

# 油中 溶解GAS 分析에 依한 變压器 狀態 判定 方法

The Judgement of the  
Condition of the  
Transformer by the  
Analysis of Dissolved  
Gases in Transformer Oil

金 恩 雅

韓電 技術研究所 第三研究室長

## 1. 머리말

韓國電力公社에서는 1977年 新蔚山變電所의 超高  
压 送電施設 建設이래 電力系統의 高压化, 大容量  
化에 따라 變压器도 점차 大型化되어 系統의 安定,  
需用家에 대한 奉仕側面에서의 變压器 事故豫防의  
重要性이 높아가고 있다.

이러한 觀點에서 大韓電氣協會誌 1982. 5月号에  
수록된 「變電機器 豫防診斷 技術」에서 소개된 “變  
压器油中 溶解 GAS 分析에 依한 變压器狀態 判定  
方法”에 관하여 詳述하고자 한다.

## 2. 變压器油中 GAS 分析

變压器 内部에 異常이 생긴 경우, 各種 絶緣物이  
熱分解를 일으켜 絶緣材料의 種類, 異常部位의 温  
도에 따라 각각 特有한 Gas를 發生하고, 이러한  
發生Gas는 油中에 溶解되거나, 油面上의 空間에  
存在하게 된다.

事故를 早期에 發見하기 위해서는 空間Gas를 对  
象으로 分析하는 경우도 있으나 變压器 内部 에서  
發生되는 Gas는 극히 일부를 除外하고는 大部分  
絶緣油에 대한 溶解度가 높으므로 주로 溶解Gas를  
分析 对象으로 하고 있다.

油中 溶解Gas分析은 運轉中인 變压器를 無停電  
狀態에서 變压器 内部의 絶緣油를 少量 취하여 그  
중에 溶解되어 있는 Gas를 分析하는 것이다.

이 分析은 内部의 異常을 早期에 發見하고 異常  
進展에 따른 變压器 内部狀態의 신속한 파악을 目  
的으로 실시한다. 따라서 油中 溶解Gas 分析으로

- ① 内部 異常 有無 判定
- ② 内部 異常 狀態 診斷(異常個所, 異常程度, 異  
常進展速度)
- ③ 運轉繼續 可能性 判斷(運轉可能期間, 繼續監  
視의 必要性)
- ④ 解体點檢 與否의 判斷

등이 가능하나, 보다 正確한 診斷을 위해서는 적당  
한 Interval로 追跡分析을 實施하고 기타 電氣의  
試驗을 병행할 필요가 있다.

### 가. GAS 分析 方法

試料는 變压器 下部 Drain Cock로 부터 抽出하  
되, 처음 2,000 CC程度는 버리고, 소정의 試料容

器에 거품이 일지 않도록 충분히 注意하며, Over Flow 시켜 채취한 후 溫度變化가 없도록 보존하고, 1주 이내에 分析한다.

試料油中の Gas는 Gas 分析器에 부착된 Gas 抽出 裝置를 利用하여 抽出하고 Gas Chromatograph (G-C 302 Gas Chromatograph)에 의해 Gas 種類 別 濃度를 測定한다.

나. 対象 機器

- ① 發變電用 主變壓器
- ② 所內變壓器, 負荷時 電壓調整器, 接地用 變壓器, 計器用 變成器, Shunt Recetor 등

다. 實施時期

① 初期值 測定  
運轉開始後 1~3 個月內 測定(定期 또는 隨時測定 值와 比較)

② 定期測定  
1회 / 1년 또는 1회 / 3년

③ 追跡調査 測定  
油中 Gas 分析으로 要注意 또는 異常으로 判定된 경우, 또는 內部點檢이나 故障修理後 確認을 위해 Interval을 단축하여 追跡調査를 實施한다.

④ 隨時測定  
보호계전기 動作에 의해 異常이 檢出된 경우 또는 保全上 필요하다고 인정되는 경우에 測定

라. 分析 対象 GAS

산소, 질소, 수소, 메탄, 에탄, 에틸렌, 아세틸렌, 일산화탄소, 탄산가스

마. 分析值의 표시방법

특별한 言及이 없는한 『Total 油中 Gas 量』은 試料油 體積과 油中の Gas 體積의 比率로 표시한다. 單位는 ppm(Vol)을 使用하나, 일반적으로 ppm

만으로 표시하는 것이 보통이다.

※ Total 油中 Gas 量: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>를 모두 포함한 값

可燃性 Gas 總量: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>를 제외한 가연성 Gas 들만의 합(TCG-Total Combustible Gas 로 표시).

### 3. 變壓器 異狀現象의 種類와 發生 Gas

變壓器 異狀現象別 發生 Gas의 組成을 實績에 의거해서 區分해 보면 다음과 같다.

가. 油中 Arc

이 경우에는 水素 및 Acetylene이 多量으로 生成되고, Propane, Propylene, Ethane, Ethylene 등의 炭化水素는 거의 존재하지 않거나, 극히 미량 존재한다.

나. 過熱部分, 裸導體, 接續部 過熱

水素, Methane, Ethylene이 多量으로 發生하고, Acetylene이 미량 生成된다.

다. Phenol 樹脂의 熱的, 誘電的 劣化

일산화탄소 및 탄산가스가 水素에 비해 多量으로 존재하고, Acetylene 및 水素에 비해 다른 炭化水素가 多量으로 존재한다. Methanol이 약간 검출되는 경우가 있다.

라. Pressboard의 熱的 또는 誘電的 劣化

일산화탄소 및 탄산Gas가 탄화수소에 비해 多量으로 존재한다.

마. 마닐라지의 熱的 또는 誘電的 劣化

탄화수소에 비해 탄산가스가 支配的이고, 일산화탄소 및 Acetylene이 다른 炭化水素에 비해 少量

〈표 - 1〉 要注意(TCG 및 各 Gas 量)

變 壓 器 定 格		各 G a s 量					
		TCG	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO
275 kV	10 MVA 以下	1000	400	200	150	300	300
以下	10 MVA 超過	700	400	150	150	200	300
500 kV	-	400	300	100	50	100	200

〈표-2〉 要注意(TCG 增加量)

變 壓 器 定 格		TCG 증가율 (ppm/年)
275 kV 以下	10 MVA 以下	350
	10 MVA 超過	250
500 kV	-	150

존재한다.

#### 4. 變壓器 狀態判定基準

Gas 分析을 가장 널리 活用하고 있는 日本에서는 各 電力會社別, Maker 別로 “油入機器 油中 Gas 分析 保守管理 委員會”를 設立하여 活用實績을 綜合하고 油入機器 保守管理方法 및 管理基準을 統一하여 活用하고 있다. 同委員會에서 定한 判定區分 및 基準을 다음과 같다.

##### 가. 要注意

① 可燃性 Gas 總量(TCG) 및 各 成分 Gas 量中 어느 하나라도 표 1의 要注意 Level을 넘을 경우에는 要注意라고 判定한다.

② 各 Gas 量이 표 1의 값 이하라도 作間 可燃性 Gas의 增加量이 표 2의 要注意 Level을 넘을 경우 要注意로 判定된다.

##### 나. 異常

① 可燃性 Gas 總量(TCG) 및 各 成分 Gas 量中 어느 하나라도 표 3의 값을 넘을 경우 異常이라고 判定한다.

② 各 Gas 量이 표 3의 값 以下이어도 1個月間의 可燃性 Gas의 增加量이 표 4에 異常 Level을 초과할 경우 異常이라고 判定한다.

上記 基準値는 實績에 의거해서 定해진 것이기는

〈표-4〉 異常(TCG 增加量)

變 壓 器 定 格		TCG 증가율 (ppm/年)
275 kV 以下	10 MVA 以下	100
	10 MVA 超過	70
500 kV	-	40

하지만, 正常的인 變壓器에서도 運轉初期의 增加傾向이나, 分析值의 오차가 擴大解析될 우려가 있으므로, 짧은 Inteval로 試驗되었을 경우의 增加傾向은 충분한 注意를 기울여 判定해야 한다.

또 可燃性 Gas 中에서도 아세틸렌의 경우는 Arc나 部分放電等の 高温熱分解時에 發生하는 특수한 Gas이므로 미량만 검출되어도 追跡調査를 實施하여 增加傾向을 調査하고, 다른 發生 Gas와도 比較하여 判定해야 한다.

變壓器의 狀態는 Maker 別 設計 또는 稼動條件에 따라 다를 수도 있으므로 韓電公社의 경우, 向後 Gas 分析結果와 變壓器 點檢結果等の Data를 축적하여 우리 實情에 맞는 判定基準이 設定되어야 할 것이다.

#### 5. 異常狀態 診斷方法

變壓器에서 異常이 發生하는 場所는 Tap Changer, 鐵心, Coil, Bushing을 포함하는 Lead 線 등으로, 故障原因은 接觸不良, 循環電流, 短絡·閃絡, 動作不良, 浮遊電極等이다.

이러한 故障으로 因하여 過熱, 部分放電, Arc放電이 發生하고 이에 따라 分解 Gas가 生成되는 것이다.

이와 같이 異常의 種類, 場所, 規模等を 判斷하는 것을 變壓器 異常 診斷이라고 한다.

〈표-3〉 異常(TCG 및 各 Gas 量)

變 壓 器 定 格		各 Gas 量					
		TCG	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO
275 kV 以下	10 MVA 以下	2000	800	400	300	600	600
	10 MVA 超過	1400	800	300	300	400	600
500 kV	-	800	600	200	100	200	400

變壓器 異常現象 診斷方法에는 여러가지가 있고 각각의 長短點을 지니고 있어 어느 한 方法에 의해서만 診斷을 할 수는 없다.

여기서는,

- ① Gas Pattern法에 의한 診斷
- ② Gas 組成比에 의한 診斷
- ③ 特定 Gas에 의한 診斷方法을 소개한다.

가. Gas Pattern에 의한 診斷

橫軸에 成分 Gas를, 縱軸에 Gas濃度를 Plot 하여 Pattern圖를 그리고 基本型和 比較하여 그 形狀에 따라 異常內容을 診斷하는 方法으로, H<sub>2</sub> 主導型이면 Arc放電이나 部分放電, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 主導型이면 Arc放電, CH<sub>4</sub> 및 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 主導型이면 過熱에 의한 것 등으로 診斷한다.

나. 組成比에 의한 診斷方法

檢出된 可燃性 Gas中, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 만을 利用하여 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)의 3가지 組成比를 算出하고 Code表(표 5)에서 Code를 분류하고, 구해진 Code로 異常診斷表(표 6)에서 異常現象 內容을 推定하는 方法이다.

다. 特定 Gas에 의한 診斷方法

- ① CO, CO<sub>2</sub>에 의한 診斷

絶緣油中の 團体絶緣物이 過熱되면 CO나 CO<sub>2</sub>가 發生하고, 이러한 異常現象은 重大事故로 發展할 우려가 있으므로 CO, CO<sub>2</sub>에 의한 진단방법은 중요하다. CO<sub>2</sub>는 經年劣化에 의해서 發生하므로 CO에 의해 진단하는 것이 더 좋다. CO가 300 ppm 이상 檢出되면 固体絶緣物이 燒損된 것이다.

- ② C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>에 의한 診斷

아세틸렌은 Arc, 部分放電, 局部過熱 등의 高温熱分解에 의해 多量으로 發生하는 특징이 있고, 接觸不良과 같은 過熱現象에 의해서 少量의 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>가

〈표-5〉 Code表

Gas 成分 比率	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
<0.1	0	1	0
≥0.1~<1	1	0	0
≥1 ~<3	1	2	1
≥3	2	2	2

〈표-6〉 Code에 의한 異常診斷表

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	現象 推定
0	2	0	過熱(低)
	2	1	過熱(中)
	0, 1, 2	2	過熱(高)
1	0, 1, 2	0, 1, 2	Arc放電(高 Energy)
2	0, 1	0, 1, 2	部分放電(低 Energy)

發生하는 수도 있으므로 이 경우에는 다른 Gas도 比較하여 진단한다.

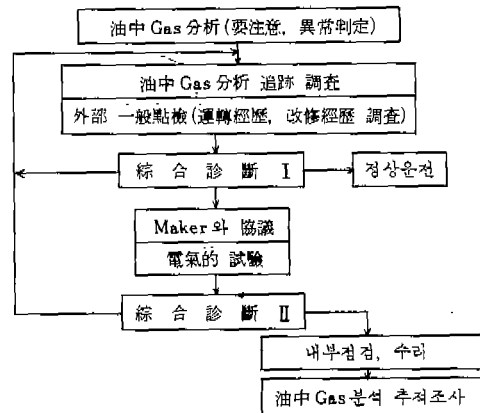
6. 綜合診斷

油中 Gas分析의 判定基準에 의해 要注意 또는 異常이라고 判定된 경우 運轉을 계속할 것인가, 内部點檢 또는 修理가 필요한가 등의 決定을 해야 한다.

變壓器의 解体點檢은 많은 費用이 뒤따르고, 油中 Gas分析 判定基準이 모든 變壓器에 일률적으로 적용되는 것은 아니므로 신중한 검토후에 최종적인 조치가 이루어져야 한다.

分析週期의 不適切, 絶緣油 循環方式, 試料油 採取의 未熟 등으로 인해 内部異常이 있어도 Gas가 檢出되지 않는 경우도 있고, 内部異常과는 관계없이 外的要因에 의해 油中 Gas分析值가 增加하는 수도 있으므로 Gas分析以外에, 電氣的 試驗, 外部一般點檢, 運轉經歷, 改修經歷 등을 綜合하여 診斷해야 한다.

綜合診斷의 一例를 들면 다음과 같다.



(丑-7) 分析対象 変圧器 (226대)

変圧器容量 (MVA)	変圧器台數	百分比 (%)
1.1~10	11	4.87
10.1~50	132	58.41
50.1~100	35	15.49
100.1~200	40	17.70
200.1~	8	3.53
合計	226	100.0

### 7. 韓電公社 GAS 分析 現況

韓電公社에서는 今年初에 購入된 Gas 分析設備를 이용하여 一次的으로 154kV 以上の 主變壓器만을 対象으로 Gas 分析을 實施하고 있다.

今年度 豫定分 320대중 8月 現在 226대에 대하여 試驗을 完了하였으며 그 結果를 綜合해 보면 표 7, 8, 9 와 같다.

표에서 알 수 있듯이 대부분의 變壓器에서 可燃性 Gas들이 검출되고 있으며 그 量이 日本의 “油入機器 油中 Gas 分析 保守管理 委員會”에서 定한 判定基準을 훨씬 上廻하는 것도 있어서 이미 몇대에 대해서는 解体點檢을 實施하여 事故를 미연에 防止할 수 있었다.

1983년에는 66kV미만의 變壓器에 대해서도 Gas 點檢을 擴大實施하면 變壓器 事故豫防에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 8. 맺는 말

從來에는 變壓器의 維持管理를 위하여 安全裝置로 Buchtolty Relay를 使用하여 왔고, 檢査方法으로는 絶緣抵抗測定, EI Detector에 의한 測定, tan δ 測定, 等の 電氣的인 試驗과 絶緣油 試驗을 實施해 왔다.

(丑-8) 分析対象 變壓器 溶存 Gas 中の 可燃性 Gas 濃度 分布

可燃性 Gas 濃度	變壓器台數	百分比 (%)
~ 0.5	136	60.18
0.51~ 1.0	48	21.24
1.01~ 2.0	17	7.52
2.01~ 5.0	12	5.31
5.01~10.0	8	3.54
10.01 以上	5	2.21
合計	226	100.00

그러나 Buchtolty Relay의 경우 誤動作이 많고, 또 Buchtolty Relay가 動作을 할 때는 이미 事故가 상당히 進行된 狀態이며, 故障의 內容도 확실해 알 수가 없다.

또 電氣的인 檢査方法들은 最近, 部分放電試驗과 같이 無停電 狀態에서 試驗할 수 있는 方法도 開發되고 있으나, 대부분 停電狀態에서 試驗을 實施해야 하며, 感度도 낮아 事故의 早期 發見이 곤란하다.

本稿에서 소개된 “Gas 分析에 의한 變壓器 狀態點檢 方法”은 無停電 狀態에서 事故를 早期에 發見할 수 있고, 故障內容도 어느정도 推定이 可能하며 事故의 進行 速度를 追跡할 수 있는 長點을 가지고 있어, 韓電公社의 경우 新設 變壓器에 대하여도 週期的인 Gas 分析을 實施하여 完滿히 進行되는 事故를 早期에 發見하면 하자기간내에 예방조치가 可能할 것으로 사료된다.

따라서 變壓器 Maker에서도 向後 보다 철저한 品質管理를 施行함으로써 經濟的인 損失을 防止하고 製品의 信賴度를 높이도록 努力해야 할 것이며, 기타 變壓器 需用家들도 Gas 分析에 의한 變壓器 管理方法을 活用함으로써 事故豫防은 물론, 막대한 경제적 損失의 防止가 可能할 것이다.

(丑-9) 分析対象 變壓器 溶存 Gas 量 分類

溶存 Gas 濃度 (%)	0 2.0	2.1 4.0	4.1 6.0	6.1 8.0	8.1 10	10.1	計
平均溶存量 (%)	1.3	3.0	5.1	6.3	0	0	4.7
變壓器台數	11	36	157	22	0	0	226
百分比 (%)	4.87	15.93	69.47	9.73	0	0	100