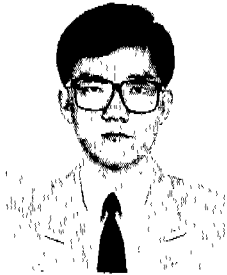


대용량 전력용변압기의 현장진단시험 (4)



류희석

한국전기연구소 전력기기연구부 절연진단연구팀

4.3 절연유 (변압기급 광물유)

4.3.1 일반

광유는 대부분의 형태의 전력기기에서 액체절연유로 사용된다. 또한 절연액체로서 작용하는 동시에 많은 조건에서 전력기기의 손실에 의해 발생하는 과도한 열을 발산시키기 위한 열전달물질로서도 작용한다. 절연유에 대한 시험에는 절연유가 사용되는 전력기기의 조건에 대한 어떤 품질의 판정, 운전에 의해 열화된 절연유일 경우 기본적인 열화구성요소 및 이러한 결과의 진단 등이 포함된다.

이러한 시험방법을 실시하기 위해서는 기술적인

채취과정을 이용하여 시편이 기기 내에 담겨있는 전체 절연액체를 확실히 대표할 수 있어야 한다.

채취용 밸브 몸체 내에는 자연적인 오염물질이 존재할 수 있으므로 시료의 보존 상태를 유지하고 있다는 것을 확신하기 위해서는 추출과정이 실시되기 전에 흘러내어야 할 필요가 있다.

시료를 채취하기 전에 외함 내에 양압(positive pressure)이 존재하는 것을 확인해야 한다. 외함내로 가스방울이 유입되면 권선내의 turn사이에 걸려있게 되어 고장이 발생할 수도 있다. 이러한 상태는 기기의 급진적인 고장으로 귀결된다.

4.3절에서 설명되는 모든 시험을 실시할 수 있을 정도의 충분한 양의 시료가 채취되어야 한다. 절연유의 특성가운데 몇가지만을 측정하는 경우에는 표 1의 양을 참고하여 채취하는 것이 좋다.

대부분의 경우 시료는 청결하고 건조한 용기에 담겨서 실험실로 운반되어야 한다. 직사광선에 장시간 노출시키거나 과도한 대기중의 수분에 의한 오염 등을 피해야 한다. 4.3절에서 규정되는 측정에 대한 기준치의 대부분은 표준화되지 않은 것이다. 그러나 인용된 값은 실제적이고 일반적으로 사용될 수 있는 값들을 발췌한 것이다.

사용중인 절연유는 다음에 설명되는 중요한 특성에 대한 평가를 기준으로 다음과 같이 분류될 수 있다.

- a) Group I. 계속 사용에 충분한 특성을 갖는 절연유
- b) Group II. 재처리만으로 향후 사용될 수 있는 절연유

<표 1> 각 시험에 필요한 액체의 최소량

시험 항목	참고 규격	소요 액체량(ml)
산 가	ASTM D 974-92	20
색상(현상)	ASTM D 1524-84	10
절연내력	ASTM D 877-87	75
절연내력	ASTM D 1816-84a	500 ^{a)}
용존가스	ASTM D 3612-93	50 ^{a)}
계면장력(점도)	ASTM D 971-91	20
계면장력(점도)	ASTM D 2285-82	15
이불수량	N/A	100
역률	ASTM D 924-92	250
Polychlorinated biphenyl (PCB)	ASTM D 4059-91	10
슬러지	ASTM D 1698-84	50
수분	ASTM D 1533-88	50
육안점검	색상과 같음	
비중	ASTM D 1298-85	125 ^{a)}
색상(실험실)	ASTM D 1500-91	125
합	계	1400

a) : 상기 표에 나열된 양은 일반적으로 시험과정에서 필요한 양을 발제한 것이다. 일부 업체에서 생산된 계측기에서는 좀더 큰 용량의 용기를 사용하는 경우도 있기 때문에 시료를 채취하기 전에 시료양이 적절함을 실험실에 반드시 확인해야 한다.

<표 2> 범위와 사용전압에 따른 사용중인 절연유의 제한치 추천안

절연유의 종류	전압범위 (kV)	산가(mg KOH/g 최대치)
신유 또는 재생유		0.03
사용중인 절연유 - 범위 I	< 69	0.2
	69 - 288	0.2
	> 345	0.1
사용중인 절연유 - 범위 II		0.2
사용중인 절연유 - 범위 III		0.5

- c) Group III. 상태가 나쁜 절연유 (경제적인 관점에서 재처리 또는 폐기 되어야 하는 절연유)
- d) Group IV. 기술적으로 폐기하는 것이 좋다고 판단되는 나쁜 상태를 가진 절연유
모든 시험은 최소한 일년에 한번은 실시되어야

하나 전략적으로 계통에서 중요한 위치에 있는 기기는 더 자주 실시하여야 한다.

4.3.2 산가, 중화수(NN, neutralization number)

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유의 산성열화성분을 판정하기 위하여 실시한다.

이 시험은 산화조건하에서 사용되고 있는 절연유가 상대적으로 변화되었는가를 나타내는데 사용되어야 한다. 산가(중화도)는 절연유 1g 내에 있는 산을 중화시키는데 필요한 수산화칼륨(potassium hydroxide)양의 mg 단위 수로 표시되는 중화수(NN)로서 계측된다. 변압기에 사용되는 등급의 절연유에는 신폴일 경우 최소 측정감도 정도의 산성 성분이 포함되어 있으며 절연유의 NN은 절연유의 열화가 발생함에 따라 증가한다. 높은 NN을 나타내는 사용중의 절연유는 산화되었거나 바니쉬, 페인트 또는 다른 성분에 의해 오염되었다는 것을 나타낸다. 이러한 상태는 슬러지 형성을 나타낼 수도 있다. NN과 전력기기내의 금속에 대한 부식경향과는 직접적인 연관관계가 없다. 유기산은 절연구조를 판단하기 위하여 적용되며 습기가 동시에 존재하는 경우 금속의 부식을 발생시킬 수도 있다. 변화는 긴 시간주기에 걸쳐 나타난다. 수준은 기기내에 어떤 문제가 있다는 것을 나타내는 것은 아니지만 기기 내부의 잠재적 조짐을 나타낸다. 기기의 운전, 즉 절연유의 계속적인 사용을 위해 필요한 제한치에 있어서는 경험치를 적용한다.

여러 가지 종류의 절연유에 대한 최대 NN수 추천치를 표 2에 종합하였다.

4.3.3 색상

이 시험은 사용으로 열화된 절연유의 색상을 결정하기 위하여 실시한다.

이 시험은 사용중인 절연유에 발생하는 상대적인 변화를 표시하는데 사용된다. 색상은 표준색상표의 내용과 비교하여 결정되는 수치(또는 색상명칭)으로 표현된다. 절연유의 색상 변화와 기기내의 특정한 문제점 사이의 직접적인 연관관계는 없다. 변화는 통상적으로 긴 주기의 시간에 걸쳐 발생한다. 급속한 수치의 증가는 운전조건의 극적인

<표 3> 색상에 기준한 상대적인 절연유의 상태 판정기준

색상비교수	ASTM 색상	절연유의 상태
0.0 ~ 0.5	Clear	신 유
0.5 ~ 1.0	Pale yellow	양호한 절연유
1.0 ~ 2.5	Yellow	사용중인 절연유
2.5 ~ 4.0	Bright yellow	한계상태
4.0 ~ 5.5	Amber	불량상태
5.5 ~ 7.0	Brown	위험 상태(재처리)
7.0 ~ 8.5	Dark brown	매우 위험 상태(폐기)

변화를 나타내며 일반적으로 이러한 변화는 문제 사항들의 다른 표시에 선행한다. 절연유의 열화 또는 오염이나 두가지 모두가 존재하는 경우 높은 색상수가 복합적으로 나타난다. 상대적인 운전조건과 같이 기기의 운전 여부를 판정하기 위해 적용하는 경험치가 있다.

결과해석 표 3 참조

4.3.4 절연내력

이 시험은 사용으로 열화된 절연유의 절연파괴 전압을 결정하기 위하여 실시한다.

절연유의 절연파괴전압을 결정하는 방법에는 일반적으로 사용되는 두가지 방법이 있다. 시험용기 내에 VDE 구전극을 사용하여 기본적으로 230kV 급 이상의 전력기기의 충전작업 중간 또는 전에 여과, 가스제거 및 전조된 절연유를 시험하는 경우 또는 충전 후에 이러한 기기에서 채취된 절연유 시료에 대해 적용된다. 평판전극을 사용할때는 앞서의 경우를 제외한 전력기기의 거의 대부분의 기기에 대해 사용된다.

이러한 이유로 4.3.4절은 기본적으로 후자의 시험방법에 대해서만 집중된다. 오염과 열화작용의 부산물은 일반적으로 절연유의 절연내력을 감소시킨다. 절연유의 절연파괴전압은 절연유가 사고 없이 전기적stress를 견디는 능력을 측정하기 위하여 중요한 특성치이다. 절연내력이 높다고 해서 오염 현상이 전혀 없다는 것을 나타내지는 않는다. 특수한 경우를 제외하고 어떤 파괴전압과 사고사이에 직접적인 연관관계는 없다. 기기의 운전에 필

요한 상대적인 조건과 마찬가지로 판정 제한치는 경험치를 적용한다.

이 시험은 현장에서 실시할 수도 있으나 실험실적인 환경에서 실시하는 것이 좀더 정확한 값을 얻을 수 있다. 운송 도중의 흔들림으로 인하여 시료에 수분이나 공기 방울이 발생하지 않았는가를 확인하기 위하여 육안 검사를 반드시 실시하여야 한다.

4.3.5 용존 가스

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유에 용해되어 있는 가스 성분을 검출하기 위하여 실시한다.

이 시험은 사용중인 유입식 변압기에서 발생되는 특징한 가스의 양을 결정하기 위해 실시한다.

이 발생된 가스의 종류와 양은 정확하지는 않더라도 순간적인 사고로 진전될 가능성이 있는 고장 현상을 가장 먼저 나타내는 경우가 많다. 절연구조에 있어서 아크발생, 부분방전, 낮은 에너지의 방전현상, 극심한 과부하 및 과열현상 등이 절연재질의 화학적 분해를 발생시켜 절연유내로 녹아 들어가는 여러가지 가연성, 비가연성 가스가 형성 되도록 하는 몇가지 기구이다.

정상적인 운전 과정에서 몇가지의 가스는 발생 될 수 있으나 고장이 발생한 경우보다 매우 적은 양이다. 기기의 운전을 위한 제한치에 대해서는 경험치가 적용되나 이 값들은 고장이 긴박하게 발생한다는 결론을 도출하는 값은 아니다. 가스발생현상의 적절한 원인을 분석하기 위한 진단방법이 적용되고 있다.

주의사항 이 시험은 실험실 환경에서 실시하여야 하며, 시료채취는 청결하고 습기가 없으며 가스밀봉구조를 가진 컨테이너를 사용하여 대기중의 습기에 노출되지 않고 용해되어 있는 가스의 양을 유지할 수 있도록 채취하여야 한다. 시료를 채취할 때 컨테이너 안에 있는 모든 가스를 배출 할 수 있도록 주의하여야 한다.

결과해석 이전에 측정된 용존가스성분의 기록이 없는 경우 변압기가 정상적으로 운전되었는지 판정하기가 어렵다. 또한 인

<표 4> 전압범위와 분류에 따른 운전중인 절연유의 추천 제한치

절연유의 종류	전압범위 (kV)	계면장력(dynes/cm, min)
납품된 상태의 신유		40
새로운 기기내의 신유		35
운전 전의 충전 및 설치상태의 신유		35
운전중인 절연유	≤69	24
	69~288	26
	>345	30
재생 또는 재가공된 절연유-범위 I		24
재생 또는 재가공된 절연유-범위 II		16

정될 만한 가스성분의 농축현상이 있는 경우 정상적인 변압기라고 판단하는 과정에는 큰 차이가 있는 이점이 존재하고 있다.

4.3.6 계면장력 (IFT)

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유의 물에 대한 계면장력을 판정하기 위하여 실시한다.

이 시험방법은 전기적 절연유와 물사이의 계면장력을 표시하기 위하여 사용된다. 이 시험은 계면에 있어서 다른 종류의 분자들 사이의 분자단위의 흡인력을 측정하는 과정이다.

이 시험은 절연유 내의 열화에 의한 부산물과 용해성 극성 오염물질을 검출하는 수단이 된다.

IFT와 NN사이에는 절연유의 NN이 증가하면 절연유 산화작용과 같이 IFT가 감소하는 일정한 관계가 있다. 어떤 경우 IFT는 절연유의 잔존 수명, 재생되어야 하는 시기까지의 기간을 측정하는 기준이다. 측정된 기준이 기기의 문제점을 나타내는 것은 아니지만 기기의 향후 운전조건에 제한사항이 되는 수도 있다.

절연유를 계속 사용하여도 되는가와 같은 기기의 운전에 대한 제한조건에 대해서는 경험치가 사용된다.

결과해석

절연유의 조건에 따른 최소 IFT수준 추천치는 표 4와 같다.

4.3.7 입자수

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유 내에 존재하는 입자들의 수량, 크기 및 정도, 구성내용 등을 판정하기 위하여 실시한다.

또한 이 시험은 절연유가 특정한 물질에 오염되었는가를 표시하는데 사용되기도 한다. 절연유내의 입자의 수량은 절연과괴전압과 같은 인자에 영향을 주기도 하며 절연유의 역률에 영향을 미칠 수도 있다. 또한 입자의 종류와 존재하는 양은 이러한 특성에 영향을 미치는 경우가 많다. 과도한 금속입자의 존재는 기기 내에 냉각순환펌프를 사용하는 경우 bearing 금속의 마모를 표시한다. 기기의 운전에 제약을 가할 것인가 또는, 절연유를 계속 사용할 것인가를 판정하기 위한 경험치는 없다.

주의사항

시료는 주위대기의 상대습도가 50% 이하일 경우에만 채취되어야 하며,

시료가 대기중의 습기에 노출되지 않고 외부의 입자에 의해 오염되는 것을 막기 위하여 청결하고 습기가 없는 콘테이너를 사용하여 적절하게 채취되어야 한다.

시료를 청결한 50-100ml의 콘테이너에 채취한 후 분석을 위하여 실험실로 이송한다. 미립자에 의한 오염을 감소시키기 위해서는 깨끗이 청소된 특수한 콘테이너를 사용하는 것이 바람직하다.

이 시험은 현장에서는 실시 할 수 없다. 한 시료의 입자수를 결정하기 위해서는 광분산주사(light-scattering beam)기기를 사용할 수 있다.

시료내 입자 종류를 진단해야 하는 경우 입자 계수기를 먼저 사용하기는 하지만 광학 현미경도 입자를 구분하는데 도움이 된다. 초보적인 분석은 보간법으로 실시할 수도 있다. 입자가 금속성이고 또한 자성체라면 다른 시험도 실시하여야 한다.

이 분석은 ferro-graphy의 사용을 포함하여 여러 가지 방법으로 실시 될 수 있다.

결과해석

절연유 10ml당 3-150 μ m의 범위에 있는 입자의 수를 계수한다. 다음 표는 입자수 범위에 대한 근사적인 미립자 오염상태를 표시한 것이다.

절연유 10ml당 입자수	관련상태
<1500	정상
1500~5000	요주의
>5000	오염됨

註-입자의 양과 그 성분은 이전의 측정결과와 종류에 관련되는 사항만이 중요하다고 생각하는 사람들이 많다. 냉각 펌프 bearing이 과도하게 마모된 경향이 있는 경우라면 경향의 관측은 판정을 위해 중요한 사항이다. 셀룰로스 입자, 동 등의 존재에 의해 표시될 수 있는 다른 형태의 열화는 일반적으로 이러한 종류의 입자만이 절연유내를 부유 할 수 있을 정도로 충분히 작다는 것을 발견할 수 있기 때문에 기기내의 문제점을 표시하기는 어렵다. 큰(부거운)입자는 기기 바닥에 가라앉은 경향이 있고 시료를 채취하거나 밸브에서 흘러내는 동작에 의해서 얻어지지 않기 때문에 거의 발견되지 않는다. 입자를 계수하기 전에 초음파기술을 사용하여 어느 정도 뒤섞어 주는 것이 좋다.

<표 5> 신유와 열화된 절연유의 범위에 따른 역률 최대치 추천안

절연유의 종류	전압범위 (kV)	%역률 (25°C)	%역률 (100°C)
납품된 상태의 신유		0.05	0.3
새로운 기기내의 신유	<69	0.15	1.5
	69-230	0.10	1.00
운전전의 총진작업 및 설치 후의 신유		0.10	
운전에 의해 열화된 절연유 범위 I	<69	0.5	
	69-288	0.5	
	≥345	0.5	
운전에 의해 열화된 절연유 범위 II	<69	0.5	
	69-288	0.5	
	≥345	0.3	
운전에 의해 열화된 절연유 범위 III	<69	1.0	
	69-288	0.7	
	≥345	0.3	

4.3.8 역률

이 시험은 신유 또는 운전에 의해 열화된 절연유의 역률을 결정하기 위한 것이다.

이 시험은 교류전계하에서 사용되는 절연유에서 발생하는 유전손실을 나타내거나 열로서 손실되는 에너지를 표시하기 위하여 실시한다. 역률은 규정

된 조건에서 정현파 전계를 사용하여 측정할 때, 유효전압과 전류의 곱인 volt-ampere단위 전력(watt)으로 절연유내에서 손실되는 전력의 비이다. 역률이 낮다는 것은 유전손실이 낮다는 것을 뜻한다.

이 시험은 취급과정 또는 운전에 의한 오염 또는 열화에 의해 변한 양을 나타내기 때문에 시료의 완전성을 확인하는 수단이 된다. 결점이 있는 시료인 경우 다른 전기적, 화학적 시험을 통과하더라도 이 시험에서 불합격되는 경우가 종종 있다. 기기의 운전을 위한 제한치로는 경험치가 사용된다.

이 시험은 실험실에서와 같이 현장에서도 실시할 수 있다. 운송 도중에 흔들림으로 인하여 시료에 공기방울이 포함되어 있지 않은가를 육안점검으로 확인한다. 시료를 시험전극용기 안에 얹히고 나서 시험해야 한다.

이러한 과정을 적용하여 백분율단위의 시료 역률 값을 결정하고 현장시험에서는 20°C의 값으로 교정한다. 실험실에서는 대표적으로 25°C와 100°C에서 실시한다.

결과해석 신유 또는 운전에 의해 열화된 절연유 각각의 범주에 따른 %역률의 최대 허용치는 표 5와 같다.

절연유 역률 제한치는 역률이 절연유내에 (특정한 물질과 복합적으로) 과도한 수분 또는 극성물질 또는 이온성 물질에 의한 오염이 있는 것을 표시하는 성분이라는 기본적인 이해위에 설정된 값이다. 대부분의 운용중인 절연유는 25°C에서 < 0.2%의 역률을 나타낸다.

절연유가 높은 역률(25°C에서 > 0.5%)을 나타내는 경우 오염물질이 고전계부분에 걸려 권선내에 응집됨으로써 권선을 깨끗하게 하기 어렵게 만들고 수분도의 변화와 같은 다른 원인으로 인한 권선 역률의 변화를 가려버리는 결과를 만들게 된다. 절연유의 매우 높은 역률(25°C에서 > 1.0%)은 변압기의 운전을 위험하게 하는 부유 수분의 존재 때문에 나타난다. 절연유의 역률이 높게 나타나는 경우는 언제라도 원인을 찾아내야만 한다. 절연유가 높은 역률을 나타낼 수 있는 원인에는 산화, 부유 수분, 젖은 입자, 오염 및 적합하지 않은 물

질이 사용되는 경우 등이 있다.

4.3.9 PCB 성분도 (Polychlorinated biphenyl)

이 시험은 운전 열화된 절연유의 PCB성분을 결정한다.

PCB는 많은 나라에서 규제되고 있는 물질이다. 따라서 모든 전력기기의 현재상태에서의 PCB농도를 파악하는 것이 매우 중요하다. 50ppm미만의 매우 낮은 PCB농도를 나타내는 경우는 일반적으로 (U.S. EPA에 따라) 매우 낮은 위험성을 갖는 것을 표시하며 절연유는 오염되지 않은 것으로 분류된다. 50ppm이상 500ppm미만의 중간 PCB농도를 나타내는 절연유는 오염된 것으로 분류된다.

500ppm이상의 농도가 나타나는 절연유는 모두 순수한 PCB인 것으로 판정된다. 대부분의 법률에서 액체에 포함된 PCB농도에 대해 다루고 있기 때문에 어떤 구조물에 있어서 모든 절연액체에 포함된 PCB농도를 파악하는 것은 가장 중요한 일이다. 어떤 지방의 국가 규제치는 50ppm 이하인 경우도 있다.

이 시험은 실험실에서와 마찬가지로 현장에서 실시할 수도 있다.

현장에서는 상업적으로 시판되는 여러 가지 적합한 정제기구를 사용한다. 시험을 진행하기 전에 사용가능 기간을 반드시 확인하여야 한다. 이러한 형태의 시험에서는 PCB농도의 추정범위를 얻을 수 있으며 정확한 수치를 얻지는 못한다. 현장용 정제기구를 사용하는 경우 제작자의 지침을 정확하게 지키는 것이 기본적인 사항이다. 이러한 형태의 시험은 검출되는 물질이 PCB 이든 아니든 간에 모든 염화물질에 대해 양성반응을 나타낸다.

따라서 시험과정에 다른 염화물질이 유입되지 않도록 주의를 기울여야 한다.

결과해석 PCB 규제치는 지방에 따라 다르다. 특정한 지방에 적용되는 규제치는 각 지방에 적용되는 규제 법률 또는 위원회의 자문을 얻어야 한다.

4.3.10 침전물(슬러지) 상태

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유 내에 존재하는 파라핀 탄화수소(pentane)에 녹지 않는 침전물을 측정하기 위한 시험이다. 일반적으로 이 시험은 IFT가 0.26N/m(26dyn/cm) 이하이거나 NN이 0.15mg KOH/g oil 이상일 경우가 아니면 실시하지 않는다.

침전물은 수지질의 고분자 물질로서 부분적으로 도전성이며 흡습성이고 열절연체이다. 변압기내에 수분이 존재한다면 침전물에 유인된다. 용해성 침전물의 존재는 절연유 열화현상, 오염물질의 존재 또는 두가지 모두를 나타내는 표시이며 침전물의 형성이 시작되었을 가능성에 대한 경고이다.

이 시험은 일반적으로 운전에 의해 열화된 절연유에 대해 실시하며 특정한 시험의 한 부분은 절연유가 침전되기 시작한 정도를 측정하기 위한 것이다. 이 시험은 변압기의 보수작업을 실시하기 전에 적절한 과정을 결정하기 위해 필요한 시험이다. 절연유가 침전되기 시작하지 않았거나 매우 적게 침전되었다면 변압기 절연유는 여과기(회수기)를 통과하여 순환함으로써 절연유와 변압기의 수명을 연장할 수 있다.

침전물이 존재할 정도로 침전과정이 진행되었다면 변압기를 운전정지하여 절연구조와 외함, 냉각계통을 씻어내는 등 좀더 극적인 보수가 필요하다. 침전물과 습기는 냉각계통의 일부분에 걸려 냉각효과를 떨어뜨리기 때문에 이러한 과정이 필요하게 된다.

또한 습기를 지닌 침전물이 전계응력이 심하게 인가되는 부분에 정착됨으로써 영구적인 사고를 발생시킬 수도 있으며 사고를 유발하지는 않더라도 최소한 열전달효과를 감소시킨다.

변압기로부터 절연유시료를 50ml 채취해야 한다. 각 시료 가운데 2ml를 20ml의 시약접시에 떨어뜨린다. 일반적으로 10×1.8cm의 크기를 가진 시약접시를 사용하면 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다. 10ml의 n가 파라핀 탄화수소(n-pentane)를 첨가하고 마개를 막은 다음 잘 흔들어 준다. 그런 다음 시료를 암냉소에서 24시간 저장한다. 저장후 침전물의 흔적을 시험해야한다. 공기방울이 시약접시의 바닥을 따라 움직여서 흔들릴 수 있도록 접시를 천천히 흔들면서 시험을 실시한다. 침전물이 나타났다면 보통은 접시바닥에서 어둑거나 희

뿌연 부분으로 보인다. 대부분의 침전물은 아교질
의 덩어리 또는 고운 입자상으로 나타난다.

접시바닥에서 작은 고체 입자가 교반 즉시 관측
된다면 이 시험은 양성으로 판정된다. 보이는 것
이 아무것도 없다면 음성이다.

- 기록은 A) 침전물 없음
- B) 연한 침전
- C) 심한 침전으로 분류된다.

주의사항 아주 적은 고체 입자는 침전물이 아
니라 진흙가루 또는 부산물일 수도
있다.

결과해석 다음 표에 절연유내의 침전도에 따
른 처치방법을 종합하였다.

용해성 침전물의 수준 /시료내의 침전물	처치 방법
침전 없음	처치 필요없음, 계속 감시
연한 침전	절연유 정제
심한 침전	절연유 폐기, 설비 전체 세척 및 신유 주입

4.3.11 육안점검

이 시험은 운전에 의해 열화된 절연유 내에 존
재하는 부유수분이나 금속입자, 불용성 침전물, 탄
소화합물, 유리섬유, 먼지 등과 같은 침전물을 발
견하고 그 발견사항을 분석 진단하기 위한 시험이
다. 절연유내에 불용성 오염물이 존재한다면 절연
유를 여과하여 그 잔류물질을 구분 함으로써 변압
기와 그 부속설비들의 상태에 대한 중요한 정보를
얻을 수 있다.

이 시험은 기본적으로 현장점검중 절연유 시료
의 색상과 상태를 추정하기 위해 계획된 것이다.

결과해석 ASTM색상과 침전물의 존재를 기준
으로 육안점검을 한다. 절연유는 밝
게 빛나고 깨끗하여야 한다. 색상의 비정
상적인 변화와 마찬가지로 광택이 흐리고
절연물질의 입자나 금속부식의 부산물 또
는 다른 필요하지 않은 부유물질이 발견

되면 적절한 진단을 위해서는 실험실적인
좀더 정확한 시험이 실시되어야 한다.

4.3.12 수분도

실제로 모든 변압기에는 어느정도의 수분이 존
재한다. 또한 절연구조에 사용되는 지절연이 수분
과 매우 높은 친화력을 갖고 있기 때문에 존재하
는 수분의 대부분은 지절연에 위치한다.

지절연의 절연강도는 절연유와 마찬가지로 수분
의 존재에 대해 매우 민감하게 변화한다. 따라서
현재의 수분도를 알고 농도를 조절하는 것이 대단
히 중요하다. 지절연에 포함된 수분도의 추정치는
절연유의 수분도를 측정하여 결정한다.

변압기내의 고체와 액체 절연사이를 이동하는
수분은 부하변동에 따른 온도에 따라 변화한다.

따라서 절연구조의 건조도를 평가할 만한 정보
로는 ppm으로 표시된 절연유내 수분농도 만으로
충분치 못하다. 폭넓은 운전상태와 온도에 따른
평가에는 상대적인 포화도를 참고하는 것이 더욱
바람직하다. 절연구조의 건조도를 평가하기 위하
여 백분율 포화도를 사용하는 경우에도 고체와 액
체 절연체사이의 함유수분이 결코 평형상태에 도
달하지 않는다는 근본적인 경향이 있다는 것을 주의
해야 한다. 시료를 채취한 경우 절연구조는 평
형상태로부터 변화가 더욱 커지는 경향을 갖는다.

이 경향은 증가하거나 감소할 수 있으며 고체/
액체 계면에서는 단시간에 발생하는 과도현상에
영향을 미치며 두꺼운 절연체 내에 있을 경우 장
시간에 걸친 과도현상에 영향을 미친다.

절연유와 지절연내에 존재하는 습기의 상대적인
총량에 관련된 추가적인 평가는 그림 1과 그림 2
에서 얻을 수 있다. 시험실에서 절연유 시료의 수
분도를 측정한 후 특정 온도에서의 백분율 포화도
를 그림 1을 참고하여 결정한다.

변압기가 노출될 수 있는 최저온도에서 백분율
포화도가 30%에 도달하지 않아야 한다는 것이 중
요하다.

절연유의 수분도가 한 온도에 대해서 결정되면
연관된 절연지의 수분도는 그림 2에 의해 추정할
수 있다. 절연유내 수분의 백분율 포화도와 절연
지의 중량비 백분율 수분도로 표시되는 자료의 분

<표 6> 절연유 %포화수분도의 분석을 위한 추천치

절연유 %수분포화도	상 태
0~5	건조상태
6~20	중간상태. 낮은 숫자는 중간상태에서도 상당히 건조한상태임을 표시하며, 상한치에 가까운 값은 어느정도 습윤상태임을 표시한다.
21~30	습윤상태
>30	심한 습윤상태

<표 7> 절연지의 건조 중량비 %습윤도의 분석을 위한 추천치

절연지 건조중량비 % 습윤도	상 태
0~2	건조한 절연지
2~4	습윤한 절연지
>30	심한 습윤상태의 절연지

석에는 표 6과 표 7에 각각 표시된 것과 같은 일반적인 추천치가 적용된다.

4.3.13 비중

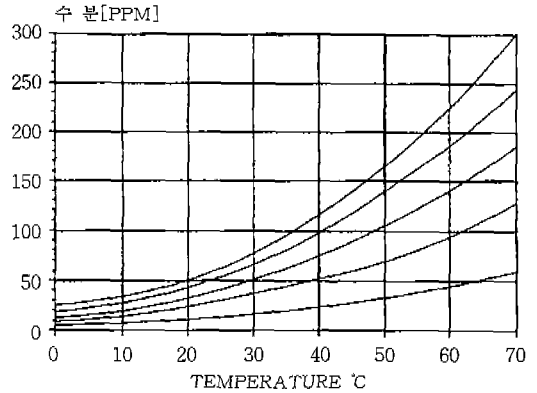
이 시험은 어떤 온도에서 일정한 부피의 절연유의 중량이 같은 온도, 같은 부피의 물의 중량에 대한 비로써 주어지는 상대밀도를 결정한다.

광물성 절연유의 비중은 열전달률에 영향을 미치며 특별한 경우의 사용에 대한 적합성을 평가하기 위해 사용될 수도 있다. 추운 날씨에서는 운전되지 않는 기기 내에 얼음이 형성될 수 있기 때문에 전기적 절연유의 최대 비중은 얼음이 기기내를 떠돌아다니지 않는다는 것을 확신할 수 있는 값을 가져야 한다.

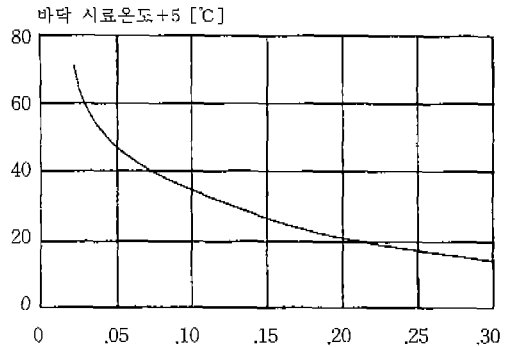
절연유의 비중은 0.84-0.91의 범위이어야 한다. 물의 비중은 1.0이지만 얼음의 비중은 0.91이다. 따라서 물, 얼음 및 절연유 가운데 물과 얼음은 모두 절연유보다 무겁다.

또한 액체의 종류에 따라 밀도가 넓은 범위로 변하기 때문에 이 시험을 이용하여 절연액체가 광물유, 실리콘유 또는 askarel 인가를 구분할 수도 있다.

▶ 다음호에 계속됩니다



<그림 1> 광물유의 습도포화 곡선



<그림 2> 셀룰로스 절연의 건조 중량비 % 습도

*셀룰로스 절연체의 건조중량비 %습도(%M/dw)를 계산하기 위한 교정상수 산출방법 :

- 1) 절연유의 수분도를 측정(PPM)
- 2) 밑부분 시료의 온도를 측정
- 3) 2)항의 측정치에 5°C를 가산
- 4) 3)항의 온도를 사용하여 그래프로부터 교정상수 산출
- 5) 수분도PPM에 교정상수를 곱하여 셀룰로스 절연체의 건조중량비 %습도를 구한다.

용어풀이

리스(Lease)...

이용자가 원하는 기계설비를 대신 사들여 장기간 빌려주고 수수료를 받는 설비금융제도. 수요자쪽에서는 일시에 큰 자금을 들이지 않고 필요한 장비를 쓸 수 있어 특히 중소기업에 요긴하다.