特 輯 設備防災

變压器事故의 擴大防止要領

수변전설비의 중추인 변압기는 설계, 제작기술, 보수, 점검기술의 발달과 함께 극히 신뢰성이 높은 기기라고 할 수 있다. 그러나 계통규모는 더욱 확대화 경향에 있으며 수변전설비도 고전압, 대용량화하는 동시에 도시권에서는 복합용도의 빌딩 내라든지 지하식 변전소로서 설치되는 케이스도 많아지고 있다.

만일 변압기의 사고가 발생했을 경우의 영향은 막대해질 것으로 예상되며 사고확대를 최소한으로 억제하는 동시에 사고발생을 미연에 방지하는 기술이 강력히 요구된다.

여기서는 변압기 내부사고의 형태와 사고 확대의 양상을 해설하고 내부사고를 화재, 폭발 등으로 파급시키지 않기 위한 보호계전기의 종류와 기능에 대하여 설명하고 사고 확대방지 대책에 대하여 해설하기로 한다.

1. 変压器 內部事故의 종류와 原因

변압기의 사고에는 雷서지의 침입, 외부단락등에 의하여 돌발적으로 발생하는 것과 운전중의 열화등에 의하여 서서히 발전되어 가는 것이 있다.

일반적으로 권선의 사고는 돌발적으로 발생하는데 대하여 철심의 사고는 서서히 진행되며 절연불량, 접지불량에 의하여 부분적인 사고가 국부과열이 되어 그 부근의 절연물이나 절연유를 열화시켜 점차로 가속도적으로 대사고로 발전하는 경우가 있다.

주요 내부사고의 종류와 원인은 표1과 같이 종합된다.

〈표－1〉 內部事故의 종류와 원인

		사고의종류	주 요 원 인
권 선, 리드선		절연파괴	
		턴間短絡	절연피복의 열화
		코 일 간단락	과부하에 의한 熱劣化
			外雷등에 의한 이상전압 침입
		지 락	단락시의 전자기계력에 의한 절연물의 손상, 절연유의 열화,흡습
		변형, 단선	단락시의 전자기계력에 의한 변형 단선
			과대전류에 의한 용단
			진동과대에 의한 피로절단
			용접, 접합불량에 의한 단선
철 심		積層鐵板間단락	층간 절연물 열화
		접지불량	진동,충격에의한접지선의이완,절단
		국부과열	죄임볼트 절연열화
			국부적인 폐회로의 생성에 의한 순환전류
		소음, 진동과대	죄임부의 이완
부속품	탭 전환기		유화동의 생성－절연유중의 활성 유황과 동이 반응
		통전부의 이물부착	탄화물의 생성－접촉압력부족, 접촉면不平滑, 탭間 정지에 의한아크
		부품손상	접촉불량, 조작불량, 재질불량
		절연파괴	권선, 리드선과 같다
	부 싱	섬 락	세멘팅부, 패킹부에서의 누유

2. 事故擴大에 이르는 프로세스

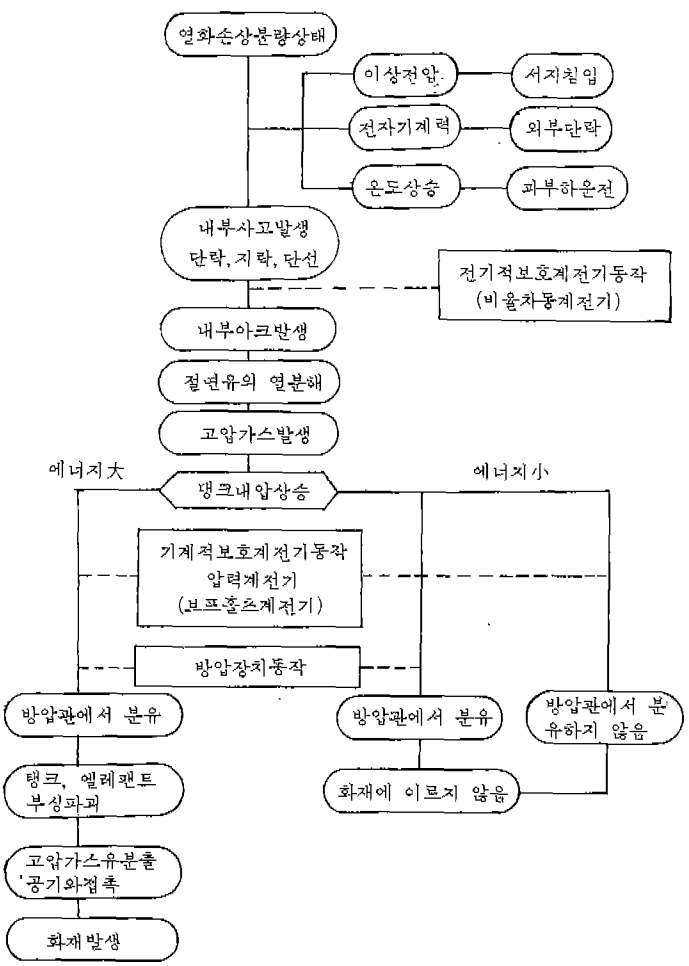
권선 내부에서 부분적인 절연이상이 발생하여 미소단락이 발생하면 아크열에 의하여 부근의 절연물에 손상을 가져온다. 이것을 그대로 방치하면 턴간 단락에서 코일 간 단락으로 점차 사고가 진전 확대된다. 아크 전압과 단락전압에 의한 아크 에너지는 절연유를 가스 분해하여 발생한 분해 가스에 의하여 탱크 내압이 상승하여 방압관에서 분유된다.

절연유는 난연성이며 용이하게 발화하는 것은 아니나 사고진전도가 크고 상간단락이나 선로단지락에 이르면 급격히 다량의 분해 가스를 발생하기 때문에 탱크 내압 상승은 방압변동작에 의한 압력해방보다도 급준하여 탱크 한계압력 이상으로 상승하기 때문에 사고기를 조기에 계통에서 이탈시키지 않으면 탱크파괴, 분유, 발화하여 화재사고로 이르는 수가 있다(**그림 1** 참조).

3. 內部事故에 대한 保護繼電方式

변압기의 내부사고를 검출하는 계전기는 원리상 전기적 보호계전기와 기계적 보호계전기로 구분된다.

전기적 보호계전기는 사고시의 전류, 전압변화를



〈그림－1〉 內部事故와 事故擴大의 양상

검출하는 것이고 기계적 보호계전기는 기름(유압, 유면, 유온) 및 가스(압력, 집적량)에 대한 물리적 변화를 검출한다.

(1) 電氣的 保護繼電器

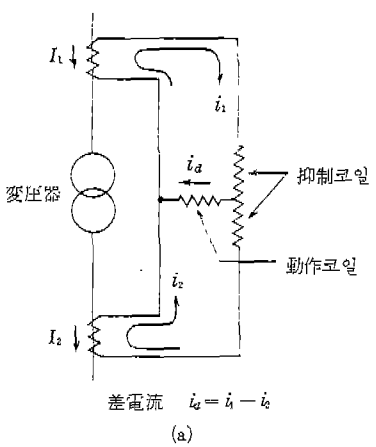
① 比率差動繼電器(RDf) : 내부사고시에 1차, 2차 간의 전류 밸런스가 무너져 발생하는 差電流에 의하여 검출, 동작하는 방식.

비율차동계전기를 사용할 경우에는 다음 사항에 주의한다(그림 2 참조)

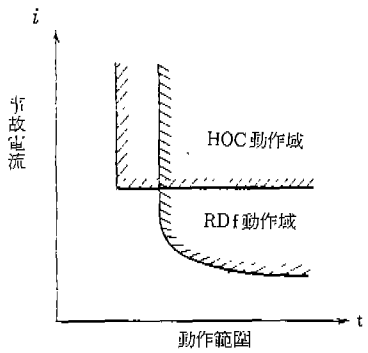
(i) 위상각의 보정 : 1차, 2차 간이 동상이 되도록 CT를 결선한다.

(ii) 전류치의 보정 : 보조CT 또는 정합 탭에 의하여 차동회로전류의 밸런스를 맞추어야 한다.

(iii) 여자돌입전류대책 : 돌입전류의 제 2 고조파



〈그림－2〉 比率作動繼電方式과 動作特性



小電流域보호로서 고조파억제부속 고감도RDf를 사용하여 대전류역에 고속동작의 HOC를 함께 구성한 보호방식

〈그림－3〉 HOC와 RDf에 의한 保護例

함유율에 의한 판정요소를 부속시킨 것이 많다.

② 과전류계전기 (OC, HOC)

③ 지락과전류계전기 (OCG)

(2) 機械的 保護繼電器 (그림 4)

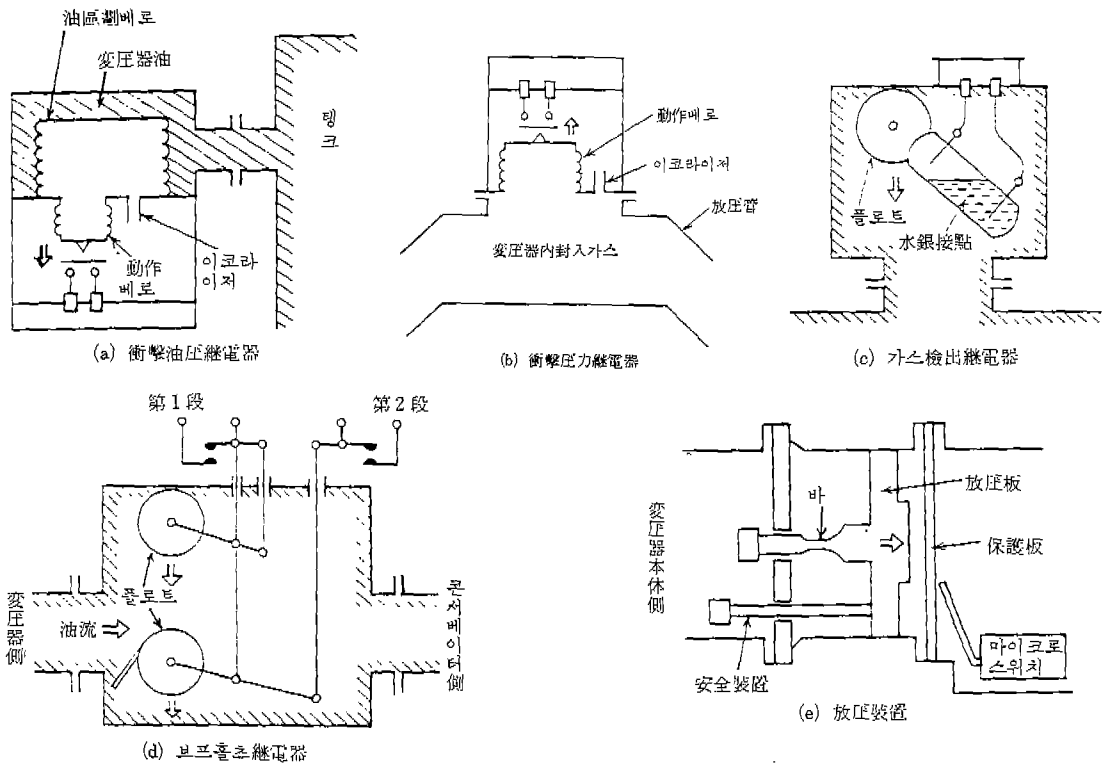
① 충격유압계전기 : 절연유 중의 아크방전에 의한 분해 가스에 기인하는 기름의 압력상승을 검출, 변압기 탱크에 설치하며 내부에 기름과 공기의 구획 베로를 설치하여 통상의 내압변화에 대해서는 이코라이저 효과를 부여하여 내부사고에 의한 급격한 압력상승시에만 동작한다.

② 충격압력계전기 : 가스 밀봉식으로서 가스스페이스를 가지고 있는 변압기의 頂部에 설치하며 가스실의 급격한 이상 압력 상승시에 동작한다.

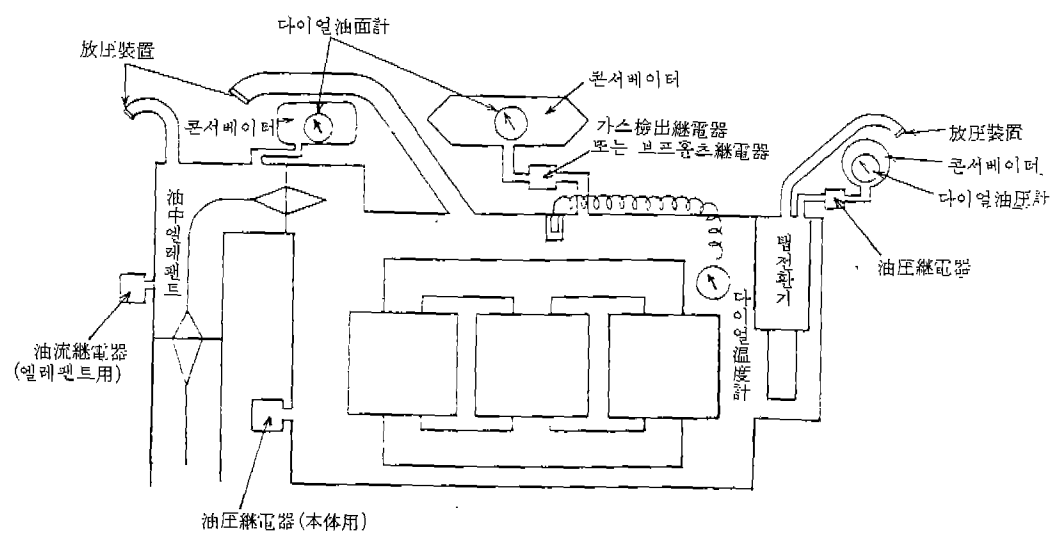
③ 가스 검출계전기 : 변압기 정부에 설치하며 미소사고, 열화에 의하여 발생하는 분해 가스를 내부에 체류시켜 플로트의 침하에 의하여 동작한다.

④ 브흐홀츠 계전기 : 제 1단은 가스 검출계전기와 마찬가지로 가스 체류에 의한 플로트 침하에 의하여 제 1단 접점이 동작한다. 제 2단은 내부사고에 의한 충격油流가 플로트의 날개에 부딪쳐 밀어내림으로써 제 2단 접점을 동작시킨다.

⑤ 방압장치 : 내압 상승시에 기름을 방출시켜 압력상승을 완화한다. 방압관 두부에 설치하며 내부압력이 설정치를 초과하면 바가 절단, 동작하여 방압관이 파열하여 마이크로스위치를 동작시킨다.



〈그림－4〉



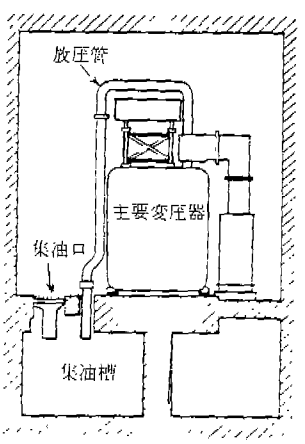
〈그림－5〉 保護繼電器의 設置圖

〈표－2〉 変压器부속 保護裝置의 動作特性과 용도

보호장치	일 반 적 인 동 작 특 성		일반적인용도
충격유압계전기	최저동작압력 최저동작압력상승률 ( ) : 저감도, 내진형의 값	0.0245(0.15)kg/cm² 0.0055(0.02)kg/cm² · sec	트 립
충격압력계전기	동 상		트 립
가스검출계전기	가스체류량	300~450cc	알 람
브프홀츠계전기	제 1 단 : 가스체류량 제 2 단 : 충격유류속도	300~450cc 0.5~1m/sec	알 람 트 립
방 압 장 치	내부압력	0.5~1.5kg/cm²	알 람
다이얼온도계	油 溫 度	75~80℃ (정격시의 유온상승+최고주위온도)	알 람
다이얼유면계	유면지침	눈금 0	알 람

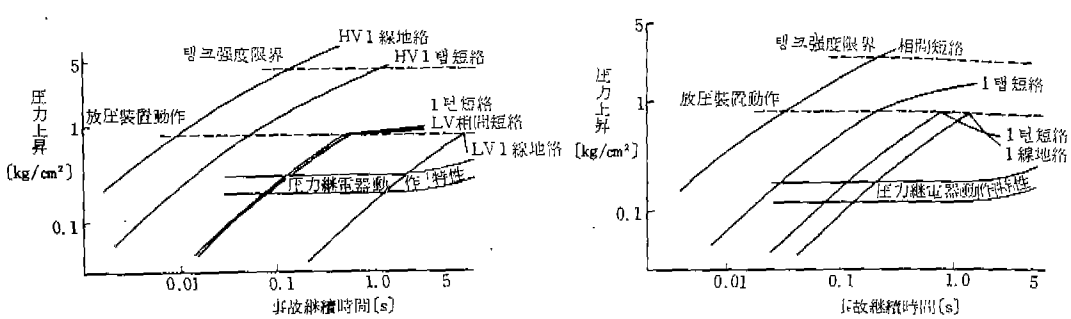
⑥ 다이얼温度計 : 탱크 상부의 최고유온부에 감온부를 설치하며 감온부 봉입 액체의 팽창을 불돈관을 통하여 지시침에 전달하는 동시에 설정온도에서 접점을 동작시킨다.

⑦ 다이얼油面計 : 콘서베이터에 설치하며 내부유면상의 플로트 위치를 자기 계수에 의하여 외부 다이얼의 지시침에 표시하는 동시에 설정유면에서 접점을 동작시킨다.

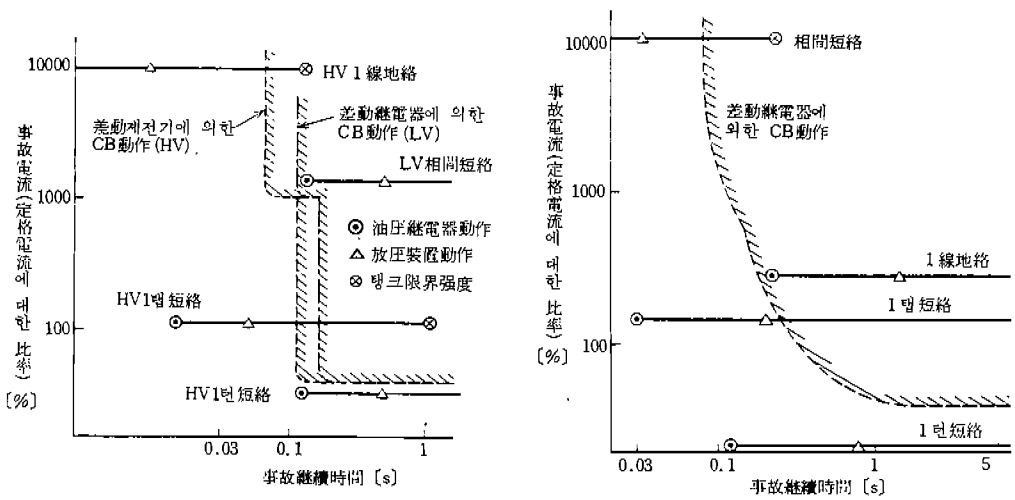


4. 保護協調

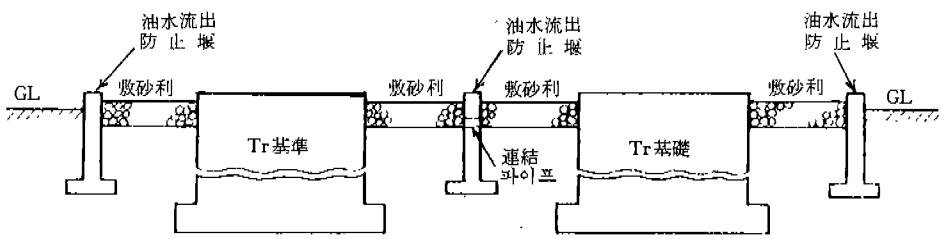
변압기의 사고가 확대되어 탱크 파괴, 화재 등의 2차재해로 발전하지 않도록 사고의 내용에 따라



〈그림－6〉 内部事故時의 탱크内圧上昇計算例



〈그림-7〉 內部事故時의 탱크强度限界와 繼電器動作特性



〈그림-9〉 屋外設置 変圧器油 流出防止設備의 構造例

적정시간 내에 사고변압기를 계통에서 절리시켜야된다. 상간단락, 선로단지락 등의 중고장에서는 전기적 보호계전기 및 기계적 보호계전기가 모두 동작하는데 에너지가 크고 단시간에 탱크 강도한계까지 도달하기 때문에 보호장치의 동작시간이 중요한 요소가 된다.

1턴 단락, 1코일 단락 등 미소사고의 경우에는 차동계전기로는 검출이 불가능한 경우가 있으며 기계적 보호계전기에 의하여 검출하게 된다. 단 이와 같은 경미한 사고에서는 탱크 내압상승도 작고 방압관에 의한 압력완화의 효과도 있으므로 탱크 파괴에 까지는 이르지 않는다.

보호계전기 동작에 의한 차단시간의 산출은 계전기 자체의 동작시간에 보조계전기(10~20ms) 및 차단기 동작시간(3~5 Cycle)을 가산해야 된다.

5. 事故擴大 防止對策

사고확대 방지에 대한 성능 레벨을 향상시키기위해서는 만일 사고가 발생해도 탱크 파괴에 이르지 않도록 3항에서 설명한 보호장치를 적절하게 배치하는 동시에 상정되는 사고를 기초로 하여 보호협조를 충분히 검토한다. 또한 경우에 따라서는 탱크 강도의 증강, 避圧能力의 강화등 설계상의 대책과 보호계전기의 고속화 등 보호상의 대책을 강구해야 된다.

(1) 設計上의 對策例

〈표－3〉 가스分析結果의 判定基準가늠

(a) 可燃性 가스總量(TCG) 및 가스量의 要注意레벨과 異常레벨

변압기정격		각 가스량〔ppm〕					
		TCG	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	CO
275kV以下	10MVA以下	1,000(2,000)	400(800)	200(400)	150(300)	300(600)	300(600)
	10MVA超過	700(1,400)	400(800)	150(300)	150(300)	200(400)	300(600)
500kV	－	400(800)	300(600)	100(200)	50(100)	100(200)	200(400)

C_2H_2는 아크 방전 등의 고온열 분해에 의하여 발생하는 특징적인 가스이기 때문에 미량이라도 검출된 경우에는 주의해야 된다.

(b) 可然性 가스總量(TCG)의 증가경향의 要注意레벨과 異常레벨

變圧器定格		TCG增加率
275kV以下	10MVA以下	350ppm/년(100ppm/월)
	10MVA초과	250ppm/년 (70ppm/월)
500kV	--	150ppm/년 (40ppm/월)

( )값은 이상 레벨을 표시한다.

① 탱크强度의 증강 : 강도적으로 약점이 있는 구조는 피하고 상하 탱크 접속 플랜지部 등을 보강하고 다른 부분과 같은 강도를 부여한다.

② 放圧管의 활용 : 대형 변압기에는 적정한 구경, 개수의 방압관을 설치하고 형상은 가급적 급격한 굴곡이나 단면의 변화를 피한다. 옥내에 설치되는 변압기에 대해서는 방압관의 선단을 油溜등으로 유

〈표－4〉 大容量 負荷時 탭 전환 変圧器의 點檢指針例

점검장소	점 검 항 목	점검기간	판정기준, 점검요점
권 선	①절연저항측정	적 의	판정가늠은 그림10 참조
절 연 유	①절연파괴전압측정	2～3년	30kV 이상
	②산가측정	2～3년	0.2 미만
	③유중가스분석	0.5～1년	가연정가스총량(ml/100ml) 이하 C_2H_2 (아세틸렌)가 검출되지 않을 것
	④기타, 성능시험		
탭 전환 장치	①절연유의 특성판정	1년	耐圧 20kV 이상
	②전환개폐기내부점검	5만회 또는 5년	접촉자의 접촉상황, 파손변형, 죄임부의 이완등을 점검
	③구동장치점검	2～3년	동작상황, 전달기구의 마모, 이완등을 점검
	④제어장치, 보호장치	1년	
부속장치	①질소봉입장치점검	2～3년	질소가스순도 97% 이상
	②수냉식냉각장치 점검	2～3년	유냉각기외부, 해체점검, 냉각탑점검
	③수질검사	연 2회	pH, 導電度, 염소이온, 全硬度
	④부싱점검	2～3년	애관균열, 오손상태, 유누설, 발청의 유무
	⑤방압장치점검	2～3년	방압판의 균열, 분유형적, 가스누설, 유누설의 유무
	⑥기계적보호계전기점검	2～3년	접점의 동작시험
	⑦제어보호회로점검	2～3년	경보시험, 보기기동정지시험, 배선의 절연저항
본체내부	① 본체내부점검	적 의	권선, 철심, 리드선, 지지절연물의 점검
본체외부	①외부세밀점검	2～3년	누유, 발청, 도장, 죄임부의 이완점검, 냉각장치등의 진애제거
	② 임시점검	적 의	전기적 특성시험

도하여 기름이 비산되는 것을 방지한다.

(2) 保護上의 對策例

①압력계전기 등의 기계적 보호계전기에 대해서는 오동작이 발생하지 않는 범위 내에서 본래의 특성을 활용할 수 있도록 운용한다. 지진시의 오동작 방지를 위해 지진검출계전기와 함께 구성하여 사용하는 경우도 많다.

②유효접지계에서 계통단락용량이 큰 경우에는 고속도형 비율차동계전기(靜止形)를 채용하여 사고를 조기에 검출, 대처하도록 한다.

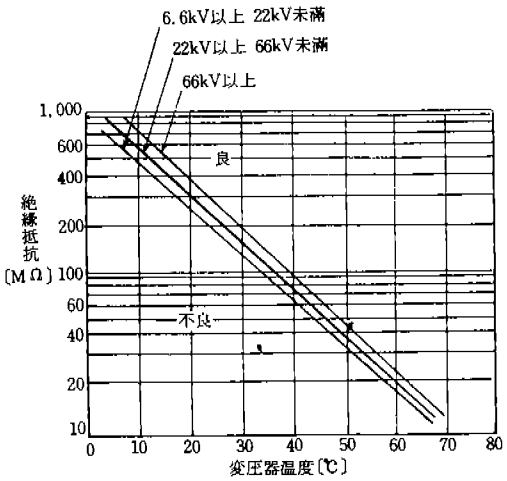
(3) 事故未然防止對策

사고의 미연방지대책면에서의 변압기의 보수로서는 일상적인 순시와 정기점검으로 대별되며 보수기준, 취급설명서 등에 따라 실시하며 이상장소의 조기발견에 노력한다.

점검항목으로서 내부 이상의 검출, 사고확대방지에 유효한 방법으로서 절연유중 가스 분석의 추가가 장려되어 효과를 올리고 있다.

〈가스分析結果의 判定方法〉

①가연성 가스 총량과 증가경향에 의한 판정



〈그림-10〉 變压器 絶緣抵抗 許容値

②각 성분 가스량과 증가경향에 의한 판정

③발생 가스의 구성변화에 의한 판정 이상 변압기의 내부사고 확대에 이르는 프로세스와 사고확대방지대책에 대하여 설명했는데 보호방식, 확대방지대책의 적용, 운용면에서는 각 기기의 조건을 고려하여 충분히 검토를 해야 된다. *

(97페이지에서 계속)

분 빈맥과 같이 수면부족·과로·극단적인 스트레스·음주·끽연·코피의 대량섭취등에 의해 유발되는 일이 많으므로 이러한 유인을 극력 피하는 것이 무엇보다 중요합니다.

모든 병은 조기발견, 조기치료가 원칙입니다마는 21세기의 의료는 오히려 예방의학이어야 한다고 말하고 있읍니다. 병의 원인과 유인을 명백히 하여이 같은 원인·유인을 빌리하여 발병하지 않도록 하는 것이 중요합니다. 이번에 말한 「動悸」는 많은 심장병 가운데 극히 일부분에 지나지 않으나 오늘날 암과 함께 성인병의 중요한 부분을 차지하는 심장병의 예방에는 과로·스트레스·수면부족을 피하고 몸이 불어나지 않도록 절주·절식을 하는 한편 끊연을 끊고 규칙적인 일상생활을 보내도록 하는 것이 극히 중요한 것입니다. 미국의 저명한 심장병의 전문의이며, 예방심장학의 중요성을 강조해온 P.D White박사도 "담배를 피우지 말자" "비대해지지 말자" "차를 타지 않고 걷도록 하자"고 말하고 있읍니다. *