

수분함유량에 따른 RVM 특성곡선의 특성

한희준¹, 김주한¹, 강석영¹, 이세현², 한상욱¹
 충남대학교¹, 대전기능대학²

The Characteristics of RVM Curve at Moisture Content

Hee-Joon Han¹, Ju-Han Kim¹, Seok-Young Kang¹, Sei-Hyun Lee², Sang-Ok Han¹
 Chung-nam National University¹, Deajeon Polytechnic College²

Abstract - 변압기 내부의 수분은 절연물의 절연내력에 악영향을 끼치므로 수분측정은 변압기 사고예방과 수명연장에 매우 중요하다. 변압기 내부의 수분함유량을 검출하는 시험법으로 Karl-Fischer법과 Dew-Point법을 사용해 왔다. 그러나 이 시험법은 기기를 분해해야 하고, 국부적인 부분에 대한 정보일 뿐 아니라 분석을 즉시 현장에서 하지 못하는 단점이 있다. 따라서 기존 시험법의 단점을 보완하기 위해 회복전압법(RVM, Return Voltage Method)이 제안되었다. 본 논문에서는 모의 셀 내부에 수분을 강제로 주입하여 수분함유량 변화를 주고 Karl-Fischer법을 통한 수분함유량 측정 결과와 RVM 특성 곡선을 비교 분석하였다.

1. 서 론

경제성장으로 전력수요가 지속적으로 증가하여 1980년 26만 여대의 변압기가 운용되었으나 꾸준히 증가하여 2004년 현재 163만 여대의 변압기가 운용 중이다[1]. 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 주기적인 상태진단을 통해 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 수분침투에 의한 산화 등에 의해 열화되는 것으로 보고되어 있다[1]. 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 절연과 전압을 감소시키고 채적 저항률과 유전정접(tanδ)에도 영향을 끼친다. 그리고 절연지의 경우에는 평균 중합도를 감소시켜 기계적 강도를 약화 시킨다.

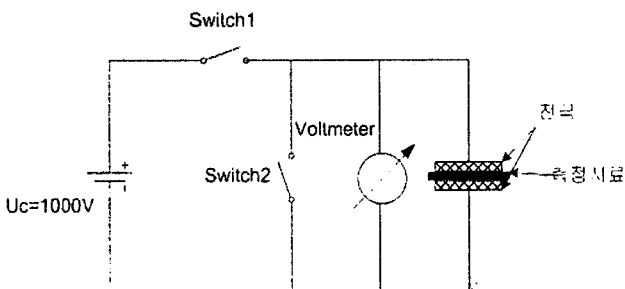
현재 수분을 검출하기 위한 방법으로 보편적으로 화학적인 방법인 Karl-Fischer법과 Dew-Point법을 사용함으로써 절연재료의 수분함유량을 검출하고 있다. 그러나 이러한 방법의 경우 절연지의 수분을 검출하기 위해 변압기를 분해해야만 하므로 변압기에 손상을 입히게 되고, 샘플채취가 어려운 단점을 지니고 있다. 또한 샘플을 채취 하더라도 채취된 부분의 국부적인 데이터만을 얻을 수 있으며, 현장에서 즉시 결과를 알 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완한 전기적인 수분측정 방법인 RVM법이 주목 받고 있다.

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 측정한다. 그리고 절연유의 수분을 Karl-Fischer법으로 측정하여 두 결과를 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 RVM법 & Karl-Fischer법

2.1.1 RVM

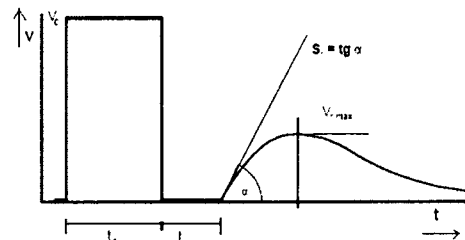


<그림 1> RVM 기본회로

RVM은 <그림1>과 같이 Switch1을 닫아 일정시간(Tc) 동안 충전을 하고, Switch1을 열고 Switch2를 닫아 일정시간(Td)동안 방전을 한다. 이때 충전시간과 방전시간의 비율(Tc/Td)를 2로 한다. 그리고 Switch2를 개방하면 방전시간 동안 계면분극이나 쌍극자분극 배향분극 등 늦은 분극이 탈분극 되지 못하고 Voltagemeter에 분극에 의한 전압이 검출 된다.

유압식 변압기 내부의 절연재료는 비극성재료로 분극의 영향에 둔감하나 수분의 경우 극성분자로 분극에 큰 영향을 받게 되므로 수분의 검출이 가능하다.

<그림2>는 측정된 회복전압을 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. t_c 는 충전시간, V_c 는 충전전압, t_d 는 방전시간, $V_{r,max}$ 는 회복전압의 최대값이고, S_r 은 회복전압의 초기 상승률을 나타낸다. 여기서 회복전압의 최대값과 회복전압의 초기 상승률은 수분함유량 예측에 중요한 인자로 활용 된다.

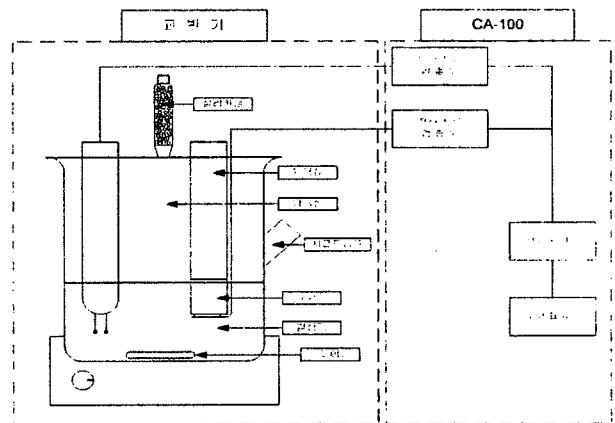


<그림 2> 회복전압 특성

2.1.1 Karl-Fischer
 Karl-Fischer

Karl-Fische는 요오드 화합물 이온, 이산화황을 주성분으로 하는 피리딘, 메틸알콜 혼합 용제에 측정하고자 하는 시료를 투입하면, 전기 분해에 의하여, 요오드를 발생시킨다. 이를 몰과 반응시켜, 전기량으로부터 물의 양을 구하는 원리이다.

본 실험에서 수분 검출을 위한 Karl-Fischer의 구성도를 <그림3>에 나타 내었다.



<그림 3> Karl-Fischer 수분측정장치

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 실험장치

1) RVM Meter

본 실험에서는 회복전압측정을 위해 Tettex사의 Automatic Recovery Voltage Meter RVM 5462를 사용하였다. 이 때 충전전압(Vc)는 1000V의

DC전압을 인가하였고, 충전시간(T_c)은 0.02s에서 2000s까지 점차 증가시켰다.

2) Moisture Meter

수분측정을 위하여 미쓰비시사의 Moisture Meter를 사용하였다. 이는 고체수분검출을 위한 VA-100, 액체수분 측정을 위한 CA-100, 수분검출을 위한 교반기로 구성되어 있다. 본 실험에서는 절연유의 수분검출을 위해 CA-100과 교반기를 사용하였다.

3) 실험용 셀 및 전극

<그림4>에는 변압기를 모의하기 위해 제작된 셀과 전극이다. 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.



<그림 4> 실험용 셀 및 전극

전극은 가로 92mm, 세로 20mm, 두께 1.5mm의 copper로 제작 하였고, 가로 9.2mm, 세로 30mm, 두께 0.18mm의 셀룰로오스제 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.

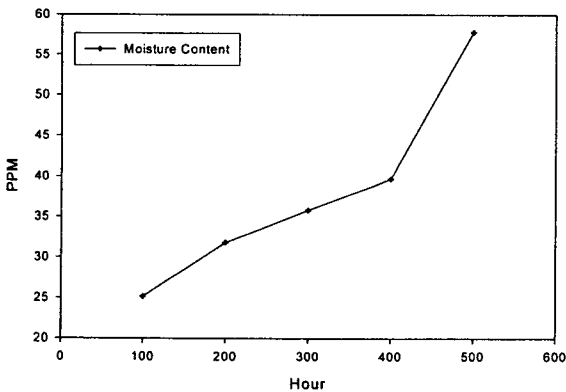
2.2.2 실험방법

앞에서 설명한 RVM 5462 세팅 방법으로 세팅을 하고, 측정 케이블을 <그림4>에 보인 전극에 각각 연결하고 접지 케이블은 접지에 연결한다. RVM Meter가 주변환경에 매우 민감하므로 측정시에 RVM Meter 주위의 모든 접근을 차단하였다. 노이즈 측정을 하여 결과가 양호하면 충전시간을 0.02 ~ 2000s까지 16번 측정하였다. 측정을 위한 셀은 실험상태의 셀과 항온조를 이용하여 중탕시키는 방법으로 150℃에서 500시간 열가속열화를 통해 열화시킨 셀을 사용하였다. 셀의 온도 40℃에서 두 개의 전극(1번, 3번 전극)을 각각 측정하였다. 이 실험을 통해 취득된 Data는 충전시간(t_c), 최대회복전압($V_{r,max}$), 최대회복시간 까지 걸린 시간(t_{peak}), 최대회복전압의 기울기(S_r), 측정시간(Time)이고, 이 데이터는 RVM meter의 직렬인터페이스 RS232를 통해 컴퓨터로 직접 다운로드 하여 분석 하였다.

Karl-Fischer법을 이용한 수분함유량 측정은 각 시료당 3회 측정을 통해 측정하였고, 그 평균으로 열화시간에 따른 수분함유량을 정의 하였다.

2.3 실험결과 및 고찰

<그림5>는 Karl-Fischer법을 이용하여 모의된 실험셀의 열화시간에 따른 수분함유량을 측정한 결과이다.

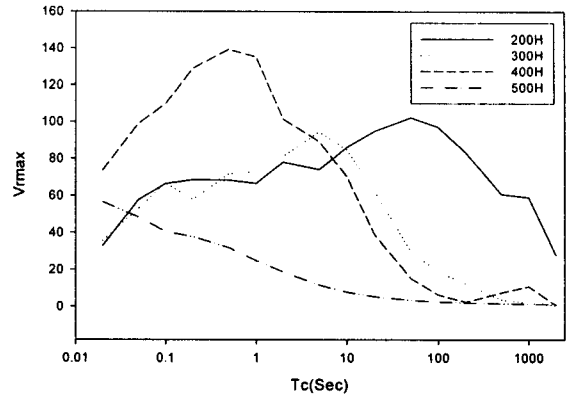


<그림 5> Karl-Fischer를 이용한 수분함유량 측정 결과

변압기 모의 셀의 열화가 진행됨에 따라 모의셀 내부 절연유의 수분함유량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

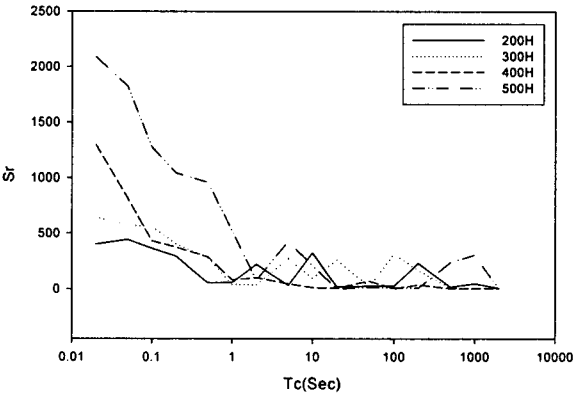
<그림6>과 <그림7>은 모의된 실험셀의 열화시간에 따른 RVM특성곡선을 측정된 결과 이다. <그림6>은 각 충전시간에서의 $V_{r,max}$ 를 나타낸 그래프이다. 열화시간이 증가할 수록 $V_{r,max}$ 의 최대값이 낮은 충전시간에 위치하

는 것을 확인 할 수 있다. 충전전 비를 일정하게 한 상태에서 수분이 많이 포함되어 있을 수록 수분에 의해 발생하는 분극저항과 분극전기용량에 감소로 인해 충전전압이 최대값까지 되는 시정수가 작아지기 때문이다.



<그림 6> 열화시간에 따른 최대회복전압($V_{r,max}$)

<그림7>은 각 충전시간에서의 S_r 를 나타낸 그래프이다. 열화시간이 증가할 수록 S_r 의 값은 낮은 충전시간에서 증가함을 확인할 수 있다. 이는 수분함유량이 증가할수록 S_r 의 값이 증가함을 재확인 할 수 있었다.[2] S_r 는 수분 함유량이 증가함에 따라 분극저항과 분극전기용량의 감소하여 충전전압 최대값까지 되는 시정수가 작아지는 결과를 정확하게 나타내 주는 RVM특성 중 하나이다.



<그림 7> 열화시간에 따른 최대회복전압 초기기울기(S_r)

3. 결 론

본 논문을 통해 가속열화에 의한 모의셀 내부의 절연유의 수분변화량을 RVM법과 Karl-Fischer법을 사용하여 확인하였다. 열화시간이 증가함에 따라 수분함유량이 증가하였고, 수분함유량이 증가함에 따라 최대회복전압의 최대값이 더 짧은 충전시간 쪽으로 이동하였다. 그리고 이와 함께 최대회복전압의 초기기울기도 증가함을 알 수 있었다. 그리고 기존의 변압기 수분함유량 측정을 위해 사용된 Karl-Fischer법과 RVM법의 결과를 통해 RVM법을 이용하여 변압기 열화진단이 가능함을 확인할 수 있었다. 그러나 RVM 측정법은 주위환경에 매우 큰 영향을 받기 때문에 측정시 많은 주의가 필요하고, 주위환경변화에 따라 다른 기준 값이 마련되어야 한다. 이러한 문제점을 보완하면, 변압기의 손상 없이 열화진단이 가능하여 변압기 신뢰도 향상에 큰 보탬이 될 것으로 예상된다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성지원사업에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] "지중 배전용 변압기 신뢰도 향상에 관한 연구", 2차년도 중간보고서-위탁본, 2005
 [2] "Measurement of moisture contents of oil-paper in transformer with RVM", 대한전기학회 제36회 하계학술대회, 전기설비, P75-77, 2005
 [3] 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