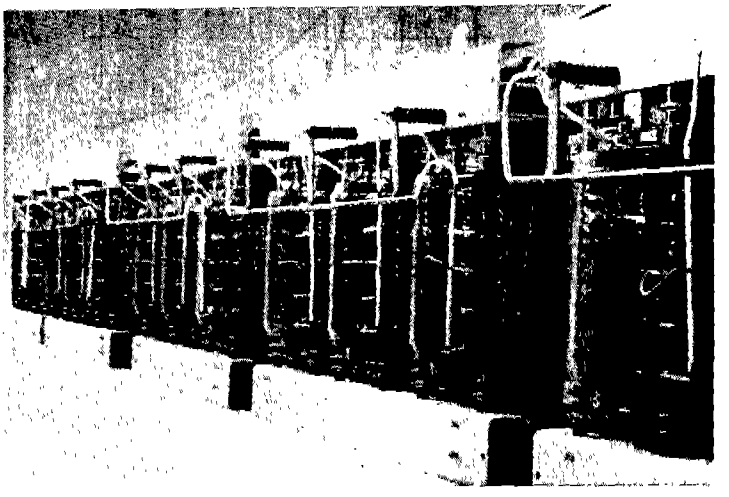
変圧器의 點檢 및 保守



Inspection and Maintenance for Transformer

申 鉉 龍

利川電機工業株式會社
変圧器部長

1. 개 요

산업구조의 다변화 및 광역화 추세에 따른 부하전력설비의 증가로 인하여 공업지역은 물론 중소도시 및 농어촌에 이르기까지 지속적인 양질의 전력공급은 중요한 과제가 되고 있다.

여기서 전력 전달체계에서 중요한 역할을 하고 있는 변압기는 다른 어떤 전력설비에 우선하여 신뢰성 확보를 위한 유지관리체제의 운용이 필요한 바, 이에 관련한 변압기의 점검 및 보수에 대하여 설명하고자 한다.

2. 점검 및 관리

변압기는 회전기기나 유체기기와는 달리 정지상태에서의 에너지 전달기기이므로 타설비류에 비해 정상적인 운전조건 하에서는 고효율의 성능을 갖고 있으며 고장률이 낮은 편이나 날로 다양해지는 부하계통의 복잡화 및 과도한 운전조건 등으로 인해 본래의 기대수명을 얻지 못하고 있는 바, 이를 사전에 점검 파악하고 필요한 조치를 적절히 취함으로써 사소한 결함으로 인한 중대사고 및 손실에 미리 대비토록 해야 한다.

가. 운전개시전

변압기는 최초운전시작에 앞서 다음사항에 대하여 점검을 실시한다.

(a) 일반구조검사 : 외관 및 부품의 파손,탈락의 유무

(b) 접속상태에 대한 검사 : 접속부의 체결이 완전한가에 대하여

(c) 계기류의 확인 : 각 부착계기류의 동작상태가 정상적인가에 대하여

(d) 탭 절환장치의 확인 : 작동이 원활하며 적정한 위치에 셋팅되어 있는가에 대하여

(e) 보호회로의 확인 : 경보 및 트립신호에 관련한 회로에 이상은 없는가에 대하여

(f) 절연유의 확인 : 절연내압이 규정치 이상이며, 유면은 적정선에 가 있는지에 대하여

(g) 가스 봉입장치의 확인 : 가스 봉입압력은

적정한지에 대하여

앞서의 점검과 조치를 완료한 후에도 이상소음 또는 진동, 냉각장치의 작동상태, 유면 및 유온의 변화, 봉입 가스 압력의 변화, 부하량 및 수전상황 등에 대해서 이상유무를 확인토록 한다.

나. 일상점검

변압기의 일상점검은 1일중 일정시간 간격으로 수회 실시하되 부하의 편중이 심한 곳일 경우,

〈표 1〉 유입변압기의 일상점검 및 조치

점검부위	점검항목	주요 점검 사항	조 치 사 항
본 체	유 온	○주위 온도 과대 ○과부하 ○국부과열	○통풍 및 환기, 발열체 격리 ○적정부하유지 ○부문별 정밀검사 ○냉각장치의 성능확인 및 조치
	유 면	○유면 변화 (이상저하 및 상승)	○누유 여부확인 및 조치 ○계기의 이상유무 확인
	이상음 및 진동	○이상 단속음	○접속부위체결상태 이완여부확인 및 조치 ○과여자(과전압) 확인 및 조치 ○내부 정밀검사
	누 유	○가스켓 ○용접 및 접속부 ○과부식부위	○신규교체 ○재용접보수 ○보수 및 방청처리
냉각장치	방 열 기	○용접부의 균열 ○과부식	○용접 및 접착제 처리 ○방청처리 또는 신규교체
	냉 각 팬	○모터 및 부속품 ○이상음	○성능확인 및 청결 ○접촉여부 확인 및 조치
	계 기	○지시치 ○진애부착	○작동 확인 및 교체 ○진애 제거
	밸 브	○누 유	○가스켓 교체
부 싱	애 관	○균 열 ○분 진	○애관 교체 ○분진제거 및 소제
	단 자	○헐거움 ○진애 및 염분	○접속이완부 재조임 ○진애·염분 제거
	누 유	○가스켓	○신규교체 ○부위별 별도점검조치
호 흡 기	실리카겔	○변 색	○가열건조 및 교체
	호흡상태	○연속배기	○별도정밀 점검실시
브흐홀쯔 계전기	가 스 실	○가스량 및 색깔	○배기처리 ○성분분석 및 별도 정밀검사

경부하시간대 및 중부하시간대를 필히 점검시점에 포함토록 한다. 제작연도가 오래되었거나 과거에 경미한 것이라도 사고경험이 있는 변압기의 경우에는 점검회수를 증가시키도록 한다.

관련점검에 대해서는 **표1, 표2**를 참조한다.

다. 정기점검

변압기의 각 부분은 정기적인 점검을 실시하여

〈표 2〉 건식변압기의 일상점검 및 조치

점검부위	점검항목	주요 점검 사항	조 치 사 항
본 체	온 도	○과 열 ○주위온도	○과부하의 경감 ○발열체 격리 및 통풍환기
	취 기	○타는 냄새	○과부하 ○ARC부위 원인제거조치 및 절연보강
	이 상 음	○이상소음	○이완 접속부의 완전체결 ○과전압 확인 및 조치
인 출 부	애 자 단 자	○균 열 ○과 열	○신규교체 ○접속부 조임
냉각장치	냉 각 팬	○이 상 음 ○진 동	○점검 및 부위별 조치 ○헐거움 조임 및 보강대 지지

〈표 3〉 유입변압기의 정기점검 및 조치

점검부위		점 검 항 목	점검주기	주요 점검 사항	조 치 사 항
권 선		절 연 저 항	1회/년	○기준치 (그림 7 참조)	○전문가에 의한 점검 및 조치
		tan δ 측 정	1회/3년	○기준치 (그림 8 참조)	
절 연 유		특성(본체 / 탭 절환기실)	1회/년	○기준치 (표 5 참조)	○여과 또는 신유교체
계 기 류		작 동	1회/년	○오 동 작	○수리 또는 신규교체
부 싱		애관 및 단자	1회/2년	○균 열 ○누 유	○신규교체 ○가스켓 교체 및 적정조임
외 함		외 관 상 태	1회/년	○부식 및 파손	○방청 및 도장실시, 수리
		누 유	1회/년	○누유정도	○수리
탭 절 환 기	무부하시	접 점 부	1회/년	○단선 또는 혼촉 ○접점부 마모	○전문가에 의한 점검 및 조치
	부하시	접점부 및 제어회로	(표 6 참조)	○단 선 ○절연저항	○전문가에 의한 점검 및 조치
보호계전기		회로 및 접점	1회/년	○절연저항(2MΩ이상) ○회 로	○수리 또는 교체

〈표 4〉 건식변압기의 정기점검 및 조치

점검부위	점검항목	점검주기	주요점검사항	조 치 사 항
본 체	절연저항	1회 / 년	○기준치 (표 7 참조)	○전문가에 의한 조치
	온 도	1회 / 년	○작동상태	○수리 또는 교체
	청결상태	1회 / 년	○진 애	○진애제거 및 진공소제
단 자	표 면	1회 / 년	○변색 및 오염	○연마 또는 교체, 재도장
큐 비 클	내·외부	1회 / 년	○부식 및 변색	○재도장

향후 일어날지 모를 중대사고로의 파급을 막기 위한 사전점검 및 보수가 필요하다. 이는 일상점검시 상태파악이 어려운 내부의 절연열화상태 및 기타 부품에 대한 이상여부도 아울러 확인점검 대상이 된다.

관련점검에 대해서는 표3, 표4를 참조한다.

라. 임시점검

일상점검중 긴급한 중대이상이 발견되었거나 운전중 보호장치 및 경보장치가 동작되었을 때, 이상기후(낙뇌빈번, 폭풍우) 및 이상운전 상태 발생직후 또는 특별히 필요하다고 판단될 경우 사고부위 또는 사고예상부위에 대한 전문가의 정밀점사 및 관련 후속조치가 필요하다.

〈표 5〉 절연유의 열화판정 기준치

구분 / 항목	양 호	요주의	불 량
절연 파괴 전압 (kV at 2.5㎜)	30 이상	25~30	25미만
산 가 (mg KO H/g)	0.3미만	0.3~0.4	0.4이상
체 적 저 항 률 (Ω-cm at 50℃)	10^{12}이상	10^{11}~10^{12}	10^{11}이하
tan δ (%) (at 50℃, 50 Hz, 1000V)	1.25미만	1.25~5.0	5.0이상

3. 내부사고 및 대책

가. 사고의 원인

변압기 사고는 발생 진행속도에 따라 돌발적인 것과 완만히 발생되는 것으로 구분된다. 돌발적인 사고는 주로 절연파괴현상에 기인하며, 외부 뇌섬락에 따른 직접적인 이상전압의 침투, 단락사고에 의한 과전류 발생으로 인한 것이 대

〈표 6〉 부하시 탭 절환기의 점검주기

점 검 내 용	점 검 주 기
절연유내압 및 산가	10,000회 (1회 / 년)
절환 개폐기	30,000회 (1회 / 3년)
한류저항	60,000회 (1회 / 6년)
탭 선택기	100,000회 (1회 / 10년)
전달기구 (내부)	100,000회 (1회 / 10년)
전달기구 (외부)	10,000회 (1회 / 년)
전동 조작 기구	10,000회 (1회 / 년)

〈표 7〉 절연저항에 의한 건식변압기의 열화판정기준 (25℃ 기준)

공칭전압 (kV)	22.9	11	6.6	3.3	1 이하
절연저항 (MΩ)	50	30	20	20	5

부분이며, 완만히 발생되는 고장은 외부단락 및 접촉에 의한 권선 및 절연물의 기계적 충격에 따른 변형, 철심의 절연열화에 의한 것, 과부하 사용으로 인한 절연열화, 흡습 및 산화로 인한 코로나 현상에 따른 절연물(또는 절연유)의 열화, 기타 환경적인 요인인 기상, 염해로 인한 외부 절연능력의 저하 및 부품의 경년변화에 따른 노후고장이 주 원인이 되고 있다.

나. 사고의 판별 및 보호방식

변압기 내부사고의 신속한 판별은 사고의 파급을 막고 사고를 최소화할 뿐 아니라 사후 변압기 수리 점검시 중요한 단서가 되며 향후 그 변압기의 수명보전을 위한 이력관리의 지침이 된다.

변압기의 내부사고의 검출은 변압기에 직접 취부되어 물리적인 현상변화(유온, 절연유압, 가스압 등)에 의해 이를 감지하는 기계적 보호계전기가 있고 변압기 제어반에 취부되어 사고시의 전기적인 현상변화(전류, 전압 등)에 의해 동작되는 전기적 보호계전기가 있다.

기계적 보호계전기에는 브흐홀쯔 계전기, 충격유압 계전기, 충격가스압 계전기, 방압안전장치, 유온계, 유면계 등이 있으며, 전기적 보호계전기에는 비율차동 계전기, 과전류 계전기, 지락과전류 계전기가 있다.

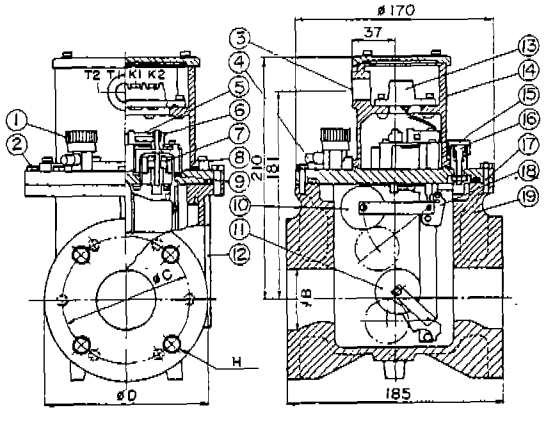
(1) 기계적 보호계전기

(가) 브흐홀쯔 계전기

브흐홀쯔 계전기는 본체 탱크와 컨서베이터 사이의 연결관에 취부되며 내부에는 플로트에 달린 수은접점 2개를 가지고 있다. 이들 접점은 정량적이며 순시적인 압력변화에 따라 작동하게 된다.

제 1단 접점은 가스 검출용으로서 경고장 사고에 의해 본체 탱크내에 서서히 발생한 가스가 올라와 상부 가스실에 일정량(350cc 정도) 이상 고이게 되면 플로트 위치가 내려가서 수은접점이 닫혀 경보를 발하게 된다.

제 2단 접점은 아크 방전 등의 중사고에 의한 급격한 가스가 발생될 때 작동하게 된다. 본체의 절연물의 일부가 파괴되어 탱크 내부에 아크가 발생하면 아크 열에 의해 절연물 및 기름이 분해되어 다량의 가스가 발생하게 되며 탱크내의



No.	PARTS	No.	PARTS
1	Gas release plug	12	Window
2	Hexagon nut M8, 8pcs.	13	Terminals (screw M5)
3	Wire outlet (PF 1/2)*		K1, K2 for alarm
4	Mounting direction plate		T1, T2 for trip
5	Microswitch	14	Terminal box
6	Switching spindle	15	Cap nut
7	Rotor magnet	16	Float lock device
8	Stator magnet	17	Base
9	Separater box	18	Locking hook
10	Float for alarm	19	Housing
11	Float for trip	15, 16, 18 provided on request	

〈그림 1〉 브흐홀쯔 계전기 구조도

압력이 급격히 상승하므로 이때 발생된 유속에 의해 제 2 단의 플로트가 이동하여 수은 접점이 닫히게 된다.

제 1 단 접점 동작시에는 컨서베이터의 유면, 가스량, 가스색깔 등을 정밀 확인하여 조치하도록 한다.

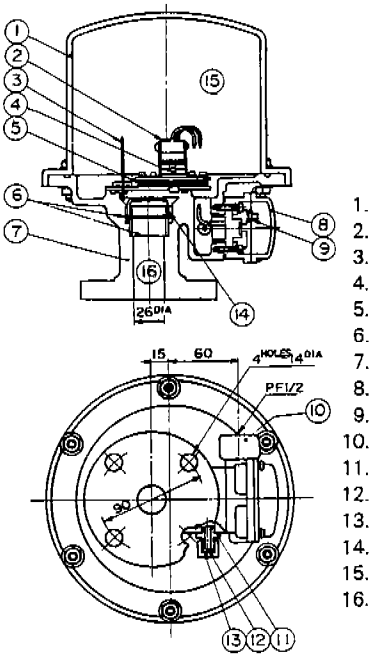
제 2 단 접점 동작시에는 내부 중고장일 경우가 대부분이므로 전문가에 의뢰, 조치토록 한다.

브흐홀쯔 계전기의 구조 및 발생가스에 대한 사고유추는 **그림 1** 및 **표 8**을 참조한다.

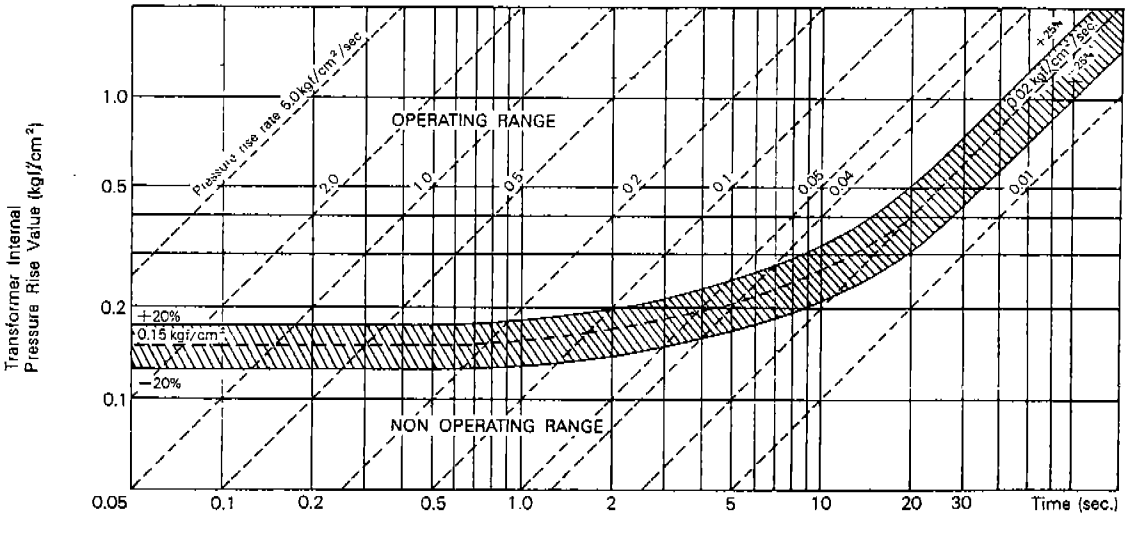
(나) 충격가스압 계전기

〈표 8〉 브흐홀쯔계전기의 발생가스 색깔에 따른 고장추정

가스 색깔	추 정 고 장
백 색	절연지의 손상
황 색	지지목 또는 목재부위 손상
회 색	절연유의 열화분해



〈그림 2〉 충격가스압 계전기 구조도



〈그림 3〉 충격가스압 계전기의 동작특성 예(탱크 내압과 동작영역 관계)

내부사고에 의한 탱크 내압의 변화를 유면상의 봉입 가스압 변화율에 따라 검출하는 것으로, 방압관 혹은 컨서베이터 뚜껑에 취부한다.

상시 운전중에는 변압기내의 압력변화가 완만하므로 가스실내의 압력과 계전기내의 압력과는 균압관이 통하여 있어 같은 압력을 유지하지만 갑작스런 사고로 가스실내의 압력이 급격히 상승하면 작은 직경의 균압관을 통한 접점이 동작하게 된다.

충격가스압 계전기의 구조 및 동작특성에 대해서는 **그림 2** 및 **그림 3**을 참조한다.

(다) 충격유압 계전기

내부사고에 의한 탱크내 유압의 변화를 검출하는 것으로, 탱크측벽에 취부된 상하 2개의 밀봉실로 나뉘어져 있다.

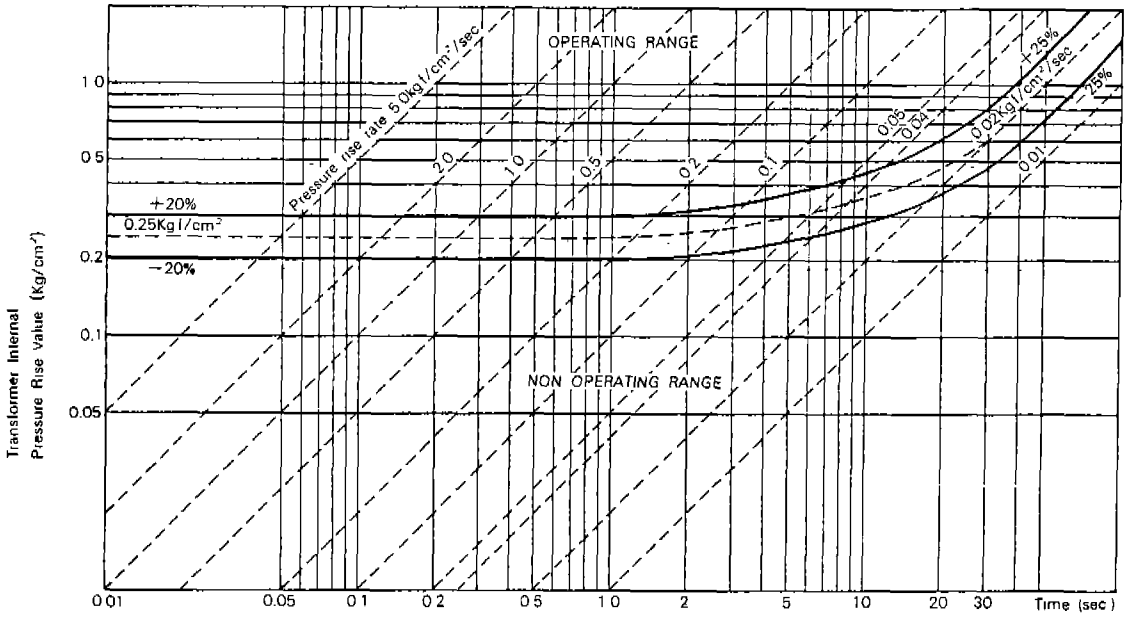
상부는 가스 공간으로 접점이 내장되어 있고 하부는 스프링으로 보강조정된 벨로우가 준비되어 있으며, 이 벨로우와 상부공간 사이에 실린더의 볼럭과 플로트가 있다.

평상시에는 탱크내 유압의 변화가 느슨하여 플로트가 이동하지 않지만 사고시에는 탱크내 유압상승 속도가 빨라져서 벨로우가 급격히 신축되며, 이 압력에 의해 접점이 동작하게 된다. 충격유압 계전기의 동작특성에 대해서는 **그림 4**를 참조한다.

(라) 방압안전장치

방압장치는 내부압력이 상승시 발생 가스를 탱크 외부에 방출하여 탱크내의 과대한 압력상승을 방지하고 탱크의 파괴를 방지한다.

방압안전장치는 방압관의 선단에 방압판이 취부되어 있으며, 이 방압판의 위치는 내부 가스 방출시 여분의 기름이 외부에 유출되는 것을 방



〈그림 4〉 충격유압 계전기 동작특성 예(탱크 내압과 동작 영역 관계)

지하기 위해 최고유면보다 높게 한다.

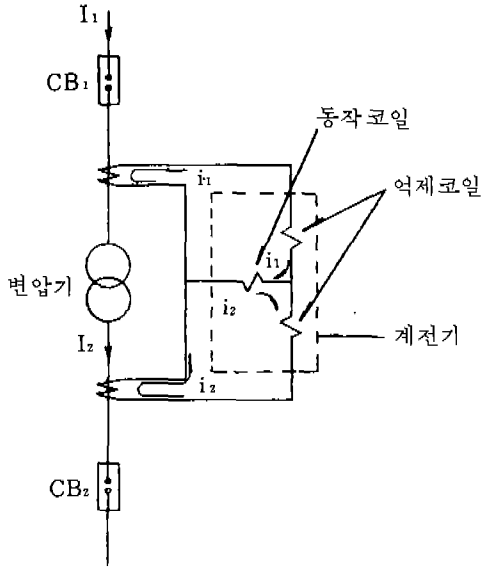
(2) 전기적 보호계전기

(가) 비율차동 계전기

변압기의 1, 2차변류기에 동작 코일과 억제 코일이 연결되어 있어 평상 운전시에는 동작코일에 흐르는 전류에 의해 발생하는 동작력이 억제 코일을 통과하는 전류에 의한 억제력을 상회하지 않는 한 동작하지 않도록 되어 있으나사고로 인해 통과전류에 대한 차전류의 비율이 일정치 이상일 경우에는 동작하게 된다(**그림 5** 참조).

★ 결선에 따른 각 변위보정

변류기의 접속은 동상이 되도록 한다. 즉, 각 변위가 Dd0 혹은 Py0일 경우에는 1, 2차간에 동상이므로 변류기 접속은 동일하지만, Dy11 및 Pd1의 경우에는 변압기의 각 변위를 수정, 동일위상의 전류를 계전기에 부여해야 하므로 Delta 결선측은 Wye로, Wye의 결선측은 Delta로 변경 접속해야 한다.



〈그림 5〉 비율차동 계전기 원리도

★ 여자돌입전류에 대한 대책

무부하, 무여자상태에서 계통전압을 인가하면 변압기 철심내 자속의 순간적 변화에 의한 여자돌입전류가 발생되어 계전기가 오동작하게 된다. 따라서 이러한 오동작을 방지하기 위해 다음의 방식을 취하고 있다.

i) 감도저하방식 : 변압기가 여자된 후 전압계전기의 접점이 시한을 가지고 열릴 때까지 비율차동 계전기를 저감도로 하여오동작을 방지한다.

ii) 고조파 억제방식 : 변압기의 여자돌입 전류에 포함되어 있는 고조파전류를 계전기의 억제력으로 이용, 여자돌입 전류에 의한 오동작을 방지한다.

(나) 과전류 계전기

과전류 계전기는 일반적으로 유도원리를 응용한 것으로, 유도형 적산전력계와 거의 같은 구조이다. 전자석 회전원판 제동장치 등의 주요부로 되어 있으며 과전류가 흐르면 원판의 회전력은 전자석의 구동 토크에 의해 회전을 개시하여 정확한 시간내에 주 접촉을 닫고 차단기를 동작시킨다. 이때 회로구성의 정확도와 주 접촉을 보호하기 위해 이에 대응하는 보조접촉기가 설치되어 있다.

유도형 과전류계전기의 내부접속 및 동작원리도는 **그림 6**을 참조한다.

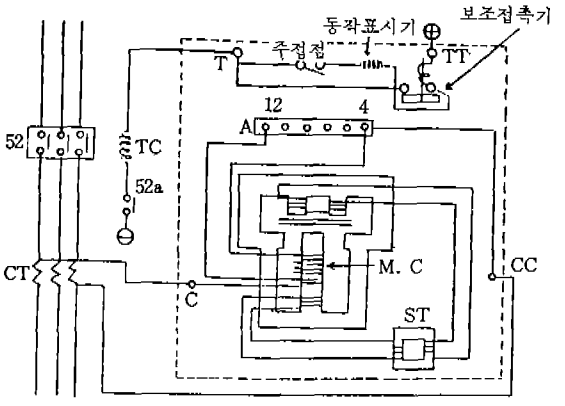
(다) 지락과전류 계전기

동작원리는 과전류 계전기와 동일하며 비유효접지계통에 사용한다. 이 계전기는 지락고장전류가 그리 크지 않기 때문에 감도가 예민하도록 되어 있다.

(3) 사고의 진단

(가) 사고점검시 유의사항

변압기사고 점검시에는 사전에 실시내용 순서



A : 전류탭판
ST : 포화변압기
MC : 주코일
52a : 차단기 보조접점

〈그림 6〉 유도형 과전류 계전기의 내부 접속도 및 동작원리도

〈표 9〉 진단시 필요기구

필요기구명	내 용
절연저항측정기	1,000V~2,000V, 2,000MΩ
테 스 터	고정밀급, 회로점검용
tan δ 미터	권선 및 절연유시험용
절연유내압시험기	전극봉내장타입, 50kV
검 전 기	해당전압에 적정한 것
접 지 후 크	해당 선로의 접지용
기 타	일반공구, 절연유 채유병 안전로프, 사다리, 흡습제 가스켓트, 접착제, 테이프

에 대한 면밀한 검토와 계획을 가지고 수행하여야 하며 인명 및 설비의 안전을 위해 다음사항에 특히 유의한다.

★ 가급적 습기가 없는 맑은 날에 실시하되 우천을 대비하여 비닐 커버 등을 준비한다.

★ 전원의 차단상태, 충전부의 방전여부 및 접지상태 등 무전압상태를 확인한다.

★외부장애물은 제거하고 누유 등으로 표면이 매끄러운 부분은 걸레로 닦아낸다.

★ 사다리 및 기타 지지물의 상태가 작업에 안전하도록 확인한다.

★ 본체의 위치 이동시에는 규정된 고리 또는 관련 부속물을 이용하고 기울임이 없도록 한다.

★ 내부 점검시는 이물질이나 소지품이 떨어지지 않도록 사전에 제거한 후 작업에 임하며, 사용공구류는 끈으로 묶어 사용한다.

(나) 사고진단 실시

일반적으로 현장에서는 내부진단은 실시 가능한 전기적 시험과 절연유에 대한 점검으로 한다.

진단시 필요한 기구는 **표 9**를 참조한다.

a) 절연저항의 측정

각 권선의 대지간, 권선 상호간의 절연저항을 측정함으로써 주 절연의 파괴여부를 확인함은 물론 접지, 혼촉, 지락여부를 판단할 수 있다.

절연저항의 허용기준은 **그림 7**을 참조한다.

b) 권선의 tan δ 측정

변압기 내부 절연물의 열화 및 흡습정도를 추정하는 주요방법중 하나로서 tan δ의 허용기준은 **그림 8**을 참조한다.

c) 변압비의 측정

고압측 권선에 저압을 인가하여 상대권선측의 전압을 확인하여 층간단락, 탭 절환 리드의 이완, 탈락 및 단선을 측정할 수 있다.

이 때는 무부하상태에서 각 탭별로 실시한다.

d) 여자전류의 측정

정격전압의 1/5정도의 전압을 인가하여 여자전류를 측정한다. 그 값이 정상치를 초과할 경우 내부 층간단락이 발생되었다고 추정할 수 있다. 가능하다면 인가전압을 변환시켜 여러 경우의 여자전류를 측정한다.

e) 각 변위시험

변압비시험에 이어서 각 변위시험을 함으로써 단선여부를 확인할 수 있다. 고압측 부싱과 상대되는 저압측 부싱 단자를 연결한 후 고압측에 3상전압을 인가하여 각 상대 부싱간의 전압(U-u), (V-v), (W-w), (W-v)을 측정한다.

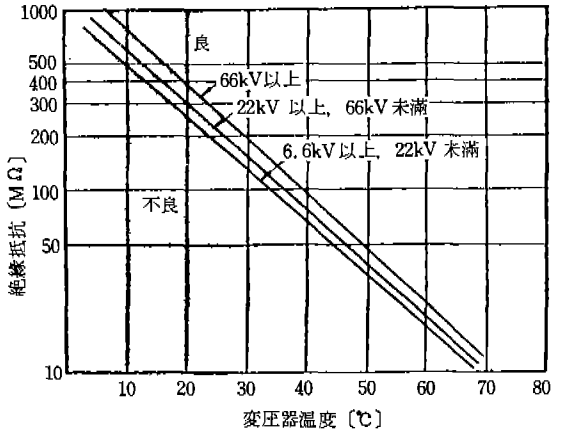
f) 임피던스 전압측정

변압기 내·외부의 사고로 인하여 전자기계력에 의해 내부 권선이 외형, 변형될 경우 임피던스 값의 변화를 가져 오게 되므로 정상상태의 임피던스 값과의 차이를 비교하여 내부사고의 파급여부를 판별할 수 있다.

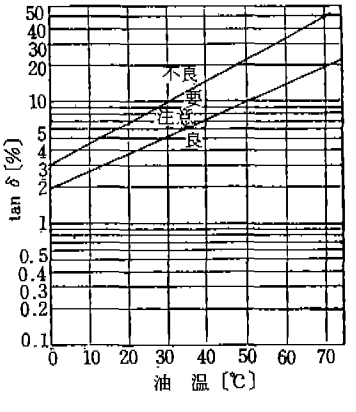
일반적으로 저압측 단자를 단락시킨후 고압측에 3상 저압전원을 인가하여 인가전압과 전류를 측정하여 계산한다.

g) 권선저항의 측정

권선상간저항을 측정, 계산함으로써 단선여부를 확인한다. 권선저항을 측정하여 권선 소손유무를 조사하는 데 기준자료가 될 수 있다. 현장에서의 저항측정은 오차가 크지 않도록 측정시 유의해야 한다.



〈그림 7〉 변압기 절연저항 허용치



〈그림 8〉 tan δ에 의한 열화판정 기준

(4) 사고방지대책

전력공급 설비중 가장 중요한 위치에 있는 변압기는 사고 발생시 부하계통 및 운전계통에 미치는 영향은 지대하므로 사고를 미연에 방지코자 하는 사전대책은 매우 중요하다. 이에 사고원인에 따른 포괄적인 사고방지 대책을 열거하면 다음과 같다.

사고부분	주 요 방 지 대 책
1. 설비상의 결함	· 보호계전기 및 차단기의 구비 · 계통의 과부하 배제 · 염해에 대한 점검 및 청결유지 · 절연유의 열화 방지 · 피뢰기의 보호 협조 유지
2. 운전보수상의 결함	· 보호계전기의 점검 보수 철저 · 각종 부품류의 보수 철저 · 가스켓, 밸브류의 점검 보수 철저 · 냉각계통의 유지관리 철저 · 양질의 수전조건 유지
3. 성능조건상의 결함	· 적정 용량의 운전 · 운전장소의 환경조건부합(온도, 습도, 해발) · 적정 탭 전압의 구비
4. 기 타	· 경년변화에 따른 정기 점검 철저 · 천재지변에 따른 내진·보강 점검