

變電機器의 豫防診斷 技術

Techniques for Preventive
Diagnosis of Substation
Equipments

禹 準 基

韓電 送變電運營課長

1. 머리말

最近의 電氣設備은 半導體 素子의 向上과 絶緣 材料의 進歩에 따라 電力機器等이 小形 大容量化되고 있으며 한편으로 制御裝置도 集積化 靜止化 精密化로 보다 더 小形化 되고 있다.

現在 電力系統이 增大됨에 따라 各種 變電機器는 大容量化 縮小化 하고 있어 萬一 電氣故障이 發生된다면 短時間의 設備停止 일지라도 莫大한 生産 損失과 品質低下等 需用家에 不便을 주는 波及影響이 至大하기 때문에 機器에 對한 高度의 信賴性이 要求되고 있다. 運營面에 있어서도 運轉狀態의 確認과 異常을 早期에 發見하여 事故를 未然에 防止하는 것이 強力히 要求되고 있으므로 變電機器의 無保守 無點檢化와 機器의 高信賴度 維持를 目的으로 豫防保全 技術의 確立이 必要하게 되어 外部 診斷技術의 研究를 거듭하여 다음과 같은 診斷技術이 實用化 하게 되었음을 紹介하고자 한다. 그 中 變壓器 油中가스 分析에 依한 内部異常 早期發見은 今年 부터 韓電公社에서도 實施하게 되어 變壓器 事故發生이 보다 減少될 것을 豫想하며 많은 成果가 있을 것으로 期待된다.

2. 變電機器의 外部診斷

가. 가스絶緣機器

變電機器의 信賴性을 維持하기 爲하여 從來에는 定期的인 點檢保守에 依한 機能回復을 基本으로 하였으나 가스絶緣開閉裝置(G·I·S) 등 새로운 機器는 從來의 機器와 比較하여 高信賴度化, 長壽命化되어 無保守·無點檢 傾向이 되고 있어 今後에는 機器가 充分한 機能을 維持하고 있는지, 不合理한 徵候가 나타나고 있는지를 點檢하는 것이 重要한 要點이 되고 있으며 이러한 觀點에서 最近에는 各種 感知器(센서)技術을 活用하여 機器를 分解하지 않고 外部에서 容易하게 機能체크를 實施하고 있다.

1) 化學的 方式(가스分析 檢出法)

部分放電에서 SF₆ 가스가 分解된 生成物을 高感度 色相 反應試藥으로 檢出하는 것으로서 檢出感度は 0.03ppm(試料가스 30ℓ 에 對하여) 分解가스에 依하여 靑紫色에서 黃色으로 變色한다.

이 方法은 適用이 簡單하고 外部騒音의 影響을

받지 않는 利點이 있으나 部分放電이 繼續해서 發生한 直後가 아니면 檢出이 困難하다. 또한 SF₆ 가스의 特性을 監視하기 爲하여 常時 標準가스와의 差壓을 檢出하는 SF₆ 가스 密度 “센서”도 開發試驗 中에 있다.

2) 機械的 方式(振動·異常音 檢出法)

가) 金屬容器 外壁에 取付된 加速度 檢出素子에 의해 内部異常을 振動加速度로 檢出하는 것으로서 加速度 檢出素子로 “캐치”한 騒音を “필터”를 通하여 變電所 自体 外部騒音を 除去하고 判別器로 突發의 發生된 騒音도 除去하여 “마이크로·컴퓨터”를 內藏한 檢出裝置로 計算되어 異常判別을 하는 方法으로서 檢出感度は 數 10 pC이다. 이 方法은 内部異常의 位置標定과 가스中의 不純物 粒子檢出도 可能한 利點이 있다(*pC: Corona Level).

나) 가스遮斷器나 가스絶緣 開閉機類의 機械的 動作 特性을 詳細히 “체크”하여 從來의 試驗에서는 알 수 없었던 驅動系의 摩擦力 增加 接觸子の 損傷 連結 “핀”의 磨耗 등을 診斷하는 低速驅動法 으로서 原理는 正規의 操作機構와는 別途로 小型의 油壓裝置를 活用한 小勢力의 驅動裝置를 遮斷器(또는 開閉器)의 驅動軸의 一部에 取付하고 거기에 變位計 軸力計를 設置하여 動特性의 變化를 低速으로 動作 시키는 方法이다.

3) 電氣的 方式(外部電極 檢出法)

가) 金屬容器 外壁에 附着시킨 電極에 依하여 金屬容器的 電位振動으로 内部 異常을 電氣的으로 直接 檢出하는 것으로서 “오시로스코프”로 波形을 觀察하며 檢出感度は 200~300 pC이다.

나) 絶緣不良의 前驅症狀인 電氣的 高周波 “펄스”(코로나)를 機器의 接地線에서 檢出하는 “코로나·센서”가 機器의 商用周波의 對地間 漏泄電流에 重疊하는 高周波 “펄스”만을 “필터”를 通하여 檢出하는 것으로서 “센서”回路는 變電所 構内の 騒音에 影響을 받지 않도록 檢出 感度を 100 pC 以上으로 하고 있다.

4) 光學的 方式(光電子 増培管 檢出法)

가) 當初에 設置된 受光窓을 通하여 部分放電管을 光電子 増培管에 依據 檢出하는 것으로서 光電子 増培管으로 “캐치”되어 信號處理 回路를 通한

發光은 “케이블”로 操作部에 보내져 暗電流와 發光源에서 受光素子까지의 距離를 補正한 後 整定하면 이 設定 “레벨” 以上이 될 때 警報를 나게 하는 것으로서 檢出感度は 直接光이 100 pC, 反射光에서는 約 1000 pC이다.

이 方法은 外部騒音を 받지 않는다는 利點이 있으나 當初부터 “G·I·S” 内部에 受光素子を 設置하든가 外部에서 檢出할 境遇 受光窓을 施設할 必要가 있어 適用하는데 어려움이 있기 때문에 將來的 이라 할 수 있겠다.

나) X-線에 依한 透視寫眞에 依據, 内部 狀態를 診斷하는 것으로서 充分한 解像度를 얻을 수 있어 매우 効果的이며, 直接 撮影法과 透視法이 있다.

나. 變壓器

電氣機器를 正常的으로 運轉하기 爲하여 오래前부터 그 나뉠대로 各機器에 따라 定期的인 點檢施行으로 機器의 保守管理를 하고 있다. 特히 最近에는 機器가 大形化됨에 따라 機器의 保守管理의 重要性도 增大되고 있어 이에 따라서 機器가 正常인지 아닌지의 診斷機術도 向上되고 있다.

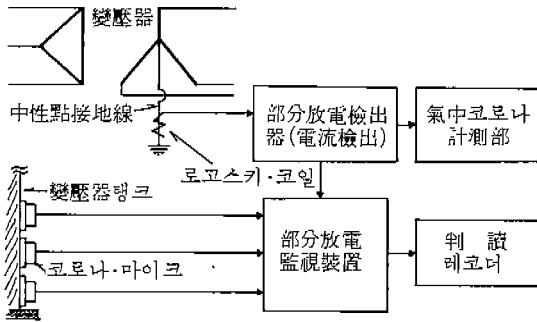
變壓器인 境遇 大形故障의 半數 以上이 内部 異常 現狀에 基因한 것으로서 變壓器 内部에 異常을 일으키면 一般的으로 絶緣油나 油浸絶緣部가 分解하여 炭化水素 등의 가스가 發生한다.

따라서 變壓器의 正常運轉 與否를 診斷하는 데에는 絶緣油中의 가스分析方法이 있으며 그 외에도 誘電正接(tan δ) 試驗이나 内部 “코로나” 測定方法 등을 應用하고 있다.

1) 變壓器의 内部 “코로나” 發生의 有無에 따라 變壓器 内部故障를 檢出하여 異常現狀의 早期檢出 및 事故防止를 爲한 것으로서 音響法과 電流法의 AND條件 “로직” 回路를 應用하고 있다.

2) 變壓器 内部에서 故障이 發生하여 局部的인 異常過熱이 일어나면 絶緣油나 絶緣紙가 熱에 依하여 劣化 分解되어 H₂, CO, CO₂ 나 低分子量의 炭化水素를 發生한다. 이들 가스는 絶緣油로의 飽和 溶解도가 커서 꽤 많은 量이 絶緣油中에 融合된다.

油中가스 分析에 依한 異常診斷은 이들 融合된 가스를 質量分析器나 가스 크로마토·그래프” 등으로 分析하여 가스成分이나 發生量 그리고 經濟的 變化 등의 調査로 故障의 種類, 箇所, 程度 등을 判



〈그림-1〉 油入巻線機器의 “코로나” 檢出裝置 略圖

定하고져 하는 것으로서 電氣의 試驗으로 判定 困難한 輕故障, 鐵心局部 事故等の 判定에 有効하며 緩慢히 進行되는 事故도 初期段階에 發見될 수 있는 特徵이 있다.

그러나 絶緣破壞와 같은 突發的인 事故를 事전에 判定한다는 것은 困難하다. 이 方法은 ① 現地 變壓器에서의 絶緣油 採取 ② 油中가스 分析裝置에 의한 가스抽出 ③ “가스·크로마토·그래프”에 의한 가스定量 ④ 異常有無와 異常 種類判定等 크게 4個 過程을 經由하게 되며 最近에는 現場에도 휴대가 가능한 “포터블”形을 開發한바 있다.

가) 分解對象가스는 一般的으로 9種類가 있으며 가스發生 要因과 成分은 表1과 같다.

나) 異常判定은 가스分析 結果에서 判斷하는 것으로서 一般的인 方法은 ① 可能性가스의 發生 總量에 의한 判定 ② 各 可能性 가스成分量에 의한 判

定 ③ 可燃性 가스의 增加速度에 의한 判定 ④ 可燃性 가스成分 “패턴”變化에 의한 判定等이 있으며 ①②는 어느 時點의 測定 “데이터”로 判定되지만 ③④의 境遇는 測定 “데이터”의 經時變化에서 判斷하는 것으로 過去의 累積 “데이터”가 必要하다.

異常判定 基準은 變壓器 個個의 電壓, 容量, 油劣化 防止方式 運轉經歷이 다르고 該當 變壓器에 對하여 가스分析 結果에서 어떻게 判斷할 것인가 하는 것은 무척 어려운 問題로서 現在 油中가스分析 結果의 數值的인 判定基準은 아직 明確한 것이 發表된바 없으나 判定基準의 一般的인 適用은 다음 表와 같으며 要注意 基準未滿은 異常이 無다고 判定할 수 있으며 要注意基準 以上에서 부터 異常基準 未滿사이의 境遇에는 要注意로 判斷할 수 있다.

表2에서 可燃性 가스란 H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_2 , CO 를 말한다.

C_2H_2 의 發生은 “아아크”等 매우 높은 溫度의 異常部가 있다고 生覺되어 事故의 進展이 빠르다고 判斷되므로 早速히 다른 診斷方法 施行等으로 内部 診斷을 서두를 必要가 있다.

要注意의 境遇는 一定期間 定期的인 가스分析에 의한 追跡調査나 다른 方法으로 内部異常의 調査를 하는 것이 바람직하다.

다) 異常의 診斷은 油中가스 分析 結果에서 “아아크”放電, 過熱, 部分 放電等으로 異常의 種類와 樣相을 推定하게 된다. 그 推定方法으로서는

〈表-1〉 異常의 種類와 發生가스成分

異常種類 가스種類	絶緣油의 過熱	固体絶緣物過熱	油中아아크分解	固体絶緣油아아크分解
水素(H_2)	○	○	◎	◎
메탄(CH_4)	◎	◎	○	○
에탄(C_2H_6)	○	○	-	-
에치렌(C_2H_4)	◎	◎	○	○
아세치렌(C_2H_2)	-	-	◎	◎
프로피렌(C_3H_6)	◎	○	○	○
프로판(C_3H_8)	○	○	-	-
酸化炭素(CO)	-	◎	-	◎
炭酸가스(CO_2)	-	◎	-	◎

※ ◎ 印은 該異常에 對한 特徵的인 發生가스

〈表-2〉可燃性가스량에 의한 異常判定基準

項目	判定	要 注 意	異 常
可燃性 가스 總	10MVA 以下	1,000ppm 以上	2,000ppm 以上
	10MVA 超過	700ppm 以上	1,400ppm 以上
可燃性가스總量 增加 傾向	10MVA 以下	350ppm / 年	100ppm / 年
	10MVA 超過	250ppm / 年	70ppm / 年
아세치렌(C ₂ H ₂) 가스		-	微量이라도 檢出되었을 때

(1) 가스 “패턴”에 의한 診斷法

事故 現象判斷은 되지만 事故의 樣相을 詳細히 診斷하기는 困難하다.

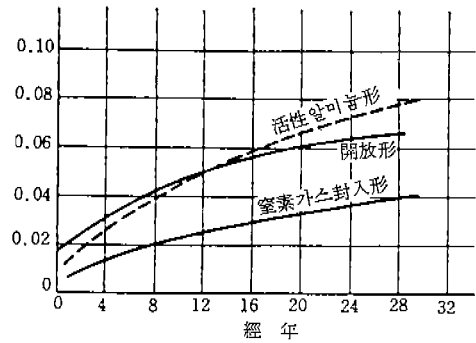
(2) 特殊가스에 의한 診斷法

(가) CO, CO₂가스와 같은 特徵的 가스 發生은 固体 絶緣物의 異常過熱外에 經年劣化에 依해서도 發生되므로 이 點을 考慮하여 診斷할 必要가 있으며 그림 2와 그림 3의 값을 훨씬 超過했을 때에는 絶緣紙, “베크라이트” 등의 固体絶緣物의 燒損可能性을 生覺해야 한다.

(나) C₂H₂ 가스는 油中 “아아크” 등 高温熱 分解時에 多量 發生하는 特徵的 가스로서 많은 量이 檢出되었다면 捲線의 層間 短絡等의 重大事故을 意味하고 있으며 接觸不良等의 局部過熱에서도 檢出되고 있으나 最大 可燃性가스에 對한 比率은 不過 數 “퍼센트” 以下이다.

3) 變壓器의 絶緣劣化 狀態를 推定하는 하나의 方法으로 tan δ法이 있다. 이것은 變壓器의 tan δ를 測定하여 그 크기나 增加傾向等을 알게 되므로 絶緣의 劣化狀態를 判定하게 된다.

tan δ의 값은 變壓器의 吸濕量에 密接한 關係가



〈그림-2〉酸化炭素가스량의 判定基準

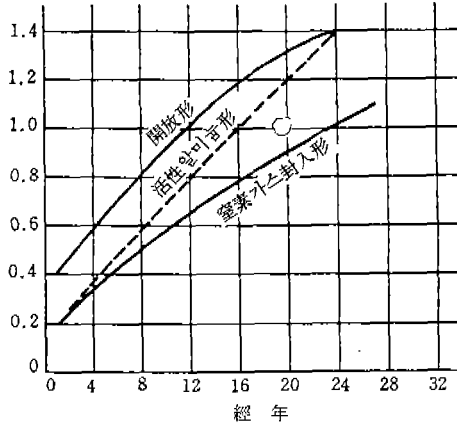
있고 使用年限이 긴 老朽變壓器일수록 그 값이 큰 傾向이 있다는 點에서 劣化判定法으로 널리 應用되고 있다.

그러나 이 方法도 測定한 絶對值는 勿論 經年에 測定值를 比較하여 그 變化에서 劣化를 判斷하는 것이 重要하다. tan δ計의 原理回路는 變形된 “웨링·브릿지”이다.

變壓器의 tan δ測定은 一般的으로 그림 4와 같은 測定回路이며 計器를 絶緣台上에 올려 놓고 測定하므로 測定者는 感電되지 않도록 注意가 必要하

〈表-3〉가스 “패턴”의 特徵과 内部事故와의 關係

濃度비가 1인 가스	異 常 現 象	具體的인 事故例
H ₂ 인 境遇	○아아크 放電 ○코로나 放電	○捲線의 層間短絡 ○捲線의 溶斷 ○變切換器 接點의 아아크 短絡
CH ₄ 또는 C ₂ H ₄ 인 境遇	○過熱 ○接觸不良 ○漏泄電流에 依한 過熱	○締付部의 弛緩 ○切換器接點의 接觸不良 ○絶緣不良
C ₂ H ₂ 인 境遇	○아아크放電	○H ₂ 의 境遇와 같음



〈그림-3〉 炭酸가스량의 判定基準

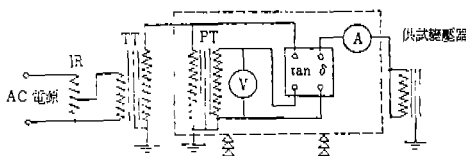
며 變壓器의 捲線間의 $\tan \delta$ 試驗은 그림 5 와 같이 計器를 大地電位에 놓을 수가 있으나 P.T 2次側의 對地漂遊容量이 $\tan \delta$ 計의 電流 “코일”의 “임피던스”(數百 Ω)에 比하여 充分히 높지 않으면 안된다.

$\tan \delta$ 에 依한 劣化判定法은 美國에서 이미 20年前 부터 電力用 變壓器·북싱類에 對하여 오랫동안 相當히 많은 $\tan \delta$ 測定으로 統計的 劣化判定 基準을 設定하고 있으며 그 例로서 그림 6은 “Gross”氏 提案의 變壓器에 德한 $\tan \delta$ 溫度曲線이다.

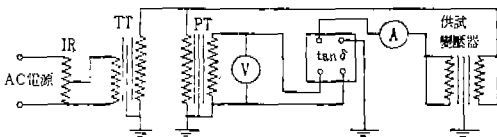
다. 酸化亞鉛 避雷器의 漏泄電流 “센서”

酸化亞鉛 L-A의 素子는 抵抗과 “커패시터”의 並列回路와 같은 等價로서 그 變化樣相은 抵抗分中 高抵抗 粒界層의 比抵抗值의 減少로 나타나며 正弦波 漏泄電流가 第3高調波에 依해 歪曲된다.

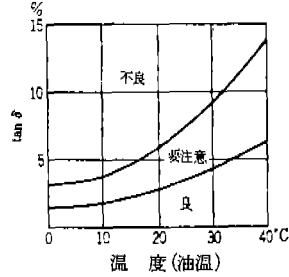
따라서 漏泄電流 “센서”는 이것을 L-A의 接地線



〈그림-4〉 變壓器의 $\tan \delta$ 測定回路



〈그림-5〉 變壓器卷線間의 $\tan \delta$ 測定回路



〈그림-6〉 變壓器 $\tan \delta$ - 溫度曲線

에서 檢出하여 常時 連續하여 素子の 劣化를 診斷하는 것으로서 L·A의 形式에 따라 第3高調波 出力特性이 다르기 때문에 設定值의 校正이나 騒音의 影響等의 檢證이 必要하다.

또한 機器絶緣 診斷方法으로서도 이러한 接地線 電流波形 測定法이 應用되고 있으나 系統에 高調波를 含有하고 있을 때에는 判定이 困難하여 熟練이 要求된다.

3. 맺는 말

安定된 電力供給은 各種 機器類의 無事故運轉과 直結되어 아직 微溫的인 段階에 있지만 變電機器의 豫防診斷例를 簡略히 紹介하였는바 앞으로 開發되는 外部診斷 方法의 檢討側面은 紹介한 大部分의 方法과 같이 機器内部 異常時 發生하는 “아아크”光線, 部分 放電光線을 監視하는 方法, 機器의 絶緣 劣化狀態를 追跡 分析하는 方法, X-線等을 内部透視하여 驅動系의 異常을 早期檢出하는 方法이 繼續 研究되고 있다.

그러나 豫防診斷技術은 患者가 醫師의 觀心속에 是 觀察되고 經驗的 資料分析에 依해 早期治癒 되듯이 各種 補修資料의 徹底한 分析和 診斷器로 檢測한 資料의 累進的 總合處理等 充分히 經驗的인 面이 없지 않으므로 維持補修 關聯者들과 機器製作者와의 協力아래 꾸준한 研究가 必要하다.

