

주상 변압기 절연유 및 부하관리 방안

전 영 갑

한국전기연구소 절연진단연구팀

1. 서론

현재 국내외에 설치된 주상변압기를 위시한 여러 일반 변압기를 보면 활선 상태에서의 진단업무가 전혀 수행되지 못하고 있다. 그로 인하여 하절기 부하나 외부기온 상승으로 변압기 폭발이나 소손사고 등으로 많은 손실이 발생되고 있다. 한국 전력공사 연구조사에 의하면¹⁾ 배전선로상에서 변압기에 의한 사고가 전체사고의 43%를 차지하며, 변압기 사고중 자연열화로 인한 사고가 60% 이상을 차지하고 있어 연간 막대한 설비손손과 함께 전력손실을 일으키고 있다. 이에 대한 대책으로, 우선 현재 운전중인 주상변압기의 절연유 열화상태를 현장에서 검출할 수 있는 센서를 개발, 현존의 변압기외함에 측정단자를 설치하여 운전함으로써 현장에서 즉각 절연유의 열화상태를 검출할 수 있는 방안을 제시하고, 부수적으로 변압기 온도 및 부하전류를 감지하여 주상 변압기는 물론 일반 자가용 수용가의 중형 및 대형 변압기에 대한 운전상태를 종합적으로 알 수 있는 방안을 제안한다. 이 절연유 열화센서를 변압기 제조과정중에 설치하여 놓으면 활선상태에서 다음과 같은 항목에 대하여 변압기 점검이 가능하다.

- 변압기의 절연유 劣化 정도를 측정
- 변압기 온도를 측정
- 변압기 과부하상태를 측정

2. 절연유 열화센서의 주요특징

변압기의 절연유가 劣化되면 절연유 속에 많은 도전성 미소입자들이 발생된다. 이 절연유 열화센서는 열화생성된 油不溶性分(Free Carbon 및 기타 도전성 Impurity Particle)의 기계적인 고착과 열화생성물의 흡착에 따른 센서의 전기적인 특성을 이용하여 센서 기본재인 특정물질에 흡착할 수 있는 기공세라믹(氣孔 Ceramic)을 이용한 센서이다. 센서재료로서 전하밀도가 작고 移動도가 낮은 상태에서 어떤 전기적 원인뿐 아니라 熱的 화학적 원인에 의하여 도전통로를 형성하기 때문에 粉體層 모델을 이용한 이론적 근거 제시가 가능하다.

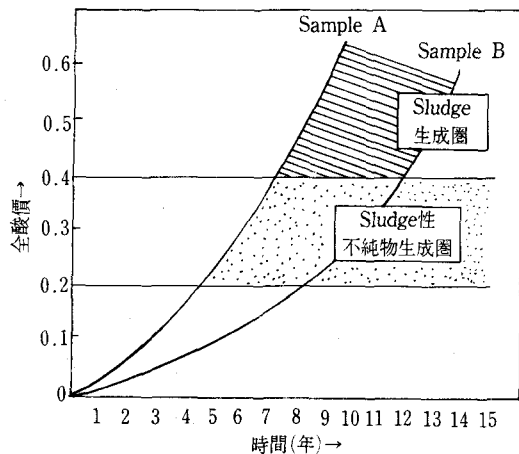
가. 이론적 배경

절연유는 변압기의 전기적 절연과 냉각작용에 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로서 사용중 온도, 수분, 산소 등의 영향을 받아 열화하여 절연

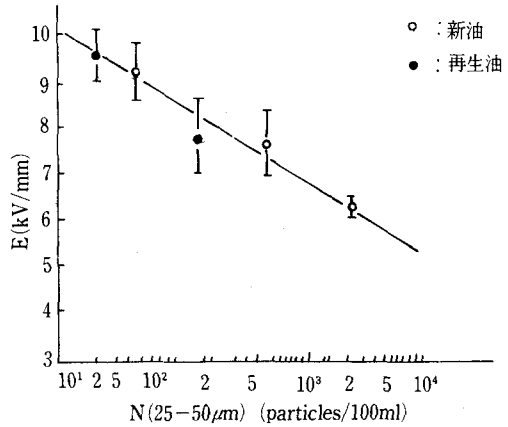
능력 및 냉각능력이 저하되므로 변압기 소손의 원인이 된다. 현재는 절연유 열화방지 대책으로서 보수 점검시 일정 연수를 경과한 변압기의 절연유만 채취하여 절연파괴전압을 실시한 후, 그 결과에 따라 교체 또는 여과하고 있다.

그리고 절연유의 화학분석 결과, 절연유 열화는 2가 이상의 원자가를 가지는 철(2價, 3價), 동(1價, 2價) 등이 열화 촉진성이 있다는 것을 많은 연구자들이 연구한 바 있다.²⁾ 이와 같은 현상은 광유가 산화할 때 반응되는 생성물로 自觸作用(Auto-Catalysis)에 의하여 발생되며 미량의 수분에 의해서도 산화반응이 일어난다. 위와 같이 열화생성물이 생성되면 전산가를 증가시키고, 열화로 인해 생성된 슬러지(Sludge)성 산화 생성물은 절연유의 점도 및 비중을 증가시켜 열화산을 저해하여 부분과열을 일으키게 되어 변압기 소손의 원인이 되며, 油溶性 산화생성물 중 특히 Ester, 금속비누 등과 같은 親水性 산화물을 생성하여 절연파괴전압을 저하시키고 가스상 산화 생성물이 발생되어 변압기 소손 및 폭발의 원인이 된다.

그림 1에서 보는 바와 같이 全酸價가 0.2가 되면 슬러지성 불순물 생성원으로 절연파괴 전압이 저하되어, 필터 등 물리적인 방법으로 절연성능을 회복시킬 수 없으므로 즉시 교체하여야 한다. 절연유의 열화정도는 절연파괴전압만 저하되는 경우



〈그림 1〉 전산가와 Sludge 생성과의 관계



〈그림 2〉 Breakdown Voltage - Impurity Number와의 관계

에는 雨水 및 습기가 외부로부터 침입한 것이 대부분으로 이 원인을 제거하여야 한다. 그러나 전산가가 0.2 이상으로 상승되었을 경우에는 즉각 절연유를 교체하여야 한다. 또한 교체시기를 예측하기 위해서는 주기적으로 시험하여야 하며 산화안정도 시험을 하여 교체시간을 예측할 수 있다.

일본의 Ikeda 외 3인의 연구보고에³⁾에 의하면 일반적인 전기 절연유에서 25~50[μm]사이의 불순물 입자의 수(N)와 인가전압과는 다음과 같은 관계가 있음이 실험결과 밝혀졌다.

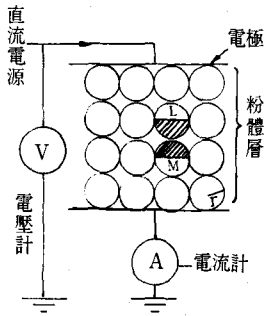
$$E = -1.58 \log_{10} N + 11.89$$

그리고 신유와 여과된 절연유의 Breakdown Voltage-Impurities 관계를 그래프로 그리면 그림 2와 같다.

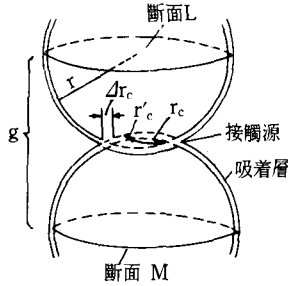
나. 분체층 모델을 이용한 센서원리

본 연구에서 개발코자 하는 Sensor의 도전성 성분 흡착 부분을 절연성능을 가지는 Porous 고체로 보아, 어떤 전계하에서 그 방향으로 이동하는 전하밀도를 초기 조건에서 매우 작다는 것으로 가정하였다.

즉 Sensor 재료로서 전하밀도가 적고 이동도가 적은 상태에서 어떤 전기적 원인뿐만 아니라 열적 및 화학적 원인에 의하여 도전통로를 형성하기 위하여 그림 3, 4와 같이 분체층 Model⁴⁾을 이용하



〈그림 3〉理想粉體層 Model



〈그림 4〉Conductance g 요소

여 전기량의 변화를 일으키는 흡착재료를 선택할 수 있다. 여기서 Sensor의 단위거리당 두 전극사이에 떨어진 거리를 평행한 두 전극간의 단위면적으로 계산하여 Conductance를 계산한다.

그림 3과 4에서 인근한 두 층의 평행단면 LM 간에 걸리는 도전율 δ_1 은 Conductance g를 요소로 하는 직렬, 병렬 접속을 구성하고 있음이 명확하다.

즉 직렬에서 $\frac{1}{2r}$ 개, 병렬로 $\frac{1}{(2r)^2}$ 개가 접속되므로 δ_1 은 다음과 같이 표시된다.

$$\delta_1 = g \frac{1/(2r)^2}{1/2r} = \frac{g}{2r} (v/cm) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 Conductance g는 粒子 누설 저항 R_r 와 LM간의 입자 실체저항 R_c 의 병렬 접속으로 구성된다. 먼저 R_c 를 생각해 보면 접속점에서 발생하는 접촉면에 존재하는 산화물 피막저항의 합으로 나타낼 수 있다. 접촉저항은 그림 4에서와 같이

$$R_s = \frac{1}{2r_c} \cdot \frac{1}{\delta_s} (\Omega) \dots\dots\dots (2)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 δ_s 는 입자 실체의 도전율(v/cm), r_c '는 접촉면의 유효반경 $r_c + \Delta r_c$ 로 된다. 그리고 접촉면에 존재하는 산화물 피막, 즉 흡착분자층의 저항은

$$R_b = \frac{\rho_b}{\pi r_c^2} (\Omega) \dots\dots\dots (3)$$

(ρ_b : 境界層 단위 면적당 $\Omega-cm^2$)

가 된다. 따라서 $R_c = R_s + R_b$ 는 다음과 같이 나타

낸다.

$$R_c = \frac{1}{2r_c \delta_s} + \frac{\rho_b}{\pi r_c^2} (\Omega) \dots\dots\dots (4)$$

다만, 여기서 r_c '는 온도가 낮은 접촉부에서 水分子 吸着(Capillary Condensation)을 무시하는 경우의 r_c 가 되며, 온도가 높은 수분자 흡착인 경우의 증가분 Δr_c 가 가해진다. 다음 표면누설저항 R_r 는, 입자 표면의 film 도전을 $\delta_r(v)$ 로 보아 다음 식과 같이 계산한다.

$$R_r = \frac{\ln(2r/r_c')}{\pi \delta_r} \dots\dots\dots (5)$$

따라서 그림 4에서 표시된 理想粉體層의 도전율을 δ_1 은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\delta_1 = \frac{r_c'/r}{1 + (2\delta_s \rho_b / \pi r_c')} \delta_s + \frac{\pi/2r}{\ln(2r/r_c')} \delta_r \dots\dots (6)$$

즉 구성되는 Parameter는 r , r_c' , δ_s , δ_r , ρ_b 임을 알 수 있다.

위의 경우는 센서 도전성 固着部分을 완전 球型인 흡착 재료를 사용한 식이나 내부구조가 불규칙한 Porous Glass인 경우에도 Shape Factor를 도입함으로써 보정이 가능하며 또한 Porous Glass의 氣孔내에 입자가 성장되어 영구적인 도전통로가 만들어질 때도 이와 같은 이론을 적용할 수 있다. 그리고 센서의 Void Volume에 도전성분 입자의 생성량과 시간에 대한 변화량은 센서의 누설 전류 변화율과 경년변화된 절연유의 산가치와 내압치의 시간에 대한 변화율과 같도록 하기 위하여 다음 식을 가정한다.

$$\frac{d(\mu A)}{dt} (\text{센서}) = \frac{d(DS)}{dt} = \frac{d(AV)}{dt} (\text{절연유}) \dots\dots\dots (7)$$

DS: 절연유 내압(Dielectric Strength)

AV: 절연유 산가치(Acid Value)

즉 위의 식에 의거 도전성 불순물 입자가 센서에 고착되어 포화점에 도달하는 시간이 센서와 절연유의 수명에 일치되도록 센서의 크기를 결정한다.

$$\frac{d(\sigma_1)}{dt} (\text{센서}) = \frac{d(DS)}{dt} = \frac{d(AV)}{dt} (\text{절연유}) \dots\dots (8)$$

여기서 σ_1 의 시간에 대한 변화율과 절연유 내압특성과 산가치의 시간에 대한 변화율이 같도록 센서

의 Pore 체적을 구할 수 있다.

A·V : 산가치(Acid Value)

D·S : 내압치(Dielectric Strength)

여기서 δ_1 의 시간에 대한 변화율을 구하려면 연속적인 시험데이터를 얻고난 후 위의 관계식을 적용하여 센서의 기공체적을 구할 수 있다.

$$\text{기공률} = \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \times 100(\%) \dots \dots \dots (9)$$

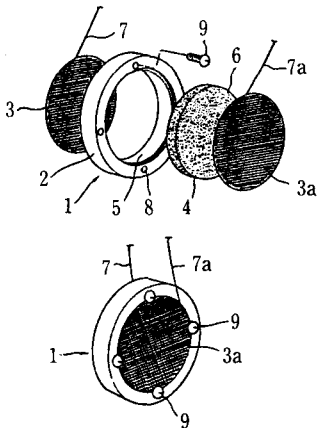
V_1 : Volume of Ceramic Materials

V_2 : Volume of Pore Part

V_3 : Open Pore

다. 센서 구성도

그림 5에서 2개의 원형전극 (3)(3a) 재질은 스테인리스강, 또는 에칭(Etching)도금된 스테인리스강으로 하며 1m/m×1m/m의 메시(Mesh)를 가진다. 메시의 가공은 전자빔으로 에칭(Etching)하여 표면이 아주 매끄러워야 하며 리드선(7)과 원형전극간의 접촉은 절연볼트로 견고하게 고정시킨다. 절연볼트의 재질은 내열성이 강한 FRP 또는 테프론 재질을 사용한다. 절연유 열화측정 센서(1)의 센서지지 기판(2)의 지지공(5)에 일정크기의 氣孔을 가진 포러스 재질부(4)를 삽입하고, 그 양단에 원형전극판을 상기 센서지지 기판에 접착제로 접착하고, 원형전극의 양측에 리드선(7)을



<그림 5> 절연유 열화센서 외형도

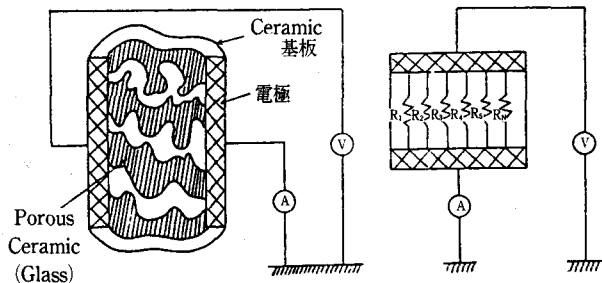
볼트조임하여 변압기 외부에 설치된 터미널 단자에 연결한다.

절연유 열화센서(1)는 전력용 변압기 또는 배전용변압기 제조시 센서를 내장시켜 제조한 후, 리드선(7)을 변압기 외벽 적당한 위치에 설치한 터미널 단자에 연결한다. 따라서 절연유 열화측정 센서의 누설전류를 측정하기 위하여 계측기는 따로 휴대용으로 제작하거나, 원격 감시 시스템을 이용한 계측시스템을 제작하여 변압기유의 절연열화 정도를 측정할 수 있다. 그림 6은 센서의 외형 사진이다.

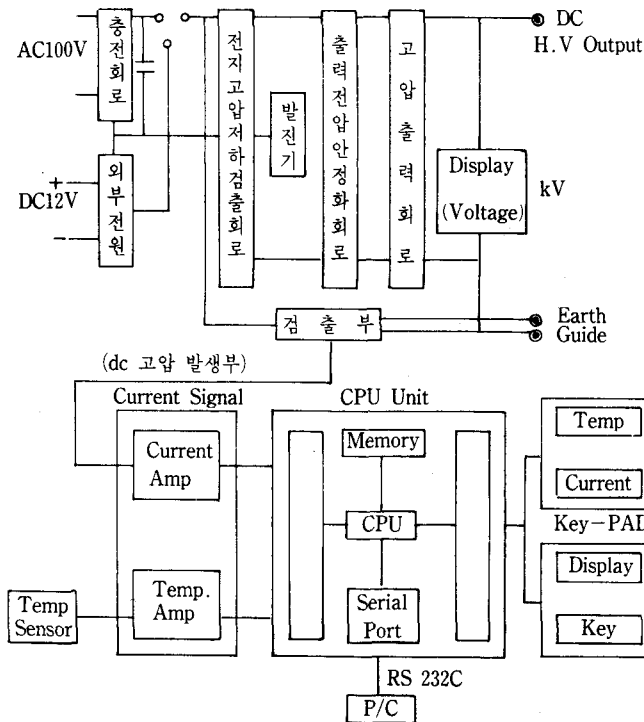
3. 절연유 劣化度 측정

이 절연유 열화센서는 변압기 유중에 설치하기 때문에 耐酸性 및 耐久性이 좋아야 한다. 상기 센서 구성도의 절연유 열화센서의 Porous 재질부(4)에 흡착된 불순물 도전입자는 전기회로를 구성시킨다. 즉 절연유 열화측정센서(1)의 원형 전극에 일정한 직류전압을 가하였을 때 전류계의 전류변화치를 측정함으로써 불순물 도전입자의 부착량을 알 수 있고 그 부착량에 따라 발생하는 전기량으로 절연유의 경년변화를 알 수 있다.

이 센서는 절연유에 대하여 溶解, 溶出되지 않는 것으로, 절연유 도전성 불순물 입자가 일정크기로 성장될 때 미소입자를 흡수하여 도전성회로를 구성시킨다. 이때 전기적인 신호(DC 2kV)를 인가하여 본 센서의 누설전류치를 측정하면 절연



<그림 6> 절연유 열화센서



〈그림 7〉 절연유 열화 측정시스템 Block도

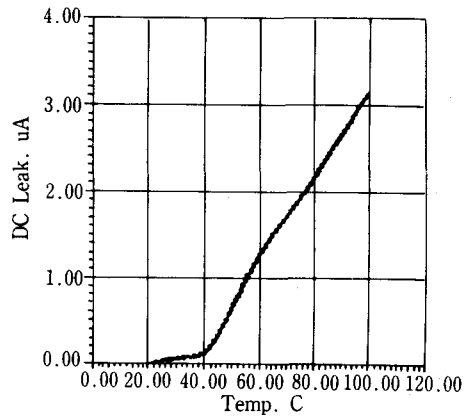
유 열화정도를 추정할 수 있다.

그림 7에서 측정방법은 고압의 직류를 변압기 절연유 열화센서에 연결하여 절연유 열화정도 및 온도변화에 따른 전류변화를 측정한다. 이때 설정된 전압의 출력 레벨을 표시하기 위하여 직류 고압 발생부 양단에 $3\frac{1}{2}$ Digit의 Digital식 전압 표시장치를 연결하여 전압을 표시한다. 이를 위해 변압기 절연유에 온도센서인 Thermocouple을 함께 넣어서 온도를 측정한다. 또 전류와 전압을 측정하고 저장하여 Key 입력과 데이터 표시 및 저장된 전류와 온도를 컴퓨터로 전송하기 위한 Serial 통신 등을 하는 MCS-80-196이 구성된다.

특히 MCS-80-196은 10 Bit A/D Converter를 내장하고 있어 Analog의 전류와 온도를 Digital 값으로 변환하여 표시하며, 실험을 통하여 측정된 신유의 온도에 따른 전류를 ROM에 저장하고 있어서 측정된 전류에서 신유의 전류차분을 연산한 후 표시한다. 그 구성은 직류고압 발생장

CALIBRATION CURVE

Testing of transformer
Sample : PCS 100-2
File NO : GH25



〈그림 8〉 절연유 열화센서의 온도특성

치, 전압표시장치, 센서전류 측정장치, 온도측정장치, MCS-80C196의 제어장치, RS232C/485의 통신유닛, Key입력 및 데이터 표시장치로 구성되어 있다.

4. 변압기 온도 측정

그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 절연유 열화센서의 누설전류치는 온도가 상승함에 따라 증가되는 온도특성을 나타낸다. 절연유 열화센서의 온도특성을 파악하기 위하여 校正定數를 디지털 마이크로 프로세스의 기본자료로 입력시킨다. 따라서 변압기 절연유 열화센서의 누설전류를 측정하기 위하여 변압기 절연유의 온도를 측정하기 때문에 변압기 온도가 측정된다.

그림에서 절연유 온도가 40°C 이하에서는 거의 변화가 없지만, 절연유 온도가 40°C 이상 상승시 급격한 증가 추세를 보이다가 60°C에서 어느 정도 완만한 곡선을 보이고, 70°C에서 다시 급격한 곡선을 나타낸다. 통상 현장에서 사용되는 변압기

절연유 온도는 30°C에서 70°C로써 이 범위내의 온도 특성곡선이 많이 사용된다.

5. 변압기 과부하상태를 측정

이 절연유 열화센서의 부수적인 효과로서 변압기의 부하전류 크기를 측정할 수 있다. 절연유 열화센서의 양극판에 걸리는 전위차는 정전에너지 W와 비례함을 알 수 있고 절연유 열화센서의 재질에 관련되는 것을 다음 식에서 알 수 있다.

절연유 열화센서는 변압기 철심 상부에 일정한 갭을 유지한 전극의 형상이기 때문에 극간에는 캐피시턴스 C에 의한 유도기전력이 다음과 같은 원리에 의하여 유기된다. 이 절연유 열화센서는 두 평판전극간에 정전용량 C가 다음과 같이 발생된다.

$$C = \epsilon_0 A / d \dots\dots\dots (10)$$

- ϵ_0 : 투자율(Permittivity)
- A : 전극 면적
- d : 전극간 이격거리

이때 양극판간에 전위차($V_1 - V_2$)가 발생되는데 이때 발생하는 정전에너지는 다음과 같다.

$$W = \frac{1}{2} C (V_1 - V_2)^2 = \frac{\epsilon_0 A (V - V)^2}{2L} \dots\dots (11)$$

따라서 두 극간의 전위차 V는 다음과 같다.

$$V = V_1 - V_2 = \sqrt{\frac{2LW}{\epsilon_0 A}}$$

그리고 정전에너지 W는 변압기 권선저항에 의한 저항손(Resistance Loss) 및 권선의외 부분의 누설자속에 의한 표류손(Stray Loss)의 영향을 직접적으로 받는다. 표류손은 변압기 제품의 설계 및 제작에 관련되는 사항으로 절연유 열화센서의 전위차 V를 측정함으로써 변압기 품질검사는 물론 운전중 변압기 절연유가 열화되기전 변압기 과부하 상태를 알 수 있다.

측정방법은 기존에 사용하고 있는 계기(Tester)를 사용하여도 가능하고 전위차를 부하전류로 변환시키는 회로를 이용하여 패널상에서 부하전류로 표시하여 사용하여도 된다. 이때 패널에는 센서의 전위차 측정용 절환스위치를 추가시킨다.

6. 실험결과 분석

가. 실험방법

절연유 열화 센서의 동작특성을 알기 위하여 시료 변압기로서 열화 탱크를 사용하였으며, 절연유 열화센서의 동작특성 및 과부하 특성을 알아 보기 위하여 반환부하법(Loading Back Method)에 의한 전류인가 방법을 택하였다.

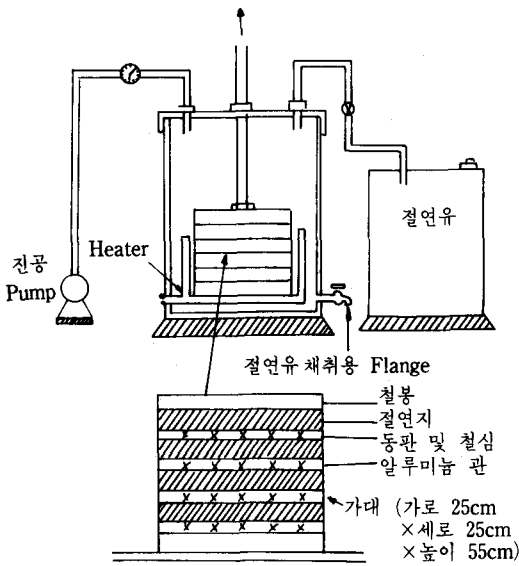
(1) 절연유 열화 탱크

변압기용 절연유가 사용되는 용기는 절연유의 내약품성이 강한 재질이 스테인리스 강판재질을 사용하였으며, 절연유 탱크의 뚜껑에는 온도센서의 리드선과 절연유 열화센서 리드선을 기밀상태에서 견고하게 부착시켰다. 절연유 열화센서는 그 기공별로 4가지 종류(70 μ m, 100 μ m, 150 μ m, 250 μ m)를 온도에 따른 V-I 특성, 기공크기와 센서의 누설 전류특성 등을 고려하여 100 μ m의 기공크기가 가장 적합한 것으로 밝혀졌고 센서에 가해지는 인가전압은 DC 2kV가 적당함을 알 수 있었기 때문에⁶⁾ 이 연구실험의 결과는 이러한 조건에서의 연구결과를 제시하고자 한다. 그림 9는 절연유 열화탱크의 장치도면을 나타낸다. 탱크는 원통형 구조로 길이 90cm, 직경 50cm, 두께 6mm의 스테인리스 강판을 사용하였다. 또한 최대한 변압기 재료의 구성비에 맞추기 위하여⁷⁾ 다음과 같은 변압기 재료를 넣어 실험하였다.

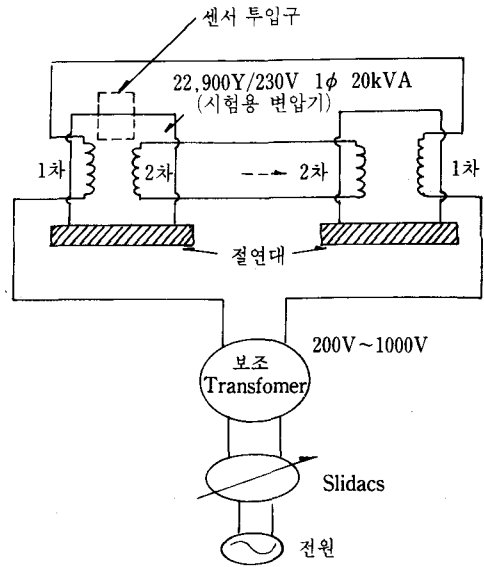
- 절연지 : 27.068g - 동판 : 39.558g
- 절연유 : 150.000g - 알미늄판 : 31.617g
- 철심 : 57.107g

(2) 반환 부하법 회로

시료변압기 용량은 22,900V-Y/230V 단상 20kVA(1단 접지변압기)이며 반환 부하법으로 2세트를 제작하여 상기 절연유 열화센서의 기공크기별로 4종류를 각 변압기에 투입하여 실험하였다. 절연유 열화센서는 변압기내 구조물을 지지대로 하여 센서를 지지하는 지그 자체를 절연시킨다.



<그림 9> 절연유 열화장치 장치도면



<그림 10> 모델변압기 Layout

배전반은 온도세팅 후 부하전류를 자동으로 조정 되도록 하였으며 변압기 상부에 절연유를 채취할 수 있는 터미널과 센서 측정용 단자가 설치되었다. 그림 10은 모델변압기의 Layout를 나타낸 것으로 2세트를 제작하여 실험하였다.

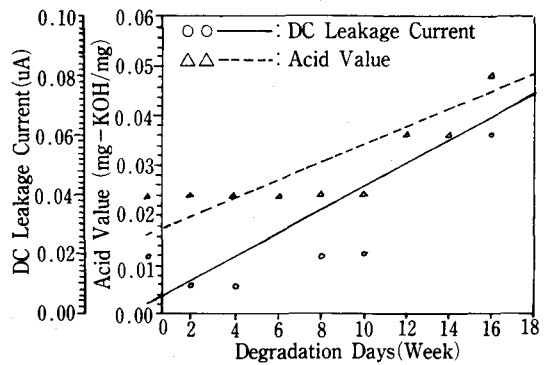
나. 실험 결과

(1) 열화센서와 산가와의 관계

그림 11은 절연유 열화센서의 산가와의 변화추이를 살펴 보면 4의 점이 산가를 나타내고 "0"점은 센서의 누설전류치를 나타낸다. 실선은 이러한 점들의 평균치를 환산하여 그린 X-Y직선 그래프를 나타내고 있다. 그림에서 X축의 열화기간 18주 중 12주까지는 18°C까지의 결과를 나타낸 것이고 그 이상은 18주까지의 실험 결과를 나타낸 것이다. 이러한 추이곡선에서 알 수 있는 바와 같이 열화일수에 따른 추이곡선이 상호 직진성을 가지고 있음을 알 수 있다. 그리고 이러한 변화추이는 어느 일정한 점을 향하여 나가고 있음을 알 수 있다.

(2) 열화센서와 절연유 내압치와의 관계

그림 12는 절연유 열화센서의 누설전류치와 절



<그림 11> 열화일수에 따른 열화센서의 누설전류크기와 절연유 산가치

연유내압치와의 변화추이를 살펴본것으로 "0"의 점이 누설전류치를 나타내고 "4"점이 절연유 내압치를 나타낸다. 실선은 이러한 점들의 평균치를 환산하여 그린 X-Y직선 그래프를 나타낸다. 그림 12는 이러한 점들의 평균치를 환산하여 그린 X-Y직선 그래프를 나타낸다. 그림에서 X축의 열화기간 18주 중 12주까지는 80°C까지의 결과를 나타낸 것이고 그 이상은 18주까지의 실험 결과를 나타낸 것이다. 이러한 추이곡선도 마찬가지로 열화일수에 따른 추이곡선이 상호 직진성을 가지고 있음을 알 수 있다.

(3) 열화센서와 CO Gas량과의 관계

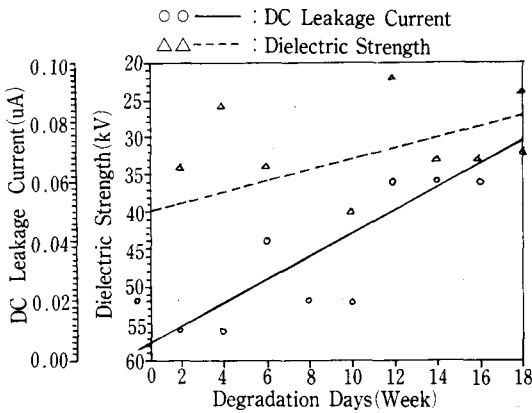
그림 13은 절연유 열화센서의 누설전류치와 CO Gas량과의 변화추이를 살펴 본 것으로 "0"점이 누설전류치를 나타내고, "△"점은 절연유의 CO Gas량을 나타낸다. 실선은 이러한 점들의 평균치를 환산하여 그린 X-Y직선 그래프를 나타낸다. 그림에서 X축의 열화기간 18주 중 12주까지는 80℃까지의 결과를 나타낸 것이고 그 이상은 18주까지의 실험 결과를 나타낸 것으로서 역시 열화일수에 따른 추이곡선이 상호 직진성을 가지고 있음을 알 수 있다.

(4) 열화센서의 기전력과 부하전류와의 관계

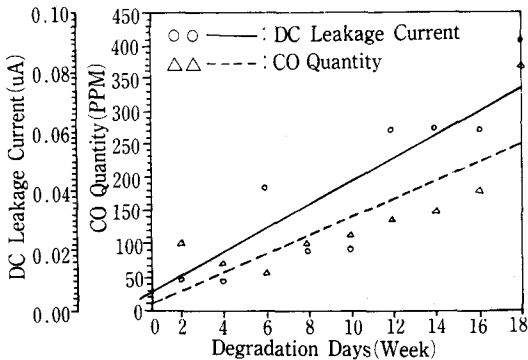
캐패시터 성분을 가진 열화센서의 캐패시터를

〈표 1〉 시료변압기 부하전류와 절연유 열화센서의 기전력 크기

시료 변압기 부하전류 (A)	절연유열화센서의 기전력(V)
5	7.07
15	7.42
25	7.72
35	8.11
45	8.40
55	8.72
65	9.03
75	9.35
85(100%)	9.73
95(110%)	10.02
105(120%)	10.33
110(130%)	10.53



〈그림 12〉 열화일수에 따른 열화센서의 누설전류 크기와 절연유 내압치



〈그림 13〉 열화일수에 따른 열화센서의 누설 전류치와 CO Gas량과의 관계

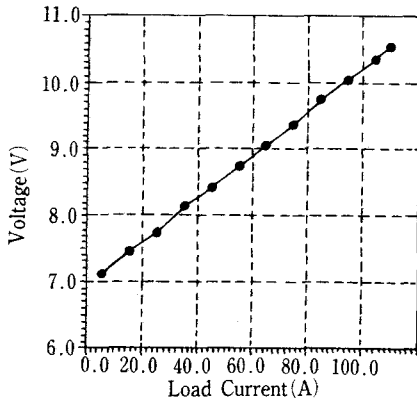
RLC미터로 측정된 결과 250(μm)의 기공사이즈를 가진 열화센서의 캐패시턴스는 인가전압 5(V), 60(Hz)에서 약 40(pF)정도로 공기중 누설전류를 측정된 결과 다음과 같이 계산되었다.

$$i = \frac{V}{1/\omega C} = \frac{5}{1/2 \times 3.14 \times 60 \times 40 \times 10^{-12}}$$

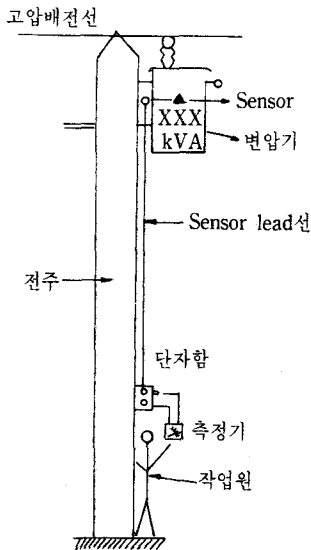
$$= 0.015(\mu A)$$

계산된 이 전류는 열화센서의 순수한 캐패시턴스만으로 계산된 것으로 측정된 범위 이내에 포함된다. 따라서 절연유 열화센서의 순수한 기전력이 15(V)미만으로 볼 때 열화 센서의 누설전류크기는 0.045(μA)이내임을 알 수 있다. 절연유 열화 센서에 전압을 인가하지 않는 상태에서 시료변압기의 유중에서 기전력을 측정된 결과는 표 1과 같다.

앞에 기술된 시료변압기는 반환부하법 회로를 이용한 경우의 절연유 열화센서 기전력으로 부하전류가 변함에 따라 절연유 열화센서의 기전력 크기가 (mV) 단위로 변화됨을 알 수 있다. 이 시험은 22.9kV-Y/220V 20kVA 용량의 주상변압기에 대한 시험으로, 센서의 배치위치, 주상변압기 용량, 권선배치 및 철심종류 등에 의하여 그 기전력이 변화될 가능성이 많으므로 앞으로 많은 현장 시험 연구가 필요하다. 그림 14는 표 1을 근거로 한 데이터를 그래프로 표시하여 놓았다. 그림에서 알 수 있다시피 주상변압기 부하전류와 절연유 열



〈그림 14〉 주상변압기 부하전류와 열화센서 기전력과의 관계



〈그림 15〉 주상변압기 점검 방안

화센서의 기전력과는 상당한 연관성을 발견할 수 있었다.

7. 현장측정 방법

주상변압기 절연유 상태분석은 지금까지 현장에서 전혀 분석을 실시하지 않고, 과부하 측정은 연 1회 정도 과부하 예상시점에 맞추어 전주위에서 후크미터로 측정하고 있으나 측정빈도수, 정확도, 안전상 상당한 문제점이 발생되고 있다. 절연유 열화센서는 지금까지 화학적 분석 방법에서 전기

적 분석방법으로 분석할 수 있는 방안이기 때문에 원격측정 및 데이터 저장이 가능하다. 즉 전주 승주작업 하지 않고도 지상에서 변압기 절연유 측정, 온도측정 및 과부하 측정이 가능하다. 그림 15는 현장 및 배전반에서 주상변압기를 점검할 수 있는 방안을 제시한다.

8. 결론

지금까지 제시한 주상변압기 절연유 및 부하관리방안은 다음과 같은 점에서 상당히 효과적인 방안이라 할 수 있다.

(가) 샘플링 방식이 아닌 전기적인 신호방식이기 때문에 변압기 절연유의 열화상태를 현장에서 즉각 판정할 수 있어 변압기 절연유 상태를 바로 알 수 있다.

(나) 절연유 열화센서의 온도보상 특성 때문에 변압기 절연유 열화상태를 측정함과 동시에 변압기 온도가 측정되기 때문에 온도측정에 의하여 변압기 이상유무를 알아낼 수 있다.

(다) 절연유 열화센서의 전극을 이용하면 센서의 기전력과 변압기 부하전류와의 연관성을 이용하여 주상변압기의 과부하 상태를 알 수 있다.

●참 고 문 헌

- 1) 申圭植의 2인 “絶縁油 劣化防止 研究” 한국전력공사 기술연구원보, 1972년.
- 2) 河村英雄의 1인 “新電氣 絶縁油” 日書.
- 3) M.Ikeda의 2인 “Breakdown Characteristics of Moving Transformer Oil” IEEE PAS-100, No.2, February 1981.
- 4) 早川宗八郎 “粉體 物性 測定法” p145-p151, 1973년.
- 5) “ADSORPTION” C.L. Mantell. McGraw-Hill Book.
- 6) 全永甲의 3인 “變壓器 絶縁油 劣化 센서 診斷用 計測器 開發研究” 科學技術處, 1993. 11.
- 7) 寺四常治 “油入 變壓器의 絶縁 劣化와 그 診斷 技術” 東京芝浦電氣, 1990.