

電氣設備의 새로운 診斷技術 ①

變電設備의 診斷技術

權 泰 遠

韓國電力 技術研究院 責任研究員

1. 머리말

過去 20餘年間 우리나라 電力需要의 增大와 더불어 電力系統 또한 必然的으로 大規模로 성장함에 따라 電力系統을 構成하는 電力機器들도 高電圧化 및 大容量化 추세에 있어 各 電力機器는 電力의 安定供給에 對한 막중한 責務를 담당하고 있다. 이러한 重要 電力機器를 長期的으로 設置, 運轉함에 있어서는 機械的인 摩耗나 化學的인 劣化 및 電氣的인 충격등에 依한 機器事故의 우려가 있고 만일의 경우 事故發生時에는 이로 因한 電力系統의 停電範圍가 넓어지고 復旧時間이 길어지며 復旧費用 역시 많이 所要되어 社會的으로 미치는 影響이 至大하므로 이들 機器의 高信賴度 運轉이 절실히 要請되고 있는 實情이다. 이를 위하여 機器 製造面에서는 新技術의 開發, 品質管理의 充實등으로 信賴度 向上을 期하는 한편 保守面에서는 定期 休電點檢等을 通하여 機器性能의 維持 및 回復을 도모하는 것을 基本으로 하여 왔다.

最近에는 運轉狀態下에서 機器를 分解하지 않고 外部로부터 여러가지 測定을 行하여 그 測定資料의 分析結果로부터 内部狀態나 機能의 良否를 判定하는 機器의 診斷技術이 重要視 되고 있다. 이러한 診斷技術은 ① 對象機器의 劣化 및 事故 메카니즘의 解明, ② 異常을 檢出하는 센서의 開發, ③ 事故情報과 雜音과를 分離하는 信號處理技術, ④ 分離된事

故情報 處理技術을 利用하여 電力機器의 内部異常을 判定하게 된다. 이러한 診斷技術은 특히 電力機器中 重要 變電機器에 보다 適用의 필요성이 높다고 사료되는 바 이 變電機器의 특징은 接地된 外函 內에 絶緣物과 함께 高電圧 回路를 密閉시켜 製作된 점이며 따라서 現場 分解點檢이 곤란하고 長時間의 復旧時間이 所要되므로 運轉中 그 機能의 確認 및 異常狀態 發生時 早期發見이 必要하다. 本稿에서는 發變電所의 電力用 變壓器와 都心 過密化地域 및 塩塵害 汚損地域에 설치운전 되는 SF₆ 가스 絶緣 開閉裝置(GIS)에 對한 최신 診斷技術을 소개하여 關係 技術界 從事者의 關心을 새롭게 하고자 한다.

2. 變壓器의 診斷

變壓器의 重大事故는 絶緣上의 異常 또는 熱的인 異常에 起因하는 것이 大部分이다. 이들 異常의 初期現象을 早期에 發見하여 重大事故를 未然에 防止하는 診斷技術로서 油中溶解가스分析, 部分放電의 測定, 漏油測定 등의 연구가 進행되어 왔고 그 有効性에 대하여도 많이 알려져 있으나 이들 診斷技術은 測定條件, 測定時間 등의 面에서 制約이 있고 實際 運轉中의 變壓器에 常時 適用하여 診斷하는 일도 困難하였다.

最近 從來의 診斷技術 適用上 問題點을 제거하고

運轉中の變壓器에 對하여도 常時診斷할 수 있도록 하여 機器의 信賴性 確保와 保守人力의 감소를 기할 수 있게 되었다. 現在에도 보통 變壓器의 內部異常을 判定하는 데 使用되는 絶緣抵抗測定, 耐電壓試驗, 誘電正接試驗등은 休電이 必要하고 事故後의 診斷에 많이 使用되며 絶緣抵抗測定을 除外하고는 現場測定이 容易하지 않음은 一線 從事者들이 경험하는 일이다. 여기에서는 主要한 新診斷技術을 簡略하게 記述하기로 한다.

가. 油中溶解가스分析

變壓器 內部的 異常現象은 絶緣破壞現象이나 局部過熱現象과 함께 반드시 熱을 발생시킨다. 이런 理由로 發熱源에 接近되어 있는 絶緣油나 固体絶緣物은 熱分析에 依하여 CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄ 등의 炭化水素가스를 발생시킨다. 油中溶解가스 分析이란 이러한 絶緣油中の 溶解가스를 抽出, 分析하여 變壓器 內部的 이상유무를 判定하는 것이다. 한편 正常運轉中인 變壓器도 經年劣化에 依하여 絶緣材料로부터 가스를 發生시킨다. 이때 發生하는 가스는 CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈ 등이다. 이들 成分中 固体絶緣物로부터는 CO, CO₂ 등 그밖에는 絶緣油로 經年劣化에 依하여 發生된 가스로 분류하고 있다. 發生가스의 種類나 量은 각 變壓器의 油劣化防止方式의 種類, 絶緣處理條件, 設置方法, 負荷條件, 運轉年數등에 따라 相異하나 이들의 經年變化 혹은 增加傾向의 定期的인 點檢에 依하여 內部絶緣物의 狀態를 推定할 수 있다.

各種 가스量과 可燃性가스의 總量 및 그 傾向으로부터 異常, 要注意에 대한 基準値를 定하여 內部異常을 判定하고 각 가스組成比로부터 過熱, 아크, 部分放電등 異常內容을 診斷하게 된다.

종래 一般의 油中溶解가스 分析은 變壓器로부터 油를 채취하여 가스分析裝置가 설치되어 있는 試驗室에 운반하여 分析하였으나 최근 조작이 간편한 現場 變압기에의 直結型 油中溶解가스 自動分析裝置가 開發되어 使用中에 있다.

나. 部分放電 自動監視 檢出

變壓器 內部的 部分放電은 絶緣破壞의 初期現象으로서 發生하는 일이 많고 이를 放置하여 놓으면 全路破壞事故로 발전할 우려가 있다. 그래서 內部 코로나 放電의 有無監視는 특히 高電壓變壓器 診斷에 必要하다. 運轉中の 變壓器에는 送電線等 外部로부터의 雜音이 크기 때문에 탱크內部的 部分放電(코로나)의 測定은 곤란하고 실제로 우리나라에서 工場試驗時와 같은 조건이 양호한 경우에 행하여지고 있는데 不過하다. 그런데 만약 變壓器 內部에서 부분방전이 發生하게 되면 이에 수반하여 電流펄스 및 音響펄스가 同時에 發生하게 되므로 兩者를 감시하여 그 同期性을 判定함으로써 內部 部分放電과 外部雜音과를 區別할 수 있다. 더우기 音波의 油中傳播速度를 利用하여 部分放電 發生位置를 計算해 낼 수 있다. 이 原理를 利用하여 運轉中 變壓器 內部的 部分放電 發生을 연속적으로 監視할 수 있는 部分放電 自動監視裝置가 開發되어 充分한 精度를 가지고 使用되고 있다. 其中 代表的인 事例가 近來 日本 東京電力과 東芝가 共同 研究開發하여 現場試驗中에 있는 自動 部分放電 監視裝置라 하겠다.

다. 油中 水素가스濃度 檢出

變압기 내부에서 部分放電 또는 局部過熱等의 異常이 發生하면 各種 可燃性가스가 發生하여 油中에 溶存되는 사실은 前述한 바이다. 이 發生가스의 濃度を 簡易方法으로써 自動的, 연속적으로 監視할 수 있도록 하여 異常診斷外에 保守人力의 節減效果도 기대할 수 있다. 變압기 內部異常의 종류에 따라 可燃性 가스의 量은 다르지만 水素가스는 항상 發生하는 가스 主成分의 하나이기 때문에 油中 수소가스 농도만을 감시함으로써 內部異常有無를 判定할 수 있다. 이 原理를 응용 구체화시킨 것이 油中水素가스濃度 自動監視裝置이다. 이 장치는 油中溶解가스를 透過시키는 투과막, 透過된 가스를 담고 있는 가스室, 가스室의 水素濃度を 電氣的 出力으로 變換시키는 水素센서로 구성된 本体部分과 水素센서의 出力을 油中水素濃度로 換算하여 표시하는 出力裝置로 되어 있다. 가스室內 水素가스濃도가 油中濃도와 平衡되는데 所要되는 時間이 짧을수록 油中水

素가스濃度の 변화에 대한 追從性이 좋고 異常을 빨리 發見할 수 있는 바 現在 開發되어 있는 裝置로써 충분히 變압기 유중수소가스의 농도변화를 追從할 수 있는 것으로 立證되고 있다. 美國, 日本 등에서 활발히 電力會社와 變압기 製作者 및 製측기 製作者가 공동으로 開發 使用中인 것으로 보고되고 있다.

라. 漏油監視 診斷

無人變電所의 變壓器 保守의 問題點中 하나는 漏油로 주변이 오염될 뿐 아니라 油面이 저하하여 充電部가 氣中에 노출됨으로써 絶緣破壞事故가 발생할 수 있다. 따라서 少量의 漏油도 檢出하여 遠方에 그 情報를 傳送, 監視하는 것은 將來 無人變電所 등에서 變壓器 保守에 重要事項이 된다. 變壓器 油量은 油溫에 따라 膨脹, 수축하므로 油面計 만을 감시하는 것으로는 漏油여부를 판단할 수 없다. 그러나 油量과 油溫은 比例關係에 있음을 利用하여 油溫으로부터 計算된 油面레벨과 實測한 油面레벨을 비교하여 一致여부를 보아 漏油檢出을 할 수 있다. 이 장치를 이용하면 콘센세이터의 油面이 下限에 이르러 경보를 내는 종래 시스템보다도 早期에 누유를 檢出할 수 있으므로 變압기보수에 有效하다.

다. 其他 診斷技術

運轉中인 變壓器의 絶緣油中 溶存가스 分析外에도 絶緣油의 力率과 水分함유량을 測定하여 内部異常狀態를 判定하는 方法도 現在 定着되어 있는 診斷技術中의 한 方法이다. 變壓器 内部에서의 絶緣油의 冷却回路나 負荷變動에 의한 油溫의 變化等에 따라서 絶緣油 特性이 變動되므로 이를 考慮하여 正常基準値와 比較할 수 있도록 一定溫度로 換算하여 異常有無를 判定하게 된다.

運轉中인 變壓器의 内部異常判定法과 더불어 休電點檢時 變압기 내부 診斷法이 또한 필요하다. 이는 내부이상 變압기로 判定를 받은 후 工場修理를 爲하여 運送하기 전에 그 内部異狀을 확인하거나 定期인 變압기 檢점시 關聯定數를 測定하여 그 값에 依하여 内部異常을 判定하기 위한 것이다. 이와

관련된 診斷裝置로는 저압썬지시험장치 (Recurrent Surge Generator)와 誘電正接 및 損失시험장치 (Power Factor and Dielectric Loss Test Set)를 들 수 있는데 前者는 變압기 捲線에 低壓썬지를 反復 印加하여 그 分布電壓을 測定함으로써 捲線의 變形이나 變位等을 判斷하는 것으로 多重接地 配電線路 事故時 大電流에 의한 배전용 主變壓器의 内部捲線의 異常을 식별하는데 有力한 裝置로 判定되며 後者는 絶緣紙等 絶緣物의 誘電損失, 漏洩電流, 靜電容量을 測定하고 誘電正接을 制限하여 이들 값의 經年變化値를 가지고 絶緣劣化程度를 判定하는 것으로서 誘電正接의 異常上昇은 變壓器內의 酸素量에 關係되고 그 최대치가 나타날 때까지의 운전기간으로부터 劣化를 推定할 수 있을 것으로 期待된다.

3. GIS의 診斷

GIS(가스絶緣開閉裝置)는 SF₆가스를 봉입한 完全密閉型의 장치로 차단기, 단로기 등의 可動部分에

〈표-1〉 사고의 초기현상과 檢출기술

事故項目	初期現象	檢出技術
絶緣性能	코로나 放電	코로나 檢出器
	異常音	코로나 마이크
	가스壓 低下	壓力센서
	가스中 水分增加	하이그로미터
	가스分解	自動가스 分析裝置, 가스檢知管
	絶緣抵抗 低下	絶緣抵抗計
通電性能	온도상승 증대	溫度센서
	主回路 抵抗增大	主回路 抵抗計
	가스압 上昇	壓力센서
	電極消耗 增大	X線撮影장치
機械的性能	開閉時間 增大	低速驅動法
	전극소모증대	"
	動作回數 過多	動作回數計
	驅動系의 마찰력증대	低速驅動法
	構造變形	X線撮影裝置

있어서는 動作回數를 기준으로 가스內 部分을 點檢 하지만 그의 部分은 無補修, 無點檢을 基本으로 하고 있는 바 이를 뒷받침하고 있는 기술로서 機器分解를 하지 않는 진단기술이 開發되고 있다.

一般的으로 事故가 발생하는 경우 그 初期現象으로서 異常現象이 발견되므로 이를 檢出하는 各種 診斷技術을 정리하면 표 1과 같다.

가. 部分放電의 檢出法

GIS의 絕緣設計는 定格가스圧 및 常時 運轉電圧에서 部分放電이 없는 것을 基準으로 하고 있으므로 이 絕緣性態를 확인하거나 絕緣의 劣化程度를 아는 일이 대단히 중요하다. 一般的으로 가스 絕緣機器의 絕緣破壞는 처음 局部的인 미소 코로나로부터 시작하여 그 部分의 絕緣物이 서서히 劣化하고 最終적으로 全路破壞에 발전하는 바 이 微小 코로나를 檢出함으로써 絕緣性能 低下를 豫知할 수 있다. 미소 코로나를 檢出하는 方法으로는 ① 絕緣스페이서法, ② 外被電極法, ③ 電磁커플링法, ④ GPT法 ⑤ 振動檢出法이 있다.

나. 超音波 檢出法

絕緣性能을 저하시키는 原因으로서 탱크내에 導電性 異物이 存在하면 그 異物은 탱크내벽면에서 商用周波數의 電界에 依하여 運動하게 된다. 이때 運動하는 異物이 탱크에 충돌하므로 미약한 超音波가 발생한다. 이 초음파에 의한 탱크의 彈性波를 觀察하면 異物의 檢出이 可能하다. 초음파 檢출기의 構成은 초음파 센서를 탱크의벽에 밀착하여 檢出하고 얻어진 電氣信號를 增幅器를 通하여 과코지시회로에 접속하여 檢출신호의 最大値를 一定期間 維持시키고 이 값을 測定器로써 表示하는 方法으로서 미소 코로나에 의한 초음파도 檢출할 수 있다.

다. SF₆가스의 成分分析法

가스絕緣機器內의 가스成分을 分析하는 것은 SF₆ 가스純度, 가스中 殘留水分量을 測定하는 外에 內部에서의 有害한 코로나放電이 있는 경우 發生하는 分解가스를 檢出함으로써 內部絕緣系의 異常有無를

有効하게 判定할 수 있다. 또 內部아크를 수반하는 고장이 발생하는 경우에는 多量의 分解가스가 檢出되므로 故障範圍를 判定할 수 있다.

分解가스에 대한 간편한 測定裝置로서는 가스檢知管이 있는데 이는 가스단란 유리관내에 溶입된 지시약이 分解가스中의 弗化水素와 반응함으로써 變色되고 그 變色길로부터 分解가스의 濃度를 測定하여 고장범위를 判定한다. 또 가스성분을 精밀하게 아는 方法으로 기기내의 가스를 採集하여 試驗室內의 가스분석기(Gas Chromatography)로서 分析하는 것이 있다. 그러나 이는 긴 分析時間을 要하므로 効率的이 아니다. 最近 開發된 가스절연기 기용 移動式 自動가스 分析裝置는 마이콤을 내장한 全自動分析裝置로서 水分, 空氣를 비롯하여 放電에 수반되는 分解生成物인 CF₄, CO₂, SO₂F₂, SOF₂ 등을 精량분석할 수 있는 裝置이다.

라. X線 撮影法

가스絕緣機器를 分解하지 않고 內部 導體의 接續狀況, 可動電極의 마모정도등을 관찰할 수 있으면 內部構造의 확인 또는 기계적인 異常의 末期發見이 可能하다. 동일한 強度의 X線을 기기에 비치면 構造에 따라 X線의 흡수에 차가 발생하므로 透過後의 X線量은 부위에 따라 變化한다. 이 투과사진을 촬영, 영상을 해석하여 기기내부 상태 즉 기기내부의 변화 및 파손, 볼트이완, 接續部의 상태 및 開極狀態, 접촉자의 消耗狀態, 핀등의 장착상태를 診斷할 수 있다.

마. 低速驅動法

차단기, 단로기등 개폐기의 操作時에 있어서 開閉驅動 機械系의 동작은 항상 高信賴度가 要求된다. 이를 爲하여 機械系 故障의 초기증상의 되는 작은 異常有無를 파악하는 것이 重要하지만, 보통때는 停止하고 있는 이들 機器의 외함외부에서 확실한 진단을 행하기는 일반적으로 용이하지 않다. 低速驅動法이란 開閉機器의 驅動系 外部에서 저속도로 조작하여 기계계의 외부진단을 행하는 방법이다. 이 原理는 通電을 정지시킨 開閉機器의 運動系를 通常

操作時의 1/100정도의 저속으로 구동하여 이때의 驅動力 및 스트로크를 측정하는 것이다. 測定된 驅動力은 거의 動作部의 마찰력을 나타내므로 내부이상이 있는 경우 이들이 具體적으로 존재하는 위치와 程度를 檢出할 수 있다. 또 이 方法은 驅動部에 간단한 어댑터를 취부하는 것만으로 적용할 수 있기 때문에 기기의 主操作源(氣壓, 油壓, 電動)에 관계없이 이용할 수 있다.

4. 맺음말

變電機器에 대한 診斷技術은 油中가스分析을 비롯하여 多種多樣한 기술이 開發 또는 開發중에 있음은 進술한 바와 같다. 이러한 各種 診斷技術을 ① 新增設時 設置後 性能點檢, ② 定期點檢時 性能變化 點檢, ③ 異常時 또는 그 징후가 있을 시 狀態點檢, ④ 常時監視에 依한 性能變化 點檢等에 적용時에는 對象機器나 점검내용에 따라 最適한 진단수법을 확인할 필요가 있다. 따라서 診斷技術의 適用에 대한 體系化에 있어서는 各 技術의 하나로 판단하지 않고 조건에 맞는 필요성을 基本으로 하여 異常의 位置 및 樣態를 알 수 있는 보다 効果의인 複數의 진단기술을 적용함으로써 종합판단하도록 하여야 하겠다. 즉 各種 진단기술의 適用時點 및 對象機器의 點檢內容에 따라 진단기술의 종합적용기준을 設定

하여 사고예방 진단기술의 體系化를 도모하여야 한다.

또 變電機器에 대한 事故豫防 診斷技術은 사고를 예방하여 電力의 安定供給을 期할 뿐 아니라 남은 機器壽命을 推定하여 기기의 신뢰성을 평가하는 同時에 適正補修基準을 設定할 수 있고 그 交替計劃을 合理的으로 樹立할 수 있는 重要한 지침을 제시하여 준다.

따라서 진단 對象機器를 電力用 大容量 變壓器나 GIS에 국한하지 않고 近來 事故件數가 增加하고 있는 避雷器와 기타 計器用 變壓器를 포함한 變電機器에 對하여 診斷技術의 適用擴大가 필요하며 나아가 서는 回轉機와 電力交換裝置 및 制御裝置등의 電子應用機器를 對象으로 하는 진단기술도 확립되어야 할 것이다.

各種 診斷技術 適用과 더불어 關聯資料의 축적 및 評價를 爲하여 變電機器의 管理 記錄技法도 改善되어야 할 것이다.

各種 診斷技術은 今後 널리 活用되어 電力機器의 無停電點檢 施行과 内部 異常個所의 조기발견 및 事故豫防 補修의 실시로 保守人力과 비용을 경감시키면서 기기의 수명연장으로 투자비를 낮출 수 있고 高度의 計測技術을 蓄積시킬 수 있는 효과를 거둘 수 있을 것으로 期待된다. *

● 案 內 ●

국가기술자격갱신을 위한 교육이수확인서 발급

국가기술자격법 제 8조에 의거 전기기사 자격을 취득하고 5년이 경과('75-'78취득자)된자로 '82-'84년 기간중에 보안담당자교육을 받은 사람에게 자격갱신을 위한 교육이수확인서를 발급하고 있으니 해당자는 협회본부 및 각 지부에 연락하여 교육이수확인서를 발급 받으시기 바랍니다.

국가기술자격 취득자 취업 알선

노동부 직업안정기관과 한국직업훈련관리공단에서는 미취업중인 국가기술 자격취득자에 대한 취업 알선 계획을 추진중에 있으니 전기기사자격을 취득하고 아직 미취업중인 회원은 이를 적극 활용하시기 바랍니다.

1986. 1.

대한전기협회