絶緣體內的 Void 發生에 의한 것과 機械的振動, 機械的歪曲의 集中等으로 인한 鉛被의 龜裂, 打擊 및 電蝕作用에 의한 것이 있다. 오래된 電力 Cable에서 劣化가 實際로 問題가 되는 것은 主로 吸濕에 의한 것이 많다고 생각할 수 있다.

Void 放電은 Corona 試驗과 前述한 tanδ—電壓特性에서의 Δtanδ로 알 수 있지만 어느 경우나 定格電壓 以上の 電壓을 印加하지 않으면 放電의 檢出이 어렵고 또 交流試驗은 電源容量의 關係로 現場에서의 實施가 困難한 경우가 많다. 그러므로 여기서는 電力 Cable의 絶緣診斷으로써 主로 直流試驗을 採用하여 그 乾燥度를 判定하고 Cable에 吸濕이 생기는 原因과 이로 인하여 絶緣耐力가 低下하고 있다는 것만 미리 알면 된다.

5-2 絶緣劣化診斷

(a) 絶緣特性과 絶緣耐力과의 關係에 의한 것

定格電壓 10kv 以下の Belt紙 Cable에 대하여 直流의 絶緣特性과 絶緣破壞電壓과의 關連性을 檢討한 結果 主로 吸濕에 의한 絶緣耐力의 低下를 檢知할려면 다

表 1. 換算을 위한 基準의 公稱斷面積과 標準靜電容量

定格電壓 (kv)	種類	公稱斷面積 (mm ²)	標準靜電容量 (μF/km)
3	3 心	150	0.64
6	2 心	325	0.63
6	單 心	150	0.65
10	單 心	250	0.63

음의 3가지 條件을 調査하면 된다.

즉

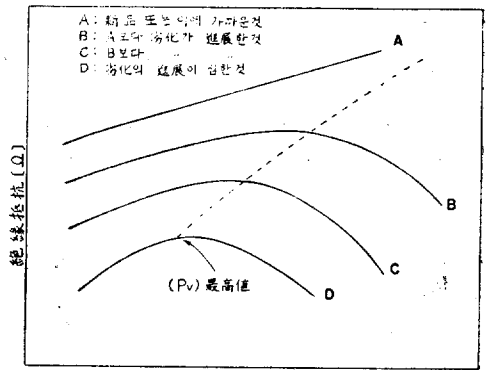
(1) 表 1에 의하여 基準으로 한 公稱斷面積을 가지는 Cable로 換算한 1000V Megger 1分值의 絶緣抵抗이 10MΩ/km 以下の 경우 換算式은 다음과 같다.

즉 靜電容量 Cx(μF/km)의 供試 Cable의 絶緣抵抗이 Rx(MΩ/km)인 경우 이것을 斷面積 150mm² 亘長 1km의 Cable의 絶緣抵抗 R (MΩ/km)로 換算하려면 다음식에 따른다.

$$R = R_x \times \frac{C_x}{0.64}$$

(2) 最高試驗電壓以內的 電流—時間特性的 成極指數가 1 또는 1 以下인 경우

(3) 絶緣抵抗—電壓特性에서 最大 絶緣抵抗의 印加電壓(Pv)이 最高 試驗電壓以下인 경우(그림 4 參照)



試驗電壓 [kV]

Fig. 4. 絶緣抵抗—電壓特性

단, (2)와 (3)의 最高試驗電壓은 第 2 表에 따른다. 이 3 條件을 모두 滿足하는 경우에는 그 Cable의 絶緣은 壽命이 끝났다고 생각해도 좋다.

上記의 3 條件을 實際의 試驗에 適用하는 경우에는 우선 1000V Megger 1分值를 測定하고 이것을 第 1 表에 의하여 換算한 絶緣值가 10MΩ/km 以上の 것은 일단 좋다고 생각하고 다음에 10MΩ/km 以下の 것에 대해서만 試驗電壓을 바꾸어서 電流—時間特性을 測定하면 된다. 이 電流—時間特性的의 測定結果에서 自動적으로 條件 (2)와 (3)이 同時에 調査되는 것이다.

表 2 最高直.流 試驗

定 格 電 壓 (kv)	最高試驗電壓 (kv)
3	4.5
6	9
10	15

(b) 絕緣特性和 使用年數와의 關係에 의한 것

Belt紙 Cable의 絕緣 諸特性中, Cable의 使用年數가 比較的 關連性이 있는 낮은 電壓에서 $\tan\delta$ (가령 $\tan\delta$), $\Delta\tan\delta$ /定格電壓(E)에 의하여 나타난 Ion化率, 試驗電壓이 表 2 에 表示, 最高試驗電壓의 1/3의 값의

表 3. 評 點 表

評 點	$\tan\delta$ (%)	Ion化率(%kv)	成 極 指 數	絕緣抵抗(Ω F/km)	P_v/E
10	<0.3	0	>3	>1000	>1.5
9	0.3 ~0.34	0~0.01	3~2.51	1000~501	
8	0.35~0.39	0.011~0.02	2.5~2.01	500~301	1.5~1
7	0.4 ~0.49	0.021~0.03	2.0~1.71	300~101	
6	0.5 ~0.59	0.031~0.05	1.7~1.51	100~51	1
5	0.6 ~0.69	0.051~0.07	1.5~1.31	50~11	
4	0.7 ~0.79	0.071~0.1	1.3~1.21	10~5.1	1~0.5
3	0.8~0.99	0.101~0.2	1.2~1.11	5~3.1	
2	1~1.5	0.201~0.4	1.1~1	3~1.0	<0.5
1	>1.5	>0.4	<1	<1	

成極指數, 成極指數의 경우와 같은 試驗電壓의 Ω F/km로 表示한(斷面積이 다른 Cable間의 比較에 便利하게끔) 絕緣抵抗 그리고 絕緣抵抗-電壓特性의 最高點의 印加電壓(P_v)과 그 供試 Cable의 定格電壓(E)와의 比(P_v/E)等 以上 5種類의 測定結果에서 얻은 각각의 값에 表 3에 나타난 評點表에 의하여 點을 찍고 그 合計點을 滿點에 대한 %로 나타낸 評價點과 使用年數와의 關係를 그림 5에 表示한 基準線과 對照시키면 그 Cable의 絕緣이 正常으로 通電 使用되고 있던 Cable의 劣化程度에 比較하여 더 過度하게 劣化되어 있는가 또는 덜 劣化되어 있는가를 確認 할 수 있다.

즉 그림 5에서 試料 D.F.J 및 K는 各各 油漏洩, 燃損, 浸水 및 過負荷의 經歷이 있고 絕緣劣化의 進展이 심한 것으로 推定될 수 있는 것이다.

劣化의 原因이 될 現象이 明白히 存在한 다는 것은 이들 4個의 供試 Cable의 評價點이 모두 各圖의 基準線에서 相當히 밑으로 쳐져 있는 것으로 確認할 수 있다. 따라서 第3表에 의하면 表示한 供試 Cable의 評價點이 그림 5에 나타난 基準線보다 위에 있으면 그 供試 Cable의 劣化程度는 普通 使用되고 있는 Cable에 比較하여 적으며 反對로 基準線의 밑에 있으면 그 劣化程度는 普通것에 比較하여 過大하다고 생각 할 수

있다.

以上은 Belt紙 Cable에 대하여 記述한 것이지만 最近 Buthyl gum Cable, Polyethylene Cable이 使用되고 있다. 이와같은 Cable은 紙 Cable에 比較하여 電氣의 特性和 機械의 特性이 優秀하고 端末處理가 簡單하다.

그러나 使用하여 과히 오랜 時間이 經過되지 않은데도 불구하고 Buthyl gum Cable에서 接續部의 施工이 不完全하여 過熱과 機械的인 反覆外力 때문에 摩擦에 의한 絕緣破壞事故가 發生하는 일이 있는데 特別 注意할 必要가 있다.

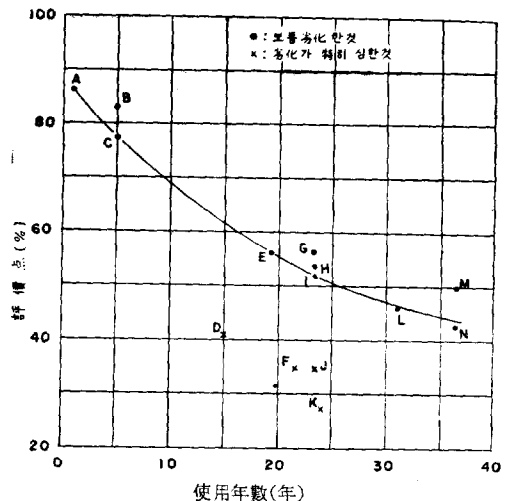


Fig. 5. 使用年數에 의한 Belt紙 Cable의 評價點의 變化

參 考 文 獻

- 1) 田中哲郎: 電子, 通信材料, コロナ社, 1974
- 2) L.L. Alston: High-Voltage Technology, Oxford University Press, 1968

- 3) E. KUFFEL: High-Voltage Engineering, Pergamen press, 1970
- 4) F.H. Kreuger: Discharge Detection in High Voltage Equipment, Temple press Books LTD, London, 1964
- 5) 飯塚喜八郎: 超高壓および大容量ケーブルの概要 Vol, 91, No.2, 日本電氣學會誌, 1971
- 6) 袴田武司: 高耐壓・高耐熱 絶緣材料技術, 日本 OHM雜誌, 10月 1974
- 7) 富田稔 榎本欣哉: 電氣設備의 事故分析による効果および絶緣劣化判決法, 日本 OHM雜誌, 8月, 1966
- 8) 福田正: 生産保全かうみた電力機器의 絶緣劣化診斷 日本 OHM社, 7月, 1965
9. 犬石嘉雄外3人: 誘電體現象論, 日本電氣學會, 7月 1976

第26回 定期總會 및 學術發表會(總會時)開催案内

會員여러분의 健勝하심을 仰祝합니다.

當學會 第26回 定期總會(1977年度)를 아래와 같이 開催할 예정입니다. 아울러 總會開催時에 學術發表會를 開催할 計劃이오니 會員여러분의 많은 發表있으시기 바랍니다.

아 래

日 時: 1977年 1月27日(木) 예정

場 所: 韓電講堂(예정)

● 學術發表會 發表抄錄募集 및 發表者 準備事項

● 抄 錄: 200字 원고지 5枚 以內 作成 提出할 것

發表時間: 20分

發表申請: 1976年 1月 5日까지(發表題目을 먼저 알려주시기 바람)

發表抄錄提出: 1976年 1月10日까지

發表者準備: Slide 準備

※ 其他 詳細한 事項은 當學會(電話 27-0213)으로 問議하시앞

1976年 11月

大韓電氣學會長 白