

절연유 열화 방지

A Study on Anti Oxidation of Transformer Oil

기술보고
22~6~3

신 규 식,* 유 광 응**
(Kyu Sik Sin, Kwang Ung You)

Abstract

A study on extension of the life of transformer oil, and prevention of transmission and distribution trouble followed the accident of transformer caused by oxidation of transformer oil

1. 目的 및 概要

가. 目的

電力需要의 增大로 各種 變壓器의 需要가 增大됨에 따라 絶緣油 使用量이 增加하고 있으므로 絶緣油의 壽命을 延長할 수 있는 劣化防止劑를 使用하여 絶緣油 劣化로 因한 變壓器의 事故 및 燒損을 最大限減少시킴으로 送變電事故를 未然에 防止하여 國家에 기여하고자 하였음.

나. 概要

絶緣油劣化過程 및 劣化防止法을 調査하며 劣化防止 試驗을 實施하여 試驗結果에 依한 韓國電力 실정에 맞는 가장 効率的이고 經濟的인 方法에 對하여 調査하고자 하였음.

2. 絶緣油劣化防止에 關한 理論

絶緣油는 使用中 劣化하여 酸價를 增加시키고 Sludge를 生成하여 絶緣油의 性能을 低下시킨다.

劣化의 主原因은 空氣中の 酸素로 因한 酸化이며 使用時의 溫度上昇, 銅, 鐵等の 金屬으로 因한 觸媒作用 絶緣 varnish의 不良으로 因한 絶緣油의 汚染, 光線 특히 紫外線으로 因한 促進等の 影響을 받아 絶緣油의 主成分인 炭化水素가 酸化되어 酸價가 增加하고 이에 따라 絶緣耐壓이 低下되어 引火性이 큰 Gas 狀物質이 生成되어 燒損의 原因이 되고 重合物 Sludge 등을 生成하여 熱擴散이 잘되지 않아 部分過熱 및 冷却作用에

惡影響을 끼치며 溫度가 上昇하여 絶緣을 劣化시켜 過酸化物(ROOR' or ROOH) Alcohol(ROH), Aldehyde (RCHO) Ketone (RCOR), 有機酸(RCOOH) 酸無水物(RCO R'CO > O), 過酸(RCOOH) Ester(RCOOR') 金屬비누(RCOO)nM等 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 性能을 低下시킨다.

가. 絶緣油의 劣化過程 및 機構

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으로 區別할 수 있다.

1) 油溶性 劣化生成物

絶緣油의 劣化가 緩慢한 酸化인 경우 各種의 油溶性 中間 酸化物이 生成되며 主로 다음과 같은 物質이 生性된다.

- a) 過酸化物 ROOR' 혹은 ROOH
- b) Alcohol ROH
- c) Aldehyde RCHO
- d) Ketone RCOR'
- e) 有機酸 RCOOH
- f) 酸無水物 $\frac{R}{R'} \frac{CO}{CO} > O$
- g) 過酸 RCOOH
- h) Ester RCOOR'
- i) 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 酸價를 增加시킨다.

有機酸은 Ester 金屬비누等으로 變化하며 Naphten系 炭化水素는 Naphten 酸을 生成하고, Paraffine系

* 敬의원 : 한전 기술개발연구소

炭化水素는 脂肪酸을 生成한다.

2) 油不溶性 劣化生成物(Sludge)

Sludge는 絶縁油 劣化로 生成된 泥狀物이며 性狀의 差로서 分類하면,

- a) Asphalt 性 Sludge
- b) 비누性 Sludge
- c) 炭素性 Sludge로 區分한다.

Asphalt性 Sludge는 變壓器內의 加熱된 捲線部分에 折出 沈積하여 油에 冷却作用을 阻害한다.

主로 炭化水素의 酸化最終生成物로서 遊離炭素로 含有한다.

비누性 Sludge는 絶縁油의 酸化로서 生成된 有機酸과 絶縁 Varnish가 油中에 溶出하는 酸性物質이 變壓器의 構成材料인 金屬과 化合하여 生成된 物質로서 多量의 水分을 含有한다.

3) Gas 狀 劣化生成物

絶縁油가 電弧의 作用으로 分解를 받을 時 炭素性 Sludge와 다른 Gas狀 物質이 生成된다.

開閉器油가 電流에 Shut down時 순간적으로 電弧의 周圍에 3,000~5,000°C의 熱이 發生하여 分解가 일어나며 이에 發生하는 Gas는 主로 水素와 炭化水素로서 往往 爆發의 原因이 된다.

나. 絶縁油의 劣化機構

炭化水素의 一般의인 酸化는 酸素와 油가 適當한 條件下에서 接觸하여 酸素를 吸收하여 一定한 時間後 速度가 커진다.

- ① $RH \rightarrow R^\bullet$連鎖開始
(炭化水素) (遊離基)
- ② $R^\bullet + O_2 \rightarrow ROO^\bullet$ (Free Radical)
- ③ $ROO^\bullet + RH \rightarrow ROOH + R^\bullet$ } 連鎖傳播
- ④ $R^\bullet + R^\bullet \rightarrow RR$
- ⑤ $ROO^\bullet + R^\bullet \rightarrow ROOR$ } 連鎖停止

炭化水素의 反應開始 ①에서 表示한 바와 같이 炭化水素 分子에서 水素原子가 除去되고 R[•]로 表示한 電子一個 不足의 遊離基를 生成한다.

이 遊離基가 生成되어 ②③의 反應으로 진척되어 酸素를 吸收하여 ③의 結果로 生成된 R[•]가 ②에 表示된 反應을 하여 連鎖反應을 한다. ④와 ⑤는 連鎖反應의 中止機構를 表示한다. ③에 表示한 ROOH는 ⑥의 反應을 이끈다. ⑥ $ROOH \rightarrow RO^\bullet + ^\bullet OH \xrightarrow{RH} ROH + ^\bullet OH$ ①②③⑥에서 보면 ①에서 生成된 R[•]가 ③에서 再生하고 再生한 R[•]가 二個의 遊離基를 生成하게 된다.

이것을 連鎖分岐라 한다. 實際의 炭化水素의 酸化反應은 ① 連鎖開始, ② 連鎖傳播, ③ 連鎖分岐, ④ 連鎖停止의 복잡한 反應이 行하여 진다.

A) Hydroperoxide의 生成

- ⑦ $RH + O_2 \rightarrow R^\bullet + HO_2$
- ⑧ $R^\bullet + O_2 \rightarrow ROO^\bullet$
- ⑨ $ROO^\bullet + RH \rightarrow ROOH + R^\bullet$ (Hydroperoxide)

B) Hydroperoxide가 Alcohol을 生成

- ⑩ $ROOH \rightarrow RO^\bullet + ^\bullet OH$
- ⑪ $RO^\bullet + RH \rightarrow ROH + R^\bullet$ (Alcohol)

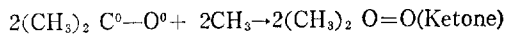
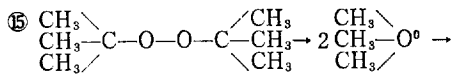
c) Hydroperoxide가 過酸化物을 生成

- ⑫ $ROOH \rightarrow RO^\bullet + ^\bullet OH$
- ⑬ $RO^\bullet + RO^\bullet \rightarrow ROOR$ (過酸化物)

D) Alcohol이 酸化하여 Aldehyde를 生成

- ⑭ $ROH \rightarrow R'CHO$
 $CH_3-CH_2-OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$

E) Peoxide가 分解하여 Ketone을 生成

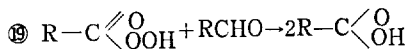


F) Aldehyde가 過酸을 生成

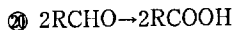
- ⑯ $R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown H \end{matrix} + O_2 \rightarrow R \cdot C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix} + HO_2$
- ⑰ $R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix} + O_2 \rightarrow R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OO \end{matrix}$
- ⑱ $R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OO \end{matrix} + RCHO \rightarrow R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OOH \end{matrix} + R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix}$

⑱에서 生成된 R-C=O[•]는 chain carrier

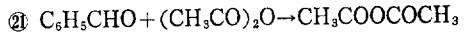
G) 過酸과 Aldehyde로 酸을 生成



H) Aldehyde가 酸을 生成



I) Aldehyde와 酸無水物의 反應



J) 金屬觸媒作用 機構

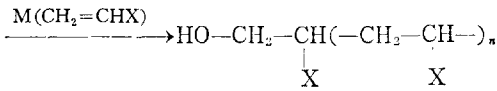
金屬 M 一價와 二價로서 ㉒~㉔의 反應을 한다.

- ㉒ $M^{2+} + RH \rightarrow R^\bullet + M^\bullet + H^\bullet$
- ㉓ $R^\bullet + O_2 \rightarrow ROO^\bullet$
- ㉔ $ROO^\bullet + RH \rightarrow ROOH + R^\bullet$
- ㉕ $ROOH + M^\bullet \rightarrow RO^\bullet + ^\bullet OH + M^{2+}$
- ㉖ $RO^\bullet + RH \rightarrow ROH + R^\bullet$

K) 金屬의 影響으로 因한 重合反應

金屬의 影響으로 因한 反應의 例를 ㉗~㉙에서 表示한다.

- ㉗ $H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow HO^\bullet + OH^\bullet + Fe^{3+}$
- ㉘ $HO^\bullet + Fe^\bullet \rightarrow HO^\bullet + Fe^{3+}$
- ㉙ $HO^\bullet + CH_2=CHX \rightarrow HO-CH_2-\underset{\substack{| \\ X}}{C}H_2$



다. 絶緣油劣化에 關係되는 因子

1) 溫度

溫府 140°C~180°C의 範圍에서 中和價 粘度增加, Sludge 等은 溫度 10°C 上昇時 約 2倍가 된다. 즉 溫度의 上昇으로 劣化速府가 커진다. 또한 溫度 400°C 以上에서 鎖狀炭素가 切斷하여 遊離炭素가 生成된다.

2) 金屬接觸作用

絶緣油劣化는 二價以上の 原子價를 갖이는 鐵(二價, 三價), 鐵(一價, 二價)等은 劣化 促進性이 있다.

絶緣油劣化와 金屬의 影響

研究者	絶緣油의 酸化를 促進하는 金屬	絶緣油劣化에 無 영향인 金屬
Heyden U. Typke	銅, 酸化銅, Brass, (2種 金屬이 組合한 경우) 銅+鐵 > 銅+鉛 > 鉛+亞鉛 > 銅+Aluminum > 銅 > 酸化銅	錫 Alumin-um, 亞鉛
Stäger	銅, Brass	Nickel, 鐵, 錫, Aluminum, 鉛
Rodman and Mande	銀, Cr, Mn	水銀, 鉛, Cobalt, Vanadium.
Norlin	青銅, 鐵	亞鉛

3) 酸化生成物의 影響

鑛油가 酸化할 때는 反應生成物이 自觸作用(Auto-Catalysis)를 한다. 이 影響을 要約하면,

- ㉔ 微量의 水分으로 精製油의 生酸反應을 助長한다.
- ㉕ Alcohol類는 粗成油의 Sludge 生成을 多少抑制한다.
- ㉖ 有機酸은 反應을 促進한다.
- ㉗ 過氧化物, Hydroperoxide는 反應을 促進한다.
- ㉘ 過酸은 反應을 促進한다.
- ㉙ Aldehyde 및 Ketone은 反應을 促進한다.
- ㉚ Ester는 反應을 促進하는 경우(Stearin 酸 Ethyl)와 促進하지 않는 경우(Naphten 酸 Ethyl)가 있다.
- ㉛ Stearin 酸銅, Naphten 酸銅等은 反應을 促進한다

4) 絶緣 Varnish의 영향

Varnish를 含浸한 線卷銅線은 Varnish가 不良할 경우 絶緣油劣化에 惡影響을 끼친다.

5) 光線의 影響

絶緣油의 劣化는 光線 特히 紫外線의 影響이 많으며 普通使用狀態에서 直射光線을 받으면 變色 Sludge를 折出한다.

6) 超音波와 電場의 영향

超音波로 引火點이 低下되고 特히 銅 酸素等의 存在로 劣化가 促進된다.

絶緣油가 電場에서 酸化하는 影響은

- ㉔ 水分이 存在할 때 油는 特히 電場의 作用을 받기 쉽다.
- ㉕ 絶緣油에 Coil를 浸漬하면 電氣的인 Stress를 받아 油의 酸化를 促進한다.
- ㉖ 絶緣油에 銅을 넣어 이 電場(10 KV)에서 酸化를 行하면 電場이 없는 경우에 比하여 Sludge는 100%, 酸, Tar 狀物質, 樹脂質은 35% 增加한다.
- ㉗ 芒光放電時에 炭化水素는 제일먼저 脫水素反應을 일으키고 다음에 殘基가 結合하여 큰 分子를 生成하여 油의 粘度를 增加시킨다.

라. 絶緣油 劣化防止方法

絶緣油는 使用中 空氣中の 水分을 吸收하고 空氣의 接觸으로 酸化하여 絶緣性을 低下시키고 冷却效果를 低下시킨다. 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로 劣化의 最大의 原因이 되는 酸素의 接觸을 最大로 막는 物理的인 方法과 劣化防止劑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(Filled System)
- ⑦ 添加劑式(Inhibitor System) 등이 있다.

1) 開放型 Conservator 式

變壓器 Tank 上部에 運轉時 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 적게 하고 吸濕을 防止하기 위하여 Silica Gel 또는 Act-Alumina를 使用한 吸濕 裝置가 있다. Conservator 中에 있는 絶緣油가 劣化하여 Sludge를 生成할 경우 變壓器本體內에 침입할 우려가 있다. 그러므로 다음 說明할 方法과 比較하여 劣化防止效果가 없으므로 低電壓의 小容量 變壓器에 使用하고 있다.

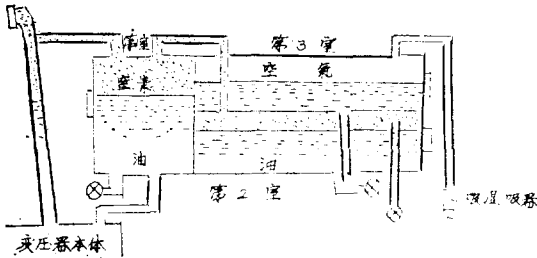
2) 窒素封入式

變壓器 Tank 上部空間 또는 Conservator 內部空間에 窒素를 充진하여 絶緣油의 酸化를 防止하는 方法으로 다음 몇가지가 있다.

a) 三室式(Gas Oil-Seal System)

Conservator를三室로 나누어서 第一室, 第二室을 通過하여 窒素 Gas를 封入하고 第二 및 第三室은 Oil로서 Sealing한다.

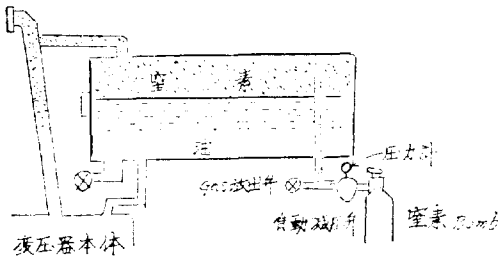
構造는 比較的 간단하고 保守上 便利하나 Conservator 容積이 普通 一室式의 約 3倍가 되어 Sealing Oil이 많이 들며 保守時에 Gas의 Loss가 많다.



그 립 1

b) bomb式(Automatic Gas Seal System)

窒素 Gas室에 減壓 Valve를 通하여 窒素 Bomb에 연결시켜 Gas壓이 0.05kg/cm^2 程度以下에서 自動的으로 窒素를 供給하고 0.5kg/cm^2 程度에서 自動的으로 窒素 Gas를 放出할 수 있는 구조로서 保守時 減壓 Valve의 故障에 注意하여야 한다.



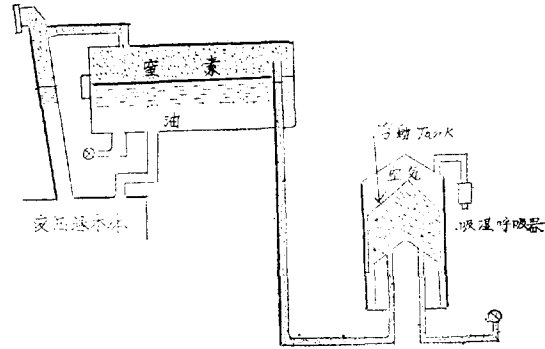
그 립 2

c) 浮動 Tank式 (Float Tank System)

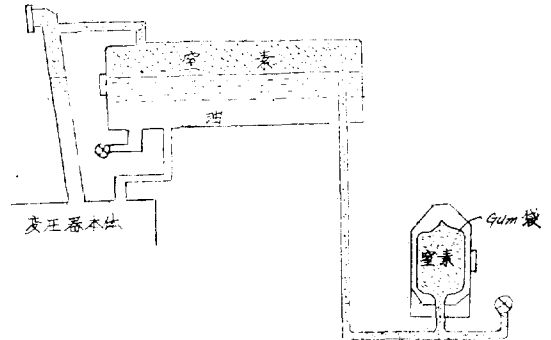
變壓器의 絶縁油膨脹收縮에 應할 수 있도록 Tank內의 浮動 Tank를 設置하여 Gas壓을 一定하게 維持할 수 있게 하고 Gas壓이 通上 0.01kg/cm^2 로 한다. 保守上 浮動 Tank의 昇降 또는 壓力計의 눈금을 注意하여야 한다.

d) 袋式(Flexible Air-Bag System)

油量의 變化로 因한 窒素 Gas의 變化는 別度로 裝置한 合成 Gum袋의 膨脹收縮으로 조절하고 低壓을 維持하고 있다. 保守上 壓力放出用의 放出器 點檢이 必要하다.



그 립 3

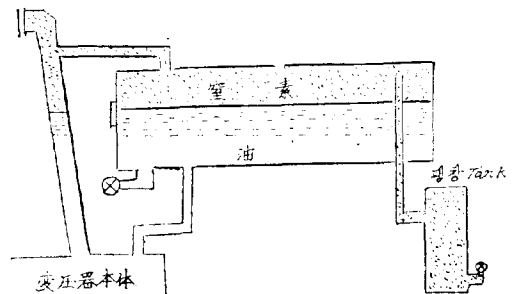


그 립 4

3) 密封式

이 方法은 主로 中型 小型變壓器 또는 計器用 變成變壓器에 使用한다. 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 因한 油面의 變化를 調整한다.

그러므로 이 方式은 一般的으로 다른 方式과 比較하



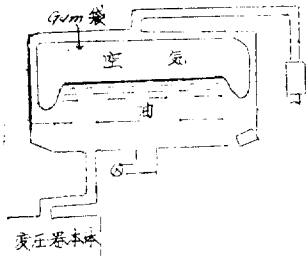
그 립 5

여 壓力的變化가 크다. 그러므로 별도 Tank를 裝置하여 Gas 壓의 變化를 적게 하여야 한다.

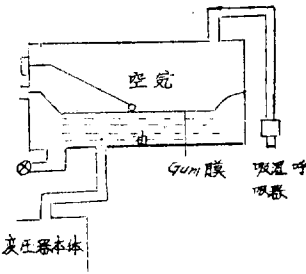
氣溫의 變化 또는 負荷의 變動等으로 因한 Gas壓이 크게 變動되는 경우와 油에 溶解된 汚穢素를 遊離시켜 油中에 氣泡를 發生하여 油의 絶緣耐力를 低下하는 경우가 있으므로 注意하여야 한다.

4) 隔膜式

Conservator內에 耐油性 Gum 等を 使用하여 外氣를 完全히 차단한다. 그림 (a) Gum袋의 팽창수축하는 것, 그림 (b) Gum膜이 上下로 移動하여 油量의 變化에 對應하는 構造가 있다.



(a)



(b)

그림 6

5) 金屬 Bellow 式

油量의 變化를 金屬의 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.

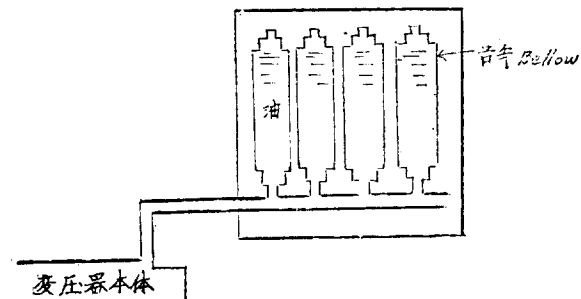


그림 7

6) 吸着劑式(Filled System)

吸着劑(Act Alumina)를 通하여 油를 순환시켜 油中의 酸 또는 水分을 항상 吸着하는 方法이다. 油의 순환방식은 自然對流를 利用하여 放熱配管中에 吸着劑를 넣어 쓰는 方法이 많이 利用된다. 吸着劑의 能力이 低下되면 酸價의 上昇度로 판단하여 吸着劑를 再生하여 使用한다. 이 方法이 最近에 많이 使用되는 方法으로서 다음에 상세히 說明하고자 한다.

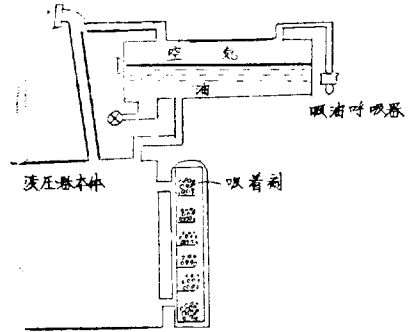


그림 8

7) 添加劑式

이 方法은 絶緣油에 DBPC (Di-tert-Butyl-Paracresol) 또는 Phenol系 Amine系의 有機化合物을 油에 0.1~1.0% 添加하여 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法으로서 단점은 油의 종류에 따라 使用量의 檢討가 必要하고 간편한 使用이 어려운 점이 있다.

以上에서 調査한 바와 같이 變壓器 絶緣油의 劣化를 防止하는 方法에는 여러가지 있으며 變壓器 壽命을 左右하는데 絶緣油에 의한 影響이 大端히 크다.

過去에는

- 1) 各種 冷却方法에 依해서 油溫을 내려줌으로서 絶緣油의 劣化速度를 抑制하였으며
- 2) 吸着劑를 使用하여 空氣中에 水分을 脫濕하였으며
- 3) 變壓器의 Conservator 內에서 單 空氣를 接觸시켜 空氣와 絶緣油에 接觸面積을 적게하여 劣化를 抑制하였으며

近來에는

- 1) 窒素封入으로 空氣(酸素)와 接觸을 遮斷하여 絶緣油의 劣化를 抑制하고
- 2) 添加劑(Oxidation Inhibitor)를 使用하여 絶緣油의 劣化를 抑制하며
- 3) 吸着劑(Act-Alumina)를 使用하여 劣化生成物을 吸着하여 劣化를 抑制하는 方法이 使用되고 있다.

3. 韓電 154KV 主變壓器 調査

가. 製作會社 製作年度 運轉時間別 調査(1970년 현재)

製作會社	臺數	製作年度	臺數	運轉時間(年)	臺數
Mitsubishi	17	1940년 이전	2	0~1	4
Meidensha	11	1941~1945	5	2~3	19
Hitachi	9	1946~1950	0	4~5	15
General Electric	7	1951~1955	5	6~7	10
Domint	1	1956~1960	5	8~9	3
Toshiba	12	1961~1963	10	10~11	3
Westing-House	1	1964~1966	8	12~15	4
AEG	3	1967~1969	34	16~20	4
Pensilvania	1	1970~1971	1	21~25	2
FuJi	2			26~30	3
Siemens	4			30년 이상	2
Elin	1				
한영	1				
계	70	계	70	계	70

나. 劣化防止法別 實態

Media	方式	製作會社	臺數
N ₂ GAS	Bomb 封入式	Mitsubishi, Elin Hitachi AEG, We- sting-House	25
	浮動Tank 式	Toshiba Hitachi Meidensha Domint	27
Also	吸着劑式(흡 습방지구에 사용한것)	Siemens	4
Air-Bag	隔膜式	Hitachi General- Electric	11
Silica-Gel	開放式	Toshiba	3
		계	70

調査結果 Maker別로는 日本이 70% 이상이며, 설치
년도별로는 1960년도 이후가 76%, 絶縁油劣化防止法別
로는 N₂Gas 使用이 75%이다.

4. 絶縁油劣化防止 比較試驗

絶縁油의 劣化를 防止하는 方法中 吸着劑와 N₂Gas
를 使用하는 方法 기타 方法과의 比較試驗을 다음과 같
이 실시하였다.

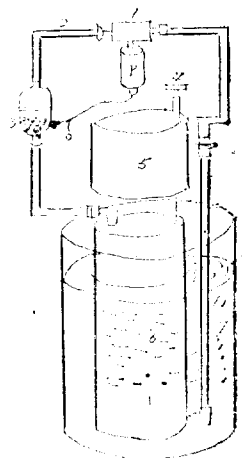
가. 試驗裝置

A) 吸着劑式(Also-Circulation Type)

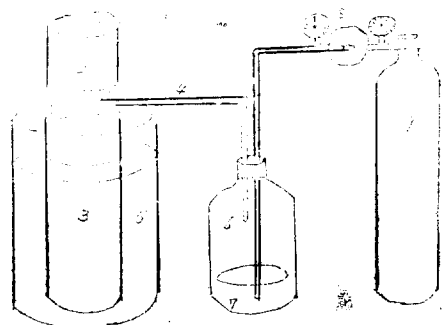
1. Oil circulation pump
2. Detron Tube
3. Act-Alumina 및 容器
4. Safty valve
5. Conservator
6. 本體

7. Bath oil

8. Bath

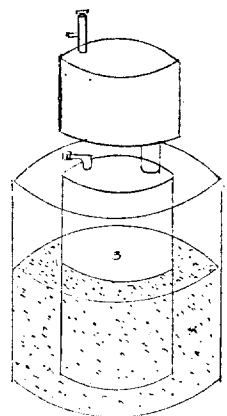


B. N₂ Gas 式

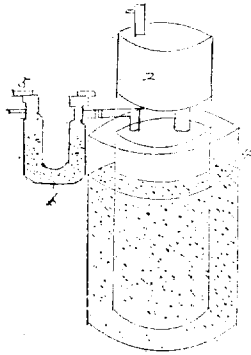


1. Safty valve
2. Conservator
3. 本體
4. N₂ Gas 공급 pipe
5. Oil Bath
6. N₂ Gas chamber
7. Oil
8. N₂ Gas 감압기
9. N₂ Gas Bomb

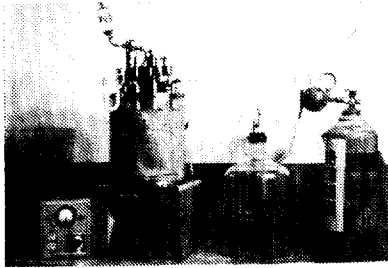
C. 開放式



- 1. Safty valve
 - 2. Conservator
 - 3. 本體
 - 4. Heating Media oil
 - 5. Bath
- D. S : 1 : Ca-Ge 1式



- 1. Safty valve
 - 2. Conservator
 - 3. 本體
 - 4. Bath
 - 5. U-Tube
 - 6. Silica-Gel
 - 7. Heating Media-Gel
- E. 綜合 比較試驗 裝置



나. 試驗材料 및 試驗條件

A) 試驗材料

試料……KS C-2301에 의거한 變壓器用 絕緣油

Also……日本製品 球狀으로서

Al₂O₃ 95% 이상

Co₂O₃ 0.01% 이상

Fe₂O₃ 0.1% 이하

SiO₂ 0.1% 이하

直徑 4~8m/m

油吸收量 40~50g/100g

N₂Gas……純度 99.8% 이상

Silica-Gel……化學用

B. 試驗條件

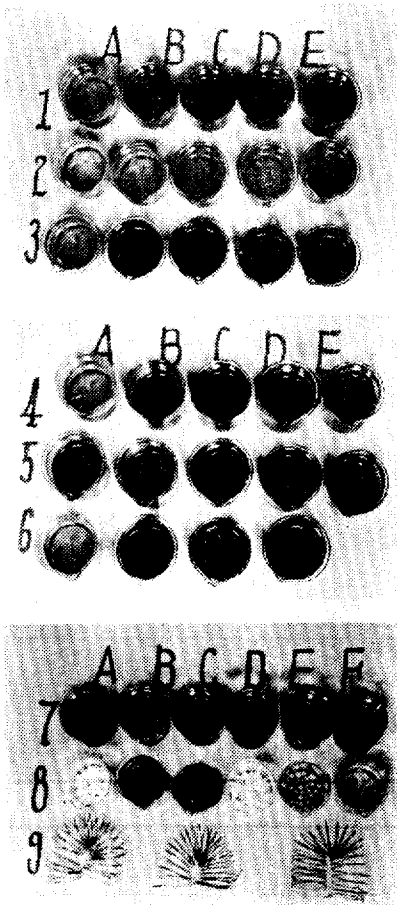
- 1. 試料量 300ml
- 2. 溫度 120°C
- 3. 壓力 1 LBS/in²
- 4. Also 使用量 試料量×비중×백분율=wt%
- 5. Also 再生 500~600°C에서 3時間 燒成
- 6. 촉매 Cu-Wire ϕ1m/m 240cm
純度 99.9%
- 7. 강제순환방식 DC Motor 20V 사용
- 8. 試驗時間 1日 8時間

다. 試驗結果

試驗回收	區分	자료 및 Media	處 理 方 法				酸 價	酸價 順位	試驗期間
			時 間	Also 使用量	Also 再生時間	시료순환방식			
제 1 회 일반용 OT	A	Original Sample	80	시료의 5 %	40시간 에 1회	자연순환	0.015	1	2.9~ 2.18 (10일간) 1日8시간
	B	N ₂ Gas				강제순환	0.032		
	C	Also-Circulation				30분에 1회 3분간	0.068		
	D	Silica-Gel				자연순환	0.092		
	E	Air-Contect				"	0.126		
제 2 회 특고용 OT	A	Original-Sample	80	시료의 5%	40시간 에 1회	자연순환	0.017	2	2.23~ 3.3 (10일간)
	B	N ₂ Gas				"	0.034		
	C	Also-In				"	0.040		
	D	Also-Cir				강제순환 30분에 1회	0.069		
	E	Air-Contect				자연순환	0.081		
제 3 회 일반용 OT	A	Original-Sample	80	시료의 5%	40시간 에 1회	30분에 1회 (3분간)	0.029	1	3.10~ 3.29 (10일간)
	B	N ₂ Gas				"	0.044		
	C	Also-In				"	0.051		
	D	Also-Cir				"	0.098		
	E	Air-Contect				"	0.143		

제 4 회 일반용 OT	A	Original Sample	160	시료의 5%	자연순환	0.029	1	4.19~		
	B	N ₂ Gas+Also(in)				0.030				
	C	N ₂ Gas				0.051			2	5.12
	D	Also-In				0.062			3	(20일간)
	E	Air-Contect				0.196			4	
제 5 회 일반용 OT	A	Original Sample	160	시료의 5%	자연순환	0.029	1	5.19~		
	B	N ₂ Gas+Also(in)				0.030				
	C	N ₂ Gas				0.052			2	6.17
	D	Also-In				0.069			3	(20일간)
	E	Air-Contect				0.213			4	
제 6 회 일반용 OT	A	Original Sample	160	시료의 2%	자연순환	0.019	1	6.25~		
	D	N ₂ Gas+Also(in)				0.031				
	C	N ₂ Gas+Also(in)				0.039			2	7.21
	B	N ₂ Gas				0.047			3	(20일간)
제 7 회 일반용 OT	C	Original-Sample	160	시료의 5%	자연순환	0.019	1	8.1~		
	B	N ₂ Gas+Also(in)				0.022				
	B	N ₂ Gas+Also(in)				0.027			2	8.26
	A	N ₂ Gas				0.052			3	(20일간)
제 8 회 일반용 OT		Original-Sample	200	시료의 3%	자연순환	0.014	1	9.2~		
		N ₂ Gas + Also(in)				0.028				
		"				0.029			2	10.2
		"		" 1%	"	0.042	3	(25일간)		

구분 시험회수	A	B	C	D	E	F
제1회	Original Sample	N ₂ Gas	Also-Cir	Silica-Gel	Air-Contect	
2	"	"	Also-in	Also-Cir	"	
3	"	"	"	"	"	
4	"	N ₂ Gas+Also	N ₂ Gas	Also-in	"	
5	"	"	"	"	"	"
6	"	N ₂ Gas	N ₂ Gas +Also-in	N ₂ Gas Also-in		
7	N ₂ Gas	N ₂ Gas +Also	N ₂ Gas +Also-in			
8				N ₂ Gas +Also-in	N ₂ Gas +Also-in	N ₂ Gas +Also-in
Also	Original Sample	Also-Cir 40시간이 후 (제2회)	Also-in 160시간후 (제4회)	Also-in 160시간후 재생	N ₂ +Also 160시간후	7회, 8회 Original Sample
Cu-cir 측 매	Original Sample		N ₂ +Also 제 4 회		Air-Contect (제3회)	



라. 試驗結果檢討

(a) 第1, 2, 3次 試驗

Also 使用에는 絕緣油를 Also에 自然 순환시키는 方法이 강제순환시키는 方法보다 效果의인 結果를 얻었음. 강제순환을 시킬 경우 순환 pump에 酸素를 동반하여 劣化를 促進시킨 結果가 됨으로 自然순환보다 非效果의임.

(b) Silica-Gel은 大氣中の 濕氣를 際去하는데 一部 效果가 있으나 絕緣油劣化 防止方法으로 큰 效果는 기대할 수 없음.

(c) N₂ Gas를 使用한 方法과 Also(自然순환)를 使用한 方法은 거의 비슷함.

(d) 試驗結果 絕緣油 劣化 狀態를 Color로 比較하면 사진 1, 2, 3과 같고 Color의 變化는 一般의으로 絕緣油劣化程度(酸價)와 比例하여 變化함.

(e) 第4, 5次 試驗結果

Also 및 N₂ Gas 단독사용보다 두가지 方法을 함께 使用하는 것이 絕緣油劣化防止에 상당히 效果의임.

(f) 사진 4, 5는 劣化程度를 色으로 比較한 것임.

(g) 第6, 7, 8次 試驗結果

N₂ Gas와 Also를 함께 사용하면 絕緣油劣化防止에 는 效果가 좋아 酸價의 變化는 거의 없는 程度이며 A Also를 使用하는 過定量은 2~3%(wt)가 가장 경제적인 使用量으로 生覺됨.

(h) 使用한 Also는 500~600°C에서 燒成하면 再使用할 수 있다(사진 8)

(i) 觸媒로 使用한 Cu-wire는 絕緣油의 劣化過程에서 劣化生成物에 의하여 오염된 것을 수 있다.

韓電 大型 및 中型 主變壓器의 適用檢討

(1) 韓電에서는 大型 및 中型主變壓器에 大部分(約 75% 以上)이 絕緣油劣化防止方法으로 N₂ Gas를 使用하고 있으며 위의 試驗結果에 依하면 絕緣油劣化防止方法으로 좋은 效果를 나타내고 있다.

N₂ Gas 方法의 結果를 보면 다음과 같은 몇가지를 들 수 있다.

- ㉑ N₂ Gas의 完全 Sealing이 어렵고
- ㉒ 壓力을 調整하는 減壓率의 故障이 자주 일어나며
- ㉓ 特別점검비 및 保守費가 많이 들고
- ㉔ Gas 供給을 위하여 設費가 必要함으로 設備費가 많이 든다.

(2) N₂ Gas와 Also를 함께 使用하는 問題는 試驗結果로는 大端히 좋으나 主變壓器에 使用여부는 N₂ Gas를 供給하는 裝置와 Also를 使用하는 Tower를 별도로 設置하여야 하는 問題點이 생기므로 技術的인 問題와 經濟的인 問題를 계속 검토 하여야 할 것이며 실험적 試驗結果로는 이 方法이 절연유 劣化防止方法으로 最上의 方法이다.

(3) Also를 단독으로 使用하고 있는 外國의 例(日本 中部電力 北勢變電所의 多數)는 많이 있다.

Also를 使用하는 方法은 Also Tower(劣化防止吸着劑方法 說明그림참조)를 變壓器 外部 Radiater部分에 設置하여 絕緣油가 自然순환 하면서 Also Tower를 거쳐 劣化生成物을 吸着하게 되어 있음.

Also를 開發한 歷史가 길지 않으므로 外國文獻에도 完全한 Data를 수집하기 어려우나 Also를 使用한 大型 및 中型變壓器의 絕緣油壽命은 反永久的으로 調査되어 있다. 韓電에서는 現在使用되지 않고 있으므로 우선 現場에서 Field Test를 하여 適用可能性을 發見한다면 신규구입변압기나 再生 및 保守變壓器에 적용가능성을 계속 연구검토할 필요가 있다고 한다.

(4) 試驗結果에 依하면

劣化防止劑를 使用한 絕緣油와 使用하지 않은 絕緣油와의 劣化度의 差異가 많으므로 適用이 간헐한 柱上變壓器에 Also를 適用하는 問題에 對하여 研究調査 하였음.

5. 柱上變壓器의 絶縁油劣化防止

柱上變壓器는 使用中 絶縁油가 負荷에 依한 溫度上昇 大氣中の 水分 및 酸素에 依해서 中間生成物을 거쳐 劣化生成物이 生成되어 酸價가 增加하고 絶縁耐壓이 낮아지며 Sludge가 生成되어 柱上變壓器 事故의 原因이 된다.

따라서 絶縁油의 劣化度가 一定基準에 達하면 新油와 교체하거나 再生 使用하여야 한다.

柱上變壓器에는 N₂ Gas 封入方法等 施設을 要하는 裝置는 할 수 없으므로 比較的 適用 및 設置가 간단하고 劣化防止面에서 効果的인 活性 Alumina (Also)를 利用한 絶縁油劣化防止에 對하여 研究 調査하였다.

가. 韓電 事故 통계와 配電 事故와의 比率

표 1.

年度	1968	1969	1970	1971	平均
총 사고건수	9,657	7,084	7,109	7,109	7,369
배전 사고 수	7,290	5,765	5,880	4,938	5,968
%	75.5	83.0	82.7	87.9	81.0

韓電 事故 總 합계 중 최근 四年間 平均 배전 사고 건수는 총 7,369件中 5,968件으로서 81%를 차지하고 配電 事故의 原因을 調査하면 다음과 같다.

표 2. 配電 事故 統計表

年度	1968	1969	1970	1971	평균	%
전주결손	94	124	206	91	129	2.2
도괴	113	70	439	52	169	2.8
고압단선	909	828	735	597	767	12.8
저압 "	325	187	179	40	183	3.1
지선 "	14	7	53	6	20	0.3
완목결손	196	106	194	54	137	2.3
애자파손	654	591	637	457	585	9.8
OS 소손	286	278	252	188	251	4.2
柱上Tr燒損	3,555	2,462	1,925	2,317	2,565	43.0
Tr북징파손	234	248	210	179	218	3.7
정전측정기	11	21	13	14	15	0.3
승압기	10	29	13	9	15	0.3
피뢰기	23	43	42	35	36	0.6
저압흔선	93	105	85	92	94	1.6
애자형개폐기	147	33	39	108	82	1.3
기타	626	638	858	705	706	11.8
합계	7,290	5,765	5,880	4,938	5,968	100

표 2에 의하면 配電 事故中 柱上變壓器 燒損率은 43% 정도이고, 柱上變壓器의 燒損原因을 조사하면 다음

과 같다.

표 3. 柱上變壓器 燒損 原因

年度	1968	1969	1970	1971	平均	%
자연열화	2,648	1,451	1,029	1,020	1,537	59.9
풍우	91	138	155	170	138.5	5.4
뇌격	333	417	408	724	470.5	18.4
부식	3	2	3	2	2.5	0.1
진동	5	0	0	0	1.2	0.1
외적과실	2	3	2	0	2.2	0.1
외물접촉	12	9	14	23	14.5	0.6
제작불량	10	132	95	99	84	3.3
시공	48	10	2	3	15.8	0.6
보수	7	5	7	6	6.3	0.2
화재	1	4	1		1.5	0.1
작업자과실	0	0	0	0	0	0
과부하	98	83	63	67	77.8	3.0
오동작	4	2	0	0	1.5	0.1
사고의 과급	5	9	4	9	6.8	0.3
타사고의 과급	59	45	22	25	37.8	1.5
빙설해	7	8	7	9	7.8	3.0
염진해	3	3	1	6	3.2	0.1
원인불명	158	26	22	20	56	2.2
기타	61	130	91	131	103	4.0
합계	3,555	2,462	1,925	2,317	2,564	100

표 3에 의하면 柱上變壓器 燒損原因中 自然劣化로 인한 燒損率이 60%를 나타내고 있다.

各種 燒損 原因을 除外한 柱上變壓器의 自然劣化란 大部分이 絶縁油에 依한 原因임을 알 수 있다. 그러므로 막대한 燒損率과 經濟的 損失을 막기 위하여 基本的인 對策이 必要하다.

나. 柱上變壓器의 燒損防止 對策

柱上變壓器의 燒損을 最大限으로 防止하자면 變壓器 및 絶縁油의 定期的인 점검에 충실히 하여야 하며 自然劣化와 雷雨에 依한 피해를 最少限으로 減少시켜야 하고 雷雨에 依한 피해는 耐雷 시설을 확충하여야 하며 自然劣化에 依한 피해는 오래된 變壓器의 交替와 同時에 絶縁物의 劣化絶縁不良, 耐壓不良이 大部分을 차지하고 있는 絶縁油에 依한 自然劣化를 防止하므로써 柱上變壓器의 燒損을 억제 하여야 하겠다.

표 4. 最近 四年間 柱上變壓器 燒損率

年度	1968	1969	1970	1971	平均
韓電柱上變壓器臺數	62,372	66,522	70,163	79,355	69,603
燒損變壓器臺數	3,555	2,462	1,925	2,317	2,564
%	5.7	3.7	2.7	2.9	3.75

다. 柱上變壓器 劣化防止對策

柱上變壓器는 過負荷 運轉과 外氣의 影響에 依해 水分浸入 및 溫度上昇의 機會가 많고 數量이 많으므로 保守管理가 電力用 主變壓器에 比較하여 어려움고 또한 苛酷한 使用條件에 依해 絶緣油가 劣化되기 쉬운 點이 變壓器 事故의 大部分이다.

一般的으로 絶緣油의 使用限界는 酸價로서 判定하며 酸價 0.4以上이 되면 Sludge를 生成한다. 酸價와 絶緣油 Sludge와의 關係를 표시하면 표 5와 같다.

표 5 酸價와 Sludge와 관계

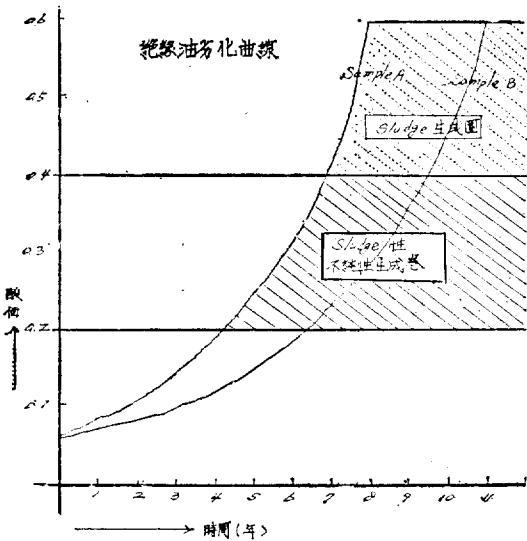


표 5에 依하면 酸價가 증가하면 Sludge가 生成되고 Sludge가 生成되면 冷却效果에 惡影響을 끼치며 劣化를 促進하여 變壓器의 壽命을 단축시키므로 燒損率은 높아지게 된다.

그러므로 絶緣油의 酸價를 0.4 以下로 유지하는 것이 중요하다.

絶緣油의 劣化生成物의 吸着力이 좋고 使用이 간편한 Also를 使用한 것과 使用치 않은 것과의 酸價의 증가상태를 비교 추정하면 다음 표 6과 같다.

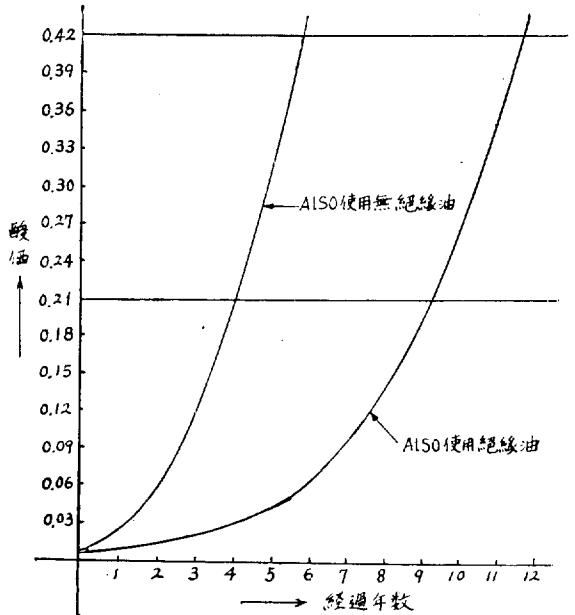
(단, 단상 20KVA 變壓器임)

표 6에 依하면 Also를 使用한 것의 長點은

- a) 酸價 0.4KOH mg/g가 되는데 필요한 時間은 Also를 使用한 것이 約 10年, 使用하지 않은 것은 約 5年이 소요되므로 絶緣油의 壽命을 約 2倍로 연장할 수 있다.
- b) 絶緣油의 劣化物을 吸着하므로써 粘度 增加 및 Sludge 生成을 억제하여 준다.
- c) 劣化物을 억제 및 吸着하므로써 溫度上昇을 막아주며 物理的 性能을 向上시킨다.
- d) 變壓器의 燒損率을 줄이고 점검기간 및 보수시기를

연장하므로써 經濟的인 利益을 가져온다.

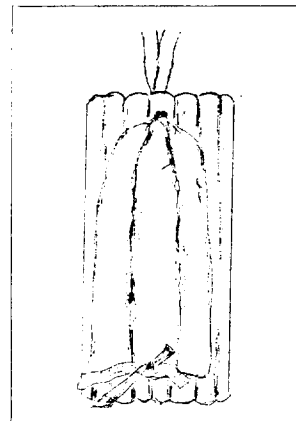
표 6 絶緣油酸價와 經過年과의 關係



라. 柱上變壓器 Also 부착 方法

다음 그림과 같이 Nylon 주머니에 Also를 넣고 變壓器 內部の 捲線이나 鐵心에 직접 닿지 않는 空間의 絶緣油 속에 Also가 잠기도록 Nylon 끈을 매달고 그 사이에 電氣 絶緣性이 좋고 100°C 정도의 溫度에서도 變型이 되지 않는 特殊 合成樹脂 隔板을 使用한다.

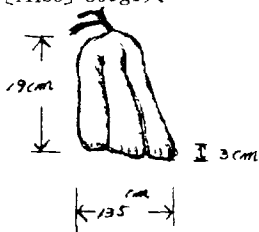

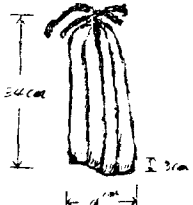
또한 Also는 吸濕劑이므로 防濕포장지로 密封하였다가 使用時에 開封하여야 한다.



柱上變壓器 Also 使用 적정량은 變壓器의 絶緣油量의 2~3% 정도가 가장 經濟적이고 効果的이다.

편의상 Also의 포장단위를 다음과 같이 區別하여 容量別 所要量을 算出하였다.

A) Also 포장단위

1 號	2 號	3 號
[Also] 300gr入 	[Also] 500gr入 	[Also] 1000gr入 

B) 柱上變壓器 容量別 Also 적정량

柱上變壓器 容量(KVA)	絶縁油量(l) S천기의경우	Also 소요 량 (kg)	Also 포장 단위별個數	Also 및 격 板 價	Also量 산출근거 (g)
5	20	0.33	#1. 1	300	비중 %수 $20l \times 0.887 \times 2/100 = 333$
7.5	30	0.53	#2. 1	500	$30l \times 0.887 \times 2/100 = 532$
10	32	0.57	#2. 1	500	$32l \times 0.887 \times 2/100 = 568$
15	42	0.75	#3. -1	1,000	$42l \times 0.887 \times 2/100 = 745$
20	44	0.80	#3. 1	1,000	$44l \times 0.887 \times 2/100 = 779$
30	51	0.90	#3. 1	1,000	$51l \times 0.887 \times 2/100 = 904$
50	100	1.8	# 1, 2, 3 각 1개씩	1,800	$100l \times 0.887 \times 2/100 = 1,774$
75	129	2.3	#3. 2 #1. 1	2,300	$129 \times 0.887 \times 2/100 = 2,280$
100	149	2.6	#3. 2 #1. 2	2,600	$149 \times 0.887 \times 2/100 = 2,640$

마. 經濟性 檢計

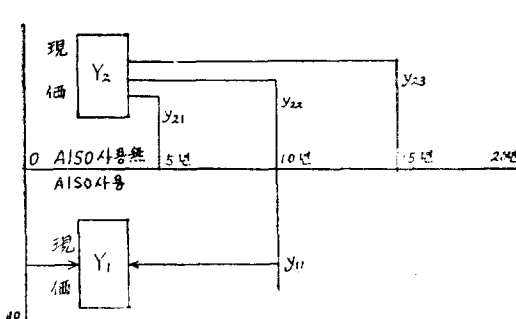
柱上變壓器의 壽命을 約 20年으로 하여 經濟性을 檢計하면

Y₁.....Also를 使用한 絶縁油

酸價 0.4까지 10年 所要됨

Y₂.....Also를 使用치 않은 絶縁油

酸價 0.4까지 5年 소요되는 것으로 하여 그 20年間 經濟性을 現價로 換算하면 다음과 같다.



經濟性 검토를 위한 算出根據

- ① 柱上變壓器 容量 20KVA 捲鐵心(韓電平均容量)
- ② 絶縁油量 44l
- ③ 絶縁油 價格 75원/l
- ④ Also 및 隔板價格 1,000원/kg 메
- ⑤ Also 回收量 60% (再生時)
- ⑥ 使用한 絶縁油를 新油와 교환할 때 비율 2.8 : 1
- ⑦ 絶縁油 交替費用
20KVA 變壓器 1臺當
撤去 및 油交替設備費用(건설물공량표에 의함)
外線電工 1인 1,420원
普通인부 1인 600원
計 約 2,000원
- ⑧ Also 부착費用
外線電工 1인 1,420원 } 1日 1組로서 5臺를 交替
普通인부 1인 600원 }
 $\frac{1,420+600}{5} \approx 400$ 원
- ⑨ Also 使用量 1kg(油의 wt 2%)
- ⑩ Also 再生費用 Also價의 10%

① 金利는 單利로 9.4%/년(韓電 72年度 平均대출金利)

以上과 같은 조건으로 經濟性을 比較算出하면 다음과 같다.

$$Y_1 = (y_{10} + y_{11}) \times \alpha$$

$$y_{10} \text{ (Also 최초설치)} = (\text{Also價} + \text{Also 부차비용}) \times \text{金利} = (1,000 + 400)(1 + 0.094 \times 20) = 4,150\text{원}$$

$$y_{11} \text{ (10年後交替時)} = (\text{Also價} + \text{Also再生費} + \text{交替費} + \text{絶緣油價}) \times \text{金利} \\ = (1,000 \times 0.4 + 1,000 \times 0.1 + 2,000 + 400 - 75 \times 0.72) \times (1 + 0.094 \times 10) = 10,210\text{원}$$

$$\therefore Y_1 = 4,150 + 10,210 = 14,260\text{원}$$

$$Y_2 = (y_{21} + y_{22} + y_{23}) \times \alpha$$

$$y_{21} \text{ (變壓器設置5年後)} = (\text{絶緣油價} + \text{交替費}) \times \text{金利} \\ = (75 \times 44 \times 0.72 + 2,000)(1 + 0.094 \times 15) \\ = 10,520\text{원}$$

$$y_{22} \text{ (變壓器設置後 10년)} = (75 \times 44 \times 0.72 + 2,000)(1 + 0.094 \times 10) = 8,450\text{원}$$

$$y_{23} \text{ (變壓器設置後 15년)} = (75 \times 44 \times 0.72 + 2,000)(1 + 0.094 \times 5) = 6,400\text{원}$$

$$\therefore Y_2 = 10,520 + 8,450 + 6,400 = 25,370\text{원}$$

20年間 經費節減額은

$$Y_2 - Y_1 = 25,370 - 14,260 \\ = 11,110\text{원}$$

이므로 年間 柱上變壓器 1臺當 經費節減額은 555원/臺 (絶緣油面에서만 계산한 것임)

韓電 1972年度 3/4분기 販賣部 配電課 통계에 依하면 柱上變壓器 총臺數가 89,000臺로서 全體에 Also

를 使用한다는 가정하에 經濟的 이익을 算出하면 20년간 매년 約 5천만원씩 이익을 예상한다. 또한 20KVA 1臺當 絶緣油量은 44t, 價格은 3,300원 정도인데 臺當 약 12萬원 이상의 變壓器가 最近 四年間 平均 統計에 依하면 약 2,500臺/年씩 燒損되고 있으므로 絶緣油의 적절한 管理와 壽命을 延長함으로써 柱上變壓器의 燒損率을 減少시킴으로 얻는 經濟的인 이익은 더욱 클 것이다.

6. 結 論

柱上變壓器 絶緣油 劣化防止劑로서 Also를 使用하는 것이 必要하며 이것을 使用함으로써 絶緣油 壽命을 約 2倍 연장 가능하며, 柱上變壓器의 燒損率을 줄이는 데도 크게 기여할 것이다. 또 絶緣油 劣化期間이 연장되므로 變壓器 點檢期間을 연장할 수 있고 보수비 및 人件費를 節約하며, 柱上變壓器 燒損 및 修理로 因하여 發生하는 停電事故를 줄이므로 需用家에 더욱 더 서비스 할 수 있고 販賣促進에도 기여할 것이다.

참 고 문 헌

1. 신전기, 절연유, 소항당
2. 변압기, 동경전기대학 출판국
3. 주상변압기 절연유 열화방지 중국전력연구논문
4. 변압기 운영사항, 구주전력논문
5. 전력기술연구소보, 화학 56010
6. 전기시험소 연구보고, 291호