기술연재

電氣設備의 診斷技術

(12)

2.2.2 가스遮斷器의 診斷技術

1. 가스遮斷器(GCB)의 槪要

GCB는 차단방식에서 單壓力形과 二重壓力形으로 구별되고 구조적으로는 碍子形과 탱크形으로 구별할 수 있다. 현재로서는 GIS와의 共通化가 계획되고 있으며 중심위치가 낮아지고 耐震性能에 우수하다는 등의 이유로 탱크形單壓式 버퍼形 GCB가 主流로 되어 있다. 구조는 그림 2.8에 나타낸 바와 같이 5~6氣壓의 SF_6 가스를 封入한 탱크內에 전류를 개폐하는 차단부가 설치되어 있다. 開路動作에 따라 버퍼실린더內의 SF_6 가스는 압축되고 압축된 SF_6 가스가 접점부에 생긴 아크에 내뿜어 전류차단이 행해진다.

2. GCB의 劣化形態

GCB의 劣化를 생각할 때 大電流의 개폐에 따라서 발생하는 현상에 대한 배려가 필요하며 특히 주의를 요하는 부분은 아래와 같다고 생각된다.

① 접촉부의 消耗, 마찰

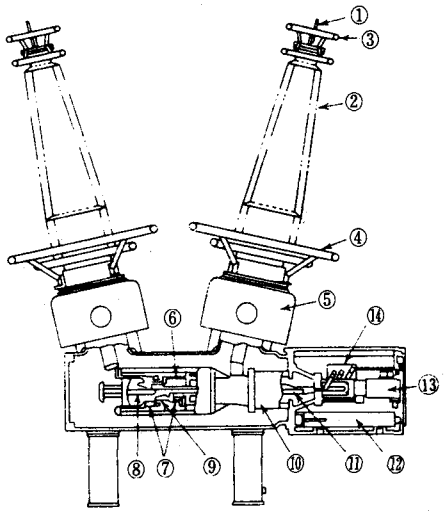
② SF_6 가스 (水分, 分解生成物)

③ 絶緣物

④ 파킹, 실재

⑤ 제어회로부품의 특성 (압력 SW, 密度SW, 리미트 SW, 릴레이 등)

a. 接觸子 : 차단기의 접촉자는 전류개폐시의 아크에 의하여 소모되는데 그 소모량은 차단전류와 차단회수, 전극재



①：主回路端子座 ⑥：버퍼실린더 ⑪：絶緣造作로드
②：가스부싱 ⑦：主接觸子 ⑫：어큐뮬레이터
③：상부실드 ⑧：아크接觸子 ⑬：油壓操作실린더
④：하부실드 ⑨：노 즐 ⑭：補助開閉器
⑤：BCT ⑩：支持絶緣筒

<그림 2.8> GCB의 構造

료 등에 의하여 결정된다.

여기에서 SF_6 가스中에 있어서 接觸子의 소모량의 관계는 다음式으로 定量化 할 수 있다.

$$V = \alpha \cdot I^{\beta} \cdot t \quad \cdots\cdots (2 \cdot 1)$$

여기에서 V : 소모량, I : 차단전류, t : 아크時間,

α, β : 接觸子의 材料로 결정되는 定數

電極消耗의 영향은 필드에서의 전류개폐조건을 고려한 전기적 耐久試驗에 의하여 연구되고 현재로서는 개폐전류치의 크기에 따라서 동작횟수가 규정되고 있다.

b. SF_6 가스와 絶緣物 : SF_6 가스는 전류아크에 의하여 약간 분해가 되나 대부분은 급속히 재결합하고 원래의 안정된 SF_6 가스로 되돌아간다. SF_6 가스가 분해하면 화학적 반응성이 강한 SF_4, SOF_2 등이 생성되지만 분해가스량이 1% 이하로, 가스중의 水分量이 400~500ppm (vol.) 이하이면 절연물에의 영향은 거의 없다. 또 실제로는 흡착제에 의하여 殘留分解가스의 대부분은 흡착되고 수분량도 150ppm (vol.) 이하로 관리되고 있기 때문에 문제가 되지 않는다.

c. 가스킷, 패킹 : 실部의 가스킷, 패킹材로는 클로로플렌고무 (네오플렌고무), 니트릴고무, 혹은 에틸렌프로필렌고무 등이 이용되고 잇다. 가스 氣密效果는 이들 고무의 壓縮復元力에 따라 유지되고, 압축복원력과 時間, 온도와의 관계는 일반적으로 다음에 보이는 아레니우스式에서 얻어진다.

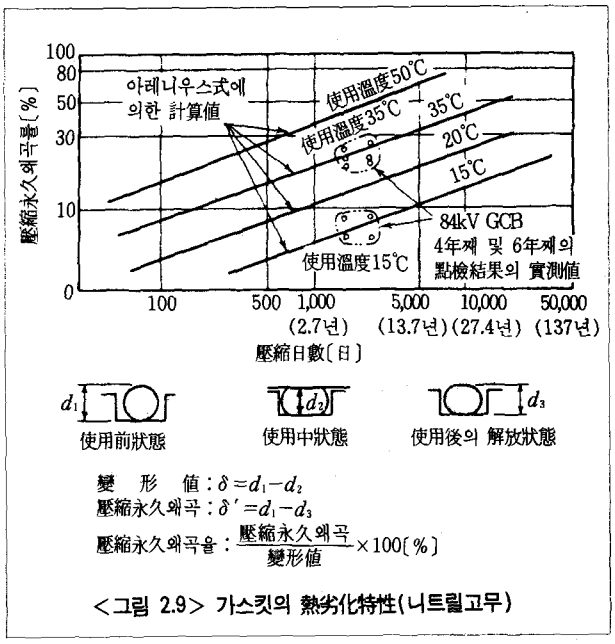
$$\log t = A + \frac{E}{2.303}\ \frac{1}{T} \quad \cdots\cdots (2 \cdot 2)$$

여기에서 t : 수명에 도달하는 시간, R : 氣體定數,

T : 가스킷의 절대온도, A : 定數,

E : 활성화에너지 (고무의 材質에 의하여 정해지는 값)

이 아레니우스의 式에서 가스킷의 온도와 壽命의 관계를 그림 2.9에 나타내었다. 또 操作機構 등의 摺動部나 회전부에 사용되는 패킹밸브의 밸브시트 등은 6년~12년 정도의 정밀점검시에 교환할 필요가 있다.



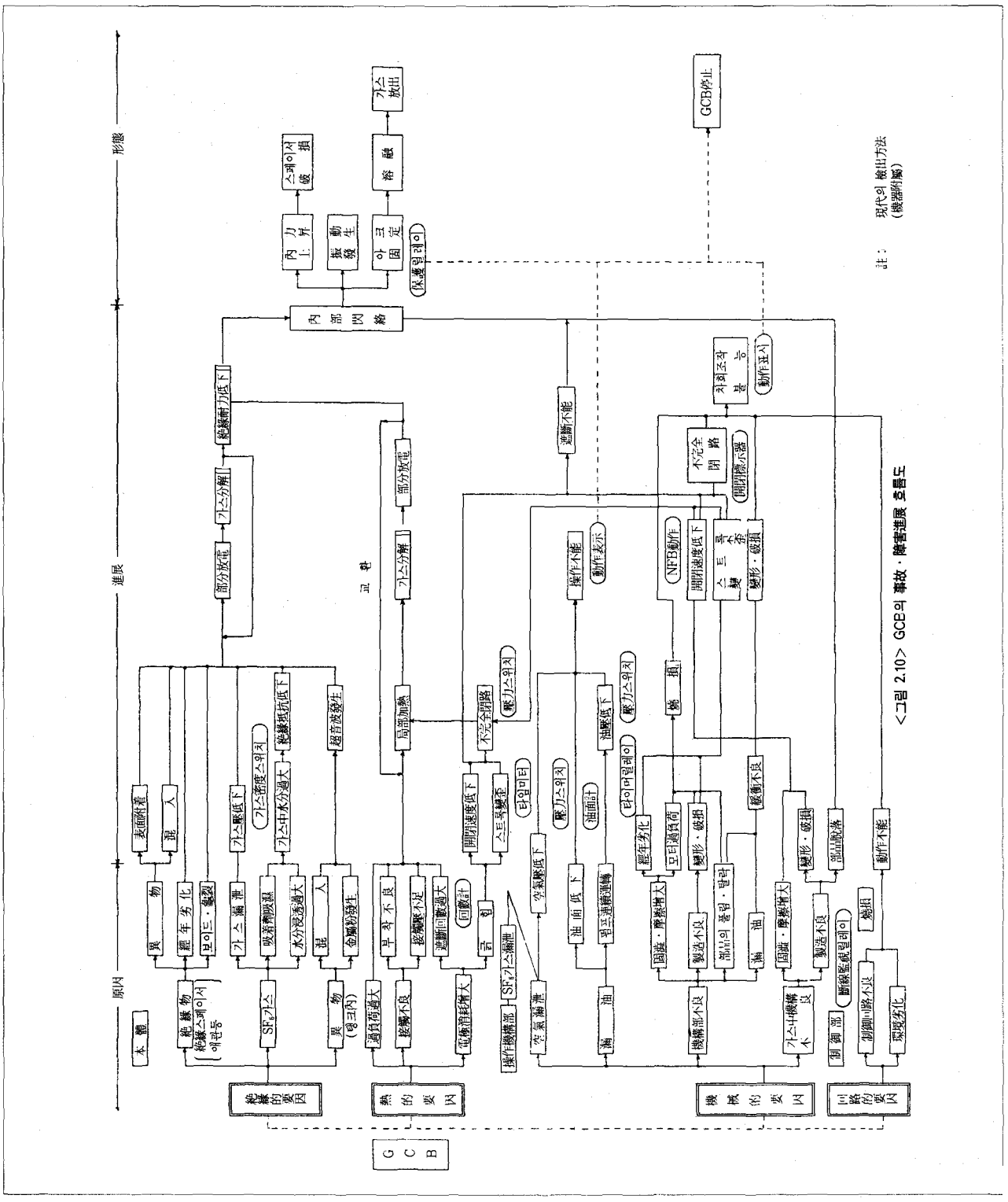
<그림 2.9> 가스킷의 熱劣化特性(니트릴고무)

3. GCB의 事故障害實績과 分類

393件의 GCB障害를 양상별과 부위별로 조사분석한 결과가 보고되어 있다. 樣相別에서는 漏氣, 漏油 (油壓操作方式) 등 氣密, 油密關聯의 異常狀態가 전체의 44%를 차지하고 있다. 여기에 이어서 재투입불량, 개폐불량 등, 개폐특성관련의 이상상태가 많아 23%나 되고 있다. 部位別에서는 조작기구부의 이상이 60%로 압도적으로 많고, 차단기의 이상과 합하면 67%나 된다. 電力 3社에 있어서 80건의 障害發見의 動機別로는 일상순시, 정기점검, 정밀순시에 의한 발견이 50%를 占하고 診斷·監視가 GCB事故의 사전방지에 유효하다고 한다. 또 운전조작시 및 릴레이作動時에 장해가 나타나는 경우가 39%로 비교적 많은 것이 특징이다.

이와 같은 이상상태의 경향을 분석하고 GCB의 사고·장해의 실적으로부터 事故·障害에 이르는 과정을 〔要因 → 進展樣相 → 異常形態〕의 순으로 검토한 사고·장해진전 흐름도를 그림 2.10에 나타내었다.

기술연재


原因
進展
形態
本體
絶縁的要因
熱的要因
機械的要因
回路的要因
GCB
異物
經年劣化
混入
ボイド・亀裂
絶縁物
(絶縁スペーサ等)
表面汚損
SF6ガス
絶縁耐力低下
ガス圧低下
ガス漏洩
ガス密度スイッチ
吸着剤吸湿
絶縁抵抗低下
ガス中水分過大
水分浸透過大
混入
異物
(母こま内)
超音波発生
金属粉発生
部分放電
ガス分解
内部閃絡
内力上昇
振動発生
ネジ固定
スペーサ破損
溶融
ガス放出
保護協調
GCB停止
遮断不能
操作不能
動作表示
操作機構部
SF6ガス漏洩
空気漏洩
油漏洩
油面低下
ガス中機構不良
制御部
制御回路不良
環境劣化
断線監視リレー
動作不能
断線
部品脱落
製造不良
変形・破損
油漏
油面計
圧力スイッチ
タイマリレー
油面低下
過負荷過大
接触不良
接触圧不足
遮断回数過大
回数計
寿命
電極消耗過大
不完全閉路
圧力スイッチ
開閉速度低下
ストローク変化
タイマリレー
過負荷過大
接触不良
接触圧不足
遮断回数過大
回数計
寿命
電極消耗過大
部分放電
ガス分解
局部加熱
交換
摩耗
圧力スイッチ
タイマリレー
経年劣化
固着・摩擦増大
可動負荷過大
変形・破損
製造不良
部品の緩み・脱落
油漏
固着・摩擦増大
製造不良
変形・破損
部品脱落
断線
動作不能
NFB動作
開閉速度低下
ストローク変化
変形・破損
緩衝不良
不完全閉路
開閉標示器
動作表示
自己診断機能
動作表示
現代의 檢出方法
(機器附屬)
註:
<그림 2.10> GCB의 事故·障害進展 호름도

4. 現況의 整備點檢

日本에서는 GCB가 실용된 이래 20여년이 경과되었다. 또 현재에 있어서는 2.2.1項에서 記述한 GIS가 66kV 이상의 新設變電設備·機器의 주류를 점하게 되었다. 이 상황에서 일본에서는 '77년에 「SF_6 가스絶緣機器整備基準」이 발행되었다. 이 整備基準을 베이스로 GCB의 整備點檢이 실시되고 있는 것이 현재의 실정이다.

현재, 日常巡視·精氣點檢에 있어서 GCB에 대하여 종래 실시되고 있는 감시·점검항목은 다음과 같다.

① 遮斷·開閉回數 감시
② 가스壓, 油壓, 空氣壓의 감시
③ 目視, 外視點檢
④ 가스中 水分의 측정
⑤ 主回路抵抗, 絶緣抵抗의 측정
⑥ 開閉時間特性의 측정

5. 診斷技術·監視技術

대부분 GCB의 진단기술·감시기술은 GIS의 그것과 공통이다. 표 2.7에 GCB에 대하여 실용화되어 있는 診斷技術·監視技術에 관하여 一例를 들었다.

GCB의 진단기술·감시기술의 특징은 다음 2가지로 대별된다.

a. 定常的인 通電狀態를 確認하기 爲한 診斷·監視 : 이 진단·감시항목은 다음과 같으며 각종 센서類도 개발되어 있다.

① 가스壓 : 가스密度와 센서
② 空氣壓 또는 油壓 : 空氣·油用의 壓力센서
③ 部分放電 : 絶緣스페이서法, 초음파센서에 의한 부분방전의 감시
④ 局部加熱 : 部分放電, 가스壓 등의 감시, 또는 탱크外壁온도의 감시
⑤ 動作回數 : 電子式 카운터
⑥ 異音, 異常振動 : 초음파센서

b. 系統操作이나 事故遮斷時 정상적으로 動作하는 것을 確認하기 위한 診斷·監視 : 이 진단·감시항목은 다음과 같고 진단의 알고리즘을 포함하여 각종 最適센서類가 개발되어 가고 있다.

① 開閉特性 : 개폐센서 (光 또는 電子式)
② 制御電流 : CT에 의한다.

이 경우 문제가 되는 것은 통전상태의 GCB가 차단지령에 대하여 정상적인 동작을 하게 될지의 여부를 판단할 필요가 있다는 것이다. 개폐특성 데이터의 축적, 동작횟수, 遮斷電流의 積算置 등으로부터 무엇인가의 징후를 파악하고, 다음의 동작상태를 추정하는 것, 또는 精密點檢의 시기를 推定할 수 있는 효과적인 자동감시장치의 개발이 기대되고 있다.

이상 설명한 診斷技術·監視技術의 대부분 항목은 오프라인, 즉 GCB의 定期점검·精密點檢時, 또는 事故 등의 이상발생시에 적용되고 있는 것이 현상이다. 금후, GIS와 같은 형태의 온라인狀態監視方式으로 移行되어 갈 것이다.

또 장래의 진단·감시기술이나 장치에 관하여는 변전소 전체의 高度機器管理시스템의 구축이 지향되고 있으며 이에 대해서는 2.12 節을 참조하기 바란다.

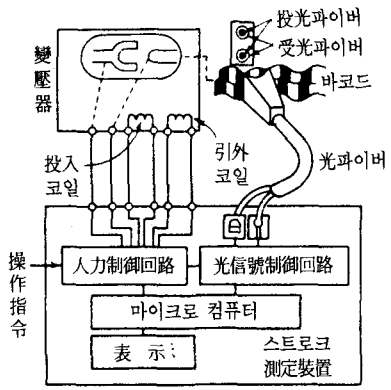
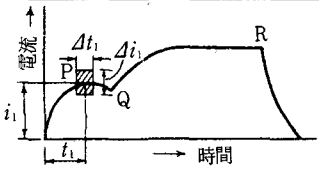
2.3 油入機器

油入機器에는 여러가지의 종류가 있으나 여기서는 油入變壓器, 리액터 및 油入變成器에 대해서 記述하기로 한다.

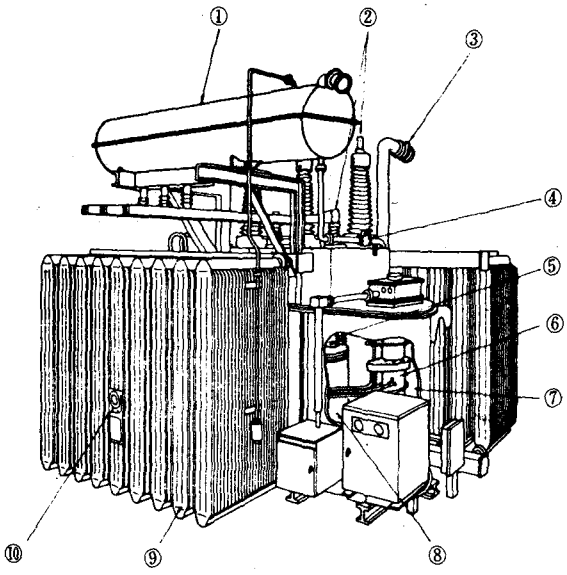
2.3.1 變壓器, 分路리액터, 油入形變成器의 槪要

변압기는 송변전기기의 가장 잘 알려진 기기중의 하나이다. 근래에 더욱 고전압 대용량화가 진전되어 현재는 변전용으로서 550kV 뱅크용량 1500MVA (500MVA 單相變壓器×3대), 발전소용으로서 550kV~1300MVA의 3相變壓器가 운전되고 잇다. 이와 같이 大容量化가 진행되는 가운데, 변압기 1대의 고장이 전력계통에 미치는 영향은 대

<표 2.7> GCB에 適用되고 있는 診斷·監視術項目의 一例

NO.	檢出項目	센서種類(材料)	原理·方式	特徵	問題點	適用段階
1	開閉特性, 스트로크長	光파이버		投入遮斷時의 움직임을 非接觸 또는 短時間에 측정	• 判定데이터 • 初期데이터	實器에 부착 試驗實施
2	投入·引出 電流波形	電流波形		操作部의 機械的 異常 검출	• 判定데이터의 蓄積 • 初期데이터의 蓄積	實器에 부착 試驗實施
3	部分放電 光學的	受光素子	部分放電에 의한 發光을 光電子倍增管으로 검출(미리 素子를 內藏)	外部노이즈를 받지 않음	• 既設의 GIS에 適用 불가 • 區劃數 많아지면 經濟性이 問題	實 用
4	가스中의 異物檢出	超音波센서	金屬異物의 靜電力에 따라 운동할 때의 容器에의 衝突時 발생하는 彈性波를 측정	小形(포터블)	高 價	實 用
5	溫度	白金 바이메탈(熱電對)	溫度에 의한 白金의 抵抗變化 溫度變化에 의한 變化로 포텐쇼미터를 驅動	高精度, 高信賴度 實績이 많음	高 價 精 度	實 用 實 用
6	濕度	結露센서	結露센서에 의해 檢出하고 操作箱內 히터의 On·Off	小形, 低價, 簡單	低溫時의 센서 溫度	實 用
7	가스中 水分量	水分計	• 五酸化燐 (P_2O_5)의 薄膜에 吸收시켜 電極間에 電壓印加水分을 水素와 酸素에 解離되어 흐르는 電流를 검출 • 水分이 들어가면 캐퍼시턴스가 변화하는 엘레멘트를 사용하고 캐퍼시턴스의 변화를 검출 • 水分을 산화 알루미늄에 흡착시켜 導電率의 變化로서 검출	小 形		實 用

단히 크고, 따라서 각종 진단장치에 의한 信賴性의 확보 및 향상이 불가피한 상황이 되고 있다.



① 콘서베이터 ⑤ 鐵 心 ⑧ 捲 線
② 부 싱 ⑥ 負荷時 탭轉換器 ⑨ 냉각기
③ 避 壓 밸브 ⑦ 절연유 ⑩ 다이얼 溫度計
④ 피트 繼電器

<그림 2.11> 內鐵形變壓器의 構造

그림 2.11에 대표적인 3相變壓器의 구조를 나타내었다.

分路리액터는 케이블系統의 靜電容量을 補償하기 위한 기기로서, 구조적으로는 2次卷線을 하지 않은 변압기와 類似하다.

油入變壓器·리액터에는 절연유나 절연지 등의 절연재료 이외에 銅, 알루미늄 등의 導電材料, 규소강판의 鐵心材料, 鐵, 스텐레스스틸 등의 구조재료가 사용되고 있다. 그러나 이들 재료중 油入變壓器, 리액터의 수명에 관계되는 것은 절연유, 절연지 등의 절연재료이다. 이 때문에 유입변압기의 수명은 절연재료의 劣化가 진행되어 雷서지나 開閉서지 등의 異常電壓 혹은, 外部短絡 등의 전기적, 기계적 스트레스에 의하여 파괴될 위험도가 증대할 시점으로 생각할 수 있다. 한편, 리액터는 外部短絡에 의한 영향을 받지 않기 때문에 주로 突入電流나 이상전압 등에 의한 전기적, 기계적 스트레스에 의하여 파괴될 위험도가 증대하는 시점을 수명으로 생각할 수 있다. 유입변압기에는 負荷時 탭轉換器를 가지고 있는 것이 많고, 또 유입변압기·리액터는 냉각기나 計器·繼電器類를 附屬品으로서 보유하고 있으며 이들의 기계적인 劣化도 주된 障害의 원인이 되고 있다. 變成器에는 變流器와 計器用變壓器가 있으며 절연재료에 의하여 油入式과 乾式으로 나뉘어진다. 고전압의 변성기 대부분은 油入形이며, 여기서는 單觸의 油入形變成器에 관해서 기술한다.

2.3.2 劣化要因과 形態

油入變壓器·리액터는 앞에서 기술한 바와 같이 각종 재료가 이용되고 있는데 금속재료는 전기적, 기계적 특성의 經年劣化傾向은 認知하지 못한다. 문제가 되는 것은 絶緣油, 絶緣紙, 프레스보드 등의 절연재료이다.

표 2.8은 유입변압기·리액터의 각 구성부위, 사용재료에 있어서 劣化現像과 점검의 현상을 나타내었다. 유입변압기·리액터는 크게 外部와 內部로 분류되어, 內部는 鐵心, 捲線, 리드線, 탭轉換器로, 外部는 탱크 및 부속기기로 분류된다. 內部材料로서는 절연유, 절연지, 프레스보드 등의 절연재료가 사용되고 이것은 유입변압기·리액터의 劣化中에 가장 많은 영향을 받는 재료이다.

절연재료에 있어서는 熱的劣化, 외부단락에 의한 열적·기계적손상, 부분방전 등이 劣化要因으로 작용되며 이에 의하여 기계적 强度低下, 진동증가, 可燃性 가스발생 등이 일어나 절연 파괴로 진전되는 것을 예상할 수 있다.

여기서 劣化의 指標로서는 油中溶存가스의 변화, 절연유의 특성변화, 절연지, 프레스보드의 重合度저하 이외에 리액터특유의 진동, 소음증가 등이 있다. 點檢法으로서는 油中가스分析, 절연유의 파괴전압측정, 重合度測定 (단, 現狀에서는 운전중의 유입변압기·리액터로 직접 측정하는 것은 곤란) 및 진동, 소음측정 등이 있다.

한편, 外部材料로서는 가스킷이 주된 劣化材料로 생각되며, 이것은 經年劣化에 의하여 탄력성저하, 변형, 균열을 가져오거나 漏油로 진전한다. 劣化의 指標로서는 漏油의

<표 28> 油入變壓器·리액터의 劣化現象과 정비점검(1)

	構成部位			劣化現象			點檢內容
	機械部品		材料	種類	影響	指標	
油入變壓器 리액터 內部	(1) 鐵心	鐵心絶緣	絶緣木材, 마닐라紙, 프레스보드	• 熱的劣化 • 部分放電	機械的 强度低下 → 振動增加 / 可燃性 가스發生	• 油中溶存가스의 변화 • 騷音·振動의 변화	• 油中가스분석
		바인드테이프	에폭시 樹脂含浸글라스 테이프				
	(2) 捲線	被覆絶緣	그라프트紙	• 熱的劣化 • 外部短絡에 의한 熱的 機械的 損傷 • 部分放電	機械的强度低下 ↓ 可燃性가스發生 ↓ 絶緣破壞	• 油中溶存가스의 變化 • 絶緣紙의 重合度 低下 • 絶緣紙의 機械的强度 低下	• 油中가스분해 (重合度도 측정가능) • 水分측정
		絶緣筒	樹脂含浸 그라프트 紙積層筒 高密度 프레스보드				
		스페이서	프레스보드				
		L形링	成形紙, 펄프몰드				
		코일支持絶緣物	프레스보드, 強化木 高密度프레스보드 積層材				
	(3) 리드線	被覆絶緣	와니크로스, 그라프트紙, 그래프紙	上 同	上 同	上 同	上 同
		支持物	絶緣木材, 紙基材페놀樹脂, 積層材, 高密度프레스보드 積層材				
		부싱下部 실드絶緣	수지몰드, 와니스크로스, 프레스보드紙, 크라프트紙, 펄프몰드				
	(4) 本體絶緣油		電氣絶緣油	• 熱的劣化 • 部分放電 • 吸濕	絶緣耐力低下 ↓ 可燃性가스發生 ↓ 絶緣破壞	• 絶緣破壞電壓 • 油中溶存가스의 변화 • 油中水分의 증가	• 絶緣破壞電壓 측정 • 油中가스 분석 • 油中水分 측정
	(5) 負荷時 탭轉換器	絶緣油	電氣絶緣油	上 同	上 同	• 絶緣破壞油 • 酸價	• 絶緣破壞電壓측정 • 酸價測定
		接觸子	銅, 銅合金 銅, 銅合金	• 摩耗 • 硫化銅生成	接觸面거침→接觸抵抗의 ↓ ↓增加 動作遲滯 過熱 ↓ ↓ (탭短格, 絶緣破壞)	• 轉換回數 • 操作토크 • 耐弧메탈두께 • 接觸抵抗 • 接觸狀態	• 轉換回數 • 普通點檢 • 細密點檢
	(6) 無電壓 탭轉換器	接觸子	上 同	上 同	上 同	• 轉換動作狀況	• 轉換操作시험
	(7) 탱크 및 配管	가스킷	고무몰트, 니트릴고무	• 經年劣化	强性低下→變形破壞→漏油	• 漏油의 有無 • 龜裂의 有無 • 油面低下	• 油面計指示 • 目視
		防震接手	니트릴고무, 스텐레스베로즈				
	(8) 負荷時 탭轉換器	操作機構	齒車, 軸受, 操作모터, 브레이크, 電氣回路, 기타	• 摩耗 • 발청	침식 시퀀스 크랙 → 轉換不能 (탭遲滯)	• 動作시퀀스 • 動作時 異常音, 振動 • 齒車·핀의 折損 • 릴레이발청 • 브레이크 摩耗	• 動作시퀀스 측정 • 目視, 聽覺
	(9) 콘서베이터	隔膜	니트릴고무	• 經年劣化	强度低下→破裂→絶緣油의 吸濕	• 油中水分量	• 油中水分量측정

油入變壓器 外部	(10) 부싱	애자	磁器	• 汚損 • 龜裂, 크랙	絶緣破壞	• 汚損狀態 • 龜裂·크랙의 有無 • 油中異常의 有無	• 目視 • 清掃
		絶緣紙	크라프트紙	(2)와 같음	(2)와 같음	(2)와 같음	—
		가스킷	실리콘고무, 니트릴고무, 고무몰크	(7)과 같음	(7)과 같음	(7)과 같음	—
	(11) 冷却裝置	油검프 펜	軸受	• 摩耗	철식 回轉이 고르지 ⟨ 異常發生 損失增加 못함	• 異常音의 有無	• 聽覺
		放熱器	플레이트	• 발청 • 汚損 • 눈데중	• 漏油 • 油溫上昇	• 漏油의 有無 • 汚損狀況	• 目視
		冷却式冷却器 冷却管	脫酸銅管	• 汚損 • 腐蝕	• 汚損 • 油溫上昇	• 漏油의 有無 • 油溫	• 目視 • 清掃
	(12) 部品	放壓裝置	베이클라이트板, 薄銅板	• 龜裂 • 크랙 • 汚損	• 誤動作 • 漏油	• 漏動作 • 漏油의 有無	• 目視
		計器, 繼電器類	—	• 발청 • 吸濕 • 汚損	• 誤指示 • 誤動作	• 結露 • 발청	• 目視

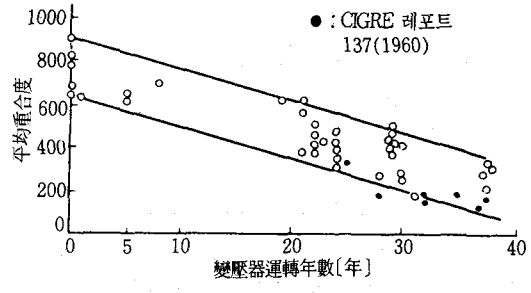
유무, 균열의 유무가 있고 點檢法으로서는 目視에 의한다.

또 유입변압기에 사용되는 負荷時의 탭轉換器, 無電壓 탭轉換器에 있어서는 接點材料로서 銅, 銅合金 및 銀, 銀合金이 사용되고 마모, 硫化銅生成에 의하여 劣化하며 접촉저항의 증가, 또는 不安定, 動作澁滯, 탭 단락이나 절연파괴로 진전한다. 劣化의 指標로서는 轉換回數, 조작토크, 전환개폐기의 耐弧메탈두께 및 접촉상태, 접촉자의 전환동작상황이 있고 點檢法으로서는 전환회수의 기록, 보통점검, 精密點檢에 의하여 行한다.

또한 변성기에 관해서는 내부부품, 외부부품 공히 劣化對象 및 劣化要因이 변압기와 거의 비슷하다. 다만, 변성기 특유의 현상으로서 氣密部 (특히 負壓의 경우) 의 가스킷 經年劣化나 그 주변구조물의 발청에 의하여 密封不良이 일어나고 그 결과 내부에 水分이 침입하여 마침내는 主絶緣의 절연성능이 저하되어 절연파괴에 이르는 케이스가 있다.

2.3.3 절연재료의 劣化特性

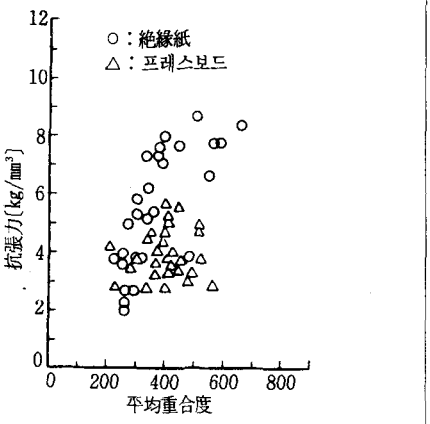
절연유는 운전중의 熱 및 油中에 잔류되어 있는 산소나 수분, 기타 불순물에 의하여 劣化되어 全酸價의 증가, 體積抵抗率의 低下, 절연파괴전압의 저하로 나타난다. 그러나 실제로는 제조상의 乾燥處理技術의 진보, 油劣化防止方式으로서 無壓密封形이나 질소밀봉형의 콘서베이트가 채용되도록 劣化는 매우 적다. 예를 들어 약 30년간 사용한 유입변압기라해도 체적저항률의 저하는 初期値 1~2桁의 저하에 지나지 않고, 또 절연파괴전압의 저하는 약 10%에 지나지 않는다.



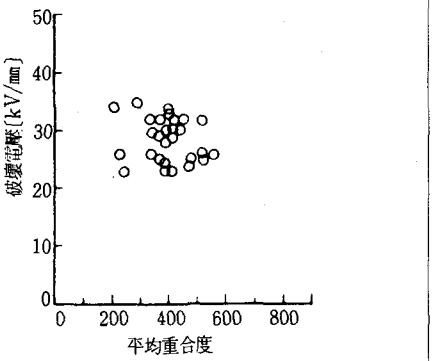
<그림 2.12> 油入變壓器運轉에 의한 絶緣紙의 平均重合度 低下

기술연재

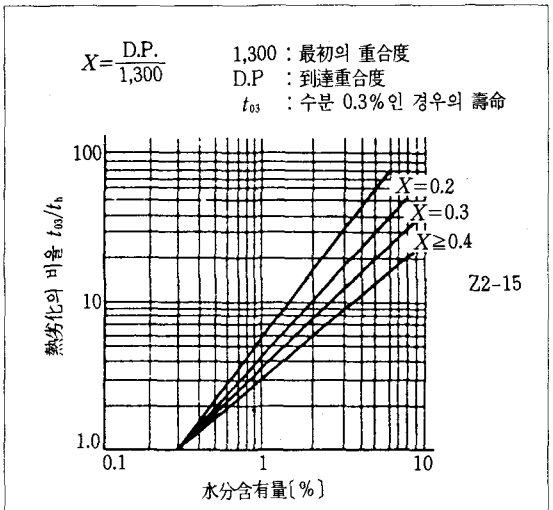
그렇지만 절연지나 프레스보드와 같은 셀룰로이즈系 材料의 기계적 특성을 經年劣化에 의하여 비교적 크게 저하한다. 예를 들어 약 30년간 사용한 油入變壓器의 捲線部에 사용된 절연지의 평균重合度는 일반적으로 初期値의 60~40%로 저하되어 왔다. 一例를 그림 2.12에 나타내었다. 또 그림 2.13은 장기간 운전하여 온 유입변압기로부터 채취한 절연지, 프레스보드의 平均重合度와 抗張力의 관계, 그림 2.14는 프레스보드의 平均重合度와 AC短時間 破壞電壓과의 관계를 나타내었다. 절연지 및 프레스보드는 經年劣化에 의하여 평균중합도는 저하하여도 파괴전압은 거의 저하하지 않으나 抗張力은 현저히 저하하고 있다.



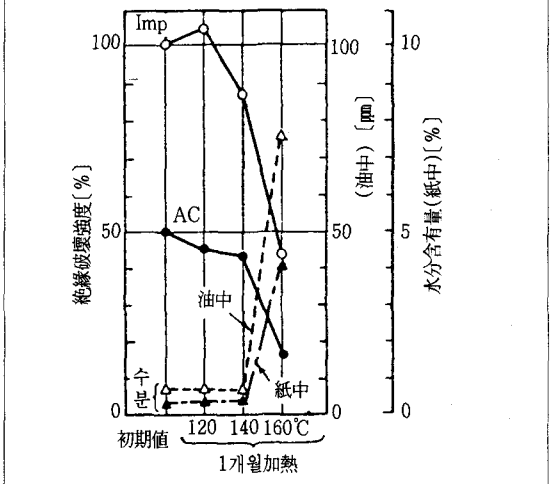
<그림 2.13> 絶緣紙 및 프레스보드의 平均重合度의 抗張力



<그림 2.14> 프레스보드의 平均重合度와 破壞電壓



<그림 2.15> 水分含有量과 熱劣化의 關係



<그림 2.16> 水分含有에 의한 絶緣破壞強度

절연지를 劣化시키는 因子로서는 수분의 영향이 크다. 절연지의 熱劣化는 수분함유량에 비례하며 그림 2.15에서 보는 바와 같은 관계가 있다. 또 수분함유량에 의한 절연파괴강도에의 영향을 그림 2.16에 나타내었다.

절연지의 셀룰로이즈分子는 熱, 油中의 산소, 수분과 같은 劣化要因에 의하여 분해되고 低分子量化가 진행된다.

즉 평균중합도의 저하가 일어난다. 셀룰로이즈分子는 분해가 진행되면 케톤, 알데히드에서 酸을 통과시켜 CO, CO_2와 물이 되고 CO, CO_2는 절연유에 溶存한다. 이 현상은 온도가 높고 油中의 산소나 수분이 많을수록 급속히 진전되어 油中의 CO + CO_2 생성량의 증가는 현저히 늘어난다. 이 CO + CO_2 量은 절연지의 평균중합도와 밀접한 관계가 있으며, 油中가스分析에 의하여 CO + CO_2 의 생성량을 측정함에 있어서 절연지의 劣化정도, 더 나아가서는 잔여수명을 추정할 수가 있다.

變壓器의 열화는 그 절연구성에서, 변압기, 리액터와 同類의 劣化要因이 발생된다. 변성기는 通電性能面에서 보면 定格的으로 적정하게 사용되는 것이 많고 油溫이 비교적 낮다. 따라서 내부열화의 주된 要因인 熱的劣化는 일반적으로 변압기보다 적은 것으로 생각해도 좋다.

유입변압기, 리액터의 절연구조에는 일반적으로 절연유와 油浸絶緣紙와의 복합절연이 채용되어 부분방전을 발생시키지 않는 절연설계로 되어 있다. 그러나 어떠한 원인으로 부분방전이 발생했을 경우, 이에 수반되는 가스발생이나 절연물의 劣化에 의하여 耐電壓性能이 저하하는 것을 알 수 있게 된다. 더욱이 절연물의 부분방전 개시전압은, 이른바 V-t 특성으로 稱하면 시간특성을 가지고 있고, 長時間 전압을 印加하면 낮은 전압이라도 부분방전이 발생하며 서서히 劣化가 진행되어 간다. 따라서 변압기에 의하여 부분방전을 검출하는 것을 長期信賴性을 확인하는데 있어서 매우 효과적인 수단이다.

2.3.4 絶緣 및 그 외의 外部構造部品의 劣化와 진단기술

油入機器의 經年劣化要因에는 ① 熱, ② 부분방전 ③ 산소의 흡수 ④ 吸濕 ⑤ 기계적 응력 ⑥ 환경이 있고 이의 複合에 의하여 劣化가 진행하고 이상이 발생하여 수명에 다다른다. 따라서 각종 진단에 의하여 유입기기의 豫防保全을 도모할 필요가 있다.

1. 絶緣油의 劣化와 油中가스分析에 의한 診斷

변압기의 내부에 局部的인 과열이나 부분방전이 발생하면 절연유나 절연물이 분해하여 가스가 발생한다. 이 분해가스는 절연유에 용해되기 때문에 油中溶存 가스分析을 가스크로매트그래프에 의하여 분석하고 가스性分, 발생량, 經時變化를 認知하는 바에 따라 변압기의 異常狀態의 종류나 진전상태를 판단할 수가 있다.

일반적으로 변압기 異常의 種類와 발생가스의 관계는 표 2.9와 같고 가스분석결과의 판정방법에는 다음과 같은 것이 있다.

<표 2.9> 異常 種類에 의한 발생가스성분

異常의 종류	주 요 發 生 가 스
절 연 유 의 과 열	H_2 CH_4 C_2H_4 C_2H_6 C_3H_6 C_3H_8
유침절연물의과열	CO CO_2 H_2 CH_4 C_2H_4 C_2H_6 C_3H_6 C_3H_8
절 연 유 중 의 방 전	H_2 CH_4 C_2H_2 C_2H_4 C_3H_6
유침고체절연물의방전	CO CO_2 H_2 CH_4 C_2H_2 C_2H_4 C_3H_6

〔註〕 1. _표시는 특징가스를 나타냄
2. 記號說明 : H_2(水素), CO(一酸化炭素), CO_2(二酸化炭素), CH_4(메탄), C_2H_6(에탄), C_2H_4(에틸렌), C_3H_6(프로핀), C_3H_8(프로판), C_2H_2(아세틸렌)

<표 2.10> 可燃性가스總量(TCG) 및 각 가스량의 要注意레벨

變壓器定格		각 가 스 量〔ppm〕					
		TCG	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	CO
275kV 이하	10MVA 이하	1,000	400	200	150	300	300
	10MVA 초과	700	400	150	150	200	300
500kV	–	400	300	100	50	100	200

<표 2.11> 可燃性가스總量(TCG) 및 각 가스량의 異常레벨

變壓器定格		각 가 스 量〔ppm〕					
		TCG	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	CO
275kV 이하	10MVA 이하	2,000	800	400	300	600	600
	10MVA 초과	1,400	800	300	300	400	600
500kV	–	800	600	200	100	200	400

기술연재

① 각 성분가스에 의한 判定(표 2.9)

② 가연성 가스總量 및 각 가스량에 의한 判定 (표 2.10, 표 2.11)

③ 가연성 가스總量의 증가경향에 의한 判定 (표 2.12, 표2.13)

2. 絶緣紙, 프레스보드의 劣化와 그 診斷方法

절연지의 劣化는 前述한 바와 같이 기계적성질의 변화로 나타나고 이 指標로서 기계적 성질과 상관관계가 있는 平均中合度가 높아진다. 그렇지만 평균중합도의 측정은 운전중인 유입변압기·리액터로는 실시할 수 없고 오버홀 등의 機器停止時에 限한다. 따라서 실제의 진단에 있어서는 平均中合度와 상관관계가 있는 CO + CO_2 生成量으로 보는 것이 검토되고 있다. 한편, 운전시의 부분방전 레벨이나 진동·소음의 이상증가를 검출하는데 따라서 機器의 위험도를 추정하는 것도 가능하다.

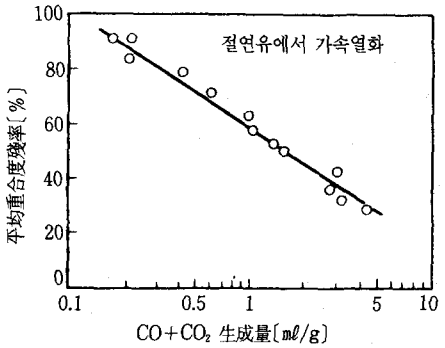
a. 絶緣紙의 機械的性質과 壽命의 關係 : 引張强度 및 平均中合度와 수명의 관계에 대해서는 각종 문헌에 記述어 있으나 이것들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 引張强度, 平均中合度는 40년간에 약 50% 低下한다.

(2) 약 30년간 운전한 초고압 유입변압기의 조사결과 프레스보드의 平均中合度는 600~200 정도이다.

(3) 重合度 150이면 유입변압기의 壽命末期値로 생각한다

유입변압기의 수명 말기로서의 重合度 150 정도의 절연지는 상당히 劣化하고 갈색화하여 취약해진다. 이 상태에서 외부단락으로 遭遇하면 기계력에 의하여 절연지의 파괴가 생기고 절연파괴에 이를 것이 예상된다. 다만, 약 30년간 운전한 유입변압기에 있어서는 重合度가 수명말기의 150까지 이르게 되는 것은 드물게 軸方向機械力의 크기에 따라서 다르나 절연지의 파손 및 절연파괴로 쉽게 진전되지는 않는다고 생각한다. 그렇지만 電磁진동 등에 의한 힘이 상



<그림 2.17> 絶緣紙의 平均重合度殘率과 單位當 CO+CO_2 生成量의 關係

<표 2.14> 油入變壓器·리액터수명에 대한 진단내용

對 象 部 位		診 斷 方 法	診 斷 內 容
유입변압기·리액터본체내의 절연물	절연유	유중가스분석(장비·점검)	기준에 의한 요주의 레벨, 이상레벨을 판단
	절연지·프레스보드	평균중합도 또는 인장강도	절연지의 평균중합도 또는 인장강도가 50%로 저하하였을 때를 수명으로 생각(평균중합도 약 200이 수명의 목표)
		CO+CO_2량(유량가스분석)	CO+CO_2생성량이 1~2.5㎖/g에 달했을 때를 수명으로 생각한다.
		부분방전	메이커의 기준레벨에 의한 판정
절연물 이외의 구조물	부하시 탭전환기의 접촉자	탭전환 회수	수 명 : 20만회 전환
			점검주기 : 2~6년마다 또는 2만~10만회 전환 어느것이나 빠른 시기에 1회
		접촉자의 소모량	접촉자의 허용소모량
	가스킷	육 안	누설가스킷의 수명은 약 10년 정도
	부속품	육 안	각 부품마다 열화상태를 판정(계기류의 수명 : 10~30년)

시 가해지기 때문에 이 영향을 충분히 고려하여 管理値를 定해야 한다. 더욱이 리액터에 있어서도 비슷하게 알고 있으나 특히 상시의 진동이 크기 때문에 機械的强度의 저하에는 충분히 주의할 필요가 있다.

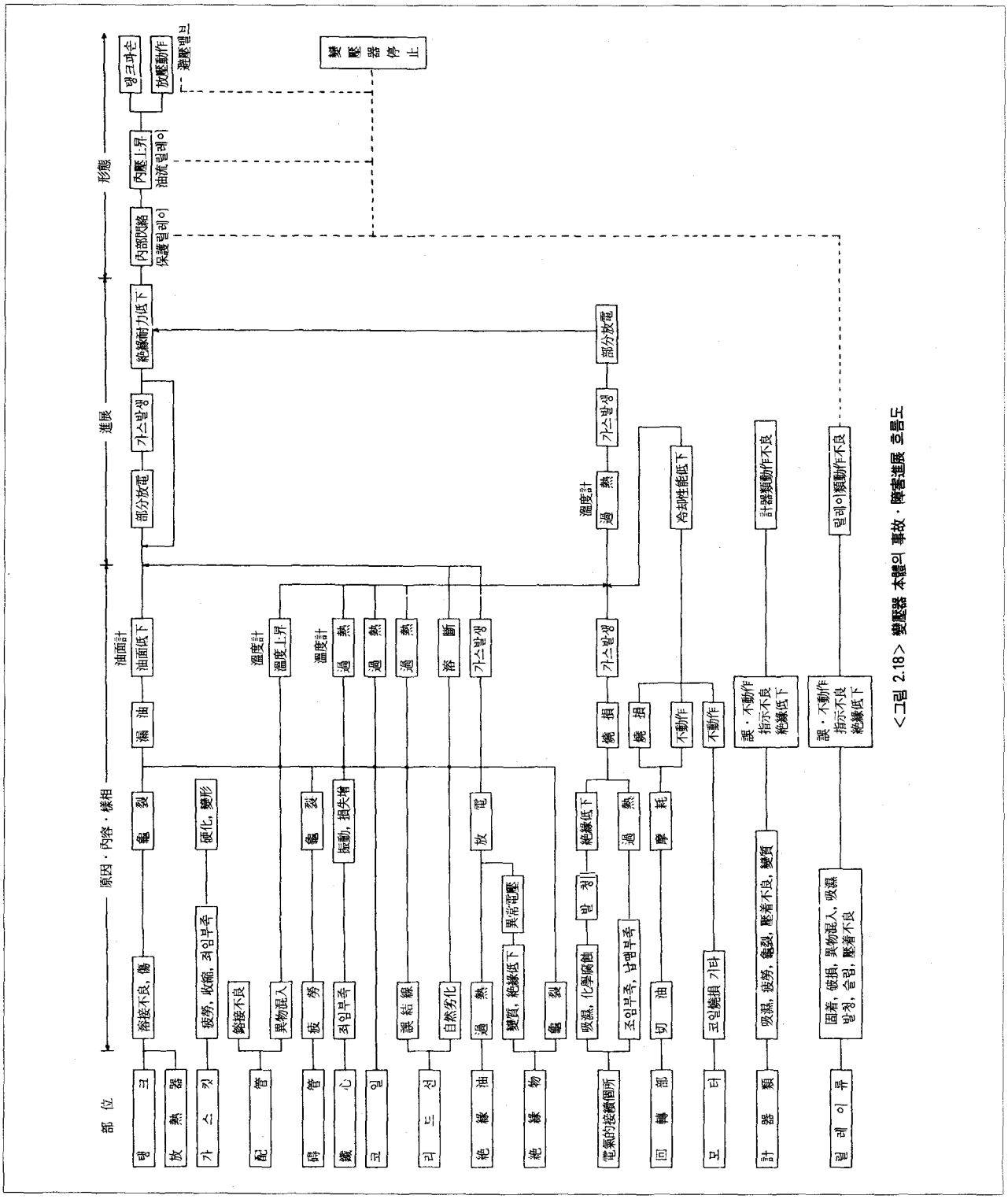
b. CO + CO_2 生成量과 수명의 관계 : 절연지의 평균중합도와 油中溶存가스 중의 CO + CO_2 생성량에 상관관계가 있는 것을 알게 되어 그 一例를 그림 2.17에 나타내었다. 이 그림에 있어서 平均中合度殘率과 CO + CO_2 생성량의 사이에는 평균중합도잔율 30~90%의 사이에서 상당히 좋은 직선관계를 알게 된다. 약 30년 운전한 유입변압기에 있어서 절연지의 重合度는 약 50%로 저하되어 있다. 한편, 이때의 CO + CO_2 생성량은 1~2.5㎖/g이 된다. 따라서 절연유 중의 CO생성량이 1~2.5㎖/g이 되면 그 절연유 중에서 사용한 절연지의 經年劣化는 상당히 진전되어 있으며 수명이 다했든가 혹은 그에 가까워진 것으로 추정할 수가 있다.

c. 部分放電과 壽命의 關係 : 부분방전에 의하여 절연지가 劣化하고 절연파괴될 위험도가 높아진 時點도 수명으로 생각하지 않으면 안된다. 부분방전에 대해서는 10^{-9}크론 이상이면 有害하고 그 미만이면 無害라고 일부에서는 생각하지만 그 크기와 수명의 관계에 관해서는 절연구조나 그 電界値에 의하여 영향을 받기 때문에 今後 더욱 연구하지 않으면 안될 사항이다.

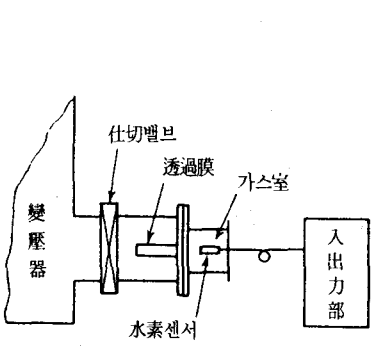
부분방전 측정법으로서 부분방전 펄스電流를 측정하는 방법(예로서 中性點接地設置線에 감은 로고스키코일에 의하여 검출)과 초음파 마이크에 의하여 油中을 傳搬하여가는 부분방전음을 검출하는 방법이 있다.

<표 2.15> 最近實用化되고 있는 油中變壓器 · 리액터의 診斷法에 관한 例

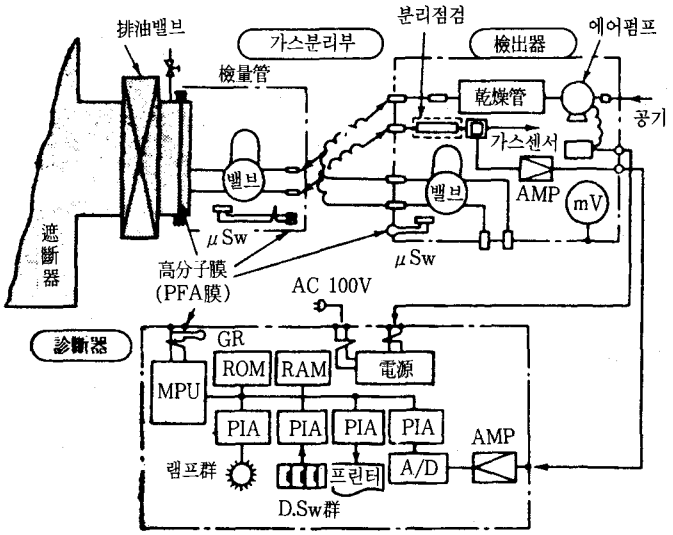
評價區分 / 測定裝置	目 的(特徵)	構 成	適 用 範 圍
1. 油中가스分析 ① 油中가스 자동분석장치	• 標準 9種가스를 분석 • 정비의 간소화, 省力化, 分析의 자동화를 志向해서 採油後 자동화 • 採油後 80분에 분석완료	• 옥외큐비클	• 대용량기의 初期管理 · 일반 추적조사에 편리
② 可搬形簡易油中 가스 분석장치 (그림 2.20 참조)	• 標準 9種가스를 分析 • 정비의 簡素化, 省力化, 分析의 自動化, 迅速化를 志向하고, 採有後 自動化	• 라이트펜으로 이동 • 裝置는 油中가스抽出器, 表示 · 制御盤으로 구성	• 주로 트러블時의 임시측정에 사용
③ 變壓器油中가스 자동 분석장치	• 11種을 分析, 高精度 • 정비의 簡素化, 省力化, 分析의 自動化, 상시감시를 志向하고 全自動化 • 약 2시간에서 분석완료	• 옥외장치 큐비클形	• 대용량기에 적용
④ 변압기유중수소가스 常時監視裝置 (그림 2.19 참조)	• 水素가스를 分析 • 全自動化, 簡素化를 志向 • 3일에 1회, 1회 30분으로 分析 完了	• 가스分離 · 檢知部와 변압기에 直結, 計器部와 옥내설치	• 一般變壓器用 • 一般리액터用
2. 部分放電試驗 변압기자동 부분방전 감시장치	• 現地에서도 外來노이즈의 잡음 影響없이 測定 • 全自動化, 상시감시를 志向	• 옥내설치제어반	• 고전압 대용량기용
3. 기 타 ① 누설磁束測定	• 捲線의 微小층간단락을 早期에 檢出 • 보호계전기의 一種	• 탱크內面에 複數個의 檢出코일을 設置 • 論理判定裝置는 옥내설치	• 內鐵形 변압기와 리액터의 신설계기에 적용
② 金屬酸化物의 診斷	유입변압기에 사용되고 있는 裸銅이나 銀 등과 유중의 활성유황으로부터 유화동 또는 유화은으로 생성되어 있는 것이 있으나 유중가스분석과 똑같이 분석해서 유화카보닐의 발생량을 측정하고 이들의 유화물 생성정도를 측정하는 방법이 제한되어 있어 앞으로 평가가 기대된다.		



<그림 2.18> 變壓器 本體의 事故·障害進展 흐름도



<그림 2.19> 水素가스 自動檢出裝置



<그림 2.20> 多種類 가스자동분석장치의 構造圖(檢出器, 診斷器可搬式)

3. 外部構造部品의 經年劣化와 壽命判定

변압기의 중요한 外部部品으로서 부하시 탭轉換器의 접점 이외에 가스킷, 각종계측기, 릴레이, 냉각기, 防振고무 등의 有機物이 있다.

부하시 탭轉換機의 아크接點은 常時作動하고 있으며 운전년수가 경과하면 그 마모정도는 현저하게 나타났다. 그러므로 어느 일정시기에 부품의 교체가 필요하게 된다.

또 가스킷이나 방진고무와 같이 유기물을 사용하는 것도 經年劣化를 피할 수 없게 되어 어느 시기에는 교체가 필요하게 된다.

이상의 수명판정을 기초로 하여 유입변압기·리액터本體內의 절연물이나 그 이외의 구조물에 대한 診斷內容을 표 2.14에 나타내었다.

2.3.5 現狀의 진단기술·자동감시기술

표2.15에 나타낸 바와 같이 유입변압기·리액터의 事故를 미연에 방지하기 위하여 사고에 이르기 전에 이상현상을 감시하는 측정기가 여러가지 개발되어 실용화되고 있다.

변압기본체의 사고·장해의 실적에서 각 部位에 대해서 〔原因·內容·樣相→進展→形態〕의 順으로 검토한 事故·障害進展흐름도를 그림 2.18에 나타내었다.

內部事故에 이르기 전에 부분방전이나 油中分解가스가 발생하고 부분방전감시나 정기적인 가스分析이 사고방지에 효과적인 것을 알 수 있다. 아래에 몇가지 예를 소개한다.

1. 部分放電監視

부분방전의 검출법으로서 탱크벽에 부착한 초음파 마이크

기술연재

에 의한 音響法과 부분방전에 수반되는 電流펄스를 中性點 接地線에 부착한 로고스키코일이나 부싱의 PD탭으로부터 검출하는 電流法을 병용한 自動監視·診斷裝置가 개발되어 試用되고 있다. 이것은, 운전중의 변압기에 있어서는 外部노이즈가 많고, 音響法 또는 電流法 단독으로는 변압기의 부분방전검출은 곤란하며 양방법을 組合하여 同期했을 때에만 내부방전 발생으로 판단하는 기능을 가진 진단장치이다.

2. 油中가스分析法

전술한 바와 같이 변압기 등 유입기기 내부에서의 이상현상에는 發熱을 수반하는 경우가 많고 이열에 의하여 주변의 절연유, 절연지, 프레스보드가 분해하여 CO, CO_2, H_2나 CH_4, C_2H_2, C_2H_4 등 低位의 炭化水素가스가 발생한다. 그 대부분은 절연유에 용해되기 때문에 油中溶存가스를 抽出하여 가스의 종류, 量, 組成을 조사함에 따라 異常의 유무, 종류, 程度 등을 診斷할 수 있다. 油中가스分析의 진단장치로서는 다음과 같은 것이 있다.

a. 水素가스 常時監視裝置 : 여러가지의 油中溶存가스 中에서 수소가스는 항상 발생하는 主成分이다. 이 수소가스만을 그림 2.19에 나타낸 바와 같이 자동검출장치에 의하여 常時監視하는데 따라 이상의 前兆를 포착하는 방법이 실용화되고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 油中의 수소가스는 透過膜을 통과하여 가스실로 들어가고, 양자의 수소가스농도는 평형상태가 된다. 따라서 수소센서로 가스실의 수소가스농도를 측정하면 油中의 수소가스를 알 수가 있다.

b. 多種類 가스自動分析裝置 : 그림 2.20의 構成圖와 같이 多成分油中診斷裝置가 개발되고 있다. 이 장치는 변압기본체에 부착되어 있는 가스分離部와 可搬式가스검출기 및 진단기에서 이루어지고 있는 分析의 간소화, 자동화, 신속화에 효과적인 진단시스템이다. 분석할 수 있는 가스는 CO, H_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6 등 9종류이다.

변성기의 수명은 氣密·油密部에 녹이 없이 양호하게 보존되면 변압기와 동등한 수명을 기대할 수 있다.

변성기의 수명결정요인을 정리해 보면 표 2.16과 같다. 여기에서 豫防保全的見地로 말하면 油密·氣密部가 양호한 상태를 확인하는 것이 중요하다.

<표 2.16> 油入變成器의 壽命決定要因

對象部位	壽命의 決定要因	診斷方法
氣密部	(1) 플랜지면의 녹(錄)에 의해서 내부로 물이 침입	• 육안체크
油密部	(2) 플랜지면의 가스킷열화로서 내부로 수분이 침입	• 絶緣抵抗測定
	(3) 가스킷의 열화로서 漏油	• 육안체크
放壓板	放壓板의 경년열화로서 내부에 수분이 침입	• 육안체크 • 絶緣抵抗測定
絶緣油	기밀부, 放壓板의 기밀부불량으로 절연유가 산화·흡수하며 열화	• 油檢査

변성기의 現地診斷을 氣密·油密部 및 放壓板 등의 육안검사와 수분침입의 정도를 확인하기 위한 절연저항측정이 효과적이다. 만일 기밀부의 발청狀況이 심한 경우나 油密部에서의 漏油 및 방압판, 유면계의 균열이 발견된 경우에는 신속히 油의 특성검사(全酸價, 수분량, 耐壓) 및 가스분석을 실시하는 것이 바람직하다. 필요에 따라 플랜지의 개방점검을 실시하는 것도 좋다.

이상으로 변압기·리액터·변성기의 진단기술을 소개하였다. 내부절연물의 經年劣化는 아주 적고 구조상 내부를 점검하는 것은 곤란하기 때문에 감시수법은 절연유의 유중가스분석이 주체가 된다. 최근에는 多成分의 유중溶存가스를 센싱할 수 있는 센서가 개발되고 있다. 또한, 내부방전감시장치도 개발되고 있으나 외부노이즈와의 밸브에 대한 문제가 있어 아직 일반화되지는 못하고 있다. 앞으로 새로운 감시·측정기술의 개발이 기대된다.