

# 電氣設備의 故障診斷

## 11. 變壓器의 故障診斷要領

### 1. 머리말

電力은 각종 산업이나 일상생활에서 필요 불가결의 것으로 되어 있다.

최근의 電力用 變壓器는 재료, 설계법, 제작기술 등의 진보로 신뢰도가 현저하게 높아졌다고 할 수 있지만 不可抗力에 의한 外的인 요인이나 사용방법, 운전보수의 여하에 따라서는 뜻하지 않은 사고가 발생하는 수가 있다. 變壓器는 受變電設備 중에서도 중요한 기기이며 한번 사고가 발생하면 復舊에 長時間을 요하며 그 미치는 영향이 크다.

전기설비의 保守, 保全에 종사하는 기술자로서 사고를 미연에 방지하는 것은 최대의 사명이며 만일 미연에 방지는 못하였더라도 事故의 初期段階에서 발견하여 사고의 확대를 최소한으로 억제하고 1분이라도 빠른 복구에 노력해야 된다. 이를 위해서는 일상적인 보수, 점검을 철저히 해야 되며 이것이 사고의 미연방지, 고장의 조기발견과 연결된다.

여기서는 油入風冷式의 일방적인 變壓器에 대하여 고장의 종류와 일상의 보수, 점검에서 발견할 수 있는 異常現象, 内部事故의 검출 및 진단법에 대하여 설명하기로 한다.

### 2. 變壓器의 故障의 原因과 種類

#### (1) 變壓器 故障의 原因

고장의 원인은 일반적으로 매우 복잡하고 분명하지 않은 경우가 많은데 그 原因을 찾는 것은 고장 대책상 반드시 필요하다. 고장원인을 분류하면 다음과 같다.

##### (a) 시방의 不備로 인한 것

- (i) 絶緣階級 선정의 미스
- (ii) 電壓, 탭의 不適
- (iii) 容量不足
- (iv) 주위조건 不適(塩害, 有害가스, 온도, 습

도)

(v) 불명확한 특수사용조건(가령 펄스 狀異常電壓이나 短絡頻度가 높다는 등)

##### (b) 製作의 不備에 의한 것

- (i) 재료의 不良(導電材料, 磁氣材料, 絶緣재료)
- (ii) 設計, 工作의 不良

##### (c) 設置, 保證護機器의 不備에 의한 것

- (i) 設置不良
- (ii) 피뢰기의 선정불량
- (iii) 보호계전기, 차단기의 불비
- (d) 運轉, 보수의 不備에 의한 것

##### (i) 절연유의 열화

- (ii) 과부하, 誤結線
- (iii) 外部導體 接續部의 이완, 발열
- (iv) 각종 부속품, 제전기 관계의 보수, 점검불비
- (e) 異常電壓에 의한 것
- (f) 自然劣化에 의한 것
- (g) 天災에 의한 것
- (h) 外的 物體에 의한 것

##### (2) 故障의 種類

고장의 종류에는 부속품(온도계, 油面計)의 不良에서 권선의 절연파괴에 이르기까지 多種多樣하다.

##### (a) 變壓器의 内部故障

- (i) 권선: 절연과괴, 단선, 변형
- (ii) 철심: 積層鋼板間의 절연불량, 접지불량, 철심판통 볼트의 절연과괴
- (iii) 内部 부착기구
- (iv) 탭 전환기, 口出線
- (v) 절연유 열화

##### (b) 變壓器의 外部故障

- (i) 외함: 용접부, 패킹 不良
- (ii) 탭 전환장치: 기계적 구동부분, 제어장치
- (iii) 냉각장치: 냉각선, 송유 펌프, 제어장치
- (iv) 부속품: 온도계, 부상, 油面計, 각종 제전기 또한 고장의 發生過程에 따라 분류하면

##### (c) 突發的으로 발생하는 故障

〈표 1〉 日常點檢에서 발견되는 異常과 原因, 그 對策

No.	異常現象	異常의 判定	推定 原因	對 策
1	溫 度	① 온도계의 지시치가 규격에 정해져 있는 허용한도를 초과하고 있을 때 (주 1)	① 과부하	• 부하의 저감 또는 油入變壓器 운전 지침의 한도로 부하를 조정한다 (주 2).
		② 許容限度内라도 부하율과 주위온도로 이루어 볼 때 異常值인 때 (주 1)	② 주위온도 (40℃ 초과)	• 부하의 저감 • 냉각팬의 설치 등으로 강제 냉각시킨다.
			③ 冷却팬, 送油펌프의 고장	• 부하의 저감 • 不良機의 수리, 교환
			④ 放熱器弁의 개방 방지	• “開”로 한다.
			⑤ 油漏洩로 인한 油不足	• 油量의 項 참조
			⑥ 온도계의 不良	• 2종의 온도계가 부착되어 있을 때에는 비교해 본다. 탱크벽에 棒狀 온도계를 부착하여 정상여부를 확인. • 不良品은 교체한다.
			⑦ 内部異常 ①~⑥의 해당사항이 없는 경우에는 내부고장으로 판단한다.	• 5, 6, 7로 진단한다.
2	音響振動	① 正常時の 勵磁音, 振動을 기억해 두고 그것과 다른 異常音, 이상진동이 있을 때 (가령 높은 勵磁音)	① 과전압, 주파수의 변동	• 受電電壓에 적합한 탭으로 전환
		② 탱크벽에 귀를 대 보면 内部異常음이 들릴 때	② 쇠임부의 이완	• 발생장소를 조사하여 죄인다.
			③ 接地不良, 또는 비접지 금속체에 의한 靜電放電	• 外部的의 접지를 조사하여 이상이 없으면 정전시키고 내부점검을 한다.
			④ 鐵心の 쇠임不良에 의한 不均열 등	• 들어올려 내부 점검
			⑤ 다이리스터 負荷에 의한 高調波 (位相制御 할 때)	• 정도에 따라 그대로 사용할 수 있는 것과 없는 것이 있으며 메이커와 상의한다. • 기본적으로는 변압기의 시방이 高調波를 고려한 것이어야 한다.
			⑥ 偏磁 (가령 直流偏磁)	• 편차가 생기지 않는 사용법으로 고친다. • 변압기의 시방을 偏磁를 고려한 것으로 變更한다.
			⑦ 냉각팬, 送油펌프의 베어링마모, 보운베어링의 不均열	• 진동상태, 전류치 등에 의하여 운전의 가부를 판단 • 新品과 교환, 수리 • 운전할 수 없을 때에는 負荷를 低減시킨다.
			⑧ 외함, 放熱器 부속품의 共振, 共鳴	• 쇠임부의 이완이 어떤 부하전류에서 共振하는 수가 있다. 더 죄어준다. • 주파수 변동에 의한 共振, 共鳴이 있다. 주파수체크
			⑨ 탭 전환기구의 異常	• 別項 탭 전환기의 고장진단 참조
	③ 코로나 發生音	① 磁器, 磁管표면의 진애, 塩分 부착에 의한 汚損	• 活線洗淨, 또는 停電시키고 洗淨,  청소	
3	냄새 變色	① 導電部 (부싱단자)의 과열에 의한 변색, 異臭	① 쇠임의 이완	• 더 죄어 준다.
		② 외함 각부의 국부과열에 의한 塗裝의 變色	②  접촉면의 酸化	• 접촉면을 닦는다.
		③ 異常臭氣	① 漏洩磁束 ② 渦狀電流	• 조속히 内部精密 점검을 한다.
		④ 온도상승 과대	① 냉각팬, 送油펌프 소손 ② 掃管 오손에 의한 코로나 발생으로 인한 오존 臭	• 新品과 교환 • 코로나 발생음의 項 참조
		⑤ 吸濕劑의 변색 (淡桃色으로 변화)	① 過負荷	• 부하의 저감
		① 吸濕	• 新品과 교체 또는 가열재생 (100~140℃)	

No.	異常現象	異常의 判定	推定原因	對策
4	油量 (油漏洩)	① 油面計의 指針이 정상위치에서 크게 저하	① 油漏洩 (弁類, 패킹, 용접 불량)	• 누설장소의 조사, 수리
			② 내부고장으로 인한 噴油	• 5, 6, 7로 진단
			③ 油面計의 不良 ①, ②의 不良이 아닌 때	• 신품과 교환 또는 수리
5	가스漏洩	① 油溫과 가스壓의 관계가 正常値보다 저하(주3)	① 각 패킹의 劣化 ② 피임부의 이완 ③ 용접부 불량	• 누설검사(비누물 방법)를 하여 수리한다.
6	異常가스	① 브프홀츠 계전기 가스室內의 가스의 有無 ② 브프홀츠 계전기 제 1 단 동작	① 有害코로나에 의한 절연물의 劣化 ② 철심의 異常 ③ 導電部の 局部過熱 ④ 誤動作	• 가스를 메고 분석한다. 표 4, 5참조 • 가스分析 결과에 따라서는 운전정지, 5, 6, 7에 의하여 진단한다.
7	塗裝 錆	塗膜의 균열, 부풀음, 剝離	차의선, 온도, 습도, 또한 酸, 塩을 포함한 분위기 등으로 인한 劣化	• 鏽, 塗料를 벗기고 청소하여 再塗裝한다.
8	呼吸量의 動作不量	• 油溫에 변화가 있어도 오일포트 내의 2室의 油面差가 생기지 않는 경우	변압기 측의 가스 누설	• 누설장소를 조사하여 수리.
9	磁器碍管 表面의 異常	磁器碍管 표면의 균열, 放電痕	外雷, 内雷 등에 의한 異常電壓	• 균열의 정도에 따라서는 부싱 교체 • 어레스터가 설치되어 있는 것은 일단 방전개시전압을 체크한다.
10	放壓裝置의 異常	① 放壓板의 균열, 파손	① 内部故障 { 브프홀츠 계전기, 압력계전기, 차동계전기 등의 동작이 있으면 내부고장으로 判斷해도 된다. }	• 이 경우에는 停電이 된다. 5, 6, 7로 진단
			② 呼吸不能에 의한 内壓上昇이나 放壓板의 劣化 { 放壓裝置間 동작하고 다른 이상이 없을 때 }	• 呼吸量의 구멍이 막힌 것을 고친다.

- (주 1) JEC-204 (1978) 「變壓器」에서는 변압기의 온도에 대하여 표 2와 같이 규정하고 있으며 주위온도 40℃ 인 때 절연유의 허용온도는 外氣와 직접 접촉되지 않을 때에는 95℃, 전속되고 있을 때에는 90℃로 되어 있다. 단, 일상의 운전에 있어서는 工場試驗의 결과 및 운전실적에서 부하상태와 주위온도를 고려하여 미리 正常値를 상정해 둔다.
- (주 2) 油入變壓器 運轉指針에 따른다.
- (주 3) 窒素封入式의 새로운 변압기에서 운전초기에는 봉입질소 가스가 油中에 용해되면 壓力이 低下되어 가스 漏洩과 혼동되는 수가 있다. 이 경우에는 질소 가스를 補充하고 상태를 관찰한다.

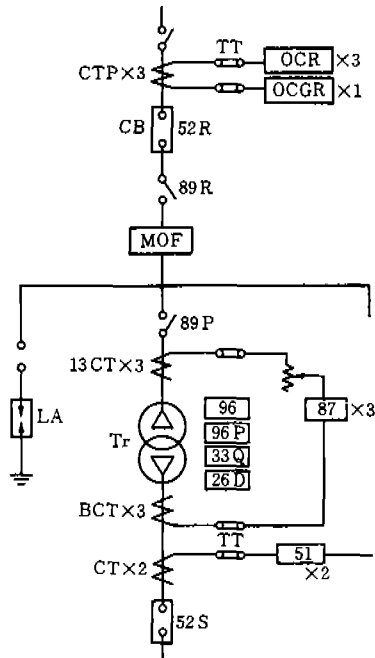
- (i) 異常電壓(外雷, 内雷)에 의한 절연파괴
- (ii) 外部 短絡事故에 의한 권선의 變形, 層間短絡
- (iii) 天災: 지진, 화재 등
- (iv) 補機電源의 停電
- (d) 經年的으로 서서히 故障으로 발전되어 가는 것
  - (i) 철심의 절연불량: 積層鋼板間의 절연불량, 철심관통 볼트의 절연불량
  - (ii) 外部短絡의 반복에 의한 권선의 變形
  - (iii) 過負荷 운전에 의한 절연열화
  - (iv) 吸濕, 코로나 발생으로 인한 절연물, 절연유의 열화

### 3. 日常點檢에서 발견되는 異常의 原因과 그 對策

플발적으로 발생하는 사고는 일반적으로 外的要因에 기인하는 경우가 많으며 예측할 수가 없는데 기타의 사고는 일상점검시에 충분히 주의를 하면 어떤 형태로든지 그 이상현상이 나타나며 초기단계에서 대책을 강구할 수 있는 경우가 많다. 여기서 日常點檢에서 발견되는 異常과 原因, 그 대책에 대하여 표 1에 종합했다.

### 4. 内部故障의 檢出

變壓器의 내부고장의 검출에는 각종의 보호계전



〈그림 1〉 변압기 보호 單線結線圖의 일례

기나 검출장치가 사용되고 있다.

기계적으로 검출하는 것으로는 브프홀츠 계전기, 압력계전기, 油流繼電器, 對壓裝置 등이 있으며 전기적으로 검출하는 것으로는 差動繼電器, 과전류계전기, 지락계전기 등이 있다. 이 기기의 동작요인(사고내용)과 용도를 종합하면 표 3 과 같다. 또한 변압기보호의 單線結線圖의 일례를 그림 1 에 들었다.

(1) 機械的 檢出法

(a) 브프홀츠 繼電器 이것은 콘서베이터가 부속된 변압기에 널리 채용되고 있는 계전기를 제 1

〈표 2〉 溫度에 관한 規定 (JEC-204)

溫度上昇限度 [°C]	捲線	油自然循環의 경우	55
	油	油強制순환의 경우	60
基準冷却溫度體의 [°C]	空氣	本體 탱크 내의 기름이 직접 外氣와 접촉하는 경우	50
		本體 탱크 내의 기름이 직접 外氣와 접촉하지 않는 경우 (註)	55
基準冷却溫度體의 [°C]	水	최고	40
		日間平均	35
		年間平均	20
		최고	25

(註) 開放形 콘서베이터가 있는 경우를 포함

단은 輕故障用이고 변압기내의 절연물, 有機質의 구조재료가 소손되거나 油의 熱分解에 의한 가스가 발생하여 가스室에 일정량 이상 채류되면 동작한다. 제 2 단 접점은 重故障用으로 변압기 내부의 절연 파괴, 단선 등에 의한 油中 아크 및 2 차적 열에 의하여 절연물이나 기름의 分解發生 가스가 생겨 변압기 內壓이 급격히 상승하여 콘서베이터에의 기름의 흐름이 급격해졌을 때에 동작한다.

브프홀츠 계전기의 특징은 권선사고 등의 큰사고를 제 2 段에서 검출하는 외에 접촉불량, 철심의 積層鋼板間의 절연불량, 油面의 低下 등 초기의 경미한 局部事故가 초기에 제 1 段에서 검출된다는 것이다.

또한 가스室에 채류된 가스의 양이나 성분에 따라 고장의 상황이나 정도를 어느 정도 상정할 수 있다. 발생 가스의 色別에 의한 推定故障를 표 4 에 들었다. 또한 발생 가스의 종류와 가스 발생속도와 고장내용의 관계를 표 5 에 들었다.

브프홀츠 계전기도 간혹 오동작을 하는 수가 있다. 제 1 段 誤動作의 원인에는 운전초기에 나타나

〈표 3〉 變壓器 保護繼電器

保護繼電器名稱		器具番號	檢出方法	動作要因 (事故內容)	用途
差動계전기		87	전기적	권선의 層間, 단자부의 단락에 의한 단락전류	트립용
過電流계전기		51	전기적	上記 外에 변압기의 外部短絡에 의한 단락전류, 과부하전류	트립용
地絡過電流계전기		51 G	전기적	변압기 외부의 지락전류, 권선과 鐵心間의 절연파괴에 의한 지락전류	트립용
브프홀츠 계전기		96	기계적	異常過熱 및 油中 아크에 의하여 발생하는 가스壓, 油流, 油面低下	제 1 단 경보용 제 2 단 트립용
衝擊壓力계전기		96 P	기계적	이상과열 및 油中 아크에 의하여 급격한 油壓, 가스壓 上昇	트립용
油面계전기 (接點附油面計)		33 Q	기계적	油漏洩에 의한 油面低下	경보용
溫度계전기 (接點附溫度計)		69 Q	기계적	油流의 정지	경보용
油流계전기		69 Q	기계적	油流의 정지	경보용
放壓裝置		96	기계적	異常過熱 및 油中 아크에 의한 內壓上昇으로 인한 噴出	경보용

〈표 4〉 發生가스의 色別에 의한 故障推定

發生가스의 色別	推定 故障 場所
회 색	油의 分解(油中 아아크)
황 색	支持木 木材의 손상
백 색	絶緣紙의 손상

는 吸藏 가스 放出 및 絶연유 중에 유해한 가스가 온도변화에 의하여 過飽和가 되어 이것이 氣室에 모이는 경우로서 제 2 단에 대한 오동작은 지진에 의한 진동 또는 送油 펌프 기동시의 油壓衝擊에 의한 것이다. 지진에 의한 오동작 방지에는 地震計를 제 2 단 접점에 직렬로 넣고 지진계도 동시에 동작한 경우에는 제 2 단의 트립 回路가 형성되지 않도록 되어 있다. 또한 送油 펌프 기동시의 오동작방지에는 送油 펌프 기동시 일시적으로 제 2 단 트립 회로를 록하는 방법이 있는데 특할 때에 사고가 발생하지 않는다는 보장이 없으므로 문제가 된다.

(b) 衝擊壓力繼電器, 油流繼電器 변압기의 내부사고는 반드시 분해가스의 발생을 수반하며 충격상의 이상압력 상승을 초래한다. 이 압력상승을 순

시에 검출하여 동작하는 것이 충격압력계전기로 油流繼電器는 壓力上昇에 의한 本體에서 콘서베이터로 향하는 油流速도가 일정치 이상이 되었을 때 동작한다. 이같은 계전기 동작과 변압기 고장과의 관계는 브프홀츠 계전기의 제 2 단 동작시와 대체로 같다.

(c) 放壓裝置 방압장치는 內壓이 일정한 값까지 상승했을 경우에 동작하여 內壓을 外部로 방출함으로써 외함이나 放熱器를 보호하는 장치이다.

동작과 변압기 사고와의 관계는 브프홀츠 계전기 제 2 段의 그것과 대체로 같다.

(2) 電氣的 檢出法

差動繼電器, 과전류계전기, 접지계전기 등은 그 동작과 변압기 내부고장과의 관계는 기계적 계전기와 같으며 이것을 전기적으로 검출하는 것으로서 捲線短絡事故, 接地事故에 대한 계전기이다.

대용량 변압기에서는 기계적 계전기와 전기적 계전기가 병용되는 수가 많다.

(a) 差動繼電器 차동단전기는 變壓器의 1 차측과 2 차측에 각각 변압기의 捲數比를 고려한 變流器를 설치하여 層間短絡등으로 발생하는 전류치

〈표 5〉 브프홀츠 繼電器의 動作과 事故의 推定

가스의 正體	事 故 의 推 定	動 作 理 由	動 作 種 類
가스 없음	다량의 금속이 260~400℃로 가열되었을 경우, 즉 접지사고, 短絡事故로 絶연물의 손상은 없는 경우	260~400℃에서의 油의 氣化	제 2 단 동작
空氣 또는 不活性가스뿐인 경우	변압기 외함, 배관, 브프홀츠 계전기 용기 등의 파손, 送油 펌프의 고장	기계적 고장으로 인한 누설 故障 大	제 1 단 동작으로 가스를 제거해도 즉시 반복동작 한다. A
		上 同 故障 中	가스를 제거해도 數分~數時間 內에 다시 반복동작한다. B
		上 同 故障 小	제 1 단동작으로 가스를 제거한 경우 정상을 長時間 유지한다. C
	上記의 미약한 경우 및 不完全한 油의 充填 브프홀츠 계전기 용기의 글라스의 파손	上 同 故障 僅小	제 1 단 동작 또는 브프홀츠 계전기에 다소 가스가 있다. D
水素뿐이고 일산화탄소가 없는 경우	국부적인 과전류에 의한 端子間 및 단자와 접지間의 內絡, 즉 固體 絶연물을 포함하지 않는다.	기름만의 熱分解 400℃ 이상	제 1 단동작
	上記에서 低電流인 경우, 즉 초기의 接觸不良, 鐵心 貫通孔部分의 소손, 리액터의 空腔의 가열, 철심의 접촉 불량 등		제 1 단 동작 A 또는 B
	上記와 같이 경미한 경우 및 高電界에 의한 油의 氣化		제 1 단동작 C
水素 및 一酸化炭素	국부적인 과전류에 의하여 固體 絶연물을 포함한 絶연사고, 즉 絶연도체와 접지間 短絡, 권선간 단락	油 및 固體 絶연물의 熱分解	제 1 단동작 A 또는 B
	上記에서 低電流의 경우, 즉 絶緣導體와 어스間의 低電流, 아크에 의한 絶연사고, 권선간의 高抵抗 短絡 및 鐵心の 소손, 접속부의 고장 등의 사고의 초기		
	上記의 극히 경미한 경우 및 絶緣物의 酸化		제 1 단동작 C

의 差로 동작하는 계전기이다. 따라서 운전중에 이

사고를 의미한다.

(b) 過電流繼電器 과전류계전기는 機器 또는 회로의 단락사고 또는 과부하에 대한 보호계전기이다. 外部 回路에 相間短絡의 이상이 없고 과부하도 아닌 경우에는 변압기의 내부단락을 예상해 본다.

(c) 地絡過電流繼電器 지락과전류 계전기는 변압기 외부의 지락이나 권선과 鐵心間的 절연파괴에 의한 지락전류에 의하여 동작하는 것이다.

(3) 기타의 檢出方法

油中 溶存 가스 분석의 결과에 의한 방법이나 溫度計의 異常指示에 의한 방법 또는 内部異常音에 의하여 검지하는 방법 등이 있다.

### 5. 内部故障의 診斷

보호계전기가 동작했을 때 또는 外觀狀態로 보아 내부에 이상이 있다고 인정될 때에는 우선 그때의 상황, 즉 噴油의 정도, 음향, 보호계전기의 동작상태, 부하상태, 계통의 실상 등을 조사하여 참고로 하는 동시에 外部에서 전기적 시험, 油中 가스 분석, 절연시험, 절연유시험 등으로 종합적인 진단을 하여 고장장소, 고장의 정도를 어느 정도 예측하는 것은 고장의 점검, 수리, 복구를 스프스하게 하는데 극히 중요하다.

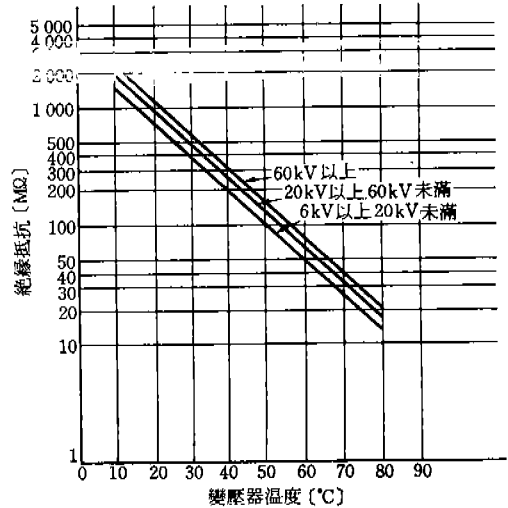
(1) 電氣的 試驗에 의한 捲線故障의 診斷

(a) 絶緣抵抗 測定 접지계전기의 동작에 의하여 접지가 되고 있는지 여부가 명확한 경우도 있는데 變壓器 端子를 母線에서 切離시키고 각 권선의 對地間 및 권선간의 절연저항을 측정하여 이에 의하여 主絶緣의 파괴여부의 판정을 할 수 있다. 접지 또는 권선간의 混觸이 되어 있으면 절연저항은 0 Ω 이 된다. 정상적인 변압기의 허용절연저항치의 기준을 그림 2 에 들었다. 또한 측정시의 접속을 그림 3 에 들었다.

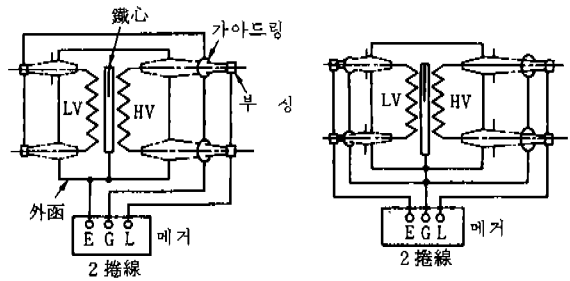
(b) 捲線の 導通, 捲線抵抗의 測定 권선의 도통을 체크하여 간단하게 단선의 유무를 확인할 수가 있다. 단, 권선이 병렬로 접속되어 있거나 3相 變壓器로 3각(Δ) 결선인 경우 그 저항치를 측정하지 않으면 단선의 유무는 확인할 수 없다. 또한 저항측정에서는 단선의 판정에 層間短絡의 판정도 할 수 있다.

변압기의 저압측의 저항은 매우 작고 또한 현장에서 측정은 대체로 오차가 크며 적절한 판정자료로 하기가 곤란한 경우가 있다.

(c) 電壓比의 測定 層間短絡 또는 捲線間 短絡을 판정하기 위해 200V 정도의 전원으로 電壓比를



〈그림 2〉 변압기 절연저항 許容值



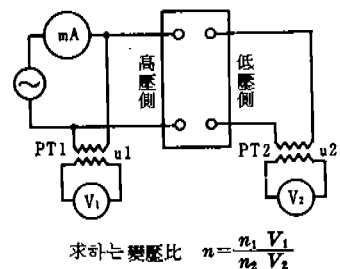
(a) HV-E 의 경우 LV-E도 同一 (b) HV-LV 의 경우

〈그림 3〉 절연저항 측정 接續圖

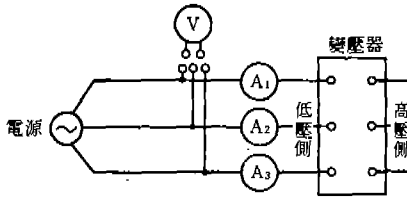
조사하는 것은 효과적이다.

현에서의 측정은 전원전압의 변동등으로 誤差가 크는데 유의한다. 한편 入力側에 電流計(밀리언 미터)를 접속해 두면 단락유무의 판정에 도움이 된다. 그림 4 에 측정회로의 일례를 들었다. 단락이 없는 경우의 電流値는 변압기의 전압, 용량 등에 의하여 다른데 통상數 10mA 이다.

(d) 勵磁電流의 測定 定格電壓의 1/10~1/3 정도의 전압을 印加하여 여자전류를 測定하고 이것

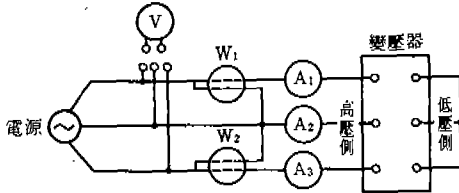


〈그림 4〉 電壓比 측정 接續圖



必要에 따라 CT · PT를 挿入한다.

〈그림 5〉 勵磁電流 측정회로도

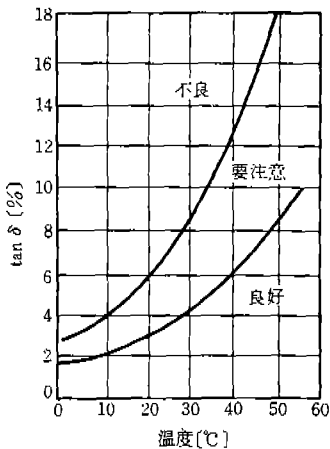


必要에 따라 CT · PT를 挿入한다.

〈그림 6〉 임피던스 測定回路圖

이 공장시험의 勵磁特性의 電壓-電流曲線에 있는지 여부를 조사한다. 인가전압을 변화시켜 數點의 여자전류를 측정하는 것이 좋다. 만일 여자전류가 대폭적으로 增加되고 있으면 권선의 층간단락의 발생을 생각할 수 있다. 측정접속도의 일례를 그림 5에 들었다.

(e) 임피던스 電壓의 測定 변압기 내부 또는 외부의 단락사고에 의한 단락전류의 반복에 의하여 권선이 變形되는 수가 있다. 이 경우 각 권선간의 상호의 위치관계가 변화하여 變壓器의 임피던스에 변화를 가져 오므로 이것을 측정하여 공장의 시험 데이터와 비교한다. 현지에서는 電源容量의 관계로 정격전류를 흐르게 하고 측정하기가 곤란한데 低電壓, 小容量電源에서도 상당한 精度로 측정



〈그림 7〉 변압기의 tan δ에 의한 劣化 判定基準

할 수 있다. 측정회로도 of 일례를 그림 6에 들었다.

(f) 誘電正接 ( $\tan \delta$ ) 試驗 (2)의 (b) 참조.

### (2) 絶緣劣化의 診斷

變壓器는 장기간 사용하면 사용되고 있는 有機絶緣材料에 열화현상이 나타난다. 이것은 熱에 의한 열화가 주요원인이다. 변압기의 절연열화의 판정은 일반적으로

- (i) 絶緣抵抗의 측정
- (ii) 誘電正接 ( $\tan \delta$ )의 측정
- (iii) 吸收電流의 측정

등이 실시된다.

(a) 絶緣抵抗 測定 절연열화 진단의 하나로서 절연저항의 측정을 한다. 그러나 이것은 열화의 경향을 파악하는 하나의 要素는 되어도 저항치 그 자체를 판단할 수는 없다. 그러나 절연저항은 吸濕에 매우 민감하므로 절연물의 吸濕의 정도를 아는 기준이 되며 그 허용치는 그림 2와 같다.

(b) 誘電正接 ( $\tan \delta$ )의 測定 誘電正電 ( $\tan \delta$ )의 값은 전반적인 절연물의 흡습의 정도 劣化度를 판정하는데 효과적이다.  $\tan \delta$ 의 값은 기기의 절연 구성에 따라 다르며 어떤 절연구성에서는 吸濕度, 溫度, 電壓에 따라 변화한다.

일반적으로 절연이 吸濕되거나 온도가 높아지면  $\tan \delta$  값은 높아진다. 또한 印加電壓이 높아지면  $\tan \delta$  값이 높아지는데 이것은 코로나放電에 기인하는 것으로 油入變壓器의 경우 定格電壓 이하의 전압에서의 변화는 적다. 유입변압기의  $\tan \delta$ 에 의한 흡습도, 절연열화의 판정기준으로서 Gross 씨의 제안에 의한 그림 7이 일반적으로 사용되고 있다. 주의를 요하는 영역의 것은 良好한 것에 대하여 어느 정도 吸濕되어 있는데 그대로 사용해도 지장이 없다. 不良領域의 것은 더욱 흡습도가 높은 것으로 기름의 교체, 권선의 건조를 해야 된다.

$\tan \delta$ 의 측정에는 簡易形 세링브리지,  $\tan \delta$ 計 등이 있다.

(e) 吸收電流의 測定 직류고전압을 인가하여 전류 때 시간의 관계를 측정하여 절연상태를 판정하는 방법으로 新品納入時의 값과의 비교에 의하여 판정하는 것이다. 絶緣劣化가 진행됨에 따라 흡수전류는 증가되어 간다. 측정은 일반적으로 초절연 저항계가 사용되는데 誘導에 주의를 요한다.

### (3) 絶緣油의 劣化診斷

절연유는 철심과 권선, 권선 상호간, 충전부 접지간의 절연을 유지하며 철심 및 권선 내 등에 발생한 熱을 放散하기 위한 冷却媒體라는 두가지의 중요한 사명을 가지고 있다. 어느 기능이 저하되어도 이에 기인하여 발생하는 사고는 절연과피나 소손이라는 중대한 사고도 발전할 위험성이 있다. 따

라서 절연유의 열화를 진단하는 것도 豫防的인 고장진단으로서 의의가 크다고 하겠다.

#### (4) 油中 가스 分析

운전중의 변압기의 사고를 미연에 방지하기 위해 機器 내부의 이상정후의 조기발견 및 사고시의 기기의 내부상태의 신속한 파악을 목적으로 하여 油中 가스 분석이 최근 주목되고 있다.

#### (5) 内部點檢에 의한 診斷

外部에서의 진단에 의하여 변압기 내부의 고장부분 또는 열화부분의 추정이 된 경우에는 그 확인을 위해 내부점검을 한다. 中小形 變壓器인 경우에는 일반적으로 내부를 용이하게 들어 올릴 수 있는 구조로 되어 있으므로 들어 올려 세부에 걸쳐 點檢할 수가 있다. 大形 變壓器로 현지에 설비되어 있는 것으로 들어 올릴 수가 없는 경우에는 기름을 필요한 만큼 빼고 맨홀에서 내부로 들어가 점검을 한다. 點檢은 하루에 끝나도록 미리 충분히 준비하여 내부를 공기 속에 방치하는 시간을 짧게 하며 2일 간에 걸쳐 되는 경우에는 야간에는 捲線을 油中으로 되돌려 놓고 吸濕을 피하도록 주의해야 된다.

내부 점검시의 주의사항은 다음과 같다.

##### (a) 捲線關係

- (i) 권선, 절연물의 손상의 유무
- (ii) 코일의 변형, 균열의 유무
- (iii) 코일의 삽입, 볼트 죄임부의 이완 유무
- (iv) 放電痕의 유무

##### (b) 鐵心관계

- (i) 철심 죄임 볼트의 절연저항의 측정
- (ii) 철심의 접지는 완전한지 여부
- (iii) 철심의 정확한 위치, 變形의 유무
- (iv) 철심의 過熱 흔적의 유무

##### (c) 기 타

- (i) 탭 전환기 接觸部의 放電, 과열흔적의 유무
- (ii) 절연물의 변색, 炭化의 유무
- (iii) 銅粉, 鐵粉, 기타 異物의 유무
- (iv) 磁化銅, 磁化銀의 生成의 유무

## 6. 絶緣油劣化의 診斷

### (1) 絶緣油의 劣化

절연유의 열화는 空氣中の 水分의 흡수나 불순물의 흡입에도 기인되는데 최대의 요인은 절연유가 高温에서 공기와 접촉하여 발생하는 酸化現象이다. 이 산화는 변압기의 온도상승, 銅, 鐵 등의 금속의 접촉작용, 절연 와니스의 용출 등에 의하여 더욱 촉진된다. 이 산화가 더욱 진행되면 分解重合 등의 化學反應이 생겨 기름에는 잘 녹지 않는(슬러지라

고 한다) 물질을 생성하여 이것이 鐵心이나 권선, 放熱器 등에 沈積 부착하여 냉각을 방해하여 절연 열화에 크게 영향을 미친다.

### (2) 絶緣油의 劣化判定

절연유의 열화판정법으로서 일반적으로 측정이 간단한 절연파괴전압의 측정이 실시되는데 酸化度, 固有抵抗,  $\tan \delta$ , 界面張力 등을 측정하여 종합적으로 劣化度를 판정하도록 한다.

(a) 酸化의 測定 酸化 0.2mg KOH/g 정도까지는 슬러지의 발생은 거의 없으며 점차 진행하여 0.4 mg KOH/g 정도가 되면 슬러지의 발생이 시작되며 그 이상이 되면 급속히 진행된다.

절연유의 재생 또는 새로운 기름과 교환하는 기준은 表 6 과 같이 하며 0.5mg KOH/g를 초과하는 경우에는 조속히 재생 또는 교체를 해야 된다.

(b) 固有抵抗의 測定 절연유의 고유저항은 변압기의 절연에 직접적으로 관계가 되며 변압기의 절연저항치에 크게 영향을 미친다. 그림 8 에 절연유의 酸化와 고유저항과의 관계의 일례를 들었다. 또한 表 7 에 절연유 중 水分과 固有抵抗의 判定基準

〈표 6〉 絶緣油 酸化의 判定基準

判 定	酸價(mg KOH/g)
良 好	0.2 미만
要 注 意(가급적 재생 또는 교체한다)	0.2~0.5
不 良(조속히 재생 또는 교체한다)	0.5 초과

〈표 7〉 絶緣油中 水分과 絶緣油 固有抵抗의 判定基準

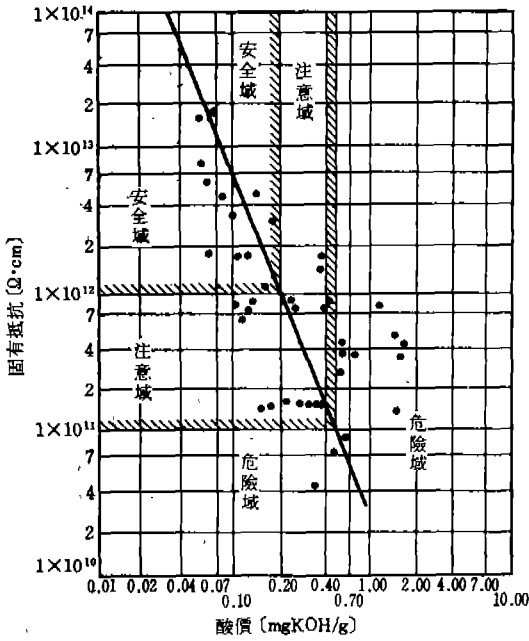
項目	判 定	
	油中水分量 (ppm)	固有抵抗値( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
良 好	35 이하	$1 \times 10^{12}$ 초과
要 注 意	35~50	$1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12}$
不 良	50 이상	$1 \times 10^{11}$ 미만

을 들었다.

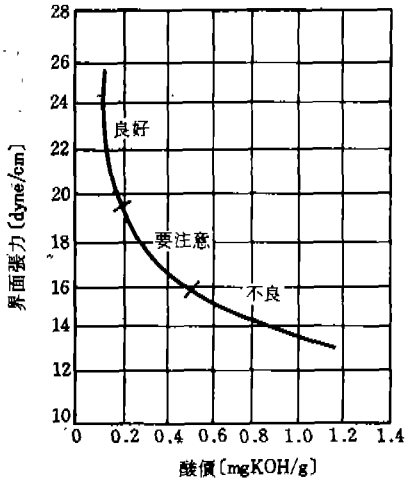
(c) 界面張力の 測定 절연유의 열화정도를 본질적으로 조사하는 방법으로서 界面張力の 측정을 실시한다. 酸化의 초기에 계면장력의 저하가 현저하고 산화가 진행됨에 따라 더욱 저하한다. 그림 9 에 계면장력과 산화 관계의 일례를 들고 表 8 에 그 판정기준을 들었다. 이 측정은 슬러지의 발생에 예민한 반응을 나타내므로 劣化判定에는 가장 적합한 방법인데 측정이 약간 어렵다.

(d) 絶緣油 破壞電壓의 測定 절연유의 파괴전압의 저하는 직접 변압기의 耐電壓의 저하로 나타난다. KS C 2301(電氣絶緣油)에서는 절연 파괴전압치는 30kV 이상으로 되어 있는데 새 기름인 경우 보통 50kV 이상이며 처리, 보수를 충분히 하면 40~50kV 정도로 유지할 수가 있다. 電壓이 높은 변





〈그림 8〉 절연유의 酸價와 固有抵抗 관계의 일례



〈그림 9〉 절연유의 酸價와 界面張力과의 관계

〈표 8〉 絶縁油 界面張力の 判定基準

判 定	界面張力(dyne/cm)
良 好	19 초과
要注意(슬러지가析出되는 수가 있다)	16~19
不 良(반드시 슬러지가析出된다)	16 미만

〈표 9〉 絶縁油 絶縁破壊電壓의 判定基準

判 定	絶縁破壊電壓 [kV]
良 好	30 초과
要 注 意	30~25
不 良	25 미만

압기일수록 절연유의 耐電壓을 크게 유지해야 된다. 파괴전압치는 油中の 水分 및 불순물의 존재에 의하여 크게 좌우되므로 절연 파괴전압치만으로 열화의 판정을 하는 것은 곤란한데 표 9에 그 판정기준을 들었다.

## 7. 絶縁油中 가스 分析에 의한 異常 診断

변압기 내부에서 고장이 발생하여 국부적인 이상 과열이 생기면 기름이나 絶縁紙 등의 절연물이 열에 의하여 劣化, 分解되어 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>나 低分子 量の 炭化水素를 발생한다. 이같은 가스는 절연유에의 飽和溶解度가 크고 상당한 量이 絶縁油中에 용해된다. 油中 가스 分析에 의한 異常診断은 이같이 용해된 가스를 質量分析器나 가스크로메트 그래프 등으로 분석하여 가스 成分이나 발생량, 經年的 變化 등의 조사를 하여 고장의 종류, 장소, 정도 등을 판정하는 것이다.

이 방법은 전기적 시험으로 판정이 곤란한 輕故障, 鐵心局部事故 등의 판정에 유효하며 완만하게 진행되는 사고도 초기단계에서 발견할 수 있다는 특징이 있다. 그러나 절연과파 등의 돌발적인 사고를 사전에 판정하는 것은 현시점에서는 곤란하다.

### (1) 油中 가스 分析의 方法

油中 가스 분석의 방법은 다음과 같은 순서로 실시한다.

(i) 절연유의 채취: 변압기의 下部 排油弁에서 채유하는데 採油時에는 가급적 기름이 공기와 접촉하지 않도록 배려한다.

(ii) 용存 가스의 抽出: 테프러폼트식, 트리체리眞空式 등이 일반적으로 채용되고 있다.

(iii) 용存 가스의 分析: 가스크로메트 그래프가 일반적으로 채용되고 있다.

(iv) 異常의 판단과 진단:

○判定: 변압기 내부이상의 유무를 판단한다.

○診断: 변압기 내부이상의 종류, 장소, 정도를 추정한다.

### (2) 分析對象 가스

변압기 내부사고로 가스가 발생하는 要因은

(i) 절연유의 과열

(ii) 油中 아크 分解

(iii) 固體 절연물의 과열

(iv) 고체 절연물의 아크 分解

등을 생각할 수 있다. 일반적으로 이같은 異常現象에 의한 발생가스는 표 10과 같다.

變壓器의 油中 가스 分析은 일반적으로 다음의 9종류의 가스가 대상으로 되어 있다. 즉 O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>이며 주로

〈표 10〉 異常의 종류와 發生 가스의 成分

異常의 종류 가스의 종류	絶緣유의 過熱	固體絶緣물 過熱	油中아아크 分解	固體絶緣물 아아크分解
수 소 ( $H_2$ )	○	○	◎	◎
메 탄 ( $CH_4$ )	◎	◎	○	○
에 탄 ( $C_2H_6$ )	○	○	-	-
에틸렌 ( $C_2H_4$ )	◎	◎	○	○
아세틸렌 ( $C_2H_2$ )	-	-	◎	◎
프로피렌 ( $C_3H_6$ )	◎	○	○	○
프로판 ( $C_3H_8$ )	○	○	-	-
일산화탄소 (CO)	-	◎	-	◎
탄산가스 ( $CO_2$ )	-	◎	-	◎

(註) ◎ 표는 그 異常에 대한 特征적인 발생 가스를 표시

正常, 異常을 判定하는 성분으로서  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ 의 可燃性 가스가, 또한 絶緣물의 劣化를 判定하는 성분으로서 CO,  $CO_2$ ,  $CH_4$ 가 사용된다.

(3) 異常의 判定

異常判定은 가스 分析結果에서 변압기 내부의 이상의 유무를 判定하는 것이며 그 일반적인 방법으로는

- (i) 可燃性 가스의 발생총량에 의한 判定
- (ii) 각 가연성 가스 성분량에 의한 判定
- (iii) 가연성 가스의 增加速度에 의한 判定
- (iv) 가연성 가스 成分 패턴 변화에 의한 判定

등이 있다. (i), (ii)는 어떤 한 점에서의 측정 데이터로 判定할 수 있는데 (iii), (iv)의 경우는 측정데이터의 經年變化에서 判定하는 것으로 과거의 累積 데이터가 필요하다.

〈표 11〉 可燃性 가스量에 의한 異常判定基準

項目	判定	要注意	異常
가연성 가스 總 量	10MVA 이하 10MVA 초과	1,000 ppm 이상 700 ppm 이상	2,000 ppm 이상 1,400 ppm 이상
가연성가스총량 增加 傾向	10MVA 이하 10MVA 초과	350 ppm/年 250 ppm/年	100 ppm/年 70 ppm/年
아 세틸렌 ( $C_2H_2$ ) 가스	-	-	미량이라도 검출되었을 때

(註) 가연성 가스란  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ , CO를 포함한다.

異常의 判定基準은 변압기 각각이 電壓, 용량, 油劣化防止方式, 운전경력에서 서로 다르고 해당 변압기의 가스 분석결과에서 어떻게 判定하는지에 대한 것은 매우 어려운 문제로 현재 油中 가스 分析 결과의 수치적인 判定기준은 아직 명확한 것이 발표된 것이 없는데 判定기준의 일반적인 기준으로서 표 11의 적용이 가능하다. 要注意基準 미만은

異常이 없는 것이고 要注意基準 이상~異常基準 미만의 경우는 주의를 요한다.

$C_2H_2$ 의 발생은 아아크 등 매우 高温의 異常部가 있는 것으로 생각되며 사고의 진전이 빠른 것으로 判定되므로 조속히 다른 진단방법도 포함하여 내부 진단을 해야 된다.

要注意의 경우에는 가스 分析에 의한 추적조사, 기타의 방법으로 내부 이상의 조사를 한다.

(4) 異常의 診斷

油中 가스 分析의 결과에서 변압기 내부의 異常의 종류(아아크 放電, 過熱, 部分放電), 양상을 추정하는 방법으로서

- (i) 生成 가스의 종류에 중점을 둔 방법

예 : LCIE 法

- (ii) 각 成分, 가스量的 比에서 추정하는 방법

예 : 가스패턴法, IEC 法, Rogers 法 등

- (iii) 특정 가스에 의한 방법

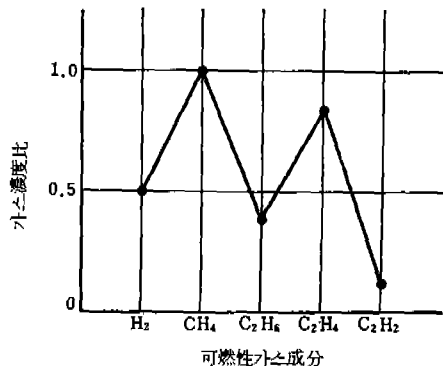
등이 있는데 여기서는 가스패턴法, IEC 法, 특정 가스에 의한 방법의 일반적인 것에 대하여 극히 간단히 설명한다.

(a) 가스패턴에 의한 診斷法 가스패턴에 의한 진단법은 橫軸에 가연성 가스,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ 의 成分 가스를 縱軸에 각 성분가스의 濃度化(최대의 것을 1로 한다)를 플롯트하여 가스패턴을 그리고 그 形狀에 따라 異常의 내용을 진단하는 것이다. 가스패턴圖의 일례를 그림 10에 들었다.

가스패턴에 의한 진단기준도 아직 오오도라이즈된 것은 없는데 일반적으로 가스패턴의 특징과 내부사고와의 관계는 표 12와 같다. 모두가 현상에서는 가스패턴에 의하여 정기적인 현상판단은 할 수 있어도 사고의 양상을 상세히 判定하는 것은 곤란하다.

- (b) 特定 가스에 의한 診斷法

- (i) CO,  $CO_2$ 가스에 의한 진단 絶緣油中의 고체



(그림 10) 가스패턴(接觸不良으로 인한 過熱例)