'95 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1995. 7. 20~22)

絶緣油 劣化센서 特性 硏究

* 전 영 갑 선 종 호 강 동 식 (한국전기연구소)
주 병 수 윤 진 열 정 상 진 (한국전력공사 기술연구원)

A Study on the characteristics of degradation sensor for insulation oil

Y.K. CHON, J.H SUN, D.S KANG, (K E R I)
B.S.JOO, J.Y YOON, S.J CHUNG (KEPCO Research Center)

Abstracts

It is well known that the degradation of transformer oil conseqently lead to the failure of transformer. This paper discussed the characteristics of the degradation sensor[1][2] checking transformer oil condition in live line. The degadation sensor is composed of base ring, electrodes and porous ceramic, passed through the transformer oil and checks the transformer oil condition through sensor's leakage current. So 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 the characteristics of V-T-I and DC 2 KV and other examinations were performed.

It is verified that ionized transformer oil caused by the expansion of temperature increases 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 %) compared with the porous ceramic body 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. 서 론

변압기 절연유가 열화(劣化)되면 절연유 속에 많은 도전성 미소입자 및 [3][4] 유불용성분 (油不溶性分:Free Carbon 및 기타 도전성 Impurity Particle)이 발생되어 변압기 사고의 원인이 되고 있다. 이러한 원인을 근원적으로 제거하기 위해서는 절연유 상태의 수시 감시 및 보수가 필요하다.

본 절연유 열화센서는 주 매질이 기공 세라믹(Porous Ceramic)으로 구성되어 있어[5][6] 열화 생성된 유불용성분(油不溶成分)이 일정크기의 기공(氣孔)속을 통과할 때 절연유의 열화 정도에 따라 무수한 인위적인 도전통로가 형성되는 데 이러한 회로를 이용하여 전기적인 분석으로 절연유 열화 분석이 가능하다. 따라서 열화 생성물의 전기적인 특성을 이용하여 절연유의 열화 정도를 측정할 수 있다.

2. 절연유 열화 센서 특성

절연유 열화센서는 그림 1과 같은 구조로되어 있어,본 매질인 기공 세라믹을 양 전극사이에 삽입 시켜 그 속으로 열화된 절연유가 통과되도록 하였다.

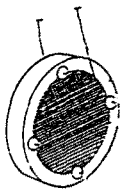


그림 1. 절연유 열화센서

가. V-T-I 특성

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

(1) 시험조건

- 절연유 : 신유
- 시료 : 10 개
- 시험온도 : 60°C
- 인가전압 : DC 1 - 5 KV

(2) 시험결과

절연유 열화센서는 변압기 운전 중에 측정하게 되고 통상 변압기 온도 60°C에서 많이 사용되기 때문에 60°C에 대한 V-T-I 특성을 구하였다. 그림 2에서 알 수 있다시피 각 표시별로 10개의 센서에 대한 전압(V) 특성은 DC 2 KV에서 가장 안정된 누설전류치를 나타낸다.

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 기공 제작에 따라 누설전류가 차이가 날 수 있는데,이러한 차이는 측정시 온도보상회로를 이용하면 그 차를 어느 정도 줄일 수 있다.

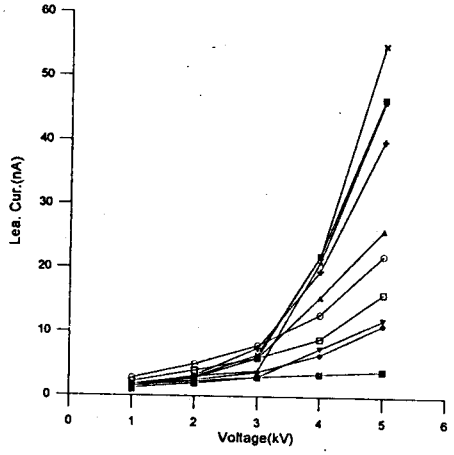


그림 2. 절연유 열화센서 V-T-I 특성(60°C)

이와같이 절연유 온도가 상승함에 따라 센서의 누설전류가 커지는 원인은 절연유가 가열되면 열화산에 의한 열해리(熱解離)가 발생,[7]절연유 자체의 분자들이 활발한 이온 교환이 이루어지기 때문이다.

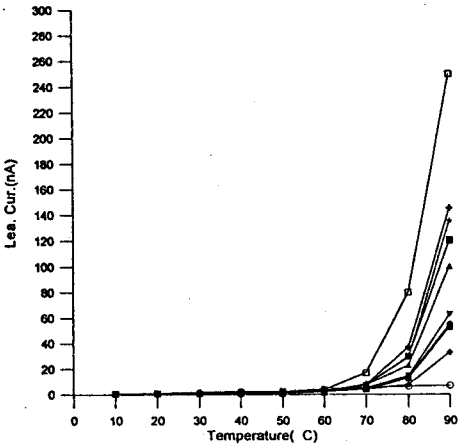


그림 3. DC 2 KV누설전류 특성 그래프

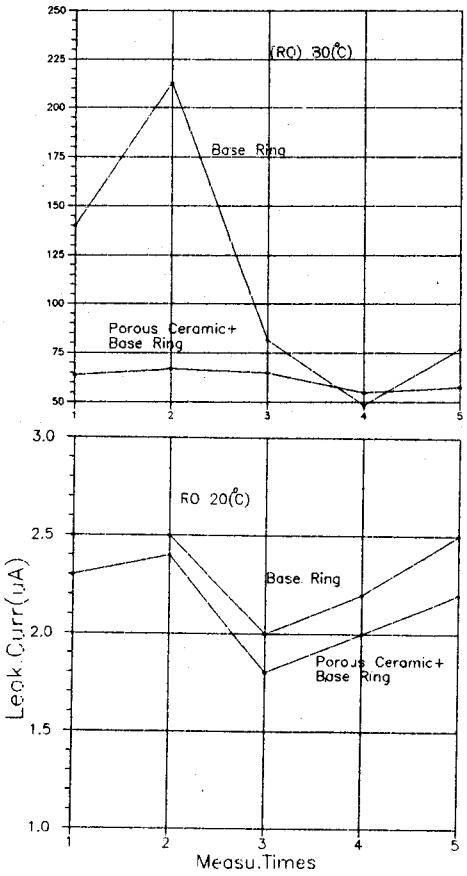
다. 센서 자체 누설전류 특성

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. 이러한 사실을 확인하기 위하여 비이키 시험병을 이용하여 다음과 같이 3가지 시험을 실시하였다. (略字 : NS: New Sensor, DS:Degradation Sensor, RO :Recovery Oil, DO: Degradation Oil, NO : New Oil).

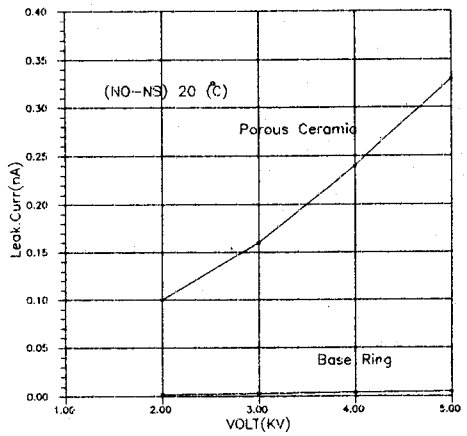
(1) 기공 세라믹 매질이 없는 공격(空隔) 상태의 비교시험

그림 4 (a)에서 절연유 열화센서의 주 매질인 기공 세라믹이 없는 전극상태가 공격인 경우의 측정 데이타로써 상온 20°C인 경우, 전극이 공격인 경우나 기공 세라믹 매질을 넣은 경우나 인가 전압에 따라 약간의 차이가 있으나 그 변화 추이는 비슷하다.

절연유 온도 80°C에서는 공격을 가진 경우 (NS-공격) 그 누설전류 변화량이 똑 같은 조건에서 거의 반이상 차이가 남을 알 수 있다. 절연유가 고온에서는 전극과 전극사이의 누설전류 크기가 변화됨을 알 수 있다. 그림 4(b)는 전극사이에 기공 세라믹을 넣은 경우와 기공세라믹을 넣지 않고 Base Ring에 흐르는 누설전류를 측정한 결과 Base Ring에는 약 2 %전류 밖에 발생되지 않음을 알 수 있었다.



(a) 기공 세라믹이 없는 공격상태의 비교시험



(b) 기공세라믹과 Base Ring에 흐르는 전류

그림 4. 절연유 열화센서 자체 누설 전류시험

(2) 기공 세라믹에 일정 절연막을 설치한 경우

절연유 열화센서의 기능을 검증하기 위하여 기공 세라믹 표면에 일정 절연막을 설치한 경우와 기공세라믹을 넣은 경우와 비교 시험한 결과를 그림 6에 예시한다. 변압기 절연재료로 사용되는 절연물을 기공 세라믹의 양쪽 표면에 직경 47(mm)의 절연막을 형성하였을 때 기공 세라믹 자체의 직경 54(mm)와의 도전 단면적 비율은 $(54)^2 - (47)^2 / (54)^2 = 0.242$ 로써, 약 24 (%)로 계산된다.

그림 5에서 나타난 사실에서 알 수 있다시피 절연막이 있을 경우 센서에서 흐르는 누설전류는 기공 세라믹이 있는 경우와 비교한 결과 평균 20(%) 정도 만이 측정되었다. 이와 같은 결과에서 알 수 있다시피 누설전류가 거의 기공세라믹에서 흐름을 알 수 있다.

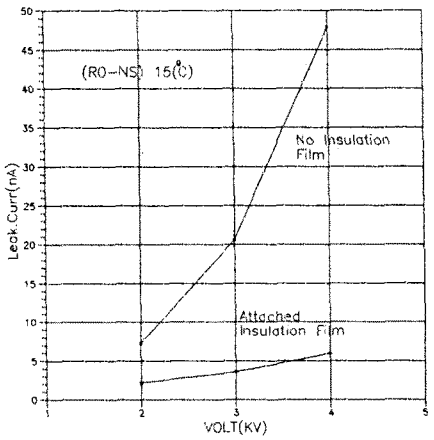


그림 5. 기공 세라믹에 일정 절연막을 설치한 경우

(3) Base Ring과 기공 세라믹 사이에 가드링을 설치한 경우

절연유 열화센서의 Base Ring과 기공 세라믹은 다같은 무기질 재료인 세라믹 계열이지만 제조 공법상 모두 분리하여 제작한 후 조립되어야 하므로 그 사이 약간의 틈이 있다.

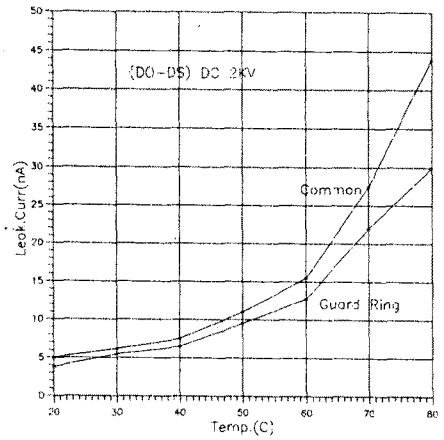


그림 6. Base Ring과 기공 세라믹 사이에 가드링을 설치한 경우

이 사이에 흐르는 누설전류를 확인하고자 Base Ring 표면과 전극 사이에 가드링을 설치한 후 측정하였을 때와 가드링을 한쪽 전극과 공통으로 하여 측정한 경우와 비교 시험하였다. 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 6은 Base Ring과 기공 세라믹 사이에 가드링을 설치한 경우의 측정 그래프이다.

라. 기타 특성

(1) 유동(Flow)에 관련된 사항

변압기에 사용되는 절연유는 온도가 상승됨에 따라 대류 현상이 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 유동 변화를 주었을 때 절연유 열화센서에서 흐르는 누설전류가 거의 변화되지 않음을 그림 7 에서 알 수 있다.

본 실험은 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 밝혀 준다. 또한 절연유 유동에 따른 센서의 누설전류치를 측정한 것으로 가로축은 교반기의 유동속도를 표시하고 세로축은 센서의 누설전류치를 표시한다.

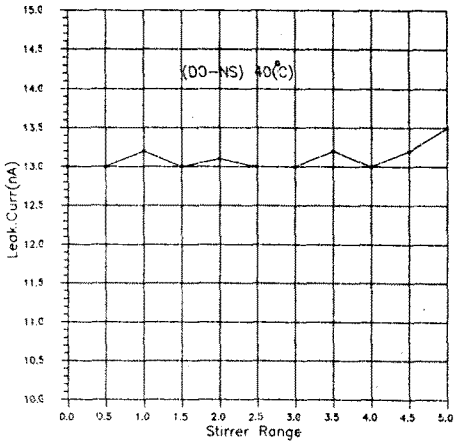


그림 7. 절연유 유동에 따른 센서의 누설전류치

(2) 신유와 열화유의 일반 특성치 변화

표 (1)은 신유와 열화유의 특성치를 비교한 것으로 신유와 열화유는 그 특성치에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 특성변화에 따른 절연유 열화센서의 누설전류치를 그림 8에 나타낸다. 그림에서 알 수 있다시피 신유에서의 누설전류 변화추이와 열화유에서의 누설전류 변화추이가 나타내고 있으나 온도가 상승함에 따라 열화유에서의 누설전류가 신유에 비해 상당히 큼을 알 수 있다. 따라서 신유와 열화유에 대한 비교 분석으로도 절연유 열화센서의 신뢰성을 간접 확인할 수 있다.

표 1. 신유와 열화유의 일반특성치 비교

시험항목	신 유	열 화 유
절연내력	60 KV 이상	46 KV
산가 (mg-KOH/g)	0.01 이하	0.03
가스분석 (PPM)		
H_2	0	11
CO	0	35
CH_4	0	0
C_2H_2	0	20

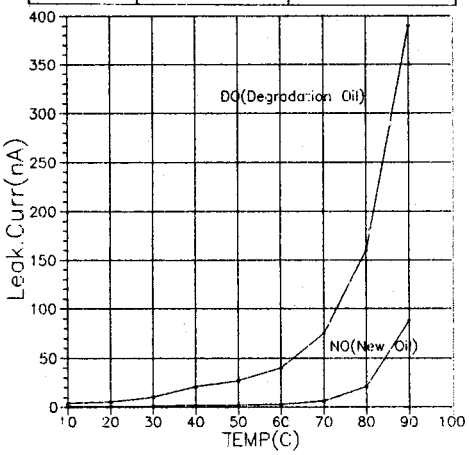


그림 8. 신유와 열화유의 누설전류치 비교

(3) 측정치 보상값 설정

변압기 절연유는 온도에 따라 절연유 자체의 도전도가 달라진다. 신유의 경우에는 DC 2 KV 누설전류 특성 그레프(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 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 공격상태의 시험, 가드링 취부시험, 절연막 취부시험, 가드링 삽입 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 신유에서 시험한 결과 절연유 특성에 따라 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) "電氣 絶緣油 Handbook" 日本 石油學會 編