

전력용 변압기 절연유의 비파괴 진단 시험법 비교연구

A Comparative Study on the Non-Destructive Diagnostic Methods of the Insulation Oils in Power Transformer

李 峻 昊* · 李 東 暎* · 崔 鐘 甲** · 金 載 哲*** ·
 郭 熙 魯[§] · 權 泰 遠^{§§} · 韓 民 九^{§§§}
 (June-HoLee · Dong-Young Lee · Jong-Gap Choi · Jae-Chol Kim
 · Hee-Ro Kwak · Tae-Won Kwen · Min-Koo Han)

Abstract - The various degradation phenomena, such as the evolution of gases, $\tan \delta$, moisture content and total acid number in insulation oils of power transformer have been measured and analyzed as a function of aging temperatures and periods. The insulation oils have been degraded at laboratory in the period of 17, 34 and 72 days. We have also extracted the insulation oils from the working power transformers. The dissolved gases (such as CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₂---), $\tan \delta$, moisture content and total acid number in laboratory samples and field samples have been measured and characterized. It has been found that gases increase with degradation temperature and $\tan \delta$ increases with total acid number while the moisture content does not increase with $\tan \delta$.

1. 서 론

전력용 변압기는 대표적인 전력 기기이며 우리나라의 경우 그 사고 건수가 매년증가되는 추세로서 154[kV]급 변압기의 경우 1974년에서 1983년

까지 10년간 사고 대수는 총 보유대수 272대 중 80대로 높은 비율을 기록하고 있다[1]. 이러한 돌발적 사고의 원인은 대부분 절연 재료의 열화에 기인하며 재료의 열화 현상을 측정하여 열화정도를 판단하는 예방 진단기술이 원활한 전력 계통의 운영에 직접적으로 사용될 전망이다.

변압기 절연은 절연지, 권선, 프레스 보드 (press board), 절연유 등으로 구성된 함침절연이 사용되고 있는데, 이 절연 재료들은 변압기를 장기간 운전함에 따라 권선부의 발열에 의한 열 열화, 국부적 고전계에 의한 방전 열화, 산소와의 화학 반응으로인한 산화, 수분 흡수 등 여러가지 원인으로 절연 성능이 저하되게 된다[2]. 따라서 변압기 절연재료의 상태를 측정하여 변압기 사고

*正 會 員 : 서울대 大學院 電氣工學科 博士課程
 **正 會 員 : 利川電氣 시스템 事業部
 ***正 會 員 : 崇實大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博
 §正 會 員 : 崇實大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 §§正 會 員 : 韓電技術研究院 系統研究室 部長 · 工博
 §§§正 會 員 : 서울대 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 接受日字 : 1990年 12月 13日
 1次修正 : 1991年 6月 10日
 2次修正 : 1991年 7月 10日

를 미연에 방지하기 위한 진단 기법들로는 유증가스량 측정, 저항 손실에 의한 $\tan\delta$ 측정, 부분방전 감시법, 서지(surge)시험법 그리고 내압 시험법 등이 있다[3]. 그러나 각각의 시험 방법 및 결과가 상이할 수 있기 때문에 여러가지 시험을 동시에 수행하여 상관 관계를 규명하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 국부과열과 부분방전 등으로 인해 발생한 가스량을 측정하는 유증가스 측정법, 유전체의 손실을 측정하는 $\tan\delta$ 측정법, 절연유내의 수분량 및 산가측정 등을 통하여 절연 열화 정도를 측정하였다. 또한 절연유를 실변압기의 운전 시상승 온도인 60℃와 90℃로 장기간 강제열화시키는 열화실험과, 실제 변압기에의 적용 가능성을 검토하기 위하여 운전 중인 변압기의 절연유를 채취하여 여러가지 측정법에 의한 실험을 병행하였다. 그리고 여기서 나타난 실험결과와 분석을 통해 변압기 절연재료 들의 열화 특성과 각 측정방법 상호간의 상관관계를 알아보고 나아가 전력용 변압기의 열화 진단에 적용하는 방법을 제시하였다.

2. 변압기 절연 재료의 열화 현상 측정

변압기 사고의 절반 정도가 절연 재료의 자연 열화에 기인하며 이러한 열화에 의해 절연 성능이 저하하게 된다[4].

2.1 유증 가스량

유입 변압기의 내부에서는 절연 파괴, 국부 과열, 부분 방전 혹은 아아크 방전 등으로 열이 발생한다. 이때 발열 부위에 근접한 절연유, 절연지, 프레스 보드(pressboard), 베이크 라이트(bakelite) 등의 절연 재료는 열에너지에 의해 반응, 분해되어 CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₃H₆……등의 탄화 수소계 가스를 발생시킨다. 이러한 발생 가스의 대부분은 절연유 속으로 용해되기 때문에 변압기로부터 채취한 절연유의 가스를 추출, 분석하여 각 가스량과 가스 패턴, 특정가스 발생 여부 등을 조사하면 변압기 내부의 이상 유무 및 그 정도를 판단할 수 있다[5]. 변압기 절연유의 성분은 탄화수소(알칸, 사이클로알칸, 방향족, 알켄, 알킨과 그 이성체)이기 때문에 그로부터 발생하는 대부분의 가스는 H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₃H₆, CO, CO₂등이다[7]. 따라서 유증의 가스를 측정함으로써 열화 정도를 판단할 수 있다.

2.1.1 채 유

유입 변압기 내부의 이상으로 발생한 절연유의 분해 가스는 유증으로 용해되어 수시간 내로 대류 확산에 의해 절연유 전체에 고루 분포된다. 따라서 변압기 절연유의 경우 변압기 하부에 부착되어 있는 배유변으로 부터 시료유를 채취하게 되는데 채유시 시료에 공기가 흡입되거나 유증 가스가 대기중으로 날아가버리지 않게 세심한 주의가 필요하다. 본 연구에서는 특별히 제작된 채유 용기를 이용하여 시료를 채취하였다.

2.1.2 유증 가스 분석

추출된 가스는 일반적으로 여러 종류의 가스가 섞여 있으므로 이것을 가스 크로마토그래프(gas chromatograph)의 column으로 통과시켜 각 성분 가스를 분리시킨 후 가스 종류에 따라 정량, 정성 분석을 수행한다. 본 연구에서는 일본 GASKURO사의 GASKURO(Model GC302)를 사용하였으며 주변 장치로는 수소 발생기, 공기압축기(aircompressor), 적분기, 기록기, 그리고 가스 추출기(bubbling type)가 이용되었다.

2.2 $\tan\delta$ 와 저항률 측정

전압이 인가된 변압기 절연유의 등가회로는 그림1과 같이 정전용량과 저항성분의 직렬 또는 병렬연결로 나타낼 수 있다. 이 등가회로에서 저항성분을 통한 손실을 측정하여 절연유의 열화 상태를 알 수 있으며, 이를 바탕으로 경년 열화를 파악하고 그 교체 여부를 판별하는 방법이다[6].

직렬 등가 회로의 경우

$$\tan\delta = \frac{\text{저항 성분 전압}}{\text{용량 성분 전압}} = \omega \times R_s \times C_s$$

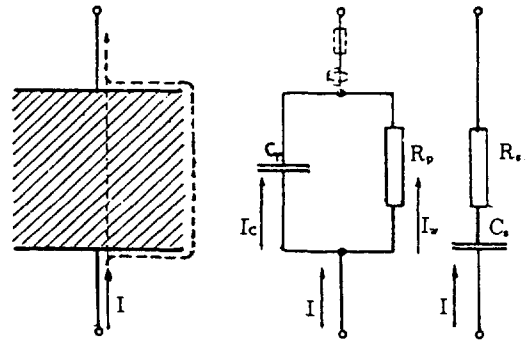


그림 1 유전체의 직, 병렬 등가회로
Fig. 1 Equivalent electrical circuits of dielectric specimens(parallel, series)

병렬 등가 회로의 경우

$$\tan\delta = \text{저항 성분 전류} / \text{용량 성분 전류} = 1 / (\omega \times R_p \times C_p)$$

$\omega = 2\pi \times f$: f 는 시험 주파수

R_s, C_s : 직렬 등가 회로의 저항 및 용량 성분

R_p, C_p : 병렬 등가 회로의 저항 및 용량 성분

또한 저항률(resistivity)은 전극에 교류 전압을 인가하였을 때, 저항 손실에 의한 $\tan\delta$ 와 전도도(conductivity)의 다음 관계로부터 구할 수 있다,

$$\sigma = 2\pi \times f \times \epsilon_0 \times \epsilon_r \times \tan\delta$$

σ : 교류 등가 전도도

ϵ_0 : 진공의 비유전율

ϵ_r : 절연유의 비유전율

f : 주파수

본 실험에서 $\tan\delta$ 의 측정은 일본 Yokogawa Electric Work LTD의 Shering Bridgetype 2759 직렬 저항법을 사용하였다.

2.3 수분량과 전산가(Total Acid Number)

액체 절연체는 다른 고체나 기체 절연체에 비해 불순물의 혼입이 쉽다, 그 중 수분이 혼입되었을 경우 절연 내력이나 체적 저항률과 같은 액체 절연체의 성질에 변화를 가져 온다, 따라서 절연체 내의 수분량은 변압기 절연유의 절연 능력을 평가하는 하나의 기준이 될 수 있다[8]. 본 연구에서는 칼 피셔(Karl Fisher)법을 이용하여 유중수분

량을 측정하였다[13], 사용 중인 변압기 절연유는 공기주 산소로 인한 산화, 외부로부터의 불순물, 열 열화등의 원인으로 절연유의 주성분인 탄화수소가 해리되어 전산가(Total Acid Number)가 증가하며 이에 따라 절연 내력이 감소한다. 이러한 산가의 측정으로 절연유의 이상 유무를 판별할수 있는데 그 방법은 산 용액(시료유)에 염기 용액을 가하여 완전히 중화되는 점을 결정하는 중화 적정법을 사용하였다[9][12].

3. 실험

열화 측정은 본 연구에서 특별히 제작된 가속 열화 장치에서 추출된 시료의 분석과 가동 중인

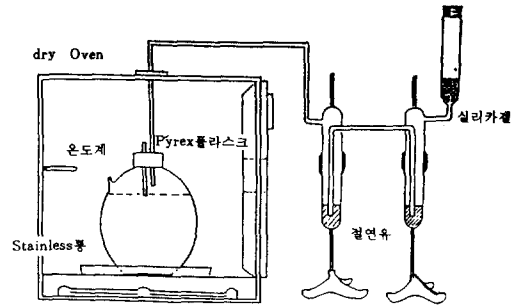


그림 2 실험에 사용된 가속 열화 장치

Fig. 2 Schematic diagram of accelerating test apparatus

표 1 가속 열화 실험의 각 요소

Table 1 Parameters for the accelerating age test

	1차 열화 실험	2차 열화 실험	3차 열화 실험
시료유	플라스틱 용기에 보관된 광유 드럼통에 보관된 광유 플라스틱 용기에 보관된 합성유	광유 + 절연지 광유 + 프레스 보드	광유 광유 + 프레스 보드 광유 + 절연지 광유 + 동 광유 + 철
열화온도	60°C, 90°C	60°C, 90°C	60°C, 90°C
용 량	1.8리터	절연유 1:7리터 절연지 270g 프레스 보드 4265 ET1.6T 160g 4252 AT0.8T 70g KT 0.38T 15g	절연유 1.7리터 절연지 300g 프레스 보드 42352 AD1.6T 270g 철 500g 동 450g
열화기간	17, 44, 74일	32, 72일	32, 72일

전력용 변압기에서 추출된 시료의 분석을 병행하였다. 그림2는 본 실험에 사용된 가속열화 장치의 개념도이다, 시료유는 항온조의 pyrex플라스크에 절연재료들과 함께 일정량 넣어서 열화시키며, 항온조 외부의 장치는 플라스크 내의 가스가 열 팽창 되었을 때의 완충장치와 외부로부터의 수분 및 공기의 유입을 차단하기 위한 실리카겔 용기로 구성 되어 있다, 특히 가속 열화 장치에는 변압기 재료가 절연유의 열화에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 실변압기 재료와 동일한 중량비[10]의 절연유, 절연지, 프레스, 보드, 철, 동 등을 삽입하여 장기간 가속 열화 실험을 수행하였다.

절연유: 절연지: 프레스 보드: 철: 동 = 5.5 : 1.0 : 0.9 : 2.0 : 1.5

3.1 가속 열화 실험

(표1 참고)

3.2 실 변압기 절연유 실험

장소: 국내 6개 변전소(노량진, 양지, 남동, 양평, 송현, 반월)

종류: 가동중인 7개 실 변압기(양지2개)의 절연유(광유)

시기: 1989년 2월에서 동년 7월까지 총 6회 채취(매달 25일)

이 실험은 한전의 협조 하에 유증 가스량 측정에서 정상, 요주의, 이상 판정을 받은 변압기를 선별하여 매달 각 변압기 별로 시료유를 채취하여 실변압기 절연유의 경년과 상태 변화에 따른 가스량 증가 및 tanδ의 변화를 측정하기 위한 것이다.

위 실험들의 궁극적 목적은 실험실 가속 열화 실험과 실변압기 절연유 실험을 병행함으로써 실험실 데이터의 실변압기 적용 가능성을 알아보고, 각 실험에 의한 진단기준의 상관 관계를 밝히는 데 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 유증 가스량

열화 실험 결과 발생 가스의 대부분이 CO, CO₂ 였는데 이는 온도에 의한 열 열화보다는 대기 중 산소에 의한 산화 열화가 더 지배적이었음을 보여 준다.

그림3은 광유에 절연지를 넣고 60°C에서 열화시킨 시료유의 열화 기간에 따른 가스량 변화 결과이다. CO₂ 가스는 259[ppm]에서 326[ppm]으로 67[ppm]증가하였고, CO 가스는 7[ppm]에서

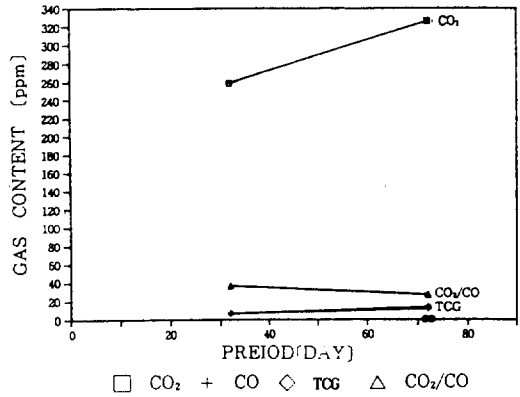


그림 3 열화기간에 따른 가스량 변화(광유+절연지, 60°C)

Fig. 3 Gas content according to the periods (mineral oil+paper, 60°C)

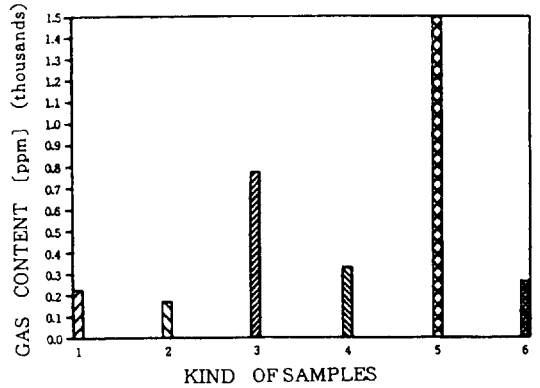
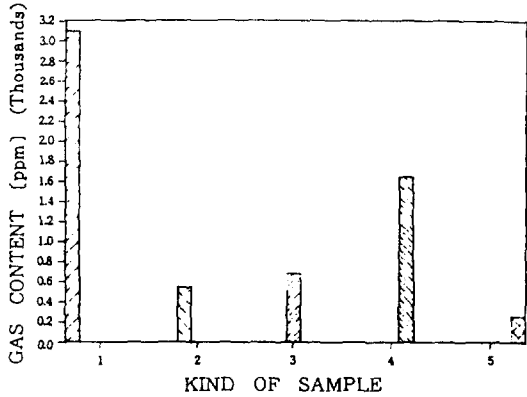


그림 4 각 열화 시료유들의 CO+CO₂ gas량 비교 (34일간 열화)

Fig. 4 CO+CO₂ gas content comparison(34 days)

12[ppm]으로 5[ppm], TCG(Total Combustible Gas)는 7[ppm]에서 14[ppm]으로 7[ppm] 각각 증가하였지만 모두 정상치의 범위 내에 있는 상태이다. 다만 CO₂/CO의 비율이 각각 37과 27로써 정상범위[11]3~11보다 상당히 높은 값을 보이고 있다.

그림4는 절연지와 프레스보드를 광유에 넣고 각각 60°C, 90°C에서 열화시킨 시료유의 CO+CO₂ 가스량을 비교한 것이다. 절연지를 첨가할 경우, 열화 온도 60°C에서 259[ppm]이었는데 90°C에서



1. 광유+프레스보드(90°C)
2. 광유+철(90°C)
3. 광유+동(90°C)
4. 광유+절연지(90°C)
5. 광유(90°C)

그림 5 각 열화 시료유들의 CO+CO₂ gas량 비교 (50일간 열화)

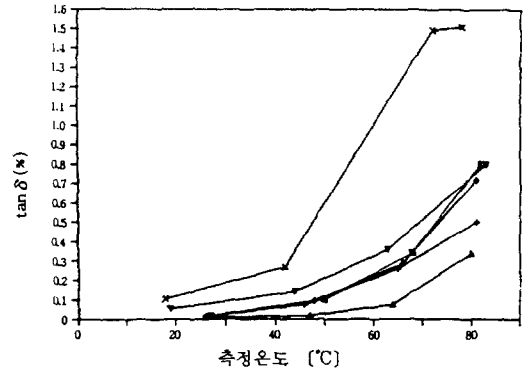
Fig. 5 CO+CO₂ gas content comparison (50 days)

1460[ppm]으로 정상치 800[ppm]을 훨씬 넘었다. 이것은 열화 온도에 크게 의존함을 보여주는 것이다. 특히 절연지와 프레스 보드를 넣을 경우 광유만의 열화 실험때보다 많은 가스를 방출하였는데 이것은 절연지와 프레스 보드가 셀룰로오즈계 결합물이기 때문이다[11].

그림5은 변압기 재료들을 광유에 넣고 90°C로 강제 열화시켰을 때 CO+CO₂ 가스량을 비교한 것이다. 절연지와 프레스 보드를 넣었을 때 CO가스가 각각 1654[ppm]과 3097[ppm]으로 정상치 800[ppm]을 훨씬 초과하였다. 이 같은 수치는 유증 가스량만을 기준으로 열화 판정을 할 경우 이상치로써 절연유를 교체하여야 하지만 동일 시료의 tanδ 측정결과는 정상 수준을 나타내고 있었다. 이와 같이 절연유의 상태 판정을 함에 있어 한가지 측정결과만으로 판정을 내릴 수 없는 것이 예방진단 연구의 어려움중 하나이며 본 연구에서는 이를 극복하기 위하여 여러 측정법을 비교 분석하였다.

4.2 tanδ와 저항률

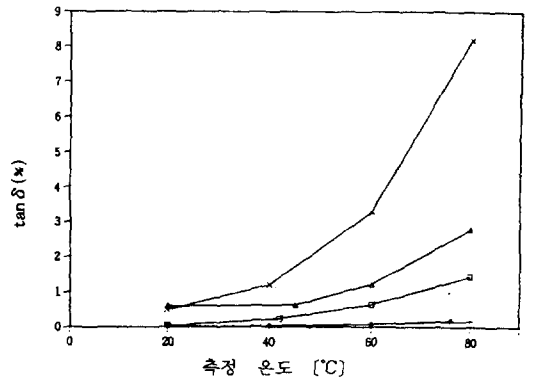
그림6은 32일간 열화시킨 시료유들의 tanδ비교 결과이다. 측정 온도 80°C에서 광유의 tanδ가 1.5[%]인 반면 절연지를 같이 넣었을 경우 tanδ는 0.3[%]로 5배의 차이를 보였다. 절연지와 프레스 보드를 넣었을 경우는 전체적으로 0.8[%]이



- 광유+프레스보드(90°C) + 광유+절연지(90°C)
- ◇ 광유+프레스보드(60°C) △ 광유+절연지(60°C)
- × 광유(90°C) ▽ 광유(60°C)

그림 6 각 열화 시료유들의 tanδ 비교 (32일)

Fig. 6 tanδ comparison among the aged oils (32 days)



- 광유 + 광유+절연지 ◇ 광유+프레스보드
- △ 광유+철 × 광유+동

그림 7 각 열화 시료유들의 tanδ비교 (50일)

Fig. 7 tanδ comparison among the aged oils (50 days)

하의 낮은 수치를 보였는데 이는 두가지의 절연 재료가 tanδ에 크게 영향을 미치지 않음을 시사한다. 열화 온도 60°C와 90°C를 비교하면 90°C로 열화시킨 시료의 tanδ가 60°C의 경우보다 1.3~2.0배 가량 높았다.

그림7은 50일간 열화시킨 경우인데 철과 동을 넣었을 때의 tanδ 값이 8.5[%]로 매우 높았다. 이는 철과 구리 이온의 증가로 인한 교류등가전도도 상승 때문이다. 50일간 열화시킨 결과에서도

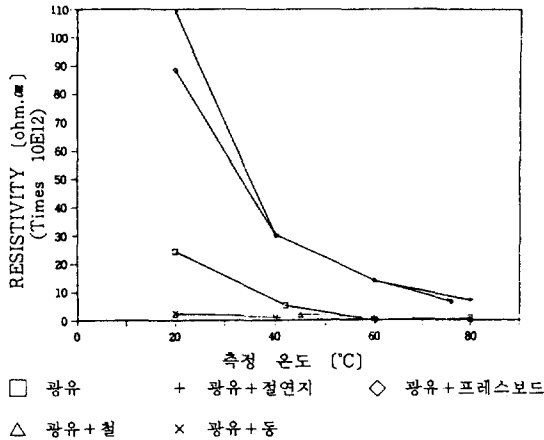


그림 8 각 열화 시료유들의 저항률 비교(50일)
 Fig. 8 Resistivity comparison among the aged oils(50days)

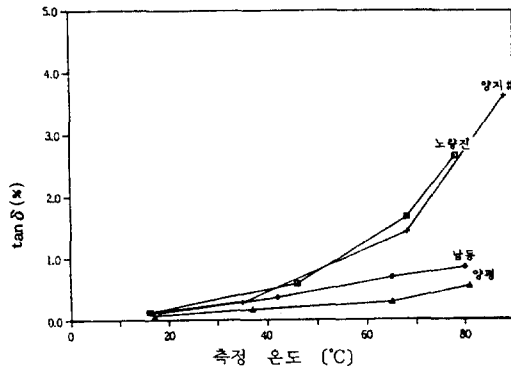


그림 9 1989.2.25 수거된 절연유의 유전정점 비교
 Fig. 9 $\tan \delta$ of the transformer oils sampled at Feb. 25, 1989.

절연지와 프레스 보드는 큰 영향을 주지 않고 있다.

그림8은 50일간 열화시킨 시료유들의 저항률을 비교한 것인데, 전체적으로 저항률의 범위가 $1.0 \times 10^{12} - 1.1 \times 10^{14} [\text{ohm}\cdot\text{cm}]$ 로 안정된 범위이지만 철과 동을 넣은 경우 측정 온도에 관계 없이 $1.0 \times 10^{12} - 1.2 \times 10^{12} [\text{ohm}\cdot\text{cm}]$ 로 다른 경우에 비해 상대적으로 낮은 수치를 보인다.

그림9와 그림10은 1989년 2월 수거된 변압기들이 $\tan \delta$ 를 비교한 것인데 실변압기의 시료유 모두가 정상값을 나타내었고, 노량진과 양지#3 변압기의 경우 각각 3[%], 4[%]로 다른 변압기에 비해 높은 값이었다. 또한 최근에 신설된 남동 변압기

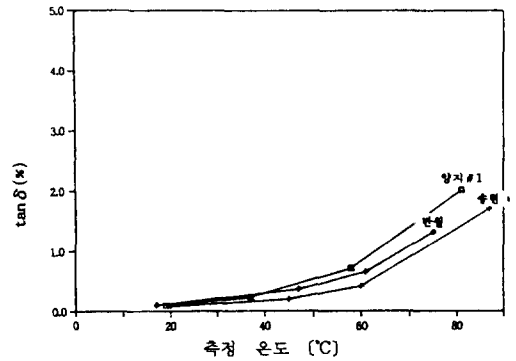


그림 10 1989.2.25 수거된 절연유의 유전정점 비교
 Fig. 10 $\tan \delta$ of the transformer oils sampled at Feb. 25, 1989.

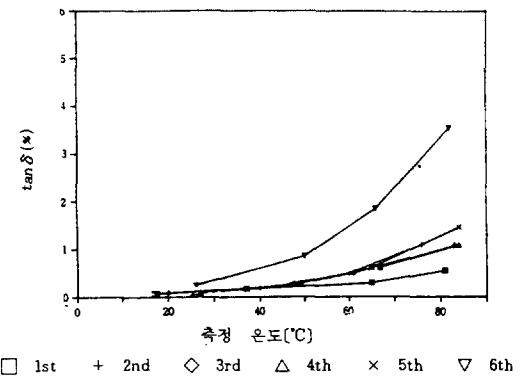


그림 11 양평 변압기 절연유의 기간에 따른 $\tan \delta$ 변화추이
 Fig. 11 $\tan \delta$ of Yang Pyung transformer oil according to the periods

에서는 상당히 낮은 값을 보이고 있다.

그림11은 양평 변압기 절연유의 $\tan \delta$ 를 기간에 따라 도시한 것이다. 7월 수거 시료가 6개월 전에 비하여 측정 온도에 따라 2~8배 높은 수치를 나타내고 있다. 이런 결과는 실험실 열화유와 같은 경향을 보이는 것이다.

4.3 수분량과 전사가

표2는 실험실 열화유들의 수분량과 전사가를 측정 한 결과이다. ASTM(American Society for Testing and Material) 규격에 의하면 절연유 내의 수분량 한계치가 35[ppm]인데 실험 결과 절연유와 프레스 보드를 넣을 때 대체적으로 한계치를 벗어나고 있다.

표 2 열화 시료유들의 수분량과 전산가

Table 2 Moisture and TAN. of the tested oils
(단위 : 수분량 : ppm, 전산가 : mg, KOH/g)

		A시료유		B시료유		C시료유	
		60C	90C	60C	90C	60C	90C
수분량	1차	33.8	33.6	33.46	32.04	41.31	45.28
	2차	21.99	29.74	39.57	30.41	31.1	37.45
전산가	1차	0.012	0.044	0.029	0.041	0.031	0.03
	2차	0.016	0.037	0.014	0.023	0.017	0.023

(단, A시료유 : 광유, B시료유 : 광유+절연지 C시료유 : 광유+프레스보드 1차 : 34일, 2차 : 74일)

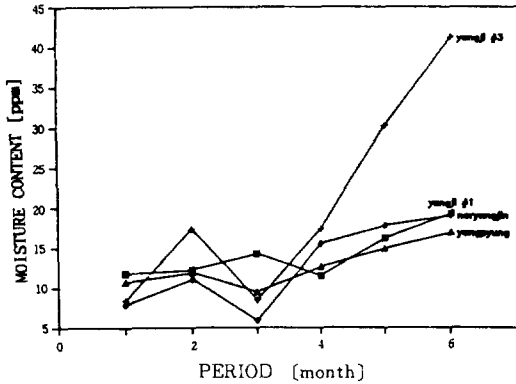


그림 12 실 변압기 절연유들의 기간에 따른 수분량 변화추이

Fig. 12 Moisture content of the transformer oils according to the periods

본 실험에서는 수분 침투 방지 및 압력 조절 장치를 사용하였기 때문에 대기 중 습기의 영향은 무시할 수 있다고 보았을 때 결국 열화 기간 중 절연지와 프레스 보드로부터 수분이 발생했다고 판단되어 진다. 전산가의 경우는 비교적 안정된 범위 안에분포되어 있다.

그림12는 운전 중인 변압기 절연유들의 기간에 따른 수분량의 변화이다. 6개월 간 약 10~15[ppm]의 증가를 보이고 있는데 특히 양지#3의 경우 7월 수거 시료유가 41[ppm]으로 급증 추세를 나타내고 있다. 이와 같이 기간에 따라 수분량이 증가하는 현상은 2가지의 설명이 가능하다. 첫째 ; 실제로 변압기 절연유가 기간에 따라 열화되어 수분이 증가하였거나, 둘째 ; 변압기 절연유의 수분이 계절에 따라 변화할 가능성, 즉 주변 습도가 낮은 2, 3월은 적어졌다가 여름이 되어

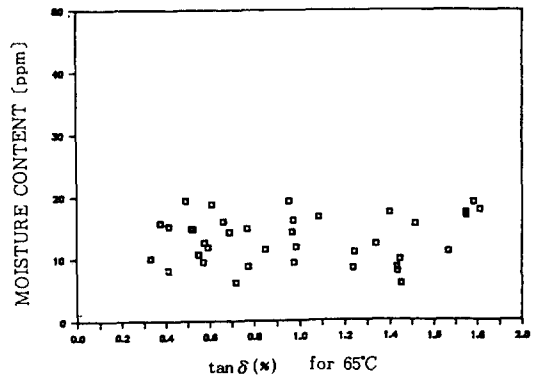
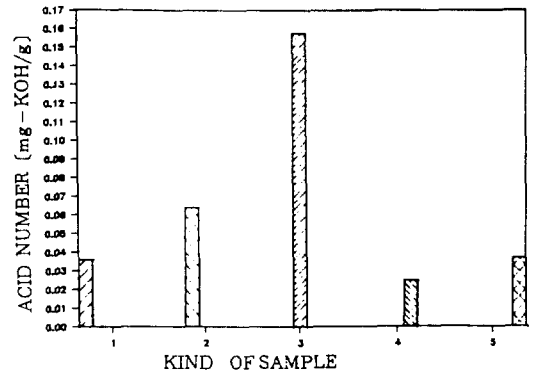


그림 13 실 변압기 절연유의 수분량과 tanδ

Fig. 13 Moisture content. vs. tanδ of the transformer oils



1. 광유+프레스보드(90°C)
2. 광유+철(90°C)
3. 광유+동(90°C)
4. 광유+절연지(90°C)
5. 광유(90°C)

그림 14 각 열화 시료유들의 산가 비교(50일간 열화)

Fig. 14 TAN. comparison among the aged oils(50 days)

습도가 높아지면 수분량도 증가할 경우를 생각할 수 있다. 위 두가지 가능성의 검증은 위해서는 실 변압기 절연유에 대한 지속적이고 정기적인 검사가 필요하다.

수분과 tanδ의 관계에서 유극성인 물분자의 배향분극과 물의 해리작용으로 인한 캐리어(carrier)의 증가로 tanδ의 증가를 생각할 수 있다. 그러나 본 실험의 결과는 그림13에서 보는 바와 같이 수분량이 5~25[ppm]사이의 분포를 보일 뿐 특별한 상관관계는 나타나지 않았다.

그림14는 50일간 열화시킨 시료유들의 전산가를 비교한 것으로 철과 동을 넣은 시료의 전산가가

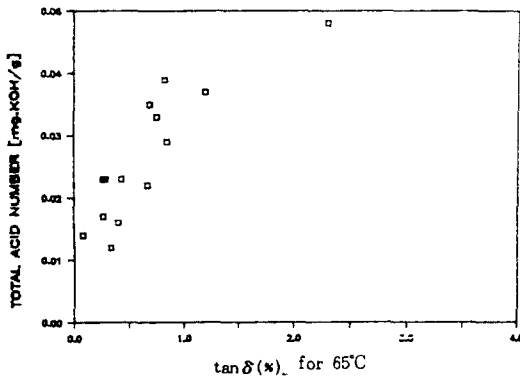


그림 15 전산가와 $\tan\delta$

Fig. 15 Linear plot of TAN. vs. $\tan\delta$

각각 0.064, 0.158로 다른 시료보다 높은 값을 나타낸다.

전산가와 $\tan\delta$ 는 그림15에서와 같이 비례 관계를 보인다. 즉 전산가가 높은 것은산기의 증가를 뜻하였는데 이 경우 도전에 기여하는 캐리어(carrier)의 수가 늘어나 전도도의 증가와 $\tan\delta$ 의 증가를 수반하게 된다.

5. 결 론

본 연구는 변압기 절연유를 실험실에서 가속 열화 시킨 시료와 운전중 변압기의 절연유 시료들을 여러 가지 시험법을 통하여 비교, 분석함으로써 변압기 절연유의 특성및 각 측정 방법들 간의 상관 관계를 밝히고, 나아가 그 결과를 전력용 변압기의 열화 진단에 적용하고자 하였다.

연구 결과는 다음과 같다.

1) 열 열화에 의한 발생 가스는 주로 CO, CO₂이며 특히 셀룰로오즈계 절연체인 절연지와 프레스 보드를 첨가한 경우 그 양이 증가하였다.

2) 변압기 재료중 철과 구리는 $\tan\delta$ 를 증가시키는 반면 절연지와 프레스 보드는 $\tan\delta$ 의 증감에 큰 영향을 주지 못한다.

3) $\tan\delta$ 와 산가는 서로 비례관계를 나타냈는데 이는 곧 이온 캐리어의 증가에 의한 전도도 증가를 의미한다. 반면, $\tan\delta$ 와 수분과는 물의 전도성에 의한 증가 관계를 예상하였으나, 실험상으로는 특별한 관계가 나타나지 않았다.

4) 절연지를 넣은 시료유의 경우 열화 온도 60°C에서는 CO₂량이 259[ppm]이었는데 90°C에서는 1460[ppm]으로 정상치 800[ppm]을 훨씬 넘었다. 이와 같은 결과로 열화 온도가 절연 재료의

열화 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

5) 액체 절연 재료의 경우는 고체나 기체와 달리 불순물의 혼입이 비교적 쉽기 때문에 액체 절연체의 열화에 영향을 미치는 요인을 한가지로 단정할 수 없다. 따라서 절연유의 열화 판정은 반드시 다양한 실험으로부터 나온 결과의 상관 관계를 통해서만 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 기술연구원, 전력 기기 예방 진단 기술 연구(중간보고서), KRC-84S-J03, 1985, pp. 18~19.
- [2] 한국전기연구소, 전기재료편람, 데이컴인터내셔널, 1990, pp. 261.
- [3] Y. Kamata, "Diagnostic methods for power transformer insulation," IEEE Trans. on Elec. Insul. Vol. EI-21, pp. 1045~1048, 1986.
- [4] 工場電氣設備 壽豫知技術調査 専門委員會, 工場電氣設備の壽命豫知技術に關する調査報告, 電氣學會, 昭和 61年 10月, pp. 107.
- [5] M. Sirai, T. Ishii and Y. Makino, "Evolution of hydrogen from insulating oil in transformers," IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-12, No. 4, August 1977, pp. 266~271.
- [6] R. Seeberg, "Capacitance and dissipation factor measurements," IEEE Tran. on Elec. Insul. Vol. EI-21, 1986.
- [7] T. kawamura, M. Yamaoka, H. Kawada, K. Ando, T. Maeda and T. Takatus, "Analyzing gases dissolved in oil and its application to maintenance of transformers," CIGRE 12-05, 1986 Session-27th August-4th September, pp. 1~5.
- [8] 宮本 晃男, "絶縁油の輸送 現象," ED-87-141, EIM-87-122, p. 107, 昭和 62年
- [9] C. Lamarre, J.P. Crone and M. Duval, "Influence of oxidation on the electrical properties of inhibited Naphtenic and Paraffinic transformer oils," IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-22 No. 1 February 1987, pp. 57~62.
- [10] H. Yoshida, Y. Ishioka, T. Yanari and T. Teranishi, "Degradation of insulating materials of transformers," IEEE Trans. Electr.

Insul. Vol. EI-22, No. 6, December 1987, pp. 795~800.

- [11] "Interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipment in Service". IEC Recommendation, 599, 1979, pp. 7~19.
- [12] 최종갑, "가스량, $\tan\delta$, 수분량, 전산가에 의한 유침 전력 변압기의 열화 현상에 관한 연구," 서울대학교 전기공학과 석사논문, 1990년.
- [13] L. Szepes, et al., "A New analytical method for the determination of the water content of transformer oils," IEEE. Trans. on Elec. Insul. Vol. EI-17, No. 4, 1982, pp. 345~349.