

電氣設備의 트러블 對策

12

제 5 장 릴레이 動作으로 트러블 推定

II. 變壓器의 트러블 推定

受電用變電所에서의 電力用變壓器는 특별고압 등의 고전압으로 受電한 전기를 강압하여 배전하기 위한 중요한 기기이다. 이 때문에 운전상태는 항상 감시되고 일단 이상이 발생했을 경우는 보호 릴레이의 동작에 의해 迅速하게 電力系統에서 분리하는 등의 처치를 하고 있다. 이 경우에 보호 릴레이의 應動結果로 변압기에 있어서 이상의 양상을 推定하기 위해 變壓器의 이상내용과 보호 릴레이의 동작에 대하여 설명한다.

1. 變壓器 故障의 種類와 그 處置

電力用變壓器의 고장은 다음의 2種類로 크게 구별하여 생각할 수 있다.

(i) 지속적 過負荷 등에 의한 過熱

(ii) 內部 또는 부싱에 발생하는 故障

이중 (i)는 過負荷 때문에 변압기내부에 과열을 발생하거나 혹은 철심의 조임 볼트가 풀리거나 하여 어느 한 부분에 철손이 증가하여 過熱하기 때문에 絶緣物이나 絶緣油가 열화하여 절연내력이 低下되고 드디어 絶緣破壞되는 것이다.

그러나 이 過熱故障는 통상의 운전온도에서 위험한 온도로 되기까지는 상당히 긴 시간을 요하

므로 일반적으로 監視者가 注意하고 있다면 적당한 措置를 취할 수 있다. 따라서 保護方式은 계전기에 의하여 즉시 變壓器를 회로에서 분리하는 것보다도 유증가스 분석에 의한 定期的 管理나 部分放電測定 등을 실시하여 좋지 않은 상태의 위치, 정도를 평가하고 또 온도계전기에 의하여 警報가 나게 하고 運轉者에게 적절한 處置를 행하게 하는 것이 보통이다.

다음에 (ii)의 내부 또는 부싱(Bushing)에 발생하는 故障은 천둥 또는 단락전류에 의한 機械的 衝擊 또는 진동에 의한 絶緣破壞, 過負荷狀態의 계속 혹은 급격한 과열이나 냉각에 의한 絶緣物의 열화 등에 기인하여 발생하고 어느것이나 급격하게 발전하여 絶緣油의 인화나 계통의 安全運用을 위협할 염려가 있으므로 가능한 한 신속하게 回路에서 自動遮斷하여야 한다.

變壓器 內部에 발생하는 고장은 권선에 관한 絶緣破壞에 의한 것이지만 그 형태는 다음과 같은 것이다.

(i) 권선의 단락 혹은 層間短絡

(ii) 권선과 철심간의 絶緣破壞에 의한 地絡

(iii) 高低壓捲線의 혼축

(iv) 斷線

이중 가장 많은 것은 (i)이다.

2. 變壓器의 保護

變壓器에 고장이 발생했을 경우 이것을 검출하고 警報를 발하도록 표시를 한다. 혹은 電力系統에서 自動的으로 분리하는 처치를 하기 위한 保護裝置에는 다음과 같은 전기식 保護계전기 및 機械式 保護裝置가 사용되고 있다.

가. 電氣式 保護繼電器

- (i) 比率差動계전기
- (ii) 過電流계전기
- (iii) 地絡過電流계전기
- (iv) 地絡過電壓계전기
- (v) 方向地絡계전기

나. 機械式 保護裝置

- (i) 부포홀츠 繼電器와 피트 繼電器
- (ii) 충격압력계전기
- (iii) 避壓밸브
- (iv) 捲線온도계

3. 電氣式 保護 繼電器

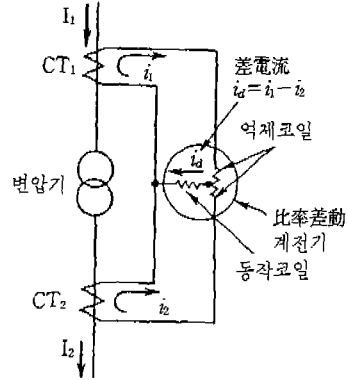
가. 變壓器捲線의 短絡保護

變壓器捲線의 단락고장을 전기적으로 保護하는 방법으로서 용량이 작은 경우에는 過電流繼電器가 이용되는 것 뿐이지만 용량이 커지면 內部故障를 확실히 검출할 수 있는 比率差動繼電器가 이용된다.

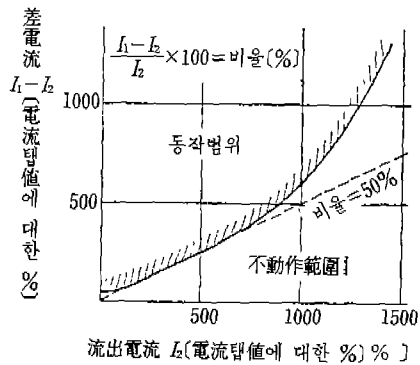
(1) 比率差動繼電方式

비율차동계전기를 그림 1과 같이 보호하려고 하는 變壓器의 1차측 변류기 CT₁과 2차측 변류기 CT₂에 접속하고 繼電器의 동작코일에는 그 差電流가 繼電器의 억제코일에 통과전류가 흐르게 한 것이다. 즉 外部事故 등의 과대전류가 통과할 때 큰 差電流가 동작코일에 흐르지 않으면 繼電器는

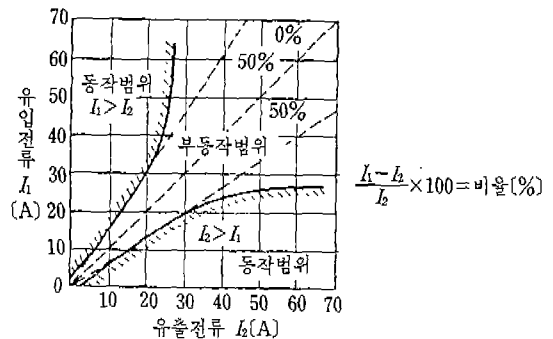
동작하지 않고 또 通過電流가 작은 때는 작은 差電流만으로 동작하게 되어 있어 繼電器가 동작하는 差電流值와 통과전류치가 거의 일정한 비율로



<그림 1> 比率差動繼電方式



<그림 2> 比率差動特性(1)



<그림 3> 比率差動特性(2)

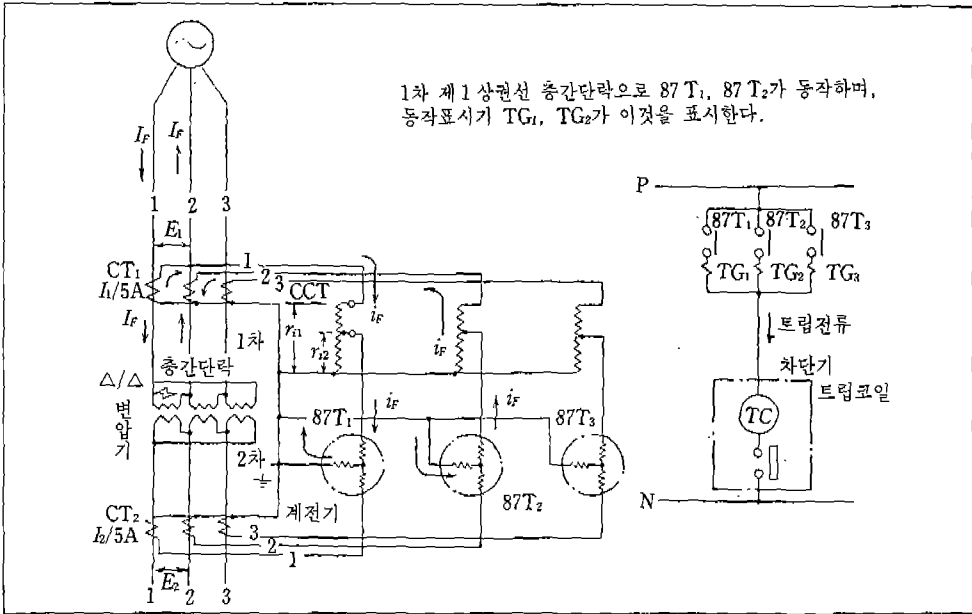
관계하는 것으로 比率差動繼電器라고 부른다.

그림 2에 比率差動特性的 한 예를 나타낸다. 여기서 比率는 (流入電流 I_1) > (流出電流 I_2)로 한 경우

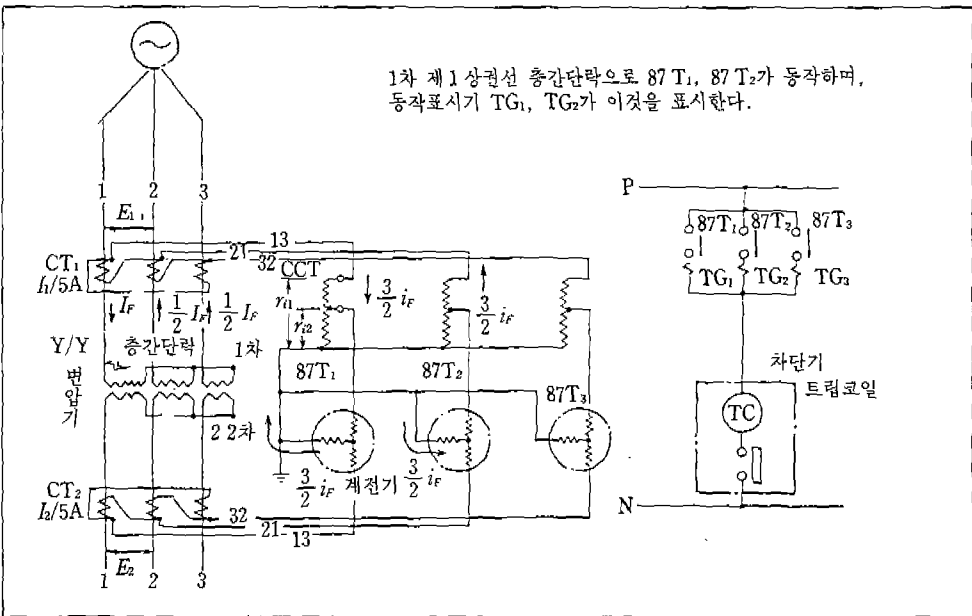
$$\text{비율}(\%) = \frac{(\text{유입전류 } I_1) - (\text{유출전류 } I_2)}{\text{유출전류 } I_2} \times 100$$

으로 표시된다.

그림 3은 流入電流 I_1 과 流出電流 I_2 를 기준으로 표현한 경우의 比率差動特性이다. 변압기의 결선에는 Δ - Δ 結線, Y-Y結線, Δ -Y結線, Y- Δ 結線 등의 종류가 있고 각각의 結線에서 捲



<그림 4> 變壓器의 結線이 Δ - Δ 인 경우

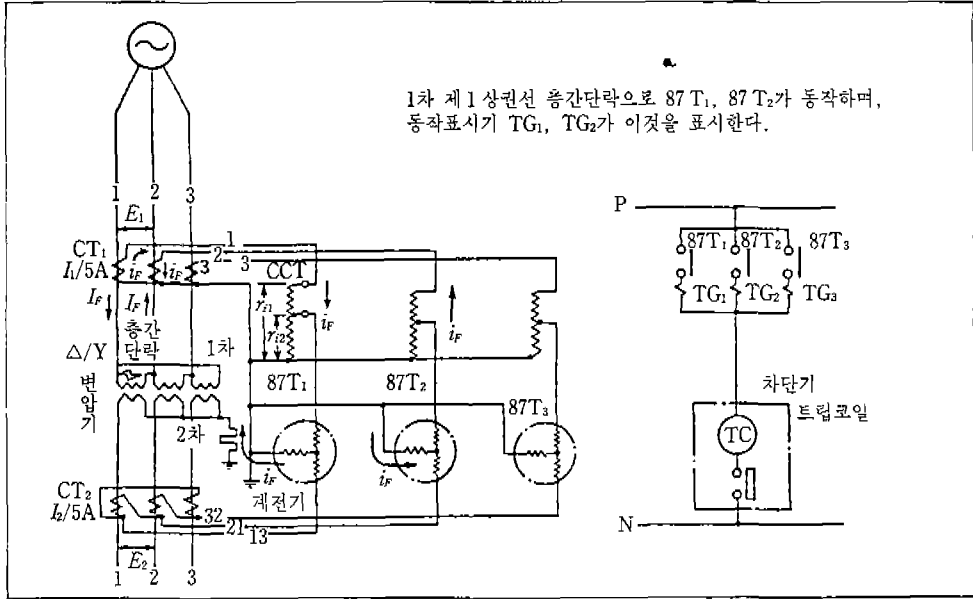


<그림 5> 變壓器의 結線이 Y-Y인 경우

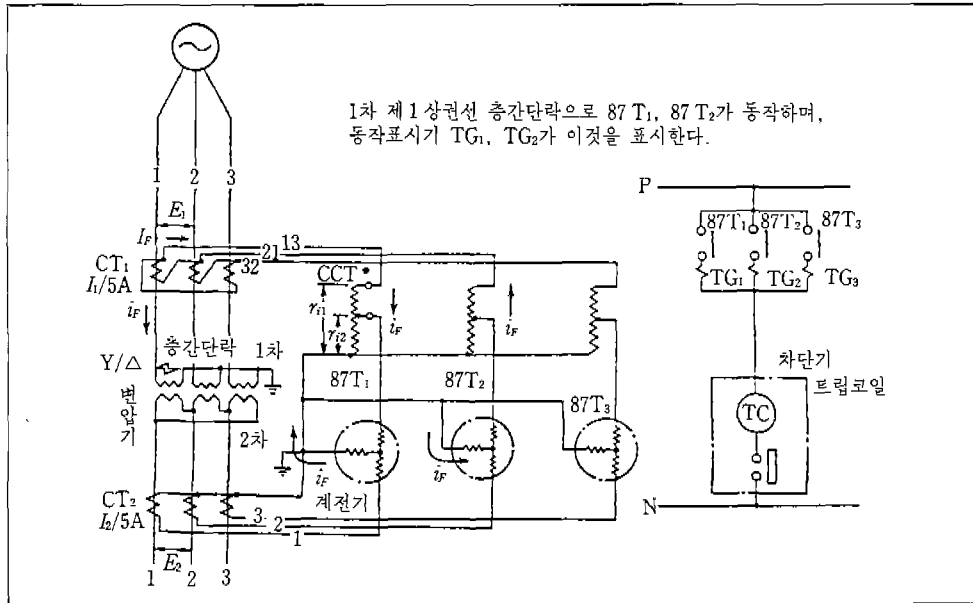
선에 지락고장이 발생한 경우 릴레이 應動의 한 예를 그림 4~7에 나타낸다.

그림 4의 예에서는 $\Delta-\Delta$ 結線의 1차 제 1상권 선충간 단락이 발생한 경우의 예로 故障電流 I_F 가

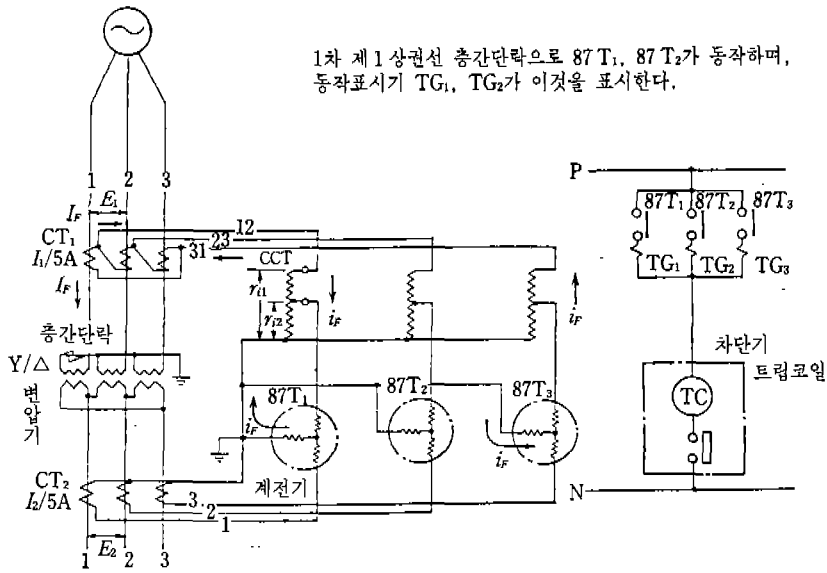
CT₁ 2차측에 i_F 를 흐르게 하고 比率差動繼電器 3개중 87T₁(電流差動繼電器)과 87T₂ 2개가 동작하고 차단기의 트립코일에 自動遮斷指令을 주고 변압기를 회로에서 떼낸다. 87T₁과 87T₂의 접점에



<그림 6> 變壓器의 結線이 $\Delta-Y$ 인 경우



<그림 7> 變壓器의 結線이 $Y-\Delta$ (Δ 側 30° 進前)인 경우



1차 제1상권선 층간단락으로 87T₁, 87T₂가 동작하며, 동작표시기 TG₁, TG₂가 이것을 표시한다.

<그림 8> 변압器的 結線이 Y-Δ(Δ 30° 遲延)인 경우

직렬로 접속하는 繼電器의 동작표시기 TG가 이것을 표시한다. 결국 87T₁과 87T₂의 동작표시기에서 變壓器의 제1상권선층 사이에 단락고장이 발생한 것을 추정할 수 있다.

그림 5의 예에서는 Y-Y結線의 1차 제1상권선층간의 短絡故障가 발생한 경우의 예로 故障電流 I_F에 의해 비율차동계전기 3개중 87T₁과 87T₂ 2개가 작동한다.

그림 6의 예에서는 Δ-Y結線의 1차 제1상권선간층간 단락고장이 발생한 경우의 예로 故障電流 I_F에 의해 比率差動繼電器 3개 중 87T₁과 87

T₂ 2개가 작동한다.

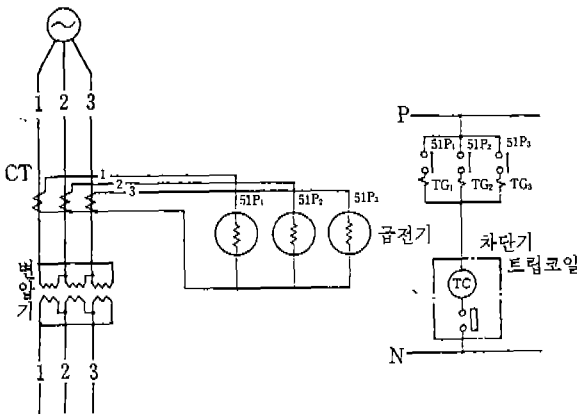
그림 7의 예에서는 Y-Δ結線에서 Δ측이 30° 진행한 경우에 1차 제1상권선층간 단락고장이 발생한 경우의 예로 故障電流 I_F에 의해 比率差動繼電器 3개 중 87T₁과 87T₂ 2개가 작동한다.

Δ結線에는 그림 8의 예 Δ측이 30° 늦어진 경우의 1차 제1상권선층간 단락이 발생한 경우의 예로 比率差動繼電器 3개 중 87T₁과 87T₃ 2개가 동작한다.

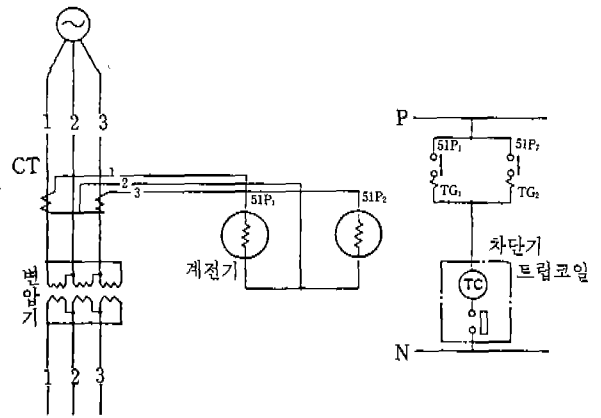
표 1은 故障形態와 比率差動繼電器의 동작을 나타낸다.

<표 1> 故障形態와 比率差動繼電器의 動作

변압기의 결선과 계전기의 응동	Δ-Δ결선인 경우의 동작			Y-Y결선인 경우의 동작			Δ-Y결선인 경우의 동작			Y-Δ결선인 (Δ30°앞선) 경우의 동작			Y-Δ결선인 (Δ30°늦은) 경우의 동작		
	87T ₁	87T ₂	87T ₃	87T ₁	87T ₂	87T ₃	87T ₁	87T ₂	87T ₃	87T ₁	87T ₂	87T ₃	87T ₁	87T ₂	87T ₃
1차 제1상권선 층간단락	○	○		○	○		○	○		○	○		○		○
1차 제2상권선 층간단락		○	○		○	○		○	○		○	○		○	○
1차 제3상권선 층간단락	○		○	○		○	○		○	○		○		○	○
2차 제1상권선 층간단락	○	○		○	○		○	○		○	○		○		○
2차 제2상권선 층간단락		○	○		○	○		○	○		○	○		○	○
2차 제3상권선 층간단락	○		○	○		○	○		○	○		○		○	○



<그림 9> 과전류繼電器 (1)



<그림 10> 과전류繼電器 (2)

(2) 과전류繼電器

이 방식은 용량이 비교적 작은 변압器的 主保護로 이용되는 것 외에 比率差動保護를 하고 있는 경우에도 보호범위 외의 故障除去를 질질 끌면 변압기가 이상과열되는 것이 있으므로 그것을防止하기 위해서 혹은 比率差動保護의 가장 마지막 保護로서 이용되고 있다.

그림 9에 과전류繼電器의 적용예를 나타낸다.

여기에서 변압器에 故障가 발생한 경우는 故障電流에 대응한 과전류繼電器가 동작하고 차단기의 트립코일에 自動遮斷指令을 주고 변壓器를 회로에서 분해한다. 동시에 繼電器의 동작표시기 TG가 이것을 표시한다.

과전류繼電方式에서 그림 10에 나타낸대로 CT를 2개 사용하고 V結線으로 하고 과전류繼電器도 제 1상용과 제 3상용 2개로 保護하는 경우가 있다.

故障形態와 과전류繼電器의 동작을 표 2에 나타낸다.

나. 變壓器捲線의 地絡保護

變壓器捲線의 地絡故障에 있어서는 그 변압기가 연결되어 있는 電力系統의 중성점 접지방식의 種類나 變壓器 자신이 Y結線의 경우에는 그 중성

<표 2> 故障形態와 과전류繼電器의 動作

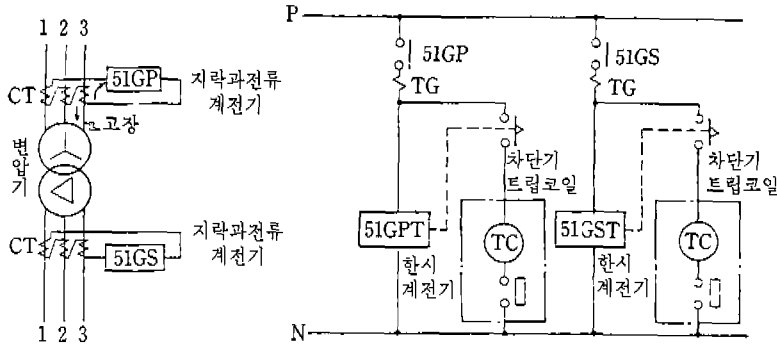
고장형태	과전류계전기를 3대 설치하는 방식			과전류계전기를 2대 설치하는 방식		비고
	계전기의 동작			계전기의 동작		
	51P ₁	51P ₂	51P ₃	51P ₁	51P ₃	
1-2 상간고장	○	○		○		
2-3 상간고장		○	○		○	
3-1 상간고장	○		○	○	○	고장형태를 판별할 수 없음.
1-2-3 상간고장	○	○	○	○	○	

점 접지방식에 의해 故障電流의 분포가 다르고 檢出方法에 어렵고 쉬운 것이 나온다.

非接地系統에 연결된 변압기권선의 1線地絡時에 고장전류는 對地充電電流 뿐이므로 比率差動繼電器에 의한 검출은 곤란하다.

抵抗接地系에서의 1線地絡時의 고장전류는 접지저항이 크게 됨에 따라서 점점 非接地式에 근접하여 작아지고 반대로 接地抵抗이 작게 됨에 따라서 커지며 저항이 제로(zero) 즉 直接接地方式에서는 故障電流가 최대가 되고 比率差動繼電器는 동작할 수 있다. 한편 故障點이 變壓器捲線의 중성점에 가까운 만큼 故障電流는 작아져 검출이 곤란하게 된다.

이같이 比率差動繼電器로는 검출되지 않는 變壓器捲線의 地絡故障를 검출하기 위해서 고감도 계전기를 設置하는 것이 일반적이다.



<그림 11> 地絡過電流繼電器

(1) 地絡過電流繼電器

그림 11과 같이 변압기에 흐르는 제로상 전류를 檢出하여 保護하는 방식이다. 地絡過電流繼電器 51GP 및 51GS는 영상 電流의 크기가 소정의 값보다도 큰 것으로 地絡故障를 檢출하는 繼電器로 지락고장 발생장소가 變壓器內인지 變壓器外(밖)인지를 명확하게 判定할 수 없기 때문에 통상 限時繼電器와 조합하여 마지막 保護用으로서 이용되고 있다.

(2) 地絡過電壓繼電器

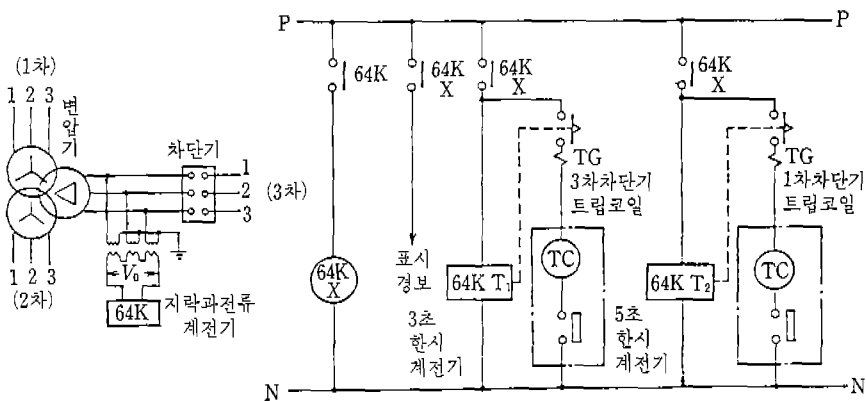
零相電壓에 의해 계통의 지락고장을 檢출하는 방식으로 地絡故障 發生場所가 변압기내인가 변압기외인가 명확히 判定되지 않는 것으로서 限時繼電器와 조합하여 非接地系의 保護用으로 사용

되는 것 외에 接地系의 맨 마지막 保護用으로서 많이 사용되고 있다.

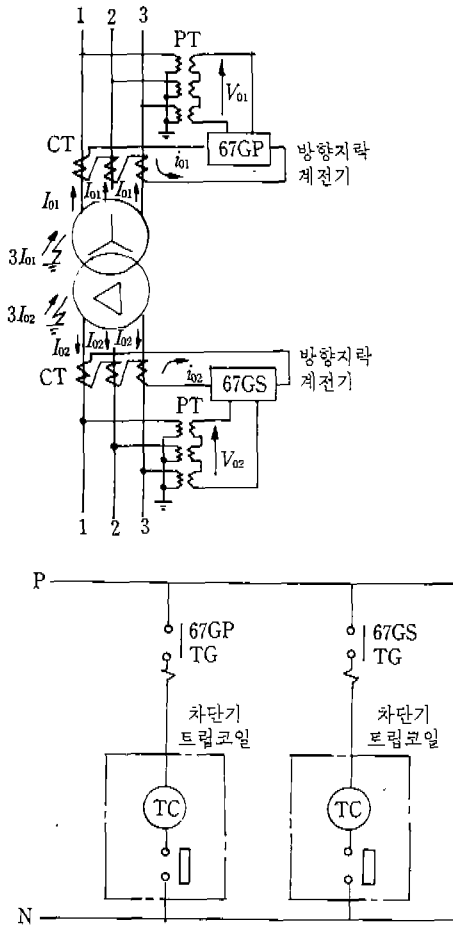
그림 12는 3捲線變壓器 Y-Y-Δ의 3차측에 적용한 예를 나타낸다. 영상 전압의 檢출에서 우선 警告하여 운전자의 주의를 환기시킨 후 일정 시간 동안 계속 확인하고 3차측의 遮斷器를 자동 트립한다. 이것에 의해 地絡故障點이 3차측 차단기보다 외측에 있다면 운전을 계속할 수 있다. 變壓器側의 지락고장의 경우는 더욱 확인시간이 경과한 후 變壓器를 系統에서 分해하도록 한다.

(3) 方向地絡繼電器

지락전류가 전원측에 의해 공급되는 계통이라면 어느 정도의 고감도가 기대된다. 이 방식은 地絡故障가 變壓器內에 있는가 變壓器외에 있는



<그림 12> 地絡過電壓繼電器



〈그림 13〉 方向地絡繼電器

가의 방향판정이 가능한 것으로 중요변압기의 보호에 사용된다(그림 13 참조).

4. 機械式 保護裝置

機械式 保護裝置로서는 옛날부터 이용되고 있는 것으로 피트繼電器나 부프홀츠繼電器가 있지만 최근에는 탱크의 내압상승률을 검출하는 衝擊壓力繼電器도 많이 사용되고 있다.

이것들은 어느것이나 內部絶緣破壞에 의한 아크 등으로 인해 絶緣物이나 기름이 분해되어 가스를 발생하고 탱크내의 壓力이 상승하는 것을

이용하는 것으로 통상 比率差動保護의 맨마지막 保護로서 이용된다.

가. 부프홀츠繼電器(일명 Push-Pull 繼電器)

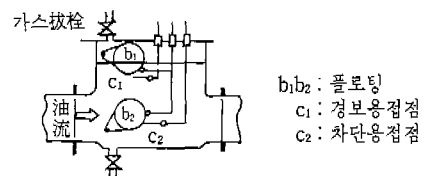
變壓器 탱크와 콘서베이터를 이은 연결관에 설치한다. 플로팅開閉器와 흐르는 繼電器를 조합한 것이고 그림 14 와 같은 구조로 되어 있다.

上部의 플로팅은 가스가 상자내에 모여 油面이 저하했을 때 동작하는 것으로 警報接點으로 사용된다. 下部의 플로팅은 급격한 고장으로 가스 및 기름이 분출할 때에 동작하는 것으로 重大故障檢出接點이다.

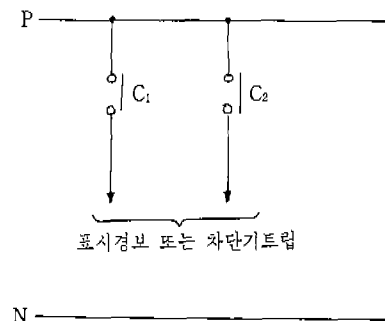
이 繼電器는 동작이 2차적 현상에 의하여 일어나기 때문에 重大故障時 동작시간이 늦고 또 地震 등의 振動으로 오동작하기 쉽고 信賴度도 그다지 높지 않으므로 최근에는 警報回路에만 사용 되는 것이 많다.

나. 피트繼電器

피트繼電器는 부프홀츠繼電器와 같이 變壓器

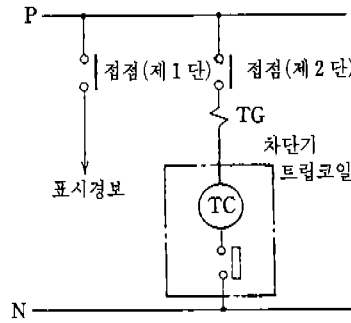
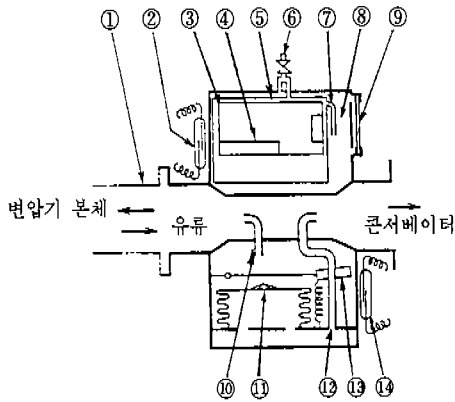


b₁b₂: 플로팅
C₁: 경보용접점
C₂: 차단용접점



표시경보 또는 차단기트립

〈그림 14〉 부프홀츠 繼電器



- ① 연결관
- ② 접점 (제 1 단)
- ③ 플로팅
- ④ 마그넷
- ⑤ 防振覆
- ⑥ 가스배기밸브
- ⑦ 도판
- ⑧ 가스실
- ⑨ 유면계
- ⑩ 피트관
- ⑪ 피트관
- ⑫ 벨로즈
- ⑬ 마그넷
- ⑭ 접점 (제 2 단)

〈그림 15〉 히트繼電器

탱크와 콘서베이터를 이어서 연결관에 설치한다. 변압기의 내부이상에 의한 가스는 그림 15에 나타난 연결관 ①을 통해 가스실 ⑧에 모이고 규정량을 초과하면 가스는 導管 ⑦에 의해 防振覆 ⑤의 내부로 인도된다. 防振覆內에 가스가 들어오면 플로팅 ③이 下降하고 마그넷 ④에 의해 接點 ②가 동작한다. 接點 ②는 경보용으로서 사용된다.

變壓器內部異常時의 급격한 압력상승에 의해 그림 14에 나타난 연결관 ①에 발생한 油面은 피트관 ⑩⑪에 의해 벨로즈(Bellows) ⑫ 내외에 壓力差를 발생시키고 벨로즈의 변위는 마그넷 ⑬으로 전해지고 接點 ⑭를 동작시키고 이것에 의해 變壓器를 계통에서 켜다.

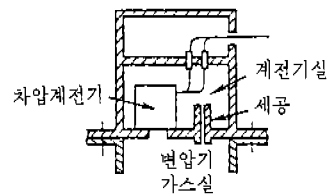
다. 衝擊壓力繼電器

變壓器內壓을 검출하기 위한 것으로 상시의 溫度變化에 의한 內壓變化에는 應動하지 않고 충격적인 壓力에만 應動하는 구조로 한 것이고 그림 16과 같이 細孔이 있고 변압기 탱크와 壓力繼電器가 수납되어 있는 室內를 서로 연결하고 천천히 한 壓力變化에 대하여 壓力繼電器는 동작하지 않는다. 이 繼電器는 고장에 의한 內壓變化에 민감하게 동작하기 때문에 2차적 現狀에 의해 동작

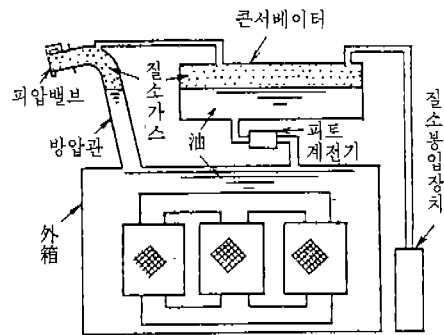
하는 부프홀츠繼電器에 비해 그 동작시간이 빠르고 機械的인 진동에도 강한 장점이 있고 동작시는 變壓器를 계통에서 켜다.

라. 避壓밸브

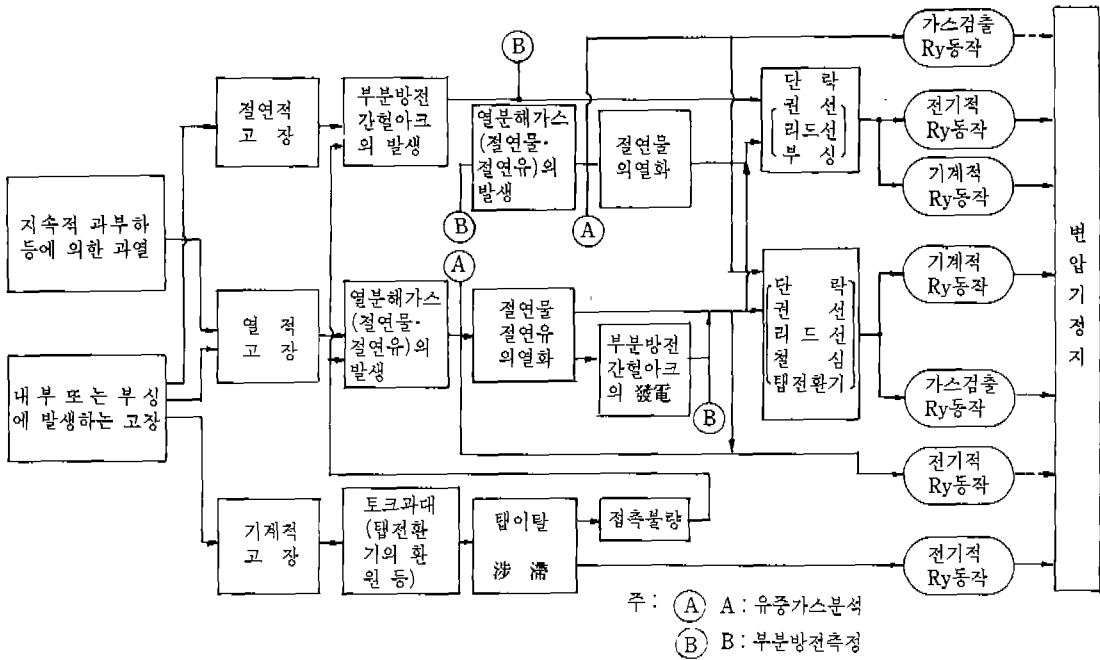
더욱 급격한 事故에 대해서는 그림 17에 나타



〈그림 16〉 衝擊壓力繼電器概念圖



〈그림 17〉 避壓밸브의 設置圖



〈그림 18〉 故障要因分析及 故障診斷法

낸 避壓밸브에 의하여 기계적으로 보호한다. 즉 급격한 가스의 발생이나 기름의 팽창에 의하여 内部壓力가 상승하면 放壓管의 선단에 설치한 避壓밸브를 개방하고 가스와 기름을 대기중으로 방출하여 탱크에 위험한 壓力上昇이 미치지 않도록 하고 있다. 더욱 피압밸브에 부착된 점점에 의하여 變壓器를 계통에서 떼낸다.

5. 故障과 對策

가. 故障의 未然防止策

변압기의 故障은 1절에서 설명한대로 持續的 過負荷 등에 의한 過熱이나 내부 또는 부상에 발생하는 故障으로 크게 구별되는데 이것을 더욱 요인별로 분석하여 그림 18에 나타냈다. 이 그림에 나타낸대로 要因別로는 絶緣의 故障, 熱的 故障, 機械的 故障이 있고 이것들은 어느 것이나 열분해 가스의 발생과 部分放電에 의한 간헐 아크의 발생이 동반하기 때문에 유중 가스분석(기호 ㉔)이나 部分放電測定(기호 ㉕)을 실시하면

變壓器의 故障을 미연에 방지할 수 있다.

(1) 油中가스分析

유중가스분석은 운전중 變壓器에 의해 절연유를 채취하고 가스분포를 分離抽出하여 생성한 가스의 종류에 의해 故障現象이 추측되는 것으로 故障의 미연방지책으로서 가장 信賴性이 높은 방법이다. 그림 19에 油中가스分析에 의한 故障現象의 추정과 처치를 나타냈지만 가스분석결과가 이상하다고 판정된 경우 그 異常要因에 의해 조사하고 신속하게 처치하는 것이 필요하다.

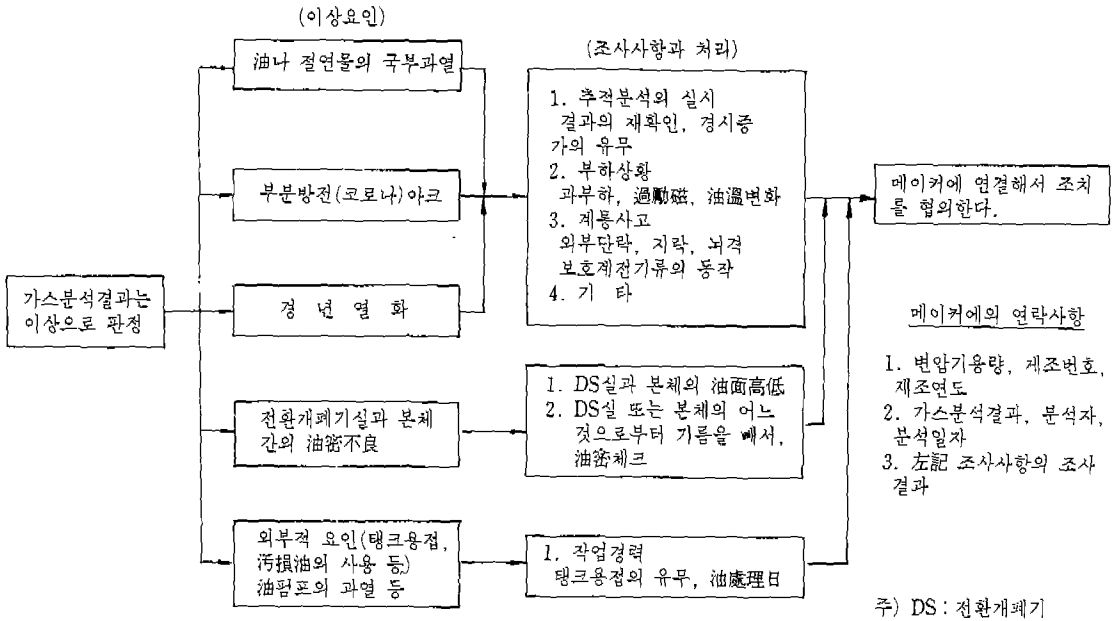
(2) 部分放電測定

부분방전측정에는 코로나(Corona) 방전에 의해 발생하는 라디오 障害電壓을 측정하는 RIV法과 전압의 1사이클을 가지고 표현한 ERA法이 있는데 전자는 부분방전의 강도(단위 μV 또는 dB)를 후자는 放電電荷量(단위 Coulomb)을 주로 측정하는 것이다.

그림 20은 현지에서의 部分放電測定法의 실례를 나타낸다. 본 예는 Y- Δ 結線 중심점에 로

고스키 코일을 삽입하고 測定하는 것이며 中性點을 찾을 수 없는 變壓器에 대해서는 접지선에 로 고스키 코일을 접속하고 측정할 수도 있지만 탱크의 外壁에 유중 코로나 探知器(초음파 마이크)

를 設置하여 部分放電音을 측정하여 判定할 수 있다. 진위야 어떻든 유해한 부분방전의 레벨判定에 대해서는 과거의 실적이나 專門家에 의한 判定이 필요하다.

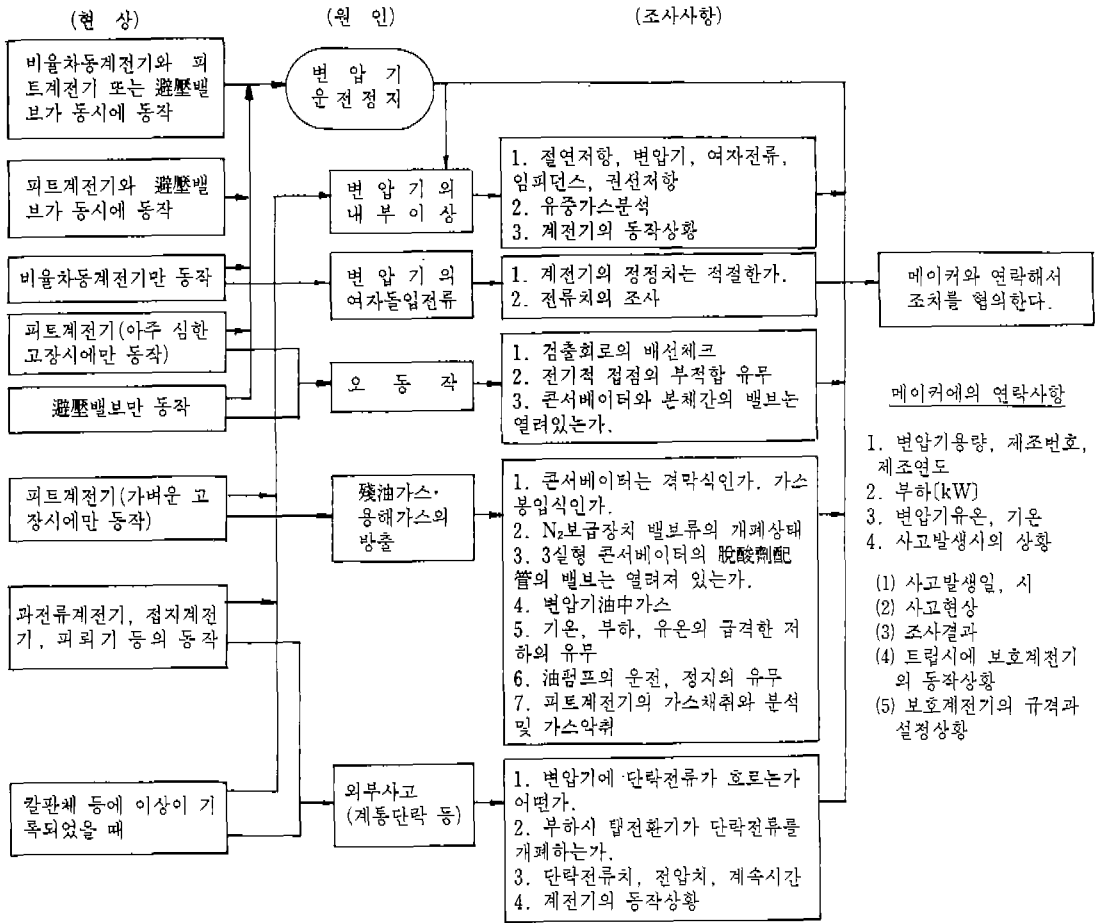


〈그림 19〉 油中가스分析에 의한 故障의 推定과 處置

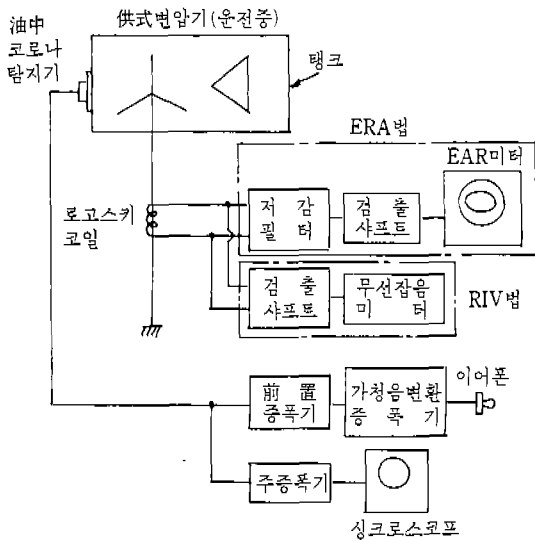
〈표 3〉 전기적 측정

측정사항	내용	판정기준
1. 절연저항	(1) 변압기의 단자를 고압-저압선로로부터 떼지 않고, 변압기 본체에 판하여 측정한다. (2) 1000V 메거에 대하여 다음의 절연저항을 측정한다. · 고압권선-저압권선·외함 · 저압권선-고압권선·외함 · 고압권선-저압권선 (변압기油溫도 측정할 것)	(1) 경년변화나 납입시의 값과 비교해서 현저한 변화가 있는 경우 이상으로 간주 (2) 절연유의 시험도 실시해서 종합적으로 판단할 것.
2. 捲數比	층간단락의 유무를 판정하기 위하여 200V 전원으로 해서 권수비를 측정한다.	지정치의 ±0.5 이내일 것
3. 여자전류	층간단락의 유무를 판정하기 위하여 200V 전원으로 해서 여자전류를 각 상·각 탭에 대하여 측정한다. 3상변압기는 철심의 구조상, Y결선인 경우는 V상이 U, W상보다 적고, Δ결선인 경우는 U상이 V, W상보다 크다.	층간단락의 경우는 크게 여자전류가 증가한다.
4. 임피던스전압	변압기내부단락 또는 외부단락에 의하여, 권선에 대전류가 흐르는 경우 권선변형의 유무를 판정하기 위하여 측정한다.	공장측정의 임피던스전압과 비교해서 변화가 인정되는 경우는 이상없다고 간주한다.

(비고) No.2,3,4의 측정시, 200V 전원전압의 3상불평균이 클 때는 단상전원으로 각 상마다 측정할 필요가 있다.



〈그림 21〉 異常時の處置



〈그림 20〉 現地에서의 部分放電測定法

나. 異常時の處置

變壓器에 이상이 발생하여 電氣式 保護繼電器나 機械式 保護繼電裝置가 동작했을 경우의 처치를 그림 21에 나타낸다.

각 繼電器 혹은 繼電裝置의 용도에 의해 이상 원인을 추측할 수 있기 때문에 요인마다 調査를 하고 原因究明에 힘쓰는 것이 대단히 중요하다. 이 때 간단히 하는 機械式 測定項目으로는 표 3에 나타낸 것이 있는데 이것들의 測定結果는 故障分析에 중요한 도움이 되므로 평상시 測定法에 대하여 잘 알아둘 필요가 있다.

〈연재 끝〉