

變壓器 故障 및 火災로 因한 損失 豫防 對策

(Loss Prevention Measures for Fire and Failure of Transformers)

황 현 수 / 위험관리부 대리

— ABSTRACT —

This report is on how to extend the life of transformer and reduce losses resulted from fire and failure of transformer through the proper maintenance and fire protection of Oil-insulated transformer

I. 변압기 일반

전력용 변압기는 최초의 기기가 제작된 이후 현재에 이르기까지 약 100년간 교류배전과 함께 발달하여 왔다.

급속한 과학의 발달을 이룩한 오늘날에도 여전히 간단한 원리를 그대로 사용하며 이 이상 효율적이고 경제적인 전력변환 기기는 생각할 수 없기 때문에 에너지 전송 형태가 현재의 방식을 유지 하는 한 혁명적인 변혁은 기대할 수 없다.

따라서 앞으로도 계속 널리 사용될 것으로 확신한다.

그러나 변화가 별로 없는 것처럼 보이는 변압기의 역사도 그 설계·제작기술, 재료 및 시험·보수기술 등은 계속 발전하여 한편에서는 오늘날의 초고압 대용량의 변압기를 탄생시켜 대용량 송전을 가능케 하고 다른 한편에서는 소형이고 손실이 적은 중소형 변압기를 시장에 공급하여 에너지 절약의 일익을 담

당하고 있다.

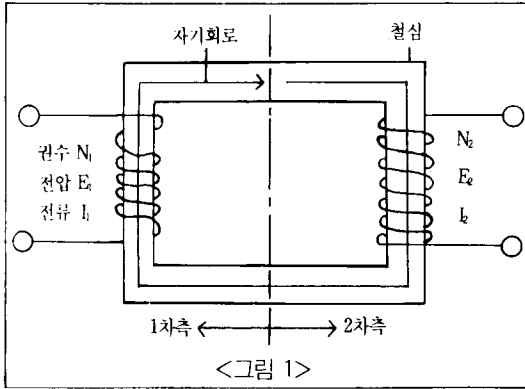
변압기를 오늘날의 모습으로 발전시킨 발명과 노력은 한이 없지만 그중 특기할 만한 것은 절연유의 사용과 규소강판의 발명일 것이다.

절연유의 사용으로 건식에서 출발한 변압기의 방열, 절연문제에 돌파구를 열었고 규소강판의 사용은 변압기를 안정화, 고효율화로 이끌었다. 반면에 절연유의 사용으로 화재·환경, 절연유의 열화로 인한 고장 등 여러가지 문제점이 대두 되었다.

I-1. 변압기의 원리

변압기는 일반적으로 자기회로를 구성하는 철심과 이 철심을 감고 있는 두쌍 혹은 그 이상의 권선(Coil)으로 구성된다.

권선의 한쪽에 교류전원을 접속하면 다른 권선에 권수에 비례하는 교류전압이 얻어져 전원전압에 관계없이 임의의 전압을 얻을 수 있는 정지형 유도 기이다(그림 1참조).



<그림 1>

위의 그림에서는 다음의 관계식이 성립된다.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (a: \text{권수비})$$

변압기는 구조가 간단하고 효율이 좋으며 취급이 용이하므로 송전·배전과 전력의 수요에 널리 사용되며 각종 기기에 도 전압의 승압·강압장치로서 사용된다.

1-2 변압기의 분류

1. 구조상의 분류

변압기의 구조상의 분류는 <표 1>과 같다.

<표 1> 변압기의 구조상의 분류

분 류	종 류
상 수	단상, 3상 변압기, 단상 3상결용변압기
내 부 구 조	내철형, 외철형 변압기
권 선 의 수	2권선, 3권선, 단권 변압기
절 연 의 종 류	A종, B종, H종 절연 변압기
냉 각 매 체	자냉식, 수냉식 변압기
냉 각 방 식	건식, 유입식
탭 전 환 방 식	부하시 탭전환변압기, 무부하시 탭전환 변압기
오일열화방지 방식	질소불입변압기, 무압밀봉식변압기

2. 전압·용량상의 분류

변압기의 최고 정격전압에 따라 초고압변압기, 특 고압변압기라 한다.

용량에 대해서는 대용량변압기, 중용량변압기로 부르지만 그 범위는 통일되어 있지 않다.

3. 용도상의 분류

변압기의 용도상 분류에 대해서는 <표 2>와 같다.

<표 2> 변압기의 용도상의 분류

종 류	용 도
전력용변압기	발전전소 또는 배전선에서 전압을 바꾸어 전력을 공급할 목적으로 사용된다. 배전용 변압기도 이 일부이다.
절연 변압기	복수의 계통간을 절연할 목적으로 사용된다. 타이트랜스라고도 한다.
저소음변압기	소음레벨을 낮게 제작한 변압기
이동용변압기	긴급 대책용으로 차량에 적재하여 용이하게 이동시킬 수 있는 변압기로 간단한 변철설비를 시설한 것
접지 변압기	전력계통에 중성점을 설치하여 직렬 또는 적정 임피던스를 통해 접지할 목적으로 사용된다
부하시 전압 조정기	회로의 전압을 조정할 목적으로 사용하며, 직렬 변압기와 부하시 탭 전환장치를 결합한 장치이다
전기로용변압기	전기로에 전력을 공급하는 변압기로서, 전기로의 종류에 따라 종류가 많다. 보통 2차측은 대전류이다
정류기용변압기	정류기·SCR 등의 전원변압기로, 정류법에 따라 종류가 많다. 정류기와 일체된 것도 있다
선박용변압기	선박내의 배전에 사용하는 특수 변압기로서, 승인이 있어야 한다
방폭형변압기	법규에 준거하여 폭발·가연성 분위기에서 사용하는 변압기로, 공적기권의 승인이 있어야 한다
기동용변압기	대용량 전동기의 기동전류를 제한할 목적으로 사용하는 변압기이다
차량용변압기	교류 전기차량에서 급전전압을 전동기 회로전압으로 강압하는 변압기로, 경량으로 제작된다
시험용변압기	주로 고전압 또는 대전류 시험전원으로 사용되는 변압기이다
정전류변압기	직렬 점동방식 등의 전원에 사용되는 변압기로, 2차 회로와 각 등과의 사이는 포화변압기로 절연된다
누설 변압기	네온관 등의 방전관, 아크용접 등 저항 특성을 갖는 부하에 공급하는 전원에 사용한다
리 액 터	변압기는 아니지만 뒤진 무효전력을 취할 목적으로 사용되며 직렬, 분로, 중성점 리액터 등이 있다.

1-3. 변압기의 수명

변압기는 운전중 온도, 습도 및 산소때문에 절연물이 열화되고 그것이 진행되면 외뢰·내뢰 등의 이상 전압 혹은 외부단락시의 전자기계력 같은 전기적·기계적 스트레스를 받아 파괴될 위험이 늘어난다.

변압기가 운전을 시작한 후 이 위험도가 지극히 높은 시점까지를 변압기의 수명이라고 하며 이 시점을 정확히 검지하기는 곤란하나 변압기 수명에 가장 큰 영향을 주는 절연물의 수명을 통하여 변압기 수명의 근사치를 알 수 있다.

절연물의 수명은 온도가 80°C~150°C의 범위에서 다음의 montsinger식에 의해 구해진다.

$$Y = ae^{-b\theta}$$

Y: 절연물의 수명
a: 정수
b: 0.1155
θ: 절연물의 온도

이 식에 의하면 변압기의 수명은 절연물의 온도가 6°C 상승할 때마다 반감하게 된다는 것을 알 수 있다.

1-4. 변압기로 인한 손실

변압기가 화재로 소손되는 경우, 변압기가 고장을 일으키는 경우, 변압기 설치장소 주위에 새로운 건물 등이 들어서거나 도로가 건설될 때 변압기를 철거해야 하는 경우등에는 막대한 비용 손실을 야기시킬 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

1. 교체

변압기는 고가의 장비로서 그자체의 교체에 만도 많은 비용이 소요된다.

2. 간접비용

변압기가 어떤 원인에 의해 작동이 정지되는 사고가 발생시 소요되는 비용은 교체비용의 최고 20배까지나 된다. 이 비용은 변압기의 철거·운반비 및 운반경로가 확보되지 않은 경우에는 이의 건설비를 포함하며 변압기가 정상 상태로 복구 될 때까지의 작업정지 비용이 추가된다.

3. 복구기간

대형 변압기에서는 수리기간이 최고 9개월까지도

소요되며 변압기를 들어내어 운반하고 분해·수리하여 원래위치에 재설치 하는 것은 시간이 많이 소요되는 작업이고 운반에도 많은 장애가 있다.

4. 정전소통

1989년 서울 노원구 W변전소 화재시 서울의 북부 지역 130만 시민이 암흑 상태에서 불안에 떨어야 했으며 각 도로의 가로등 및 신호등이 꺼져 극심한 교통체증을 빚었고, 상수도 가압펌프가 작동하지 않아 단수가 되는 불편을 겪었고 일부 발전기가 설치되지 않았던 소규모 의원에서는 진료에 차질을 빚었으며 고층아파트에서는 주민들이 엘리베이터에 갇히는 등의 소동을 벌였다.

또한 산업시설에서의 정전시 공정중의 반응 물질이 응고될 경우 이를 제거하고 재가동 하는데는 많은 시간과 비용 그리고 생산에 차질을 가져오기도 한다.

1-5. 변압기의 중요도

변압기가 공장의 생산활동에서 차지하는 비중이 얼마나 되는가 하는 것은 변압기 자체의 교체나 수리비용 뿐만 아니라 변압기 고장이 다른 설비나 생산활동에 미치는 영향에 의해 결정되며 그에 알맞은 유지관리와 사고예방 대책이 수립된다.

변압기가 다음의 조건중 하나와 일치할 때 변압기는 생산활동에 커다란 영향을 미치고 중요하게 취급되어야 한다.

- (1) 변압기 교체에 2주이상 소요될 때
- (2) 화재로 손상된 변압기 부속 장치의 교체에 2주이상 소요될 때
- (3) 변압기 화재가 인접건물이나 구조물로 확대될 가능성이 있을 때
- (4) 변압기가 500gal(1895ℓ)이상의 광유를 담고 있을 때
- (5) 변압기가 주변을 오염시킬 가능성이 있을 때 (PCB절연변압기에서)
- (6) 변압기 화재가 주변 시설을 부식시킬 가능성이 있을 때
- (7) 변압기의 설치장소, 용도, 용량에 대한 검토결과·사고발생 가능성이 높다고 판단 될 때 등

II. 유입 변압기의 화재예방

II-1. 절연유의 종류

1. Oil

절연유로 가장 널리 사용되는 것으로서 석유계 원유를 증류한 후 적당한 유분을 정제·처리하여 만들어진 광유를 사용한다.

145°C의 인화점을 가진 광유는 절연유가 화재에 취약하다는 것을 나타내며 sludge(침전물)를 발생하고 전기사고시 절연이 파괴된다.

2. PCB유(Polychlorinated Biphenyls)

PCB유는 염소와 페놀의 화합물로서 인체와 환경에 위험을 주는 물질로 그 사용이 점차 줄어들고 있다.

그 결과 PCB유를 사용하는 변압기도 급격히 줄어들고 있는 실정이나 아직도 일부에서 사용중이며 PCB유가 사용될 때까지는 철저한 통제를 하여야 한다.

3. 불연성유(Nonflammable Liquid Insulated:NFLI)

이것에는 여러 종류의 유체가 사용되고 있으며 그 사용도 점차 증가되고 있다. 불연성유는 고온에서 변압기 고장시 염화수소를 방출하고 수분과 결합하여 높은 부식성을 가진 염산의 형태가 된다.

불연성유는 여러 용도에 사용된다. 그러므로 불연성유의 화학적 성분이나 유독성에 대하여는 정밀하게 조사되어야 하며 모든 장단점과 사고 예방에 관한 사항은 사용전에 검토되어야 한다.

4. 준불연성유(Less Flammable Liquid Insulated:LFLI)

이것은 300°C의 인화점을 가지는 새로운 범주의 유체로서 두가지 형태로 분류되며 그것은 다음과 같다.

통상 실리콘이라고 불리우는 Polydimethyl Siloxane(PDMS)와 고분자 탄화수소(High Molecular Weight Hydrocarbons:HMWH)이다.

이들은 화재 위험을 가지고 있음에도 불구하고 PCB유 사용이 줄어들므로서 사용이 증가되고 있다.

PDMS와 HMWH는 많은 장단점이 있으며 연소성을 가지는 관계로 규정에서는 다른 연소성 액체와 동일하게 취급된다. 그러나 이들은 광유보다는 덜 가

연성이다.

II-2. 유입변압기의 화재예방

1. 옥외 유입변압기의 설치기준

옥외 변압기는 비, 바람, 눈, 화재와 같은 외부적인 요인에 영향을 받으므로 가능한 한 이러한 요인들이 영향을 미치지 않는 장소에 설치해야 하나 그것은 항상 가능한 것이 아니므로 고정식 소화설비를 설치하는 것으로 대신한다. 또한 변압기 설치장소는 다음의 기준에 따라야 한다.

(1) 기초지반은 25~39mm크기의 자갈 등으로 채워야 하며 그 깊이는 변압기로부터 누출된 기름을 담는데 충분해야 한다.

(2) 변압기는 콘크리트나 주춧돌과 같은 견고한 바닥면 위에 설치해야 한다.

(3) 화재시 살수된 소화수와 연소하는 절연유를 안전한 장소로 배수시킬 수 있는 배수시설을 하여 변압기 주변 시설물을 손상시키지 않는 구조를 갖춘 장소에 설치해야 한다.

지형조건상 위의 조건을 만족시킬 수 없을 때에는 오버플로우(overflow)배수장치와 배관을 사용하여 소화수와 연소하는 절연유를 멀리 떨어진 안전한 장소로 배수시켜야 한다.

(4) 소방대원과 관리자가 쉽게 출입할 수 있는 장소이어야 하며 외부인의 출입을 막는 펜스(fence)를 설치해야 한다.

(5) 화재를 확산시키고 배수에 지장을 줄 수 있는 잡초, 잡동사니, 어름 등이 없는 장소이어야 한다.(옥내 변압기 설치기준은 화재예방 조례 제9조 참조)

2. 변압기의 화재 예방대책

다음 <표 3, 4>는 NEC(National Electrical Code)와 IRI(Industrial Risk Insurers)의 변압기 화재예방대책에 대한 것을 나타낸 것이다.

3. 변압기 용지선정

(1) 변압기는 다음의 가능성과 만나지 않는 장소에 설치되어야 한다.

1) 눈이 많이 쌓이는 장소

2) 홍수시 범람, 흙의 침식, 물이 고이는 장

소

3) 대기중의 먼지입자가 부식과 절연물에

<표 3> 이절연 변압기의 화재예방

- 하나의 변압기 Oil 탱크용량의 열과 설치장소와 일치하는 줄의 숫자를 찾아 표제와 같은 조치를 취할 것
- 이때 숫자가 중복시에는 가장 높은 수를 선택한다

	설치장소	Oil 탱크 용량(gal)		
		500이하	500초과 5000이하	5000초과
옥내	천정이 없는 경우	5	5	5
	천정이 있으며 개구부가 없는 경우	0	0	2
	동일한 천정내에 다른 변압기들이 있는 경우	2	2	2
	아아크로나 정류형 변압기와 같은 특수용 또는 중요한 변압기	0	2	2
	동일한 천정내에 중요한 장비가 있는 경우	2	2	2
옥외	옥상위에 노출된 경우	5	5	5
	노출되지 않은 경우	0	0	2
	아아크로나 정류형 변압기와 같은 특수용 또는 중요한 변압기	0	0	2
	부속장치나 다른 변압기와 7.6~15m	0	1	3
	다음의 이격거리일 경우 3.1~7.6	0	3	3
	3.1미만	0	5	5

※ 표제 : 0 = 추가적인 보호가 필요치 않음

- 1 = 방화벽을 설치
- 2 = 물분무 소화설비설치
- 3 = 물분무와 방화벽 설치
- 4 = 물분무 또는 CO₂설비를 각 변압기에 설치
- 5 = 바람직하지 않은 설치임

※ SI단위에서 1gal = 3.785 ℓ

※ 주의 : 이 표는 적절한 배수시설과 소방서 및 자체 방화관리 상태가 양호한 경우를 가정한 것이다.
하나의 변압기는 3상, 단상, 병렬운전되는 변압기를 의미한다.

누적되어 지락고장의 원인이 될수 있는 장소

4) 수관, 가스관, 가압용기나 배관이 파열될 가능성이 있는 장소

(2) 변압기 용지선정은 다음과 같은 목표를 충족시키는 장소이어야 한다.

1) 변압기와 부속장치는 장래 증설과 변화에 대비할 수 있는 장소이어야 한다.

2) 소화용 펌프나 열·연기의 환기용 동력은 특별히 신뢰성과 안정성이 확보되어야 한다.

3) 변압기는 점검 및 보수, 교체가 가능해야 한다.

4) 변압기와 부속 전기장치는 위험상태에 노출되어서는 안된다.

① 변압기는 연기에 의한 손상을 받을 수 있는 장소의 옥내에 설치해서는 안된다.

② 소화작업시의 안전확보를 위해 고전압선과 소화전용 배선은 다른 경로를 통해 배선되어야 한다.

③ 유입차단기(Oil Filled Circuit Breaker)는 천정이 있는 곳이 아니면 옥내에 설치해서는 안된다.

④ 6불화황가스차단기(Sulfur Hexafluoride Gas Filled Circuit Breaker)는 부식될 수 있는 장소나 구조물이 있는 곳에 설치해서는 안된다.

다. 변압기는 이동하는 물체와 충돌할 가능성이 있으면 옮겨야 한다. 그렇지 않으면 보호막이나 경계선을 설치해야 한다.

또한 변압기는 주차장 등과 견고한 장벽에 의해 구획되어야 한다.

<표 4> 준불연성유절연 변압기의 화재예방

- 설치장소에 따르는 숫자를 찾아 표제와 같은 조치를 취할 것
- 숫자가 중복시에는 가장 높은 수를 선택한다.

	설치장소	숫자	
천정이 없는 옥내	설치장소 또는 구조물이 가연성인 건물내	3	
	가연성물질이 적재된 주택 내	6	
	가연성 물질적재된 양이 중간이하인 생산지역내에서 가연물과 이격이 25m 미만인 경우	가연물과 이격이 25m 이상 4.6m 미만인 경우	4
		가연물과 이격이 4.6m 이상 9.2m 미만인 경우	3
		가연성물질 적재된 양이 대규모인 생산지역내에서 가연물과 이격이 9.2m 이하인 경우	6
	가연물과 이격이 9.2m 초과한 경우	3	
	설치장소와 구조물이 불연성인 경우에 9.2m 이내에 다른 변압기가 없는 경우	9.2m 이내에 다른 준불연성유 절연변압기가 있는 경우	1
		4.6m 이내에 다른 준불연성유 절연변압기가 있는 경우	4
		절연유 용량이 500gal 이상인 경우	5
		다른 변압기나 장비가 없는 경우	0
천정이 있는 옥내	절연유 용량이 500gal 이상인 경우	2	
	기타 모든 경우	2	
	옥 외	창문, 가연구조 건물이나 창고, 중요구조물로부터 9.2m 이내인 경우	6
노출된 보조장비나 부속장치들이 3m 이내에 설치된 경우		1	
노출된 다른 준불연성유절연 변압기와 7.6를 넘게 이격된 경우		0	
	2.5초과 7.6m 이하	1	
	2.5m 이하	6	

- ※ 표제 : 0 = 추가적인 보호가 필요치 않음
 1 = 불분무 또는 방화벽 설치
 2 = 물분무 또는 스프링클러설비 설치
 3 = 스프링클러설비 설치
 4 = 불분무와 방화벽 또는 스프링클러와 방화벽 설치
 5 = 불분무 또는 CO₂ 설비를 각 변압기에 설치
 6 = 석정하지 않은 설치

III 변압기의 보호

III-1. 낙뢰로부터의 보호

전기설비나 그 근처에서의 낙뢰는 변압기의 설계 용량을 초과하는 Surge(이상전압)를 발생하여 설비를 손상시키거나 파괴시킨다.

Surge를 막는 방법으로는 변압기의 1, 2차측에 피뢰기를 설치하는 것이다. 피뢰기는 변압기에 도달하는 Surge의 크기를 줄인다.

피뢰기의 보호효과를 충분히 발휘시키기 위해서는 변압기에 가능한 한 가까이 설치하는 것이 이상적이다.

피뢰기를 변압기에서 뺄 수 있는 최대 거리는 여러가지 요인에 의해서 변화 될 수 있으나 일반적으로 50m 이내로 할 것을 권장하고 있다.

변압기의 기준충격절연파괴강도(BIL, Basic Impulse Insulation Level)는 뇌충격파의 크기에 따라 결정되며 절연은 뇌충격파에 견딜 수 있도록 설계되고 변압기

명판에 기록된다.

피뢰기의 제한전압이나 방전개시전압은 변압기의 기준충격절연과괴강도(BIL)이하로 제한한다.

변압기 수명이 오래 될수록 Surge에 견디는 능력과 안전한계가 감소된다. 그러므로 피뢰기의 적정한 유지관리가 필요하다.

Ⅲ-2 변압기 보호장치

1. 전기적 사고에 대한 보호장치

변압기에 예상되는 전기적 사고는 권선의 전부 또는 부분단락, 권선의 지락 또는 1, 2차 권선의 혼촉, 단선 등이 있으며 그에 대한 보호장치는 <표 5>에 나타내었다.

2. 기계적 보호계전기

기계적 보호계전기는 내부이상으로 인한 약간의

<표 5> 변압기 보호장치

보 호 대 상	보 호 장 치
내부단락	<ul style="list-style-type: none"> · 비올차동계전기 · 과전류 계전기 또는 전력 퓨우즈 · 붓츠홀쯔계전기 · 충격 압력계전기
지락(1차) 및 1, 2차 혼촉	· 지락과전류 계전기 또는 지락방향계전기
지락(2차)	지락 과전압계전기
과부하 및 2차외부단락	<ul style="list-style-type: none"> · 과전류 계전기 · 2차 저압시에는 배선용 차단기 또는 퓨우즈

압력상승과 충격유류(Impulse Oil Flow)로 동작하기 때문에 전기적 보호계전기로 검출이 곤란한 미소 층간 단락 등도 검출이 가능하다.

주요 기계적 보호계전기의 종류와 그 요점에 대하여 <표 6>에 나타내었다.

3. 온도계와 유면계

변압기를 운전하는데 있어 온도는 매우 중요하며 유입변압기의 경우 변압기 본체의 상태는 오일을 통하여 외부로 전달된다. 온도계 및 유면계를 통하여 그 정보를 파악해 두면 사용상태의 양부, 내부이상의 유무를 판정하는데 도움이 된다.

온도계와 유면계는 통상 150KVA이상의 변압기에 부착되며 그 종류는 다음과 같다.

- ① 막대형 온도계
- ② 다이얼형 온도계
- ③ 판형 유면계
- ④ 다이얼 유면계

Ⅳ 유지관리

Ⅳ-1. 변압기의 점검

통계에 의하면 변압기의 중대 사고중 그 1/3이 그리고 작은 트러블의 경우 그 2/3가 일상 순시 점검 때 발견 된다고 한다.

다음 <표 7, 8>은 유입변압기에 대한 일상순시점검 항목 및 정기점검 항목·기준 회수를 나타내었다.

<표 6> 기계적 보호계전기

명 칭	보 호 대 상	검 출 대 상	설 치 부	특 징
1) 붓츠홀쯔계전기	변압기본체	가스량(cc)	변압기외함과 콘서베이터간	경고장이 검출된다.
2) 피트계전기		오일유속(m/s)		
3) 가스검출계전기	변압기본체 전환개폐기실	가스량(cc)	"	경고장이 검출된다. (4), (5)와 병용한다.
4) 충격유압계전기	변압기본체	유압상승속도 [kg/cm ² /s]	변압기외함측벽	미소사고를 검출할 수 있다. 동작속도가 빠르다.
5) 순시압력계전기	"	공기압상승속도 [kg/cm ² /s]	변압기외함상부 기중부분	"
6) 유류계전기	전환개폐기실	오일유속 [m/s]	전환개폐기실과 콘서베이터간	보수가 용이

<표 7> 유입변압기의 일상순시점검

점검개소	점검항목	요점	이상의 원인
변압기체	유온	일정 장소에서 측정한 주위온도와 부하량 및 온도계의 지시를 기록하여 과거의 데이터와 비교한다	변압기 내부 이상 냉각기의 능력저하 온도계 지시불량
	유면	기름 온도와 유면의 관계를 유면계에 의해 점검하고 기록한다	누유·빗물 침입 유면계 지시불량
	이상음, 진동	평소와 다른 소리, 단속음, 진동 등에 주의하고, 그 발생부분을 추정한다	과여자·정류기 부하내부 또는 외부 조임의 풀림·유중 방전
	누유	판단하기 어려울 때는 잘 닦은 후 분필가루를 발라 두면 알기 쉽다	패킹의 열화, 풀림, 용접부의 핀홀
냉각장치	냉각팬 송유 펌프 유량계·밸브 방열기	이상음, 이상진동, 누유의 유무, 회전 상황, 유량계 등의 지시, 먼지의 부착 등을 점검한다.	베어링의 마모, 조임의 풀림, 배선의 열화
호흡기	호흡상황의 점검	변색, 기포의 발생상황, 외관의 이상을 점검한다.	흡착제(실리카겔)의 열화, 분말함
부싱단자	누유	애자의 변색과 플랜지 부근의 누유에 주의한다.	패킹의 열화, 풀림
	과열손	미리 단자에 시은 테이프를 붙여두고 점검한다. 먼지, 염분의 부착, 코로나 소리에도 주의한다.	조임의 풀림 과부하 외부원인의 파손 내부원인의 파손
방압장치	누방압판의 균열	방압판의 균열, 방압 밸브의 헐거워짐으로 인한 누유를 점검한다.	방압판의 열화 패킹의 열화
방음벽	내부의 이상	3개월에 1회정도, 방음 매트와 벽 내부의 습기로 인한 발청, 결로 등을 체크한다.	

IV-2 절연유의 시험-유중 가스분석

유입변압기의 내부 이상현상으로는 국부과열과 부분방전 등이 있으며 이때에는 반드시 고온이 수반된다.

변압기 내부에 사용되는 절연물은 고온이 되면 열분해와 산화를 일으켜 각종 가스를 발생한다.

변압기에서 기름을 채취하여 기름속에 용해되어 있는 가스를 추출, 분석함으로써 변압기 내부의 이상 유무 및 그 내용을 진단하는 방법을 유중 가스분석이라 하며 이 방법은 변압기의 운전을 정지함이 없이 경미한 내부 이상도 검출할 수 있는 유효한 수단이다.

1. 채유용기 및 채유방법

채유용기는 기름이 새거나 가스의 투과가 없고 튼튼하며 내부에 기포가 남기 어려운 형태와 재질로 표준품을 사용한다. 채유할 때는 가급적 시료유가 공

기와 접촉하지 않도록 채유하고 채유용기의 내부에도 공기가 잔류하지 않도록 주의해서 채유한다.

2. 탈기 및 분석

시료유 속에 용해되어 있는 가스를 추출하는 방법은 탈기 성능이 우수한 확산진공펌프(테프라펌프)방식이 많이 사용되며 추출한 가스는 가스분석장치(가스크로마토 그래프)에 의해 각 가스 성분으로 분리, 정량한다.

대상가스는 H₂, N₂, O₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂등 9종류 대부분 분류하며 분석결과는 각 가스 별로 ppm(Vol)으로 나타낸다.

3. 판정기준

유중 가스분석 결과의 판정 기준은 각 성분 가스(혹은 가연성가스의 합계) 절대량 및 가연성 가스 합계의 증가량에 대해 각각 설정하는 것을 원칙으로 한다. <표 9, 10, 11>에 판정기준을 나타내었다. 이

<표 8> 유입변압기의 정기점검

점검부분	점검항목	빈도	비고
권선	절연저항 측정	1회/년	무싱을 청소한 후 외부 리드선을 떼고 측정
	유전정접 측정		절연저항과 동시에 측정
절연유	시료채취(본체·탭 전환기실)	1회/년	채유법 등은 IV-2항 참고하고 시험 전문업자에게 위임하는 것이 편리하다. 결과에 따라 여과, 교체계획 수립
부하시텟전환장치	제작자의 취급설명서에 따른다, 또는 제작자와 상의		
활선정유기	-	1회/년	압력계 압력 SW 안전밸브의 점검
콘서베이터	외관 점검	1회/5년	누유, 도장상태, 유면계 흡습흡기 등 점검
부싱	외관 점검	1회/년	특고압콘덴서부싱은 절연저항 및 tan δ 측정
냉각장치	외관 점검	1회/1년	냉각팬, 전동기의 축 등은 10년 간격으로 교체 그리스를 교환
온도계	외관 점검	1회/년	녹, 물의 침입 지침의 원활한 동작 점검동작확인
유면계	정상 확인	1회/년	다이얼유면계가 저하된 경우 제작자에 연락하여 조치
방압장치	방압판	1회/년	균열누유시 보수한다.
외합	외관 점검	1회/년	누유, 발청, 도장박리, 손상의 점검 보수, 조임부의 풀림 점검, 덧조임, 먼지제거
보호계전기	접점 확인	1회/년	출력접점을 단락하여 경보차단동작 확인
	제어회로 점검	1회/년	500V메거로 2MΩ 이상을 확인
변압기내부분체	권선의 변형, 절연물의 균열, 탈락, 침실의 발청, 조임의 풀림, 방전흔적		내부이상으로 판정되었을 때 또는 제작후 10년이상 된 것은 이설기회를 이용하여 실시한다. 내부이상인 때를 제외하고는 밀봉형 질소봉입형 활성알루미늄 등 절연유 열화 방지장치가 있는 변압기의 정기적인 내부점검은 원칙적으로 필요하지 않다.

<표 9> 요주의 레벨의 절대값
(어느 하나라도 이것을 초과한 경우)

변압기정격	가연성 가스의 합계	(ppm)						
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO	C ₂ H ₂	
500KV 미만	10MVA이하	1000	400	200	150	300	300	검출
	10MVA초과	700	400	150	150	200	300	검출
500KV이상		400	300	100	50	100	100	검출

*주1. 가연성가스의 합계: H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, CO, C₂H₂의 합계

2. 이상레벨의 절대값은 요주의 레벨의 2배

<표 10> 요주의 레벨의 증가량 (ppm/년)

변압기 정격	가연성가스의 합계	
500KV미만	10MVA이하	350
	10MVA초과	250
500KV이상	150	

<표 11> 이상 레벨의 증가량 (ppm/월)

변압기 정격	가연성가스의 합계	
500KV미만	10MVA이하	100
	10MVA초과	70
500KV이상	40	

들 기준에 비추어 요주의 또는 이상으로 판정되었을 때에는 계속 추적 조사를 실시해야 하고 그 간격 및 조치는 <표 12>에 따른다.

4. 진단 단

유증 가스분석 결과로부터 내부 이상상태를 진단하는 수단은 몇가지 종류가 있으나 공통적으로 다음과 같은 점에 착안하고 있다.

- (1) 나금속 부분의 과열은 오일의 분해로 H₂, C₂H₆, C₂H₄, C₃H₈ 및 C₃H₆ 등이 많이 발생한다.
- (2) 부분적인 아아크가 있으면 고온으로 인한 오일의 분해로 H₂, C₂H₂, 등이 많이 발생한다.

<표 12> 추적 조사의 간격 및 조치

가스분석의 결과	추적조사의 간격 및 처치기준	
	첫번째 측정 간격	두번째 이후의 처치
요 주의	3개월 이내에 다시 측정	1) 증가가 현저한 경우: 1개월 이내에 재측정 2) 증가가 완만한 경우: 6개월 간격으로 추적 조사 3) 그밖의 경우: 1년 간격으로 추적 조사
이 상	1개월 이내에 다시 측정	1) 증가가 현저한 경우: 운전을 정지하여 종합판단 2) 증가가 완만한 경우: 3개월 간격으로 추적 조사 3) 그밖의 경우: 1년 간격으로 추적 조사

(3) 과열로 인한 유기 고체 재료의 열분해에서는 CO, CO₂가 많이 발생한다. 특히 아아크 방전의 존재를 나타내는 C₂H₂의 검출은 미량일지라도 중시할 필요가 있으며, 부하시 탭전환 변압기에서는 전환 개폐기실의 누유, 전위 전환기의 미소 충전전류

개폐 등으로 본체 오일에서 C₂H₂가 검출되는 수도 있다.

또 H₂, CO, CO₂ 등은 정상 운전에서도 절연불의 열화로 인하여 발생되기 때문에 변압기의 운전이력, 과부하의 유무 등을 종합하여 판정한다.

변압기를 신설하는 경우 1~3개월 후에 유증가스 분석을 실시하여 기준 패턴을 확보해 두면 편리하다.

IV-3. 변압기 사고시의 응급처치

대용량 변압기의 사고시의 응급처치는 사고로 인한 손실을 최소화하는데 많은 도움이 된다.

돌발적인 사고가 발생했을 때 즉시 사고의 종류를 파악하고 변압기를 재투입할 것인가 분리할 것인가를 판단해야 한다.

다음<표 13>은 변압기 사고시의 상황 및 보호계전기의 동작 그리고 응급처치에 대한 것을 나타내었다.

<표 13> 변압기사고시 동작하는 계전기와 예상되는 사고

동작하는 계전기	사고가 일어나기 쉬운 상황	가능성이 높은 사고의 종류	응 급 처 치
시의 모든 계전기 비유차동 계전기 과전류 계전기 1차 퓨우즈 충격 압력 계전기 붓츠홀쯔계전기(油流) 본체 방압밸브→유면저하 수전차단기 트립	낙뢰시 돌발적	권선·내부배선 무전압 탭 전환기 탭 선택기 전위 전환기 절연과괴	재투입 불가 변압기 격리
붓츠홀쯔 계전기(가스)	부하측 단락 순시 단락성 부하 투입시	권선·내부배선 변예 철심 <u>충간 절연불량</u> (코어쇼트) 접지불량 철심 조임볼트 절연불량 철심 지지들 탱크·실드판 국부과열 단자·배선 접속부 무전압 탭 전환기 탭 선택기 전위 전환기 접촉불량 과열	예비 변압기로 전환 준비 유증가스분석에 의한 사고 종류추정 시간당 가스 발생량의 체크
경보	서서히 진전		

비율자동 계전기 과전류 계전기 LR측 방압밸브→유면저하 LR측 유류 계전기 (LR설체) 수전차단기 트립	부하시 탭 전환장치 전환동작시	전환개폐기 전환실패 설체	채투입 불가 변압기 격리
LR설체 경보	-	부하시 탭 전환장치 또는 제어회로 기계적 장애	LR을 수동으로 정규 위치로 복귀하고 그대로 운전을 계속하면서 원인을 조사한다.
LR가스 검출계전기 경보	-	전환 개폐기 이상전환 또는 정상전환 가스 축적	LR도수계의 지시와 가스량에서 전환 1회당의 가스량 산출, 정상이면 운전속행

[주] 1. 단독으로 계전기가 동작했을 때는 제어회로의 오동작일 가능성도 있으므로 조사가 필요하다.

V. 결 론

이 글에서는 변압기 사고의 많은 원인중 단지 몇몇만을 기술하였다.

변압기 사고의 또 다른 원인들로서는 비행물체의 추락, 인접 건물의 화재가 확산되는 경우, 비, 눈, 안개, 우박, 염해, 범람, 폭풍, 지진 그리고 동물에 의한 사고, 종업원의 고의적인 파괴행위 등과 같은 것들이

있으나 이들은 유지관리의 소홀이나 잘못된 운전, 과부하와 같은 것들 이전에 다뤄져야 할 문제이다.

변압기 사고는 막대한 비용손실을 야기시킨다. 그리고 사고를 100% 방지하는 것 또한 불가능한 일이다.

그러나 적절한 운전과 유지관리, 화재예방 활동을 통하여 손실의 규모를 최소화하도록 노력해야 할 것이다.

<FLK 인증 흐름도>

절 차	주 요 사 항	비 고
인증품목 공 고	○시험소 품질인증 전문위원회에서 인증기준 제정 ○협회시험소 정간물 등에 공고 및 관련업체에 홍보	전문위원회는 제품분야별로 구성
인증신청	○신청서, 신청제품 사내규격, 품질보증계획서 등 관련서류 제출	
계약체결	○관련 서류 검토 ○계약(예치금 수납)	인증비용은 실비 사후 관리비용은 제품 공장도가격의1/100범위
공장심사	○공장심사기준에 의거 신청제품 6개월간의 관리실적으로 실시	
인증시험	○공장에서 시험용 시료 채취 ○시험소, 제조공장 또는 지정시험기관에서 시험	
인 증	○품질인증심의회회의 검토를 거쳐 인증여부 결정	인증심의회는 관련 전문 가로 구성
사후관리	○상호협약에 의하여 인증마크, 라벨 등 사용 ○인증유지조건에 따라 사후관리	