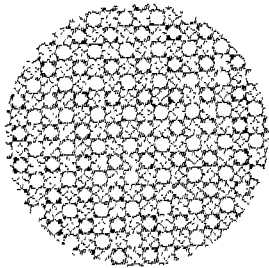


變壓器 絶緣油에 全酸價 의 影響

Effect on Total Acid Number in Transformer Oil



申 圭 植

韓國電力公社 技術研究院
化學環境研究室長

I. 概 要

變壓器用 絶緣油는 鑛油, 合成絶緣油, 混合絶緣油로 大別되며 鑛油는 Napthen系가 主로 使用되며 合成絶緣油는 알킬벤젠, 플리부텐, 알킬나프탈렌, 알킬디페닐에탄, 실리콘유 등이 使用되나 우리나라에서는 主로 鑛油를 使用하고 있으며 最近에 알킬벤젠混合油가 生産되고 있다. 또한 絶緣油에 添加劑 (酸化防止劑)를 添加한 添加油와 添加劑를 省か하지 않은 無添加油로 區別되며, 우리나라에서는 添加油는 使用되지 않으며 無添加油만 使用된다. 그러므로 韓國工業規格(KS)에도 變壓器用 絶緣油는 無添加油로 規定되어 있다. 絶緣油의 劣化程度를 나타내는 代表的인 測度가 全酸價이며, 電氣絶緣油는 使用中 여러가지 要因에 의하여 劣化가 되면 劣化生成物로 인하여 全酸價가 增加하여 絶緣油의 性能을 低下시킨다.

2. 變壓器 絶緣油의 劣化

絶緣油가 劣化하는 主原因은 空氣中の 酸素로 因한 酸化이며, 使用時 溫度上昇, 變壓器를 구성하고 있는 銅, 鐵 등의 金屬으로 因한 触媒作用, 絶緣Varnish의 不良으로 因한 絶緣油의 汚染, 光線 特히 자외선으로 因한 酸化促進의 影響을 받아 絶緣油의 主成分인 炭化水素가 酸化되어 絶緣油의 全酸價가 增加하고 이에 따라 絶緣破壞電壓이 低下되고, 引火性이 큰 Gas狀 物質이 生成되어 變壓器 燒損의 原因이 되며, 重合物, Sludge 등을 生成하여 熱擴散이 잘 되지않아 部分 過熱 및 冷却作用에 惡影響을 미치고 溫度가 上昇하여 絶緣油를 劣化시켜 油溶性劣化生成物, 油不溶性 劣化生成物을 生成하여 絶緣油의 酸價가 증가되어 絶緣性能을 低下시킨다.

가. 絶緣油의 劣化過程

絶緣油의 劣化生成物은 大別해서

- ① 油溶性 劣化生成物
- ② 油不溶性 劣化生成物
- ③ Gas狀 劣化生成物로 區別할 수 있다.

(1) 油溶性 劣化生成物

絶緣油의 劣化가 完滿한 酸化인 경우 다음과 같은

各種의 油溶性 中間酸化물이 生成된다.

- (가) 過酸化物 (ROOR' 혹은 ROOH)
- (나) Alcohol (ROH)
- (다) Aldehyde (RCHO)
- (라) Ketone (RCOR')
- (마) 有機酸 (RCOOH)
- (바) 酸無水物 ($\begin{matrix} R, CO \\ R', CO \end{matrix} > O$)
- (사) 過酸 (RCOOH)
- (아) Ester (RCOOR')
- (자) 金屬비누 (RCOO)_nM

그 結果 Alcohol, Aldehyde 等 中間生成物을 거쳐 有機酸으로 된다. 有機酸은 比較的 安定하여 油 中에 蓄積하여 油의 全酸價를 增加시킨다. 有機酸은 Ester, 金屬비누 等으로 變하여 Naphten系 炭化水素는 Naphten酸을 生成하고 Paraffine系 炭化水素는 脂肪酸을 生成한다.

(2) 油不溶性 劣化生成物 (Sludge)

Sludge는 絶緣油 劣化로 生成된 泥狀物이며 性狀의 差로서 分類하면

- (가) Asphalt性 Sludge
- (나) 비누성 Sludge
- (다) 炭素性 Sludge로 區分한다.

Asphalt性 Sludge는 變壓器內의 加熱된 捲線 部分에 析出 沈積하여 絶緣油의 冷却作用을 阻害한다. 主로 炭化水素의 酸化 最終生成物인 遊離炭素를 含有한다.

비누성 Sludge는 絶緣油의 酸化로서 生成된 有機酸과 絶緣Vanish가 油中에 溶出하는 酸化物質로서 微量의 水分을 含有한다.

(3) Gas狀 炭化生成物

絶緣油가 Arc의 作用으로 分解를 받을時 炭素性 Sludge와 Gas狀 物質이 生成된다.

특히 開閉機油에 電流가 Shut-down時 순간적으로 Arc의 周圍에 3,000~5,000℃의 熱이 發生하여 分解가 일어나며 이때 發生하는 Gas는 主로 水素와 炭化水素로 종종 爆發의 原因이 된다.

나. 絶緣油 劣化因子

(1) 溫度

溫度 140~180℃의 範圍에서 全酸價, 粘度增加,

Sludge 等은 溫度 10℃ 上昇時 約 2倍가 된다. 즉 溫度의 上昇으로 劣化速度는 커진다. 또한 溫度가 400℃ 以上에서는 鎖狀炭素가 切斷하여 遊離炭素가 生成된다.

(2) 金屬接觸作用

絶緣油는 2價以上의 原子價를 갖는 銅, 鐵, 酸化銅 및 2種 金屬의 組合인 경우, 銅+鐵, 銅+鉛, 鉛+亞鉛, 銅+Aluminium, Brass, 青銅 等이 絶緣油의 酸化를 促進하는 金屬이며, 錫, Aluminium, 亞鉛, Nickel, 等은 絶緣油 劣化에 影響이 없는 金屬이다.

(3) 酸化 生成物의 影響

絶緣油가 酸化할 때 酸化生成物이 自觸作用 (Auto Catalysis)을 한다. 이 影響을 要約하면,

(가) 微量의 水分이 絶緣油의 生酸反應을 助長한다.

(나) 過酸化物, Hydro-Peroxide는 反應을 促進한다.

(다) 有機酸은 反應을 促進한다.

(라) 過酸化物, Hydroperoxide는 反應을 促進한다.

(마) 過酸은 反應을 促進한다.

(바) Aldehyde 및 Ketone은 反應을 促進한다.

(사) Ester는 反應을 促進하는 경우 (Stearin酸 Ethyl)와 促進하지 않는 경우 (Naphten酸 Ethyl)가 있다.

(아) Stearin酸銅, Naphtene酸 銅 等은 反應을 促進한다.

(4) 絶緣 Vanish의 影響

Vanish를 含した 捲線은 Vanish가 不良일 경우 絶緣油에 惡影響을 미친다.

(5) 光線의 影響

絶緣油의 劣化는 光線 特別히 자외선의 影響을 많이 받으며 普通使用狀態에서 直射光線을 받으면 普通 Sludge를 析出한다.

(6) 超音波 및 電場의 影響

超音波로 引火點이 低下되고 特別히 銅, 酸素 等の 存在로 劣化가 促進된다.

絶緣油가 電場에서 酸化하는 傾向은

(가) 水分이 存在할 때 特히 電場의 作用을 받기 쉽다.

(나) 絶緣油의 Coil을 浸積하면 電氣的인 Stress를 받아 酸化를 促進한다.

(다) 絶緣油에 銅을 넣어 電場(10KV)에서 酸化를 일으키면, 電場이 없는 경우와 比較하여 Sludge는 100%, 酸, Tar狀 物質, 樹脂質은 35% 增加한다.

(라) 光 放電 時, 炭火水素는 第一 먼저 脫水素反應을 일으키고, 다음 殘基가 結合하여 큰 分子를 生成하여 絶緣油의 粘度를 增加시킨다.

다. 絶緣油의 劣化防止

絶緣油는 使用中 空氣中の 水分을 吸收하고 空氣中の 酸素와 接觸으로 酸化하여 電氣絶緣性を 低下시켜서 冷却效果가 低下된다.

絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로 絶緣油 劣化의 最大原因이 되는 酸素 즉 空氣의 接觸을 最大로 막는 物理的인 方法과 酸化防止劑를 使用하는 化學的인 方法이 있다.

絶緣油 劣化防止方法을 大別하면

- ① 開放型 Conservator式 (Oil Conservator System)
- ② 窒素封入式 (Nitrogen Filled System)
- ③ 密封式 (Totally Closed System)
- ④ 隔膜式 (Flexible Membrane System)
- ⑤ 金屬 Bellow式 (Metallic Bellows System)
- ⑥ 吸着劑式 (Absorption System)
- ⑦ 劑加劑式 (Inhibitor System) 등이 있다.

1) 開放型 Conservator式

變壓器 Tank 上部에 絶緣油의 膨脹收縮을 補償할 수 있는 容積의 貯油 Tank Conservator를 裝置하여 空氣의 接觸面積을 적게하여 絶緣油의 劣化를 防止하고 濕氣로 인한 絶緣破壞電壓 低下 및 劣化 促進을 防止하기 위하여 Silica gel 또는 Active-Alumina를 併用한 吸濕裝置가 있다.

그러나 Conservator 中에 있는 絶緣油가 劣化하여 生成된 Sludge가 變壓器 本体内에 侵害할 우려가 있는 欠點이 있으므로 低電壓 容量 主變壓器에 使用된다.

2) 窒素封入式

變壓器 Tank 上部 또는 Conservator 内部 空間에

窒素를 충전하여 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로 가장 많이 使用되는 方法이다.

3) 密封式

Tank 上部 空間 또는 Conservator 空間에 窒素 또는 乾燥空氣로 密封하여 溫度의 變化로 인한 油面의 變化를 調整한다.

그러므로 이 方法은 一般的으로 다른 方法과 比較하여 壓力의 變化가 크다.

따라서 별도의 Tank를 裝置하여 Gas壓의 變化를 적게 하여야 한다.

氣溫의 變化 또는 負荷의 變動 등으로 인한 Gas壓이 크게 變動되는 경우와 絶緣油에 溶解된 飽和 窒素를 遊離시켜 絶緣油 中에 氣泡를 發生하여 絶緣油의 絶緣破壞電壓을 低下시키는 경우가 있으므로 注意하여야 한다. 이 方法은 주로 中型, 小型, 變壓器 또는 計器用 變成變壓器에 使用한다.

4) 隔膜式

Conservator 内에 耐油性 Gum 등을 使用하여 空氣를 完全 차단 하여 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로 Gum 또는 Gum膜을 使用하여 絶緣油의 膨脹, 收縮에 의한 油量의 變化에 對應할 수 있는 構造이다.

5) 金屬 Bellow式

油量의 變化를 金屬 Bellow의 膨脹, 收縮으로 補償한다. Cable油의 補償方法으로 過去에 使用하였으며, 密封式의 一種이다. 壓力變動은 最大 0.05kg/cm² 程度이고 金屬 Bellow의 漏油에 注意하여야 한다.

6) 吸着劑式 (Absorption System)

吸着劑 (Active-Alumina 등)를 通하여 絶緣油를 循環시켜 絶緣油中の 酸化生成物 (酸, Aldehyde, Ketone, 물 등)을 吸着 除去하여 酸化生成物로 인한 劣化促進을 抑制하는 方法이다. 絶緣油의 循環方式은 自然對流를 利用하여 放熱配管 中에 吸着劑를 注入하여 使用하는 方法이 많이 利用된다. 吸着劑의 吸着能力이 低下되면 全酸價의 上昇度로 吸着能力을 판단하여 吸着劑를 再生하여 使用한다.

7) 添加劑 方式

이 方法은 絶緣油에 DBPC (Di-tetra-Butyl-Pare Cresol) 또는 Phenol系, Amine系의 有機化合物을

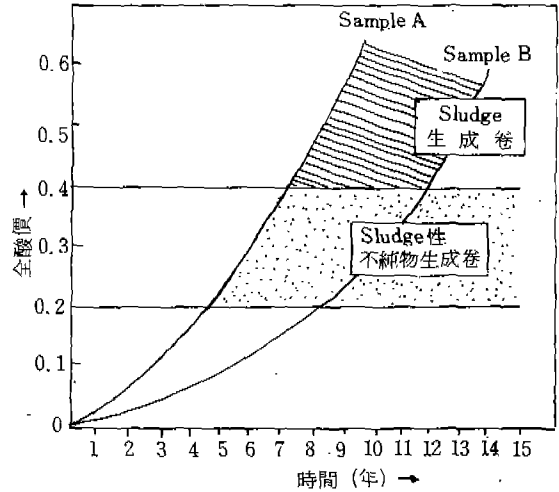
約 0.1~1.0% 添加하여 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로 短點은 絶緣油의 種類에 따라 使用量에 對한 檢對가 필요하며 简单地 使用하기가 어렵다.

위에서 說明한 바와 같이 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法에는 여러가지가 있으며, 變壓器의 壽命을 左右하는 데는 絶緣油의 영향이 대단히 크다.

3. 變壓器絶緣油와 全酸價의 關係

變壓器絶緣油는 使用中 劣化하여 劣化生成物을 生成하여 全酸價를 增加시키고 劣化로 因해 生成된 Sludge性 酸化生成物은 絶緣油의 粘度 및 比重을 增加시켜 熱擴散를 阻害하여 部分過熱을 일으켜 變壓器 消損의 原因이 되며, 油溶性 酸化生成物 中 特히 Ester, 金屬비누 等과 같은 親水性 酸化生成物을 生成하여 絶緣破壞電壓을 低下시키고 Gas 狀 酸化生成物의 生成으로 變壓器 消損 및 爆發의 原因이 된다.

그림 1에서 보는바와 같이 全酸價 0.2가 되면 S Sludge性 不純物 生成卷으로 絶緣破壞電壓이 低下되며, Filter等 物理的 方法으로는 絶緣性能을 회복시킬 수 없으므로 즉시 交替하여야 한다. 絶緣油의 劣化 程度는 絶緣破壞電壓 및 全酸價로 判定하지만 다른 特性의 이상없이 絶緣破壞電壓만 低下되는 경



〈그림-1〉 全酸價와 Sludge生成과의 關係

우에는 雨水 및 濕氣가 外部로 부터 侵入한 것이 大部分이므로 그 原因을 除去하기 爲해 Dry Filter等 으로 濕氣 및 水分을 除去하여 絶緣破壞電壓을 上昇 (30KV以上) 시킨후 使用해야 한다. 그러나 全酸價가 0.2 以上으로 上昇되었을 경우에는 즉시 絶緣油를 交替하여야 한다. 또한 交替時期를 豫測하기 爲해서는 周期的으로 試驗하여야 하며 酸化安定度試驗을 實施하여 交替時間을 豫測할 수도 있다.

*

지혜로운 소비절약 후손들에 도약발판

에너지를 쓰기 전에 절약부터 생각하자