

# 油入變壓器의 診斷요령

전력의 안정공급은 우리들의 일상생활이나 고도화된 각종 산업에서 필요 불가결의 것으로 되어 있다. 최근의 변전기기는 이와 같은 사회적인 요구를 배경으로 재료, 설계방법, 제조기술 등의 발달에 따라 신뢰도는 현저하게 높아지고 있는데 고장이 발생했을 경우의 영향은 막대하다.

전기설비의 보수, 보전에 종사하는 사람으로서는 사고를 미연에 방지하는 것은 최대의 사명이며 보수관리와 절연진단은 불가결의 것이다.

여기서는 유입변압기에 대하여 현장에서 실시할 수 있는 진단방법, 특히 예방보전에 대하여 진단의 기초가 되는 열화현상과 진단기술에 대하여 설명한다.

## 1. 變壓器의 内部故障要因

변압기의 내부고장의 요인으로서는

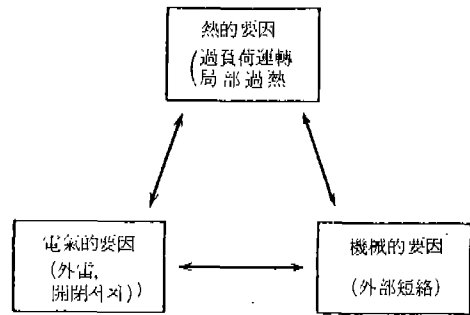
- (i) 열적 요인
- (ii) 전기적 요인
- (iii) 기계적 요인

을 생각할 수 있다.

모두가 단독으로 발생하는 경우는 적고 상기의 요인이 중첩되어 내부사고에 이르는 경우가 대부분이다(그림 1).

### (1) 熱的 要因

유입변압기에 사용되고 있는 절연재료는 크라프트지, 프레스보드 등의 셀로로스계 절연물과 광유계 절연유이다. 절연물의 열열화는 온도에 의하여 그 열화 속도가 좌우되며 과부하운전 등으로 변압기의 온



〈그림- 1〉 變壓器의 内部故障要因

도가 높아지거나 또는 국부적인 과열이 있으면 열화속도가 증가된다.

절연물이 열열화가 되었을 경우에 생각할 수 있는 고장으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (i) 절연물의 초기의 절연성능이 손상되어 절연파괴에 이른다.
- (ii) 절연물의 기계적 강도가 저하되어 전자적 진동 등에 의하여 물리적 손상이 발생하여, 절연파괴에 이른다.

### (2) 電氣的 要因

변압기의 운전중에 外雷나 개폐 서지의 침입 등에 의하여 절연물이 손상을 받게 된다. 이 손상이 발단이 되어 상류운전전압에서도 부분방전이 발생하여 최종적으로 절연파괴에 이르는 경우도 있다.

### (3) 機械的 要因

외부 단락시에 코일에 발생하는 電磁機械力에 의하여 코일에 약간의 영구비틀림이 생기거나 또는 절

연물이 물리적 손상을 받아 절연과피를 야기할 경우가 있다.

특히 절연물이 열열화를 받아 기계적으로 약하게 되어 있는 상태에서는 이 위험성은 크다고 하겠다.

## 2. 内部診断技術

변압기의 내부진단방법에는 운전정지가 필요한 것과 운전중에도 할 수 있는 것이 있다.

표 1에 현장에서 채용할 수 있는 진단항목을 들었다.

〈표-1〉 変圧器의 内部診断項目

	변압기의상태	진 단 항 목	예방보전	사후보전
내부진단	운전정지	절연저항측정	○	
		권선저항측정		○
		여자전류측정		○
		변압비측정		○
		임피던스 측정	○	○
		절연유열화진단		○
		운전중	유중가스분석	○
	코일의 국부단락 접출	○		

내부진단에는 보호계전기가 동작한 경우 또는 사고 후에 내부에 이상이 있다고 인정된 경우에 실시하는 진단(사후보전)과 내부이상을 조기에 발견하여 중대사고에 이르기 전에 실시하는 진단(예방진단)이 있다.

여기서는 특히 예방보전에 관한 진단방법에 대하여 설명한다.

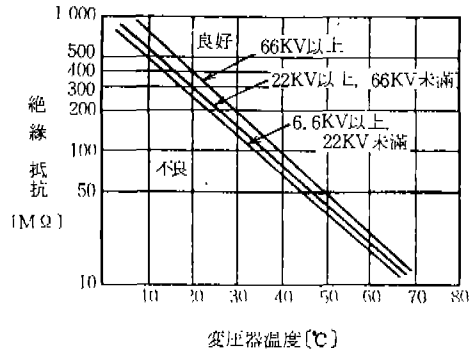
### (1) 電氣的 試驗에 의한 内部診斷

표 1의 운전정지시의 진단항목을 일반적으로 전기 시험이라고 한다. 이 중에서도 절연저항측정과 임피던스 측정은 예방보전으로서도 중요한 항목이다.

(a) 絶緣抵抗測定 중래로부터 절연열화의 검출 방법의 하나로서 절연저항의 측정이 널리 실시되고 있다. 그러나 이것은 열화의 경향을 파악하는 하나

의 요소는 되어도 그 측정치 그 자체로 열화의 판단은 할 수 없다.

그러나 절연저항은 흡습에는 매우 민감하므로 흡습도를 아는 가능성이 되기도 한다. 그 허용치의 가늠을 그림 2에 들었다.



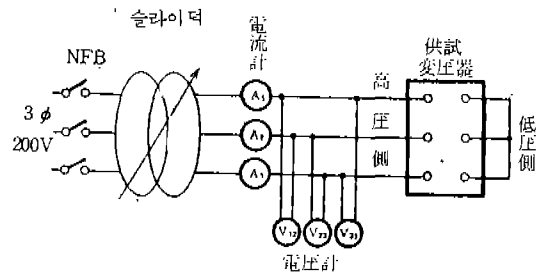
〈그림-2〉 変圧器 絶緣抵抗 許容値

(1000V 또는 2000V 絶緣抵抗計에 의한)

(b) 임피던스測定 변압기 내부 또는 외부의 단락사고에 의한 단락전류가 반복하여 흐름으로써 코일에 영구비틀림이 생겨 약간 변형되는 수가 있다. 코일의 변형은 내기계력을 저하시켜 다시 외부단락이 발생했을 때에는 그 기계력에 의하여 코일이 파괴될 가능성이 발생하게 된다.

변압기의 2차단락이 발생했을 때 변압기의 임피던스를 측정하여 공장 데이터와 비교함으로써 중대사고로 이르기 전에 코일 변형의 유무를 진단할 수 있다.

측정회로 예를 그림 3에 들었다.



〈그림-3〉 임피던스 測定回路

이상 유무(코일 변형 유무)의 판정기준으로서는 공장시험 데이터와의 차이를 2% 이내로 보면 된다(구형 코일 등으로 제작된 소용량의 변압기에서는 7.5% 이내).

2% 오더의 임피던스의 차이를 알기 위해서는 극히 정확한 측정이 요구된다. 따라서 임피던스의 측정에서는 다음 사항을 고려해야 된다.

(i) 변압기의 고압측에 인가하여 저압측을 단락할 것.

(ii) 저압측 단락장소는 변압기 부상부에서 단락할 것(변압기 외부의 주회로 임피던스를 측정회로에 넣지 않을 것).

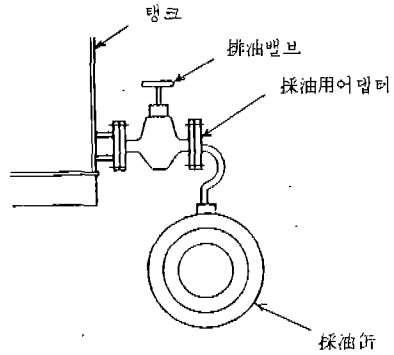
(iii) CT, PT 등을 통하지 않고 고정도의 전압계 전류계로 직접 측정할 것(계기의 오차, 측정회로의 임피던스를 극력없이 하기 위해)

(2) 油中 가스分析

유입변압기의 내부 이상현상은 반드시 발열을 수반하여 발생한다. 절연유나 절연지, 프레스보드 등의 절연물이 과열되면 분해되어 수소(H<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)나 저분자량의 탄화수소를 발생한다. 이들 가스는 절연유에 녹아들기 때문에 변압기에서 채취한 절연유의 용존 가스를 추출, 분석하여 그 가스량 및 가스 조성에서 변압기의 내부 이상의 유무 및 그 정도를 추정할 수가 있다. 이 진단방법은 변압기의 운전을 정지하지 않고 실시할 수 있기 때문에 널리 활용되고 있다.

(a) 採油方法과 油中 가스分析方法 채유는 변압기의 채유변 또는 배유변(檢)에서 한다. 1회의 채유량은 400~800cc 정도이고 채유시에는 극력 절연유가 외기에 접촉되지 않도록 해야 된다(그림4).

또한 채유용기는 내부에 공기가 고이지 않는 구조로 전용용기를 준비해야 된다. 유중 가스 분석에는 여러가지의 방법이 있는데 일반적으로는 전문업자에 의뢰하는 수가 많다. 또한 채유하여 그 기름을 가스 분석을 위해 전문업자에게 의뢰하여 결과가 판명되기까지는 시간을 요하기 때문에 최근에는 변압기에 가스 분석용 가스센서를 부착하여 상시 유중 가스를 감시하여 가스레벨이 일정치 이상이 되



〈그림-4〉 採油方法

었을 때 알람이 울리는 예측보전 시스템이 점차 보급되어 가고 있다.

(b) 診斷方法 변압기 내부에서 국부과열, 부분방전 또는 아크 방전 등의 이상이 발생하면 절연유나 고체절연물의 일부가 열분해하여 가연성 가스가 발생한다.

일반적으로 이상의 종류와 발생 가스의 관계는 표 2와 같다.

또한 몇가지의 실험결과에서 다음과 같은 사항이 보고 되고 있다.

(i) 절연유의 비교적 저온에서의 분해 가스로서는 메탄(CH<sub>4</sub>)이 지배적이고 온도가 높아지면 수소(H<sub>2</sub>)가 발생하여 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)이 지배적으로 된다.

(ii) 절연유가 아크에 접촉되었을 경우 또는 부분방전이 있는 경우의 발생 가스는 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), 수소(H<sub>2</sub>)가 많아진다.

〈표-2〉 異常의 종류에 따른 발생가스 成分

異常의 種類	主要發生 가스
絶緣油의 過熱	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
油浸固体絶緣物の 過熱	CO CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
絶緣油中の放電	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
油浸固体絶緣物の 放電	CO CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>

(주) 1. -표는 특정 가스를 표시한다.  
2. 기호설명: H<sub>2</sub>(수소), CO(일산화탄소), CO<sub>2</sub>(이산화탄소), CH<sub>4</sub>(메탄), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(에탄), C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(에틸렌), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(프로피렌), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(아세틸렌).

(iii) 절연물이 과열을 받았을 경우에는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)가 발생한다.

이상의 경향으로 유중 가스 성분에서 과열부분의 진단이 가능해진다.

(c) 가스分析結果의 判定方法 가스 분석결과와 판정방법으로서는

(i) 가연성 가스 총량에 의한 판정(표 3, 4).

(ii) 각 성분 가스량에 의한 판정(동상)

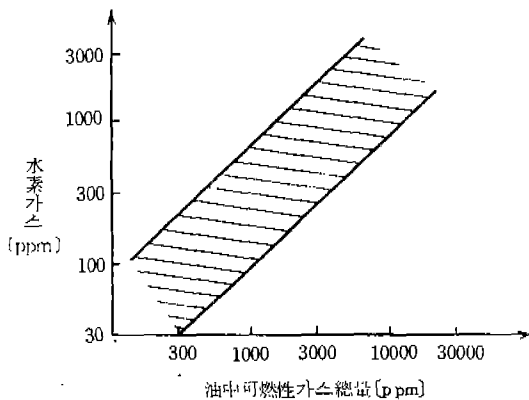
(iii) 가연성 가스 총량의 증가경향에 의한 판정(표 5, 6)

(d) 油中 가스의 常時監視 전술한 유중 가스 분석은 기름의 추출분석 등으로 장시간을 요한다는 것 또한 통상가스 분석의 인터벌이 1~2년에 1회이며 급격한 내부 이상의 검출에 대응이 곤란하다는 결점이 있다.

따라서 최근에는 상시 유중 가스 감시를 하는 예측보전 시스템이 널리 보급되어 가고 있다.

이 시스템에도 여러 가지의 방식이 있는데 가장 경제적이고 신뢰성이 높은 시스템의 하나로 H<sub>2</sub> 가스 상시감시 시스템이 있다. 변압기의 내부 과열, 또는 방전 등의 이상이 발생했을 경우 표 2와 같이 H<sub>2</sub> 가스가 공동으로 발생한다.

또한 그림 5는 가연성가스 총량과 H<sub>2</sub> 가스의 관계를 든 것이며 H<sub>2</sub> 가스가 가연성 가스의 대응특성으로 되어 있다. 따라서 H<sub>2</sub> 가스만의 감시로 변압기의



(그림-5) 油中 可燃性가스 總量과 水素가스의 相關性

〈표-3〉 可燃性가스總量(TCG) 및 各가스量의 要注意레벨

變壓器定格		各 가스 量 (ppm)					
		TCG	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO
275kV 以下	10MVA 以下	1000	400	200	150	300	300
	10MVA 超過	700	400	150	150	200	300
500kV		—	400	300	100	50	100

〈표-4〉 可燃性가스總量(TCG) 및 各 가스量의 異常레벨

變壓器定格		各 가스 量 (ppm)					
		TCG	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO
275kV 以下	10MVA 以下	2000	800	400	300	600	600
	10MVA 超過	1400	800	300	300	400	600
500kV		—	800	600	200	100	200

〈표-5〉 可燃性가스總量(TCG) 및 증가경향의 要注意 레벨

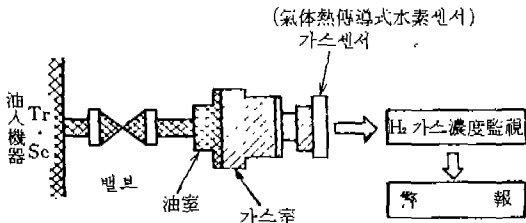
變壓器定格		TCG增加率(ppm/年)
275kV 以下	10MVA 以下	350
	10MVA 超過	250
500kV		—
		150

〈표-6〉 可燃性가스總量(TCG)의 증가경향의 異常레벨

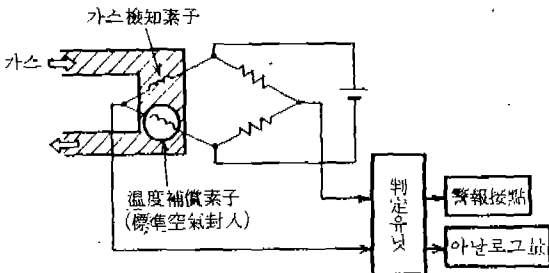
變壓器定格		TCG增加率(ppm/月)
275kV 以下	10MVA 以下	100
	10MVA 超過	70
500kV		—
		40

이상판정은 가능하다고 하겠다.

그림 6과 같은 유중 가스 검출장치로서 밸브를 통하여 H<sub>2</sub> 가스센서를 부착하고 있다. 따라서 시설의 변압기에도 배유 밸브를 이용하여 부착하는 것이 가능하다. H<sub>2</sub> 가스는 투과막에 의하여 油室에



〈그림-6〉 油中가스監視시스템



〈그림-7〉 氣體熱傳導式센서의 基体回路

서 가스室로 추출되어 그림 7과 같은 기체열전도식 H<sub>2</sub> 가스센서로 검출되어 진단장치에 의하여 조기 설 정치와의 레벨 판정이 된다.

(3) 變壓器 코일의 局部短絡의 檢出

변압기의 내부 고장에 권선의 국부 단락이 있다. 외부에서 1~수턴의 턴쇼트를 검출하기 위해 자체 센서를 변압기의 탱크 표면에 부착하여 누설자속의

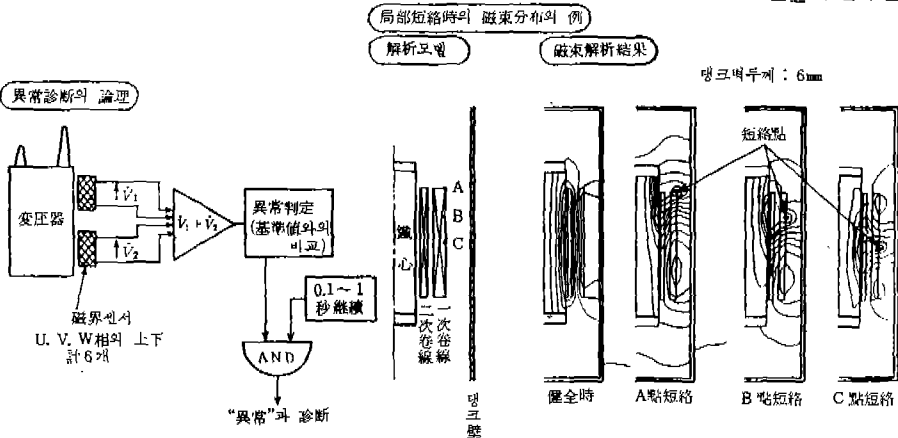
변화를 감시하는 방법이 있다. 이 방법을 발전시켜 상시감시 시스템으로 하면 변압기 권선의 외측 권 선에서의 턴쇼트의 유무는 상시감시할 수가 있다 (그림 8 참조).

즉 건전시의 탱크벽 내의 자속은 변압기의 외측 권선이 국부 단락이 되면 그림 8과 같이 변화한다. 이 변화를 자체 센서에서 상시감시함으로써 권선의 턴쇼트의 유무를 진단할 수가 있다.

전기설비에서의 변압기의 중요성에 따라 최근의 진단기술은 이상의 조기발견으로 중대한 사고를 미 연에 방지하는 예측보전기술이 주목되고 있다. 이같은 상황에서 운전중에 실시할 수 있는 유중 가스 분석을 중심으로 한 절연진단기술은 더욱 중요한 역할을 수행하게 될 것이다.

현재 유중 가스 분석의 진단기술에서 절연지 중 량에 대한 (CO+CO<sub>2</sub>)의 추출량(ml/g)으로써 변 압기의 남은 수명을 진단하는 연구가 진행되고 있다. 앞으로는 이 절연진단기술에서 변압기의 남은 수명 진단기술에의 전개가 추진될 것으로 생각된다.

여기서는 유입변압기의 절연진단에 관하여 유중 가스 분석을 중심으로 근래에 실용화 되고 있는 상 시절연감시 시스템 중의 수소 가스 상시감시, 권선 의 국부 단락검출의 상시감시에 대하여 최근의 동 향을 소개했다. 앞으로 더욱 상시감시에 관한 기술 개발이 추진될 것이다. (註: 본문속의 관계 數値는 모두 일본의 경우임



原理: 변압기의 탱크벽표면에 부착한 자체센서에 의하여 누설자속을 검출

〈그림-8〉 코일의 局部短絡 檢出

\*