

RVM을 이용한 변압기 절연유와 절연지의 온도에 따른 수분함유량 측정

한희준*, 한상옥*, 이세현
충남대학교*, 대전기능대학

Measurement of moisture contents of oil-paper in transformer with RVM

Hee-Joon Han*, Sang-Ok Han*, Sei-Hyun Lee
Chung-nam National University*, Deajeon Polytechnic College

Abstract - Chemical methods for moisture contents detection of insulation system in transformer must dismount equipment for sampling, and there is shortcoming such as acquiring partial data for measuring. Also the samples can't immediately analyze in field,

The Recovery Voltage Method (RVM) will be able to measure a moisture contents at low voltage without dismounting equipment. Therefore, in advanced countries RVM would be used to measure the moisture contents which permeates to the insulation system without weighting additive degradation or mechanical damage.

In this paper we have investigated for overcoming these shortcomings using the RVM, and we have measured the moisture contents of transformer insulation with temperature.

1. 서 론

경제성장으로 전력수요가 지속적으로 증가하여 1980년 26만 여대의 변압기가 운용되었으나 꾸준히 증가하여 2004년 현재 163만 여대의 변압기가 운용 중이다[3]. 이로 인해 일정기간이 지나 교체해야 하는 변압기가 증가하고 있다. 현재 변압기는 13년 운영 후 교체, 수리한 뒤 13년 운영 후 폐기하는데, 이때의 교체 및 수리비용이 커 경제적 손실이 크다. 변압기의 수명을 연장시키기 위해 변압기의 안전성 및 신뢰도 향상이 절실하게 요구되고 있다. 따라서 변압기의 사고를 방지하기 위한 열화진단 및 유지보수의 필요성이 크게 증가하고 있다.

국내의 대부분의 변압기는 유입식 변압기로 주 절연재료인 절연유와 절연지는 과부하에 의한 열적열화와 수분 침투에 의한 산화 등에 의해 열화 되는 것으로 보고되어 있다[3]. 이는 절연내력 저하로 인한 사고의 원인이 된다. 절연유와 절연지의 열화요인 중에서 가장 중요한 요인 중 하나인 수분은 절연유의 수분오염을 일으키고 이 수분오염은 첨가제 침전과 오일산화와 같은 유체열화를 일으키며, 유막두께가 감소하고, 기기 내부의 금속표면의 부식을 야기한다. 특히 절연유의 절연과괴 전압을 감소시키고 체적저항률과 유전정접(tanδ)에도 영향을 끼친다. 그리고 절연지의 경우에는 평균중합도를 감소시켜 기계적 강도를 약화시킨다.

현재 수분을 검출하기 위한 방법으로 보편적으로 Karl-Fischer법과 Dew-Point법을 사용함으로써 절연재료의 수분함유량을 검출하고 있다. 그러나 이러한 방법의 경우 절연지의 수분을 검출하기 위해 변압기를 분해해야만 하므로 샘플채취가 어려운 단점을 지니고 있다. 또한 샘플을 채취 하더라도 국부적인 부분의 데이터만을 얻을 수 있으며, 현장에서 즉시 결과를 알 수 없다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 수분측정의 단점을 개선하고, 기존의 열화진단 방법의 신뢰성 향상을 위해 회복전압법(Recovery Voltage Method)을 도입하여 변압기와 같은 상태로 모의된 셀 내부 절연유의 수분을 측정하였다.

2. 본 론

2.1 RVM 측정법

그림 1은 회복전압을 측정하기 위한 측정회로이다. 일정시간 동안 충전시키기 위해 스위치 S₁을 투입하여 분극이 일어나도록 하고, 충전시간보다 일정시간이 짧은 방전을 시키기 위해 스위치 S₁을 개방하고, S₂를 투입한다. 주어진 방전시간에 환원되지 못한 분극 값을 회복전압으로 측정한다. 수분 침투에 의한 계면분극, 쌍극자분극, 배향분극 등은 환원되는 속도가 느려 주어진 방전시간 동안 환원되지 못하는데 이렇게 늦게 환원되는 분극 정도를 측정하는 것이 RVM의 주목적이다.

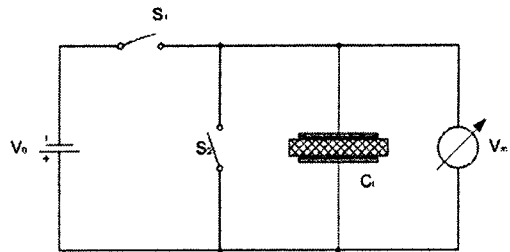


Fig 1. Circuit for recovery voltage

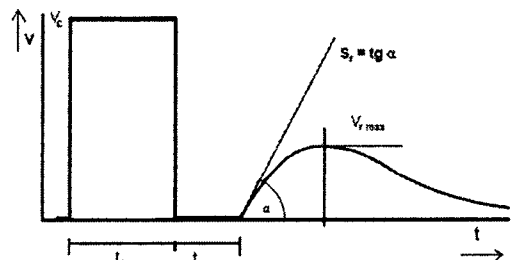


Fig 2. Time diagram of recovery voltage

그림 2는 측정된 회복전압을 시간에 따라 나타낸 것이다. t₁는 충전시간, V₀는 충전전압, t₂는 방전시간, V_{max}는 회복전압의 최대값이고, S₀는 회복전압의 회복전압의 최대값으로의 상승률을 나타내고 이 값들은 수분

함유량을 예측하는데 중요한 인자로 활용된다.

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 측정장비

1) Recovery voltage meter

그림 1과 같은 회로를 사용하여 RVM 측정하기 위해 본 논문에서는 Tettex사의 Automatic Recovery Voltage Meter RVM 5462를 사용하였다.

본 실험에서는 충전전압 V_c 는 1000V의 DC를 인가하였다. 충전시간은 0.02s, 0.05s, 0.1s, 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 5s, 10s, 20s, 50s, 100s, 200s, 500s, 1000s, 2000s, 방전시간은 충전시간에 비해 1/2 짧은 시간으로 하였다. 기기 동작 가능한 온도는 0~40℃이고, 주변의 영향을 크게 받아 온도가 거의 일정하고, 사람의 이동이 적은 곳에서 측정을 하였다.

2) 실험용 셀 및 전극

그림 3는 변압기를 모의하기 위해 제작된 셀이다. 이 셀은 황동 재질이고, 덮개부분에는 내부에 들어갈 전극과 연결된 외부의 커넥터의 연결을 위한 셀 덮개의 구멍은 테프론 마개로 막아서 기밀을 유지시켰다. 셀 본체와 셀 덮개의 사이에 고내온성의 Viton O-ring을 넣어 외기의 유입 및 누유 등을 방지 하였다.

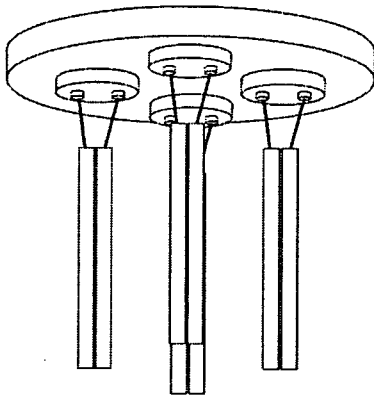


Fig 3 construction in the test cell

보편적으로 50[KVA] 변압기 제조 시에 변압기 제조 회사에서는 oil과 paper의 중량 비를 28.6%와 2.3%와 같은 비율로 변압기를 제조하고 있다.

본 실험에서는 정확도 0.5%를 가진 100 μ g의 저울을 사용하여 oil과 paper의 비율인 28.6 : 2.3의 중량 비를 맞추어 셀을 제작 하였다. 비율에서 부족한 절연지의 경우 프레소보드를 이용하여 중량 비를 맞추었다.

전극은 가로 92mm, 세로 20mm, 두께 1.5mm의 copper로 제작하였고, 가로 9.2mm, 세로 30mm, 두께 0.18mm의 셀룰로오스계 절연지로 감겨져 있다. 이 때 사용된 절연지는 전극에 결속한 후 전극과 함께 진공 건조기에서 105℃로 10시간 동안 건조시켰다. 이렇게 건조된 절연지의 수분량을 $wt=0\%$ 로 간주하였다. 전극의 간격은 2mm이다.

이렇게 제작된 셀과 전극을 결속하기 전 셀에 담겨있는 광유(1종2호) 속에 전극을 넣고 진공 펌프를 이용하여 700torr로 2시간 동안 함침 하여 절연지 내부의 공기를 제거하였다.

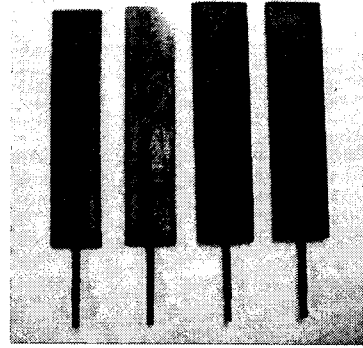


Fig 4 Electrode for measurement of RVM

2.2.2 실험방법

앞에서 설명한 RVM 5462 세팅 방법으로 세팅을 하고, 측정 케이블을 셀의 커넥터와 연결하고 접지 케이블은 접지에 연결한다. 노이즈 측정을 하여 결과가 양호하면 충전시간을 0.02 ~ 2000s까지 16번 측정하였다. 측정을 위한 셀은 신품상태의 셀과 항온조를 이용하여 중탕시키는 방법으로 140℃에서 200시간 열가속열화를 통해 열화시킨 셀 두 종류를 사용하였다. 이 때 사용되는 두 종류의 셀 모두 그림 3과 같이 4개의 전극이 취부되어 있고, 같은 조건에서 두 개의 전극(1번, 3번전극)을 각각 측정하였다. 그리고 온도에 따른 회복전압의 변화를 관찰하기 위해 항온조에서 셀을 가열하여 25~100℃까지 각 40℃ 간격으로 3회(25℃, 60℃, 100℃) 측정하였다. 측정시에 200시간 열화된 셀은 열화후 24시간 실온에 방치하여 내부 온도가 실온 측정을 위한 온도까지 충분히 낮아지도록 하였다. 그리고 각 온도별 실험을 위한 가열 시에는 항온조 측정 온도로 세팅하고 항온조 안의 셀 내부의 온도가 측정온도와 같도록 3시간을 가열하였다. 이 실험을 통해 취득된 Data는 충전시간(t_c), 최대회복전압(V_{max}), 최대회복시간 까지 걸린 시간(t_{max}), 최대회복전압의 기울기(S), 측정시간(Time)이고, 이 데이터는 RVM meter의 직렬인터페이스 RS232를 통해 컴퓨터로 직접 다운로드 되었다.

2.3 실험결과 및 고찰

Oil-Paper의 수분함유량 특성을 파악하기 위한 회복전압법을 앞에서 제시하였다. 먼저 신품을 측정된 최대회복전압 값을 그림 6과 7에 나타내었다.

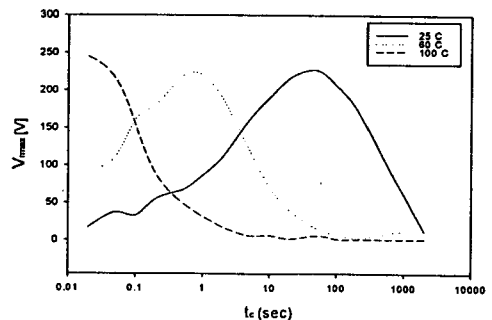


Fig 5 Maximum of Recovery voltage of new (1st electrode)

셀의 온도가 높아질수록 최대회복전압 그래프가 왼쪽으

로 이동하는 것을 볼 수 있다. 충전전 비를 일정하게 한 상태에서 수분이 많이 포함되어 있을수록 수분에 의해 발생하는 분극저항과 분극전기용량에서 분극저항 값의 감소로 인해 충전방전이 최대값까지 되는 시정수가 작아지게 된다. 따라서 회복전압의 값은 좌측으로 이동하게 된다[3]. 이것을 통해 oil-paper의 수분 함유량이 증가한다는 것을 확인할 수 있다.

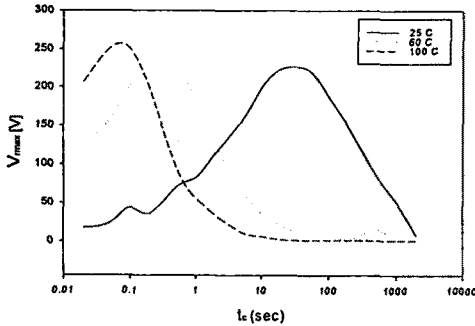


Fig 6 Maximum of recovery voltage of new (3rd electrode)

200시간 열화 된 셀에서 측정된 최대회복전압 그래프를 그림 8과 9에 나타내었다. 200시간 열화된 경우도 신품과 마찬가지로 셀의 온도가 높아질수록 최대회복전압 그래프가 왼쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이것을 통해 oil-paper의 수분 함유량이 증가한다는 것을 확인할 수 있다.

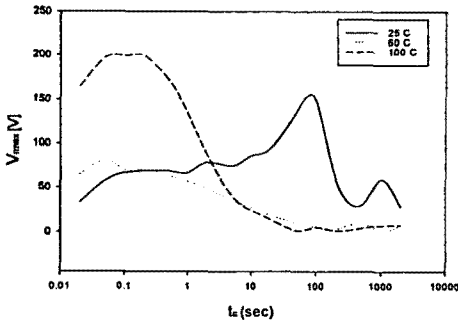


Fig 7 Maximum of recovery voltage of aged 200hour (1st electrode)

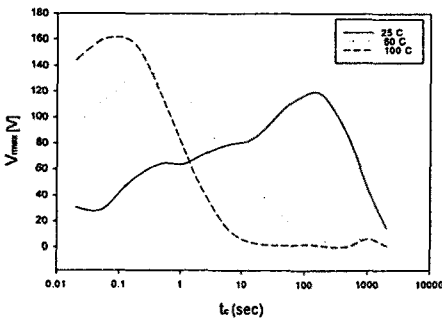


Fig 8 Maximum of recovery voltage of aged 200hour (3rd electrode)

그림 8에서 60°C와 100°C의 최대회복전압이 최대가 되는 값이 충전시간 0.1s ~ 0.2s이므로 온도에 따른 수분함유량 증가에 대한 정확한 판단이 불가능하였다. 따라서 그림 10에서 나타낸 200시간 열화된 경우의 최대회복전압의 기울기를 추가로 분석하였다. 여기서 중요한 성분은 최대회복전압의 초기 기울기로 이 최대회복전압의 초기 기울기는 온도가 증가할수록 커지게 된다. 이 실험의 최대회복전압의 초기 기울기 역시 증가하고 있음을 확인할 수 있고, 따라서 측정 온도가 증가할수록 수분함유량도 증가하였음을 알 수 있다.

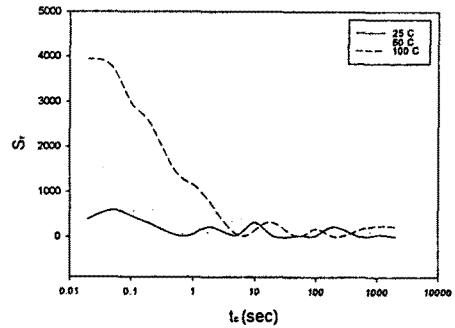


Fig 9 Slop of Maximum of recovery voltage of aged 200hour (1st electrode)

수분함유량 측정을 위한 RVM 실험을 통해 신품의 셀과 200시간 열화 된 셀의 1, 3번 전극 모두에서 셀의 온도가 상승 할수록 셀 내부의 수분함유량이 증가하는 경향을 보였다. 온도가 상승하면 절연지의 전체적인 수분량은 증가하게 된다[1]. 절연지의 수분함유량은 %단위인 반면, 절연유의 수분은 ppm단위로 나타내어질 만큼 그 양이 미비하여 절연지-절연유의 절연시스템의 경우 대부분의 수분함유량은 절연지의 수분에 크게 영향을 받는다. 절연지의 수분증가에 따라 셀 내부의 절연지-절연유 절연시스템의 수분함유량도 온도에 따라 증가한다.

3. 결 론

본 실험을 통해 증탕방법을 통한 온도상승에 따른 시험 셀 내부의 절연지와 절연유의 수분함유량 변화를 확인할 수 있었다. 그리고 수분함유량이 증가함에 따라 최대회복전압의 최대값이 좌측으로 이동하여 더 작은 충전시간에서 나타나고, 최대회복전압의 초기 기울기의 값이 증가하는 수분함유량과 RVM 측정값과의 관계를 확인할 수 있었다.

이 실험결과를 바탕으로 절연지-절연유 절연 시스템에서 온도 증가에 따른 절연지-절연유 간의 수분 이동에 대한 보다 정밀한 연구가 필요하다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성지원사업에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Cséepes 외, "A diagnostic method, developed in hungary, for gathering information on the general state of oil-paper insulation systems.", General State Diagnostics for Transformer and Cable Isolations. 1994
- [2] V.Aschenbrenner 외, "Using of Parameters of RVM Measurement for qualitative Appreciation of Power Transformers Insulation State", IEEE, 2002
- [3] "지중 배전용 변압기 신뢰도 향상에 관한 연구", 2차년도 중간보고서 위탁본, 2005