變壓器 絶緣油 劣化센서의 特性硏究

전 영 갑 선 종 호 강 동 식 (한국전기연구소)
김 문 덕 권 동 진 (한국전력공사 전력연구원)

A study on the characteristics of degradation sensor for transformer insulation oil

Y.K. Chon J.H. Sun D.S.Kang (Korea Electrotecnology Research Institute)
M.D. Kim D.J. Kweon (Korea Electric Power Research Institute,KEPCO)

Abstracts:

It is well known that the degradation transformer oil is mainly effected to the failure of transformer. In this paper it is discussed the characteristics of the degradation sensor[1][2]checking transformer oil condition in live line. The degadation sensor composed with base ring, electrodes and porous ceramic passed through the transformer oil and checked the transformer oil condition with sensor's leakage current. It is important to minimize the leakage current of base ring and connection parts. To investigate the leakage current of base ring and connection parts it is examined the characteristics of V-T-I and DC 2 KV and other examinations. It is verified that ionized transformer caused by the expansion of oil temperature increase in the leakage current of porous ceramic sensor. It is certificated that the leakage current of other parts of porous ceramic is very small (about 2 %) than the porous ceramic and it is confirmed that the leakage current in porous ceramic is changed sensitively according to the new oil(NO) and and the degradation oil(DO).

1. 절연유 열화센서 개요

변압기 절연유가 열화(劣化)되면 절연유 속에 많은 도전성 미소입자들이 발생된다. 본 절연유 열화센서는 열화 생성된 유불용성분 (油不溶性分:Free Carbon 및 기타 도전성 Impurity Particle)이 절연유 열화센서의 주 매질인 기공 세라믹(Porous Ceramic)을 통과할 때 열화 생성물의 전기적인 특성을 이용하여 절연유의 열화 정도를 측정하는 센서이다.[3][4]

센서 재료로서 전하밀도가 적고 이동도(移動度)가 낮은 상태에서 어떤 전기적 원인 뿐만 아니라 열적(熱的)및 화학적 원인에 의하여 도전통로를 형성하기 때문에 분체층(粉體層)모델을 이용한 이론적 근거 제시가 가능하다.[5][6][7][8]

2. 절연유 열화 센서 특성

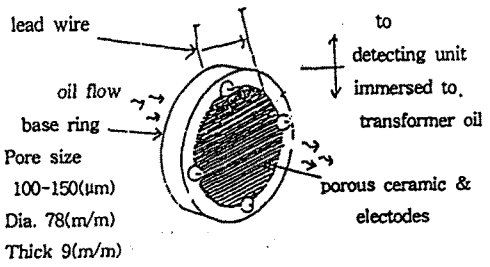

그림 1. 절연유 열화센서

가. V-T-I 특성

절연유 열화센서의 전압(V), 전류(I), 온도(T)와의 상관관계를 알아보기 위하여 다음과 같은 시험조건으로 V-T-I 특성을 구하였다.

(1) 시험조건
- 절연유 : 신유
- 시료 : 10 개
- 시험온도 : 60°C, 90°C
- 인가전압 : DC 1 - 5 KV

(2) 시험결과

절연유 열화센서는 변압기 운전 중에 측정하기 때문에 통상 변압기 온도 60°C와 90°C에서 각 센서에 대한 V-T-I 특성을 구하였다. 그림 2와 3에서 알 수 있다시피 각 표시별로 10개의 센서에 대한 전압(V) 특성은 DC 2 KV에서 가장 안정된 누설전류치를 나타낸다. DC 4 KV 이상에서는 각 센서별로 상당한 격차를 나타내고 있는 데 그 이유는 절연유 온도가 상승함에 따라 절연유 열기전력이 높아지기 때문이다. 즉 절연유가 가열되면 열확산에 의한 열해리(熱解離)가 발생,[8]절연유 자체의 분자들이 활발한 이온 교환이 이루어져 절연유 온도가 높아질 수록 절연유 열화센서에 흐르는 누설전류는 크게된다.

참고로 절연유 열전도도는 25°C에서 0.11- 0.12 (cal/cm,sec,°C) 이고 Porous Ceramic 은0.05(cal/cm,sec,°C)로써 절연유 열전도도가 Porous Ceramic의 열전도도 보다 2배이상 높다. [9]

유동 변화를 주었을 때 절연유 열화센서에서 흐르는 누설전류가 거의 변화되지 않음을 그림 5에서 알 수 있다. 이와같은 현상은 절연유 속에 포함된 불순물 입자들이 기공 사이에 축적되지 않고 기공사이로 통과되는 현상임을 알 수 있다. 이것은 본 절연유 열화센서에서 매우 중요한 사항으로 센서 자체의 동작원리를 해석해 줄 뿐만 아니라, 절연유 특성이 변화되지 않으면 절연유 열화센서의 누설전류가 변화되지 않음을 알 수 있다. 따라서 변압기 속에 설치하는 절연유 열화센서는 센서의 위치에 관계없이 절연유 열화 특성을 측정할 수 있음을 알 수 있다. 그림 5는 절연유 유동에 따른 센서의 누설전류치를 측정한 것으로 가로축은 교반기의 유동속도를 표시하고 세로축은 센서의 누설전류치를 표시한다.

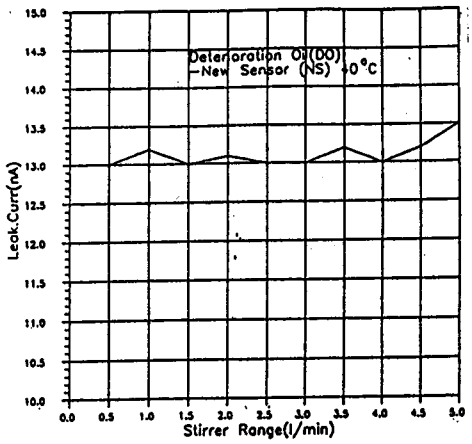

그림 5. 절연유 유동에 따른 센서의 누설전류치

(2) 절연유 특성변화에 따른 센서 특성치 변화

절연유 열화센서의 누설전류치는 절연유 특성 변화에 따라 그 측정치가 변화되어야 한다. 그림 6은 열화된 절연유에 있던 NS를 신유 속에 하루동안 넣고(A), 신유 속에 있던 NS를 열화된 절연유 속에 하루동안 넣은 후 (B) 절연유 열화센서의 누설전류를 측정한 결과를 그래프에 나타낸다. 즉 절연유 특성 변화에 따른 절연유 열화센서의 측정치 변화 추이가 거의 비슷한 추이로 변화됨을 알 수 있다. 그리고 신유에서 나타나는 절연유 특성과 열화유에서 나타나는 절연유 특성과 차이가 있기 때문에 절연유 열화센서의 누설전류치가 달라짐을 알 수 있다.

(3) 신유와 열화유의 일반 특성치 변화

표 (1)은 신유와 열화유의 특성치를 비교하여 놓은 것으로 신유와 열화유는 그 특성치에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 특성변화에 따른 절연유 열화센서의 누설전류치를 그래프로 나타낸 것을 그림 7에 나타낸다. 그림 7에서 알 수 있다시피 신유에서의 누설전류 변화 추이와 열화유에서의 누설전류 변화추이가 거의 비슷한 추이의 양상을 나타내고 있다.

따라서 신유와 열화유에 대한 비교 분석으로도 절연유 열화센서의 신뢰성을 간접확인 할 수 있다.

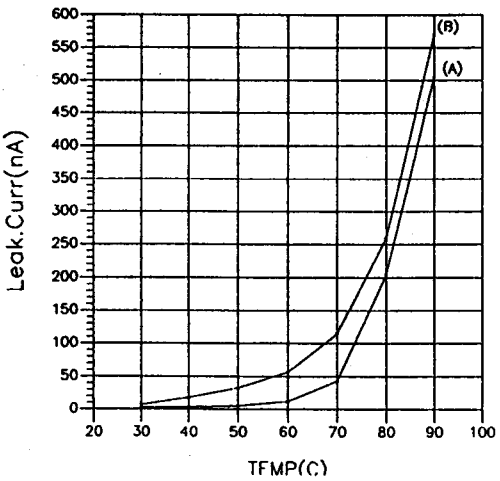

그림 6. 절연유 특성 변화에 따른 절연유 열화센서 누설 전류치 비교

표 1. 신유와 열화유의 일반특성치 비교

Test Item	New Oil	Degradation Oil
Dielectric Strength(KV)	60	46
Acid Value (mg-KOH/g)	0.01	0.03
Gas (ppm)		
H_2	0	11
CO	0	35
CH_4	0	0
C_2H_2	0	20

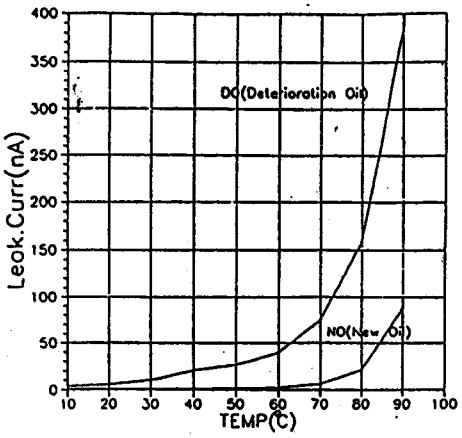

그림 7. 신유와 열화유의 누설전류치 비교

(4) 측정치 보상값 설정

변압기 절연유는 온도에 따라 절연유 자체의 도전도(Conductivity)가 달라진다. 신유의 경우에는 DC 2 KV

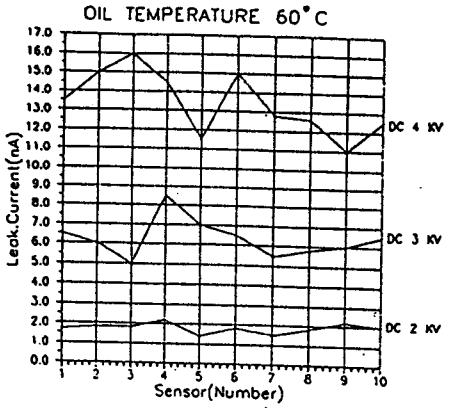

그림 2. 절연유 열화센서 V-T-I 특성(60°C)

나. DC 2 KV 누설전류 특성

그림 3은 절연유 열화센서의 온도에 따른 누설전류 특성을 나타낸 것으로 10개의 시료 중 9개가 온도 70°C까지는 거의 변동이 없음을 알 수 있다. 온도 80° C에서는 약 30 (nA)의 차이를 나타내고 있고 온도 90°C에서는 약 80 (nA)의 차이를 보이고 있다. 그 이유는 센서의 주매질인 기공 세라믹의 Pore 직경이 100 - 200 (μm)로 Pore 분포가 100 (μm) 쪽으로 많이 분포되어 있을 때는 누설전류가 적게 흐르고 200 (μm) 쪽으로 많이 분포되어 있을 때는 누설전류가 많이 흐른다. 그림 5는 Porous Ceramic의 기공크기의 분포에 따른 누설전류의 크기를 비교하여 놓았다.

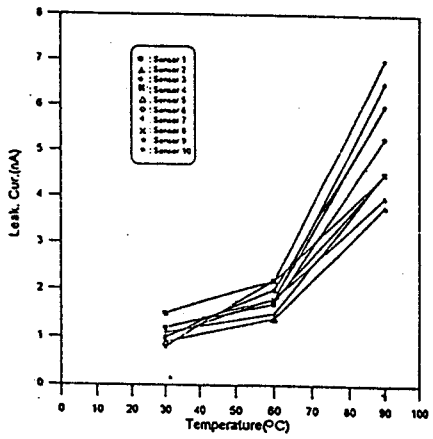

그림 3. DC 2 KV누설전류 특성 그래프

다. 센서 자체 누설전류 특성

절연유 열화센서는 메쉬 전극, Base Ring, 기공 세라믹(Porous Ceramic)으로 구성되어 있어 주 매질인 기공 세라믹에 전계가 집중되어 그 내부에서만 센서의 누설전류가 흘러야 한다.어떤 절연체에 기공이 발생되었을 때 그 절연체 자체의 누설전류 측정은 성극비(P.I) 에 의하여 판정되는 데 특히 케이블의 PI는 자연적으로 발생되는 극미한 기공사이로 미약한 부분방전에 의한 누설전류가 발생되는 것을 검출하기 위하여 주위에서 흘러나오는 누설전류를 가드링(Guard Ring)을 이용하여 막아 주어야만 측정이 가능하다. 즉 자연 발생적인 기공인 경우이며, 본 절연유 열화센서는 위와는 반대 원리로 절연체 자체에 무수한 기공(氣孔)을 인위적으로 만들어 놓아, 열화된 절연유가 본 센서에 통과될 때 그 순간에 일정 전압을 인가하였을 때 발생되는 전류치를 측정한다. 절연유 열화센서의 양 전극은 무수한 전극으로 구성된 메쉬전극이고, 기공 자체가 침상(Needle-Like) 구조로 되어 있기 때문에 이 전극 사이로 전계분포가 집중되므로 다른 곳으로 누설되는 전류는 거의 미약하다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 Base ring과 기공세라믹 사이에 가드링을 넣어 시험하였다. 그림 4에서 볼 수 있다시피 Base Ring과 기공 세라믹은 다같은 무기질 재료인 세라믹 계열이지만 제조 공법상 모두 분리하여 제작한 후 조립되어야 하므로 그 사이 약간의 틈이 있다. 이 사이에 흐르는 누설전류를 확인하고자 Base Ring 표면과 전극 사이에 가드링을 설치한 후 측정하였을 때와 가드링을 한쪽 전극과 공통으로 하여 측정한 경우와 비교 시험 하였다. 절연유 열화센서에 부착되는 가드링 내경 47 (mm), 기공 세라믹 직경을 54 (mm)로 하였을 때 도전 단면적 비율은 $(47)^2$ / $(54)^2$ = 0.757 (75.7 %)로 계산치와 거의 유사한 실험치가 나옴을 알 수 있다. 그림 4는 Base Ring과 기공 세라믹 사이에 가드링을 설치한 경우의 측정 그래프이다.

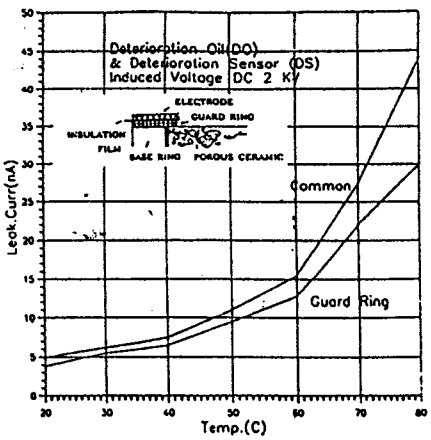

그림 4. Base Ring과 기공 세라믹의 가드링 실험

3. 기타 특성

(1) 유동(Flow)에 관련된 사항

변압기에 사용되는 절연유는 온도가 상승됨에 따라 대류현상이 발생되어 유동현상을 일으킨다. 그리고 절연유의 동점도(動粘度)는 온도가 상승됨에 따라 감소되는 현상을 나타낸다. 이와 같이 절연유가 유동현상을 일으킬 때 똑같은 특성을 가진 절연유에서 절연유 열화센서에서 흐르는 누설전류 측정치는 변화되지 않아야 한다.

유동에 관련된 특성변화 실험을 하기 위하여 비이커 속에 일정량의 절연유를 넣은 후 교반기(Stirrer)에 의하여

누설전류 특성 그래프(그림 3)에서 알 수 있다시피 절연유 온도 70° C 까지는 거의 변화되지 않으나 온도가 그 이상 상승되면 그 누설전류치가 30 - 80 (nA) 정도까지 차이를 나타내고 있다. 따라서 절연유 열화센서의 온도보상은 신유의 경우에 적용되며, 보상범위는 변압기 온도 70°C 이하에서는 센서의 누설전류 특성이 거의 변화가 없으므로 온도보상이 필요없고 절연유 온도 80°C에서는 온도 변화에 따라 평균 30(nA)정도, 90°C에서는 80 (nA) 정도의 온도보상이 필요하다.

4. 결 론

(1) 통상 현장에서 가장 많이 사용하는 변압기 절연유는 온도 70°C에서, 센서에 인가전압 DC 2 KV를 인가하였을 때 센서의 누설전류치는 5 (nA) 이하임을 알 수 있다. 따라서 센서에 인가되는 전압은 DC 2 KV에서 센서의 누설전류 특성변화가 거의 없음을 알 수 있다.
(2) 변압기 절연유 온도보상은 절연유 온도 80°C에서는 30 (nA) 정도, 90°C에서는 80 (nA) 정도의 온도 보상이 필요하다.
(3) 센서 자체의 누설전류를 측정하기 위하여 가드링 취부 시험 결과 주 매질인 기공 세라믹 외에는 거의 누설전류가 발생되지 않음을 알 수 있었다.
(4) 절연유 유동에 관련하여 교반기를 이용한 시험결과 절연유 유동에 관계없이 같은 특성의 절연유에는 같은 누설전류가 흐름을 알 수 있었다.
(5) 열화센서를 열화된 절연유와 신유와 상호 교환하여 시험한 결과 절연유 특성에 따라 상호 변화됨을 알 수 있다.

참고문헌

(1) Young-kap Chon "A New Method for Measuring the Degradation Level of Transformer Insulation Level of Transformer Insulating oil in Service"
IEEE International Symposium on Electrical insulation, Toronto,Canada,June 3-6,1990

(2) 全永甲外 8人 "變壓器 絶緣油 劣化센서 診斷用 計測器 開發 硏究 " 1993年.科技處 硏究 報告書 pp.45-61
(3) 河村英雄,山田靜吉 "新電氣 絶緣油" 日書
(4) 申奎植 "變壓器 絶緣油에 대한 全酸價의 影響" 大韓電氣協會誌, pp 20, 1986.12
(5) 早川宗郎 "粉體 物性 測定法" pp 149-151, 1973.
(6) C.L.Mantall "ADSORPTION" McGraw-Hill Book Company 1951.
(7) 全永甲外 9人 "變壓器 絶緣油 劣化센서 診斷用 計測器開發硏究" 1994年.科技處硏究報告書 pp.77-114
(8) 宮本,土江, 電學論 A,98(1),17 (1978)
(9) "電氣 絶緣油 Handbook" 日本 石油學會 編