

變壓器의 故障과 그 原因

田永國 / 電力機器室

I. 序 論

周知하는 바와 같이 變壓器를 構成하는 것은 磁氣回路, 1次 및 2次 捲線, 端子, 冷却 및 絶緣媒体 등이며, 한편 어떤 것은 外部의 補助冷却装置와 tap切換装置도 있으며, 이 가운데 어떤 部分에서도 故障이 일어날 수 있는 것이다.

그런데 静止形인 變壓器는 분명히 故障이 거의 일어나지 않는 電氣機器中的의 하나이지만 여러가지 原因때문에 때때로 故障이 발생한다.

그러나 設置運轉되고 있는 變壓器에 대한 故障의 比率는 극히 적으며, 실제로 가장 빈번하게 일어나는 故障은 대부분 여러 原因이 복합적으로 작용하는 것이지만 크게 봐서 다음과 같이 구분할 수 있다.

- (1) 코일 및 端子部. 즉, 捲線의 事故.
- (2) 鉄心, 繼鉄과 크램프 構造物. 즉, 磁氣回路의 事故.
- (3) 絶緣油 및 主要 絶緣物. 즉, 絶緣回路의 事故.
- (4) 기타 構造物의 事故.

이런 故障들은 다음과 같은 것에서 기인할 수 있다.

(1) 製作缺陷. 즉, 設計 不充分, 低質의 資材 및 不完全한 技術 등

(2) 非正常 運轉. 즉, 不適切한 乾燥 및 設置, 監視의 不充分, 過渡的이거나 또는 持續的인 非正常 運轉 등 이러한 여러가지 要素들이 變壓器 故障에 어떻게 영향을 미치는가를 살펴 보고자 한다.

II. 電氣回路中的의 故障

(1) 捲線 導體上에 예리한 모서리가 있으면 한 코일의 인접한 층간에 短絡事故(보통 高壓 捲線에서)를 誘發할 수 있다. 만약 負荷中에 變壓器가 振動한다거나, 또는 外部短絡事故나 投入을 통해서 반복되는 電磁力 충격을 捲線이 받는다면, 이러한 예리한 모서리가 絶緣物을 貫通하여 인접한 층끼리 金屬接觸을 하게 된다.

(2) 變壓器 捲線을 가로질러서 外部에서 큰 短絡事故가 일어나서 같은 코일의 하나 이상의 층이 移動되므로써 層間短絡故障이 일어날 수 있다. 이것이 變位하자 마자 곧바로 故障이 일어나는 것은 아니지만, 그러나 만약 鉄心 볼트가 헐거워졌기 때문에 負荷中에 變壓器가 振動한다거나 또는 반복되는 커다란 電磁力衝擊을

받는다면, 인접한 變位된 層間의 絶緣이 破損되어서 故障이 일어난다.

(3) 때때로 四角形 導體에 使用하는 絶緣物이 規定된 만큼 단단히 導體上에 감기지 않는 경우가 있다. 이런 경우에 導體의 各面上에서 부푸는 경향이 있다. 그래서 實際의 四角形은 커지고 좀 더 둥글게 보인다. 따라서 作業員이 捲線過程에서 導體가 비틀리지 않았는가를 確認하는 것이 곤란하고 이 結果로 層間短絡이 일어나는 경우도 있다. 코일의 어떤 곳에서 인접한 導體가 모서리끼리 접하거나 또는 모서리와 면이 접해 있으면, 조만간 이런 層間絶緣이 비껴져서 벗겨지고 故障이 일어난다.

(4) 코일의 絶緣物에 습기가 스며들면, 조만간 層間 短絡事故가 일어난다. 만약 코일이 부적당하게 습浸되었다면, 즉 와니스가 코일의 심층부까지 완전히 스며들지 않았다면, 습기에 의한 故障이 더욱 더 일어나기 쉽다.

(5) 未熟한 作業자가 現場에서 變圧器를 乾燥할 경우에 工程을 숙지하고 있지 않기 때문에 지나치게 過程을 생략할 수 있다. 만약 捲線의 絶緣抵抗이 상당히 낮은 狀態에서 正常電壓 또는 試驗電壓을 印加한다면, 습기가 아직도 존재하기 때문에 인접 層間의 絶緣破壞가 일어나기 쉽다.

(6) 만약 變圧器가 다소 급하게 변동하는 負荷에 連結되면, 銅導體의 확장과 수축이 層間의 絶緣에 機械的인 압력을 번갈아서 증가 또는 감소시킨다. 대부분의 絶緣物의 耐力은 機械的인 압력이 증가하면 감소하기 때문에 捲線이 電氣的 또는 磁氣的인 衝擊을 받는다면 故障을 일으키기 쉽다.

(7) 코일간의 납땜 接合點이 불량하게 시공되면 이 部分이 負荷中 過熱될 수 있고, 또한 부분적으로 絶緣油의 炭化가 생길 수 있다. 接合點에서 생긴 熱은 十中八九는 코일의 이음매에서 얼마 만큼 전달되어, 導體주위의 絶緣을 부분적으로 炭化하고 결국 層間 短絡事故를 초래한다. 그래서 이런 이음매는 分離되어서 捲線의 断線을 誘發한다.

(8) 持續的인 重負荷는 變圧器 전체에 높은 溫度를 발생하여, 코일의 絶緣이 부서지기 쉽게 되고, 언젠가 때가 되면 어느 곳에서 導體로부터 벗겨져 나가고 層間短絡을 일으킨다. 한편 絶

緣油는 탱크 밑바닥 및 코일과 鉄心上에 스러지를 堆積한다. 이것은 코일과 鉄心에 담요와 같은 效果를 미쳐서 過熱을 累増시킨다. 絶緣油 通路가 비좁으면 더욱 더 그렇다. 이런 경우 鉄損 對比 銅損이 더 큰 變圧器는 過負荷 能力이 더욱 낮아서 過負荷事故가 더욱 더 나기 쉽다.

(9) 電壓調整 鬘을 變更할 때, 絶緣油中 端子板의 端子가 잘못 連結되어서 捲線의 어떤 部分이 短絡될 수 있으며, 이렇게 되면 短絡捲線에 막대한 순환 電流가 흐르고, 變圧器가 回路에서 매우 빨리 脫離되지 않으면 層間事故를 誘發한다.

(10) 다음과 같은 過渡現象 때문에 層間短絡, 捲線의 接地故障 및 碍子の 破壞 등이 일어날 수 있다.

가. 變圧器 投入時 또는 雷썬지가 變圧器에 來襲할 때, 端子쪽 終端 코일에는 電壓이 集中된다. 變圧器와 線路間의 變換點에서 波動 임피던스가 변하기 때문에 電壓 및 電流波形的 反射 및 投過現象이 일어나서 捲線內에 높은 電壓上昇을 일으킬 수 있다. 終端 코일은 衝擊을 직접 받지만, 捲線의 어떤 部分에서도 높은 電壓이 誘發될 수 있기 때문에 잔여 捲線部分도 故障을 면할 수는 없다.

나. 썬지로 發生하는 過電壓은 終端의 開放된 鬘, 捲線內의 波動 임피던스가 변하는 곳(列를 들면, 終端에서 導體를 補強한 곳 또는 直列 코일間의 사이), 그리고 中性點에서 加重될 수 있다. 이런 곳에서는 가능한 한 層間短絡을 막기 위하여 導體絶緣을 아주 신중하고 완전하게 해야 한다. 이런 것의 原因은 正常的인 開閉操作, 雷放電, 아크接地 또는 마모된 스위치 接點 등이다.

다. 2次가 開放된 變圧器의 1次와 같이 高誘導性 捲線回路를 開放할 때, 勵磁電流 및 이에 따른 磁束은 순간적으로 소멸하는 경향이 있다. 하지만 여러가지 理由때문에 磁束은 그렇게 되지 않으며 때로는 正常的인 變化周期率보다 더 빨리 떨어진다. 이런 결과로 높은 電壓上昇이 이따금 發生한다. 특히 마지막 半周期 동안에 遮断아크를 급속히 冷却하는 것은 이런 效果를 증가시킬을 알았다.

(11) 코일 導體가 内部的인 不平衡 電磁氣때

문에 外部短絡事故時 심하게 變位될 수 있다. 円形鉄心에서와 같이 1次와 2次 코일이 同心으로 감겨 있으면 水平軸이 일치하지 않아서 코일에 作用하는 수직력이 일반적인 방향상의 힘에 가해질 수 있다. 이 수직력은 특히 임피던스가 낮은 旧形變圧器에서 終端코일이 때때로 비틀릴 수 있다.

Ⅲ. 磁氣回路 中の 故障

(1) 製作時에 남은 工具를 繼續 使用하기 때문에 鉄心과 繼鉄 積層의 가장자리가 꺼칠꺼칠해질 수 있다. 그래서 切斷과 穿孔 過程에서 이런 꺼칠꺼칠한 것이 積層內에서 局部的인 短絡을 일으키고 異常過熱을 수반하는 渦流를 발생한다.

(2) 完成된 變圧器에서 積層 사이에 金屬자극 또는 굴곡 등이 없는가를 確認하는 것이 중요하다. 이런 것이 강한 局部的인 渦流를 發生하여 鉄心を 局部的으로 過度하게 加熱하기 쉽기 때문이다.

(3) 흔치 않은 경우지만, 製作工場에서 부주의하여 設計者가 指示한 것보다 얇은 鉄心積層板을 使用한 경우에는 鉄係數가 낮기 때문에 허용된 것보다 鉄心の 有效斷面積이 적게 되고 이에 相應하여 B_m 은 커진다. 이와 같이 얇은 積層板을 使用하면 鉄損이 많게 되고 勵磁電流도 커진다.

(4) 磁氣回路의 磁束密度가 높은 경우, 變圧器를 無負荷로서 回路에 투입할 때 높은 勵磁突入電流를 誘發하는 경우가 종종 있다. 그런데 이 突入電流는 대체로 급격히 줄어 들지만 큰 電流가 持續되는 동안은 큰 電磁力을 發生해서 捲線이 피로하게 된다. 이런 現象은 變圧器가 發電所에서 가까울수록 더욱 가혹하게 되고 반복하는 투입은 결국 捲線의 동요를 유발할 수 있다.

(5) 老朽된 變圧器에서는 鉄心板이 老化的인 것을 發見할 수 있다. 이것은 積層板 材質의 炭化 때문이며, 그 結果는 變圧器의 鉄損增加와 溫度上昇으로 나타난다. 이는 마침내 코일絶緣의 部分的 또는 全体的인 파괴와 絶緣油의 스러지化를 誘發한다.

Ⅳ. 絶緣回路의 事故

(1) 소위 호흡작용의 結果로 絶緣油에 침입한 습기는 絶緣耐力를 상당히 떨어지게 하여서 코일 또는 端子線에서 탱크 또는 鉄心構造物로의 故障이 일어날 수 있다. 그러나 가장 위험한 것은 코일의 内部絶緣에서의 故障이다.

(2) 變圧器의 持續的인 過負荷의 結果로서 絶緣油가 劣化되기도 하며 이것은 裸銅線이 있으면 현저하게 조장된다. 과도하게 높은 溫度의 絶緣油는 스러지, 水分 및 酸의 發生을 促進시킨다.

(3) 表面電位傾도가 높으면 날카로운 導體의 모서리 또는 直径이 작은 導體에서는 코로나가 發生될 수 있다.

(4) 합성수지로 接合된 압축 절연지로 만든 원통, 관 및 端子板과 같은 것은 때때로 그 表面이 製作過程에서 오손되거나 또는 공기를 내포할 수 있다. 오손된 것은 材質를 못쓰게 하는 表面放電의 원인이 되고 공기를 내포한 것은 공기의 이온화 및 이에 따른 誘電體 過熱 때문에 完全한 절연파괴를 일으킨다.

(5) 絶緣油의 通路가 좁으면 變圧器 수명에 중대한 위험을 준다. 이러면 적절한 冷却效果를 얻을 수 없으며 코일의 絶緣은 조만간 부러지기 쉽게 되고, 層間事故가 일어난다.

(6) 運轉中에 증발 및 酸化로 인하여 相當量의 絶緣油가 없어진다. 만약 絶緣油가 적정한 運轉水準까지 있지 않으면 탱크 방열면적 및 냉각매체의 감소때문에 變圧器가 過熱된다.

(7) 만약 코일의 端子線을 지지하는 木製기구가 아주 완전하게 건조되지 않고 절연물이 함침되어 있지 않다면, 함유된 습기가 トラッキング을 유발하여 電氣絶緣間의 短絡事故를 일으킬 수 있다.

(8) 絶緣油中에 부유하는 導電性 異物質이 있으면 이들에 걸리는 電圧은 差異가 있고 벗겨진 導體 사이에 이들이 한 줄로 정렬되기 때문에 순간적인 故障의 원인이 될 수 있다. 이런 예는 油中에서 端子線 相互間 및 端子線과 탱크 또는 鉄心構造物로의 섬락현상을 들 수 있다.

Ⅴ. 各種 構造物의 결함과 기타 원인으로 인한 事故

(1) 捲線으로부터 端子까지의 리드線을 불충분하게 지지하면 系統에서 發生한 外部短絡

事故時 이들이 뒤틀려서 혼촉하는 결과를 초래할 수 있다. 이런 것은 막대한 短絡電流가 흐르는 大電力系統에서 매우 위험스럽다.

(2) 이따금 變圧器 탱크를 잘못 용접하여 구멍이 있거나 또는 새는 구멍이 있는 部品때문에 故障이 생길 수 있다. 만약 이런 것이 즉각 수리되지 않으면 누유가 생기고 이에 따른 過熱 및 變圧器의 故障을 誘發할 수 있다. 한편 거칠게 運搬하면 누유고장 비율이 높게 된다.

(3) 가스 보호계전기를 갖춘 變圧器에서 만약 지정온도에서 탱크의 절연유가 적정수준까지 충전되어 있지 않다면, 보호계전기가 오동작할 위험이 있으며, 탱크 내부의 사고시에는 중대한 고장을 유발할 수 있다.

(4) 붓싱 碍管表面의 먼지, 炭가루 및 염분의 퇴적물은 이따금 섭락을 일으킨다. 예방법은 주기적으로 깨끗이 청소하는 것이다.

(5) 並列運轉하는 變圧器는 동일 卷數比, 同一%임피던스, 그리고 동일한 抵抗電壓降下에 대한 리액턴스電壓降下の 比를 가져야 한다. 만약 이중의 어느 하나라도 다르다면, 한 變圧器가 過熱되어서 소손될 수 있다.

(6) 變圧器를 建物內에 設置할 때는 탱크가 熱을 放散할 수 있도록 탱크 주위에 충분한 공간을 유지해야 한다. 만약 變圧器가 다른 유니트 또는 벽에 너무 가깝게 設置되면, 탱크는 덮개를 씌운 것처럼 되고 變圧器 溫度가 올라가서 코일 絶緣과 絶緣油狀態를 위태롭게 한다. 모든 變圧器에 대하여 적절한 통풍설비를 하는 것이 중요하다. 가능한 한 밀폐된 坑 및 조그만 방은 피해야 한다. 전기로용 變圧器인 경우에 적절한 차폐설비를 전기로와 변압기 사이에 설치해야 한다.

(7) 油入變圧器 탱크 上部의 증기는 폭발성이 있는 것일 수 있기 때문에, 結線 등을 調査하기 위하여 自然光線이 들어가서는 절대로 안된다.

다. 이런것을 주의하지 않아서 變圧器가 破損되고 人命이 희생된 경우도 있다.

(8) 強制冷却式 油入變圧器에서 冷却裝置의 어떤 事故로 冷却이 中止된다면 變圧器溫度는 許容値以上으로 上昇한다. 만약 이런 事故가 일어나면 變圧器負荷는 溫度上昇이 許容値以上이 되지 않도록 自冷式變圧器로 運轉될 수 있는데 까지 감소시켜야 한다.

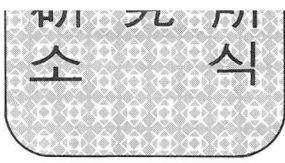
VI. 結 論

다년간에 걸쳐 發生한 최근의 變圧器 故障의 資料를 檢討해 본 結果, 故障의 70~80%가 層間短絡에 의한다는 事實이 밝혀졌으며, 앞의 내용을 보면 이러한 故障은 여러가지 原因으로 發生할 것이라는 것을 알게 된다. 그러나 불행히도 이런類의 故障에 대해서는 대체적으로 그 故障의 本質上 모든 증거가 소멸되기 때문에, 무엇때문에 그런 故障이 發生했는지에 대하여 명확히 말하기란 매우 어렵다. 結果적으로 故障의 原因을 추측하게 되는데, 實際 原因을 명백히 밝힌다는 점에 있어서 이러한 것이 불만족스럽다 할지라도, 變圧器 自体와 現場條件 및 運轉狀態를 주의깊게 檢討해 보면 그 實際原因에 매우 가까운 생각을 얻을 수 있다.

기타의 一部 故障은 적절한 變圧器 保護裝置를 具備하고, 定期的으로 주의 깊게 變圧器 自体를 点檢하고 또한 運轉狀態를 감시함으로써 故障을 最少로 줄일 수 있다고 생각한다.

參 考 文 獻

1. Stigant, S. A. & Franklin, A. C., Transformer Book, London, Newnes Butterworth, 1976



所長, 日本 半導体 産業界 視察

当研究所 崔順達所長과 李元雄 系統工學部長은 日本의 半導体産業界의 現況을 파악하고, 技術協力の 可能性을 타진하기 위하여 지난 8월 2일부터 7일만에 걸쳐 NEC, NTT, 히다찌 등을 訪問하고, 關係者들과 協議를 마친 후 8월 8日 歸國하였다.

各種 學術會議 參加 活潑

当研究所는 지난 7月24日부터 7月25日 까지 大韓電氣學會 主催로 울산공대에서 열린 夏季 學術會議와 8月13日부터 8月14日까지 大韓電子工學會 主催로 忠南大學校에서 열린 夏季 學術會議에 각각 參加하여, 모두 7篇의 論文을 發表하였는데, 그 內容은 다음과 같다.

區 分	發 表 者	發 表 論 文
電氣學術會議	오창석, 변승봉	重電機 試驗設備 報告
"	원준희, 이흥식	昇降機 安全設計基準
電子學術會議	이관하, 유락균	電子交換機시스템과 소프트 웨어센타
"	임택순, 유관홍	
"	이만섭, 정항근	44.7Mb/s 光通信商用試驗 시스템設計
"	유강희외 2명	
"	이성은, 이만섭	A supervision technique for the fiber optics communication systems
"	정항근, 강민호	
"	이인섭, 박광호	新型 公衆電話機의 回路設計
"	강철희	
"	강철희, 이인섭	新型 公衆電話機의 方式設計
"	박광호	

情報工學部長, ICC'81에서 論文發表

当研究所 情報工學部의 鄭基瑞部長과 宋周錫 宋尚勳研究員은 지난 6月14日부터 18日까지 美國 콜로라도州 덴버市에서 열린 ICC'81에 參席하여, 「마이크로프로세서를 應用한 D-4 channel bank」라는 論文을 發表하였다.

海外研修 및 出張 現況

当研究所는 先進技術의 早期導入 · 定着化와 研究業務遂行的 圓滑化를 위하여 研究員들의 海外出張 및 海外研究를 적극적으로 推進 하였는

데, 지난 5月末부터 9月初까지의 海外研修 및 出張 現況은 다음과 같다.

性 名	所 属	期 間	目 的
李 元 雄	系 統 工 學 部	81. 5. 30 ~ 6. 11	데이터통신에 관한 技術導入 協議
景 商 鉉	先任 研究部長	81. 7. 15 ~ 8. 8	IBM 세미나 參席
李 錫 喆	運 用 機 器 開 發 室	81. 7. 17 ~ 8. 5	No.2 ESS 및 長距離回線 監視制御 시스템에 관한 調査
梁 在 宇	"		
李 民 濟	電 力 技 術 室	81. 7. 19 ~ 8. 2	IEEE 세미나 參席
姜 錫 烈	端 末 機 器 開 發 室		
李 日 圭	運 用 機 器 開 發 室	81. 7. 30 ~ 9. 21	HP 1000 運 營 시스템에 관한 技術研修
李 崔 相 日	"		
鄭 泰 好	技 術 指 導 室	81. 8. 2 ~ 82. 2. 26	Power circuit breaker design 研修
嚴 泰 元	電 算 應 用 開 發 室		
朴 弘 植	交 換 機 器 開 發 室	81. 8. 5 ~ 12. 26	農漁村用 ESS에 관한 技術研修
李 武 信	網 計 劃 研 究 室	81. 8. 15 ~ 8. 30	MSS 學 會 參 席
鄭 東 根	特 殊 通 信 研 究 室	81. 8. 17 ~ 9. 6	프로젝트관련 資料蒐集
李 元 雄	系 統 工 學 部		
姜 哲 熙	電 子 裝 置 開 發 室	81. 8. 20 ~ 9. 14	國策 프로젝트관련 資料蒐集

中国電信研究所員 訪所

지난 6月23日 中国電信研究所(T.L)의 副主任인 國義昌氏를 비롯한 2명의 研究員이 來訪하여 当所 研究員들과 光通信 및 交換分野의 技術에 關係 協議하였다. 이 자리에는 姜玟鎬 光通信開發室長, 朴恒九 交換機器開發室長 등 20여명의 当所 研究員들이 參席하였다.

靜化促進大會 舉行

当研究所는 지난 8月28日 遞信公務員 教育院 강당에서 研究所 全職員이 參석한 가운데 靜化促進大會를 열었다. 경상현先任部長의 大會辭로 시작된 이번 靜化促進大會는 송해영 教育訓練室長의 決議文낭독과 안치홍研究員의 구호제창으로 막을 내렸다. 이어서 명랑하고 원만한 研究雰囲氣의 造成에 따른 研究能率을 向上시키기 위하여 서울大學校 哲学科 김태길 教授가 「現代社會와 職業倫理」라는 主題로 講演을 하였다.

各種 세미나 盛了

当研究所는 지난 6月부터 8月까지 先進電氣通信技術의 動向把握과 研究業務의 能率向上을 위하여 各種 세미나를 開催하였는데, 그 內容은 다음과 같다.

主 題	發 表 者	日 時
CCITT #6 signalling method	姜 東 元 (当所 網設計室)	81. 6. 24
M10CN ESS S/W에 대하여	金 榮 時 (当所 交換技術1室)	81. 7. 9
췌기형 遺伝体에 의한 電子波 散乱	나 정 응 (KAIST 電氣電子工學科 教授)	81. 7. 23
Transmultiplexer	梁 承 文 (GTE-Lenkurt社 研究員)	81. 7. 19
Office automation의 技術動向	姜 哲 熙 (当所 電子裝置開發室長)	81. 8. 20
Echo canceller	梁 承 文 (GTE-Lenkurt社 研究員)	81. 8. 21
Han-series computer	전 길 남 (韓國電子技術研究所 시스템部長)	81. 8. 22
Computer design -power system	윤 완 중 (IBM data system div.)	81. 8. 25
Computer design -cross talk analysis -chip package design	"	81. 8. 26

