

電力用 變壓器의 tank 誘導加熱 乾燥 設計 計算

鮮 于 學 永*

1. 緒 論

電氣機器의 絕緣性を 向上시킨다는 것은 品質이나 壽命을 向上시키는 것과 똑 같은 意義를 갖는 것이며, 따라서 機器의 生命은 絕緣성에 있다 해도 過言이 아니다. 絕緣耐력을 높이기 爲해서는 良質의 絕緣材料와 高度의 絕緣 加工技術 및 絕緣 構造의 改良等の 要件을 必要로 하나 乾燥 處理技術에 依하여도 相當히 電氣特性을 回復시킬 수 있다. 周知의 事實과 같이 乾燥 處理法에는 熱風乾燥法, 熱油(噴霧 및 循環) 乾燥法蒸氣乾燥法, 電流乾燥(零相電流法 및 短絡循環電流法)法, 等等에 眞空乾燥를 併用한 處理法이 있으며 어떤 나라의 電力系統에서도 系統의 臨時 또는 定期補修時 電力用 變壓器를 乾燥(現地)해야 되는 作業은 機器 maker에서 工場 乾燥해야 되는 것과 똑같이 거처야 하는 工程中的 하나인 것이다. 여기서 言及코져 하는 變壓器 tank 誘導 加熱法은 本人이 日本 三菱電氣에서 研修中 調査한 바 있는 것으로서 소련, 日本 等地에서는 벌써 부터 他 乾燥 處理法과 併用해서 適用하고 있으며, 保有하고 있는 乾燥室의 size가 적을 때나 또는 輸送 制限條件 때문에 現地 組立을 要하는 地域에서는 便利한 處理法의 하나라 할 수 있다. 以下 그 設計 計算法과 設計例를 略述한다.

2. 概 要

變壓器 tank 竅에다 臨時로 감은 誘導捲線에 商用周波數의 電流를 흘려서 外兩 및 鐵心에 생기는 渦流損에 依한 發熱을 利用하는 方法이다.

이 方法에 依한 乾燥 作業中の 變壓器의 略圖를 그림 1

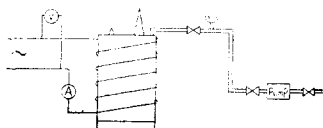


그림 1. 眞空 乾燥의 加熱用에 外側 誘導線輪 使用에 表示한다. Tank 竅의 誘導線輪에 通電하면 tank는 大개 한장의 壓延鋼板이 使用되어 있기 때문에 渦流損이 큰데 反하여 鐵心은 珪素鋼의 薄板으로 成層되어 있기 때문

*韓永工業 製作部 · 正會員

에 渦流損은 작고, 따라서 tank의 溫度는 100~125°C로 上昇하는 경우도 鐵心の 溫度는 85°C 内外로 되고 溫度 gradient가 短絡 循環電流에 依한 경우와 反對로 外→內의 方向으로 되기 때문에 높은 乾燥效率이 얻어지며 또한 絕緣物이 燒損할 우려가 적다.

3. 計算 方法

여기에 要하는 外側 誘導 coil의 捲數, 電流, 使用 導線 斷面積, 投入電力은 下記 計算方式에 依하여 大略의 設計 目標을 定할 수 있다.

(1) 導線이 감겨질 높이 H cm를 決定한다.

導線은 될수있는 限 tank 最下部부터 最上部에 걸쳐서 감도록 하는데 tank에는 各種 補強(brace)후란지 등이 있기 때문에 實際의 감는 길이는 tank 높이 보다 짧아진다.

(2) Tank 側面 부터의 投入電力 P(watt)를 決定한다.

從來의 經驗上 tank 側面부터 平均約 0.031 watt/cm² 投入하면 熱風과 共用했을 경우 tank 壁 最高溫度를 100°C로 調整하기 쉽다. 따라서 tank 側面의 導線에 纏여지는 面積을 A cm²라 하면

$$P=0.031 \times A[\text{watt}]$$

그러나 소련에서는 下記와 같은 式을 使用하고 있다.

$$P=5A(100-t)$$

t: 周圍溫度(°C)

P: 乾燥에 必要한 電力(watt)

A: tank의 放熱面積(m²)

(3) 導線의 捲數 N를 下記의 實驗式에 依하여 計算한다.

$$N=kH\sqrt{\frac{P}{A}}$$

但: 係數 K는 表에서 求한다.

(4) 220 Volt를 印加할 경우의 電流 I[Amp]를 計算한다.

力率 α는 所定の 保溫 施設을 했을 때 角 tank의 경우約 0.6, 圓形 tank인 경우는 0.8이다.

따라서

$$I=\frac{P}{220\alpha}[A]$$

(5) 使用 導線의 斷面積 K[mm²]를 決定한다.

保溫을 한 위에 導線을 감는데 溫度上昇點 부터 餘裕를 보아서 電流密度 B는 2~3[amp/mm²]를 取한다.

$$K = \frac{I}{B} \text{ [mm}^2\text{]}$$

K에 가까운 斷面積을 採用한다.

(6) 以上の 計算으로 導線의 굵기, 捲回數가 決定되어 이것을 base로 하여 誘導加熱은 進行된다. 但 實際는 計算대로 溫度上昇이 되지 않던가 또는 過熱하는 狀態가

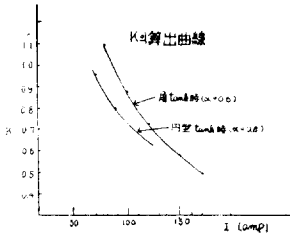


그림 2. 變壓器 tank 誘導 加熱 計算

일어난다. 이에 對한 對策으로서는 捲回數의 增減, 電壓調節等에 依해서 入力電力을 調節 可能하다. 또 溫度가 上昇하지 않을 때는 並列回路로 해서 計算 捲回數를 감고 捲線의 間隔을 작게(100以內)하는 등의 對策을 세운다. 또는 tank의 下部와 上部의 捲回數를 適當히 疎密하게 分配하는 것도 한 方法이다.

4. 設 計 例

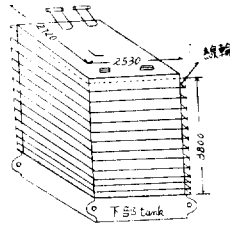


그림 3에 表示하는 것 같이 加熱面의
 높이 H=380[cm]
 幅 w=253[cm]
 옆 L=272[cm]
 을 決定하여 表 1과 같
 이 設計 計算을 한다.

그림 3. 設計例의 tank 모양

表 1.

	公 式	計 算	計 算 值
tank 加熱 面積 A [cm ²]	2×H×(L+W)	2×380×(272+253)	400,000
投 入 電 力 P [watt]	0.031×A	0.031×400,000	12,400
投 入 電 流 I [amp]	P÷220÷α	12,400÷220÷0.6	94
使用 導線 斷 面積 K [mm ²]	I÷(2~3)	94÷(2~3)	30~50
捲 數 N	k×H×0.176	0.95×380×0.176	64
所 要 導 線 長 이 [m]	2×(L+W)×N×10 ⁻²	2×(272+253)×64×10 ⁻²	672

(註) α力率은 角 tank 이기 때문에 0.6을 採用했다.

以上の 計算과 實測과의 差는 ±10% 以內에 들어가 며 tap 變壓器의 調整으로 補完할 수 있다.

設計計算과 記錄의 整理

設計計算, 實測值의 記錄, 計算值와 實測值의 相違, 그 위에 特記할 事項은 다음에 나타내는 記錄用紙에 記錄해서 다른 乾燥 記錄과 同時에 保管한다.

(註) 記錄表

變壓器 tank 誘導加熱의 設計와 記錄
 作 成 65. 8. 8

注文處 _____

變壓器 型 [MVA] [KVA]

乾燥開始 年 月 日

乾燥終了 年 月 日

擔 當 者 _____

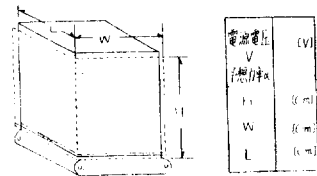


그림 4.

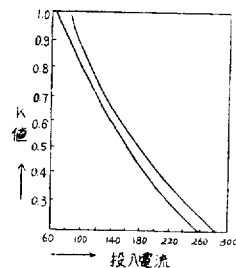


그림 5. k 值 決定 그래프

表 2.

	公 式	計 算	計 算 值
tank 加熱面積 A [cm ²]	$2 \times H \times (L + W)$	$1 \times \times [+]$	
投入電力 P [watt]	$0.031 \times A$	$0.03 \times$	
流入電流 I [amp]	$P \div V \div \alpha$	$\div \div$	
使用導線斷面積 K [mm ²]	$I \div [2 \sim 3]$	$\div [2 \sim 3]$	
捲 數 N	$k \times H \times 0.176$	$\times \times 0.176$	
所要導線 길이 [m]	$2 \times (L + W) \times N \times 10^{-2}$	$2 \times [+] \times \times 10^{-2}$	

表 3.

	實施值	調 整 值		[特記]
		第 1 回 月 日 時	第 2 回 月 日 時	
印加電壓				
流入電流				
電 力				
力 率				
捲 數				
tank 壁 溫 度				

5. 適用例 (現地乾燥)

捲線, 鐵心, 絕緣物, tank 等を個別로 送付하여 現地에서 組立時 自己 tank 를 使用하여 誘導加熱에 依하여 外函의 加熱과 똑같이 誘導加熱을 利用한 熱風乾燥를 併用해서 極히 有効한 乾燥를 하고 있다. 이 特殊 熱風乾燥器는 鐵板製 同心의 二重圓筒 構造로 되어 있어 保溫한 外側의 周圍에 耐熱電線을 감고, 이것에 交流電流를 흘려 兩方의 圓筒을 加熱하고 送風機부터 보내지는 空氣가 兩圓筒의 間隙을 通하는 사이에 間接的으로 加熱되도록 한 것으로서 在來의 電熱式과 같이 불꽃이 混入할 危險이 없고 이 乾燥器에 依하여 tank 下部부터 最高 110°C 的 熱風을 送込시켜 上部 cover 的 man hole 을 使用하여 排氣시켜 中身의 乾燥 速度를 빠르게 한다. 豫備 乾燥가 끝나면 tank 는 密閉하여 熱風을 停止 시키고 tank 的 誘導加熱만을 熱源으로서 眞空乾燥를 하여 數日間 계속한다. 後 眞空을 시킨 狀態로 加熱을 停止하고 保溫을 떼어내어 冷却시켜 絕緣油를 眞空 注入시켜 乾燥 作業은 끝나는데 大體로 2~3 週間을 要하는데 加熱 電源을 增加시켜 乾燥 期間을 短縮시킬 수 있다. 또한 現地 乾燥가 아닌 工場 乾燥에서도 乾燥室에 들어가지 않는 大容量器의 drying 에도 이것을 適用하고 있다.

6. 其他 參考事項

乾燥 作業의 準備로서는 radiator, bursting tube, con-

servator 等を 떼어 내고 變壓器 外函 外側에 保溫材料를 緊密히 감아 놓는다. 이것에 使用되는 保溫材料로서는 主로 石綿이 使用된다. (가마니도 可함) 誘導 coil 的 電線에는 小容量의 것에는 絕緣電線이 使用되는데 變壓器의 容量이 커지면 裸電線을 使用하는 편이 더 便利한 경우가 많다. 線輪은 이것을 直接 保溫材料 表面에 감아야 한다는 點으로 보아서도 保溫材料로서도 電氣絕緣物로서도 石綿이 좋다.

線輪은 變壓器 tank 內部에서는 熱傳達이 下方부터 上方으로 向해서 容易하다는 點을 考慮해서 下方에는 密하게 上部로 向함에 따라서 徐徐히 疎하게 감고 그 結果 case 的 上部와 下部의 溫度가 대개 같게 되도록 하는 것이 第一 좋다. 裸銅線을 石綿의 保溫材 表面에 감는 경우는 一捲當 그 捲線間 電壓에 견딜수 있는 space 를 두도록 注意해야 한다. 또한 短絡 循環電流法과 誘導法을 同時에 使用하므로써 乾燥時間을 短縮시킬 수 있다. 이때 短絡 循環電流는 嚴重히 10~20%를 넘지 않도록 制限해야 된다. 熱風乾燥時 一般으로 case 的 上部는 溫度가 낮으므로 溫度分布를 均一하게 하기 爲해서도 誘導加熱法을 併用 시킴이 有効하다.

7. 結 論

以上과 같이 乾燥法은 電氣機器의 絕緣處理를 爲한 手段이므로 附加해서 絕緣處理法에 對한 에리론社(西瑞의 maker)의 方式을 紹介하면 下記와 같다.

表 4.

coil 部 分	溫 度 °C	時 間	眞空度 mmHg
coil 加壓 치수 맞추기	100	48	—
豫備 乾燥 (眞空)	100	24	3
第一回와니스 眞空 含浸	40	6	3
眞空 加熱 乾燥	100	24	3
加 熱 乾 燥	100	48	—
豫備 眞空 乾燥	100	24	3
第二回와니스 眞空 含浸	40	6	3
眞空 加熱 乾燥	100	24	3

表 5.

組 立 後	溫度 C°	時 間 h	眞空度 mmHg
變壓器中身眞空乾燥	100	120	3
絶緣物增締(조이기) 油槽에 넣어眞空乾燥	36	—	3
O.T filter 眞空油脫氣裝 置를 거쳐 OT 眞空注入	100	24	3

위의 data는 現在 三菱電機 工程과는 相異한 바가 많다. 即 電力用 變壓器에서 眞空와니스습浸 代身 固着劑로 處理된 絶緣紙를 使用하므로써 絶緣紙에 依한 冷却效果를 노리고 있으며 또한 加熱乾燥에 依해서 自然히 接着되

도록 되어 있다. 乾燥度를 判定하기 爲해서 下記와 같은 事項을 測定하면 좋다.

- (1) 捲線 平均溫度
- (2) 爐溫(또는 熱風溫度)
- (3) 眞空度
- (4) 絶緣抵抗
- (5) $\tan \delta$

끝으로 會社 事情上 三菱電機의 乾燥 絶緣處理 및 油含浸에 關한 process specification 을 詳細히 紹介 勿함을 遺憾으로 생각한다.

(1965年 8月 5日 接受)

受 贈 · 購 入 圖 書 目 録

(1965. 5. 26—8. 12)

圖 書 名	卷號 및 發行年月	部數	受贈· 購 入	受贈(購入) 年 月 日	寄 贈 處 또는 發 行 處
建 設 相(三陟火力二號機)	1964. 12	1	受贈	65. 5. 26	韓國電力株式會社
韓 國 電 力 統 計	第 14 號 第 15 號	2	//	//	//
電 氣 關 係 法 令 總 集	1965. 5	1	//	//	電技文化社
O H M	1965. 4	1	購入	65. 6. 7	오ム社(日)
高 速 電 車 施 設 基 本 計 劃 調 查 報 告 書 (第 一 次)	1965. 4	1	受贈	65. 6. 18	서울特別市
I E E E Spectrum	May, 1965	1	//	65. 6. 19	IEEE(美)
富 士 時 報	Vol. 38, No. 6	1	//	65. 7. 1	富士電機製造株式會社(日)
O H M	1965. 6	1	購入	//	오ム社(日)
REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ	AVRIL 1965 No. 4	1	受贈	65. 7. 2	ORGANE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS(佛)
大 韓 土 木 學 會 誌	1965. 6	1	//	65. 7. 5	大韓土木學會
金 屬 學 會 誌	1965. 3	1	受贈	65. 7. 7	大韓金屬學會
電 氣 學 會 雜 誌	No. 917, 918, 919, 920, 913,	25	//	65. 7. 7	日本電氣學會
電 氣 通 信 學 會 雜 誌	1965. 6	1	//	//	日本電氣通信學會
電 氣 學 會 雜 誌	No. 915, 916, 921,	15	//	65. 7. 12	日本電氣學會
O H M	1965. 5	1	購入	//	오ム社(日)
新 電	1965. 5 6	1	//	//	//
I E E E Spectrum	June, 1965	1	受贈	65. 7. 20	I.E.E.E(美)
電 氣 技 術 報 誌	1965. 7	1	//	//	電氣技術文化社
社 報	No. 131	2	//	65. 7. 22	韓國電力株式會社
農 業 土 木 會 誌	1965. 6	1	//	65. 7. 29	大韓農業土木學會
K O R S T I C	Vol. 2, No. 5	1	//	65. 7. 31	韓國科學技術情報센터
石 油 計 錄 報	1965. 6	1	//	65. 8. 5	大韓石油公社
韓 國 電 力 統 計	1965. 6	1	//	//	韓國電力株式會社
韓 國 電 力 株 式 會 社 職 員 報	No. 132	2	//	65. 8. 6	電氣新聞社
韓 國 電 力 株 式 會 社	No. 132	2	//	65. 8. 6	韓國電力株式會社
Electronics & Power	June, 1965	1	//	65. 8. 7	The Institution of Electrical Engineers(英)
電 氣 通 信 學 會 雜 誌	1965. 7	1	//	65. 8. 10	日本電氣通信學會
電 氣 協 會 誌	創刊號 1965. 7	2	//	65. 8. 12	大韓電氣協會