LabVIEW를 이용한 변압기 권선 진단 프로그램 개발연구

정영일 · 김종서 · 임용배 · 이은석 · 김덕근
전기안전시험연구원 진단연구팀

1. 서 론

산업이 고도화 첨단화 됨에 따라 전력의 안정성과 신뢰성이 중요한 문제로 인식되고 있고, 한 순간의 정전도 허용하지 않는 전력설비의 열화진단이 점점 중요한 과제로 제기되고 있다. 특히 전력 설비에서 가장 중요한 것은 변압기의 신뢰성으로 절연지의 성능에 크게 영향을 받으며, 이것은 권선의 절연 특성에 상당한 영향을 준다. 그러므로 절연지의 열화상태 파악은 변압기 권선에서 발생할 수 있는 주요 문제를 예측하는데 필수적이며, 이런 문제의 사전예측은 치명적인 고장과 다른 설비에 대한 2차적 손상을 피할 수 있다. 그러나, 아직까지 절연지 상태의 효과적인 감시를 위한 진단기법이 제시되지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 변압기의 회복전압 측정을 실험실 및 현장에서 실시하여 특성을 분석하였고, 권수비를 변환시킬 수 있는 모의 변압기를 제작하여 층간 단락 특성 변화 실험을 실시하였다. 그리고 이들 결과를 토대로, 각 계측장치의 제어 · 분석 및 유중가스 분석 프로그램을 개발하여 현장에서 쉽게 응용할 수 있도록 구성하였으며, 이들 결과에 대한 상관관계를 분석하여 변압기 권선의 절연 상태를 종합적으로 진단할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. 실 험

모의실험 설비와 그 측정장치는 1과 같이 구성 하였다.

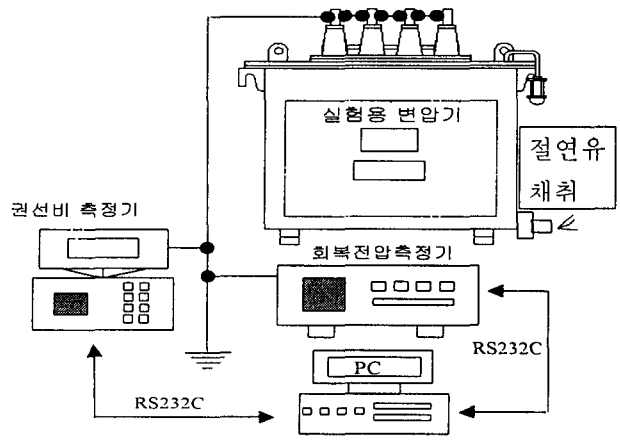


그림 1. 모의 실험 개략도

실험용 변압기는 3Φ, 50kVA, 22900V/380V로 권선을 U, V, W 상별로 각각 다른 권수비 조정이 가능한 형태로 제작하였으며, 상부에 부착한 탭을 이용해 조정할 수 있도록 하였다. 즉 U상은 10turn, V상은 100turn, W상은 200turn 간격으로 감았으며, 각 상별로 turn수를 조정할 수 있는 구조이고, 실험용 변압기의 총 turn수는 1차 5975turn/2차 50turn이다.

2.1 변압기 층간단락 분석

본 실험은 상별 turn수 변화에 따른 권선비를 측정하여 현장에서 적용할 수 있도록 권선비 변화에 따른 층간단락 현상 해석을 위하여 실시하였다. 즉 강제로 권선간을 다양한 비율로 단락시켜 킬 수 있는 실험용 변압기를 통하여 권선의 층간 변화 상태 분석을 통한 데이터를 축적하여 권선의 층간단락-권선비의 상관 관계를 정립하였으며, 이러한 실험 결과를 이용하면, 현장에서 계측기를 통하여 권선비를 측정하였을 경우, 측정된 권선비와 실험결과값을 비교·분석 한다면 보다 신뢰성 있는 권선의 층간 단락 상태를 파악할 수 있을 것이다.

표 1. turn변화에 따른 권선비의 변화

U상		V상		W상	
turn변화	측정값	turn변화	측정값	turn변화	측정값
기본값	108.94	기본값	108.94	기본값	108.94
10	109.02	100	107.16	200	105.49
20	108.94	200	105.41	400	101.94
30	108.48	300	103.60	600	98.439
40	108.27	400	101.81	800	94.888

분석결과 권선비는 표1에 나타낸 바와 같이 30turn에서부터 단락에 따른 권선비의 변화값를 명확히 구분할 수 있다. 변화는 10turn 단위로 권선비가 약 0.2의 비율로 최대 14.052까지의 변화를 관찰할 수 있었으며, 표 1에 나타난 것처럼 층간 단락에 대한 권선비 변화는 크지 않으나 30턴(turn)을 전압으로 환산하면 120V가 된다. 현장에서 이와같은 유사한 값이 검출되었다면 환경 및 부하조건에서 불평형 및 변압기의 권선에 이상을 발생시켜 사고로 발전할 수 있어, 이 값을 기준으로 변압기 권선의 특성을 분석한다면 사고예방 및 보수·유지에 도움이 될 것이다.

2.2 전압열화에 따른 실험용 변압기의 회복전압 특성

변압기는 전압 및 열 등의 스트레스에 따라 그 절연성능이 변화한다. 본 연구에서는 변압기 권선의 절연성능에 가장 직접적인 영향을 주는 절연지를 분석함으로서 변압기 권선의 절연특성를 평가하고자 한다. 위에서 기술한 실험용 변압기를 전압 스트레스에 의한 가속열화를 실시하여 열화 기간별로 나타나는 회복전압-시간 특성을 분석하였다. 변압기 절연 체계는 섬유소 기반 절연 물질(절연지, 프레스보드)과 가공된 광유로 구성

되어 있으며, 열화가 진행되면서 절연지 및 절연유중에 수분과 불순물이 증가하여 유전 특성이 변화한다. 즉 절연지 내에 높은 수분이 함유되어 있으면 전도도가 증가되기 때문에, 상대적으로 빠른 응답시간을 갖고, 낮은 수분함유율은 느린 분극 응답 때문에 긴 응답시간을 갖게된다.

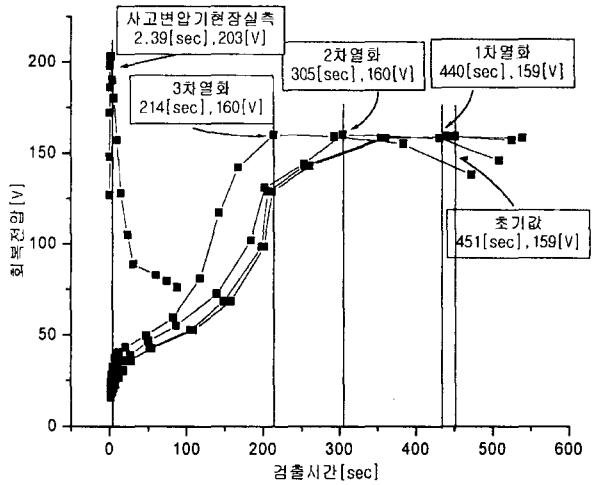


그림 2. 모의열화 실험 및 현장실측 결과 분석

위의 그림 2에 모의실험 결과와 현장실측 값을 나타내었으며, 모의실험은 실내 평균 온도 20~25℃사이에서, 가속열화 시간 및 전압은 수명을 30년으로 하고, 2배의 정격전압을 인가하여 아레니우스 식을 이용하여 진행하였고, 측정은 각 10년 단위로 열화를 진행한 후 실시하였다.

그림 2를 살펴보면 1차(10년), 2차(20년), 3차(30년)의 열화진행에 따라 최대 회복전압-검출시간이 451sec에서 214sec로 단축된 것을 관찰할 수 있었으며, 본 논문에는 기술하지 않았지만 권선이 파괴되지 않은 변압기의 경우 150 ~ 200sec사이에서 회복전압-검출시간이 변화하였다(현장철거 및 모의실험을 통한 완전열화 변압기:4대). 또한 그림에서 사고변압기를 측정한 결과를 살펴보면, 현장에서 사용중 U상이 완전히 파괴되어 검출시간이 2.39sec로 매우 짧고, 최대 회복전압 측정값도 203V로 모의실험 값과 차이가 있는데, 이것은 완전한 열화(전압+열의 복합열화)로 인하여 유전율이 증가하여 전압인가에 따른 급속한 유전 분극현상 때문인 것으로 분석된다. 결론적으로 열화가 진행될수록 절연지 및 절연유에 수분과 불순물의 증가로 검출시간은 짧아지고, 최대 회복전압은 초기값을 기준으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

3. 변압기 진단 프로그램 개발

3.1 변압기 진단 알고리즘

변압기 권선의 이상진단을 위해서 회복전압 및 권선비 측정에 더하여, 측정 변압기의

유중가스 분석을 병행하여 종합적으로 진단을 실시하면 보다 정확한 권선의 상태를 진단할 수 있을 것이다.

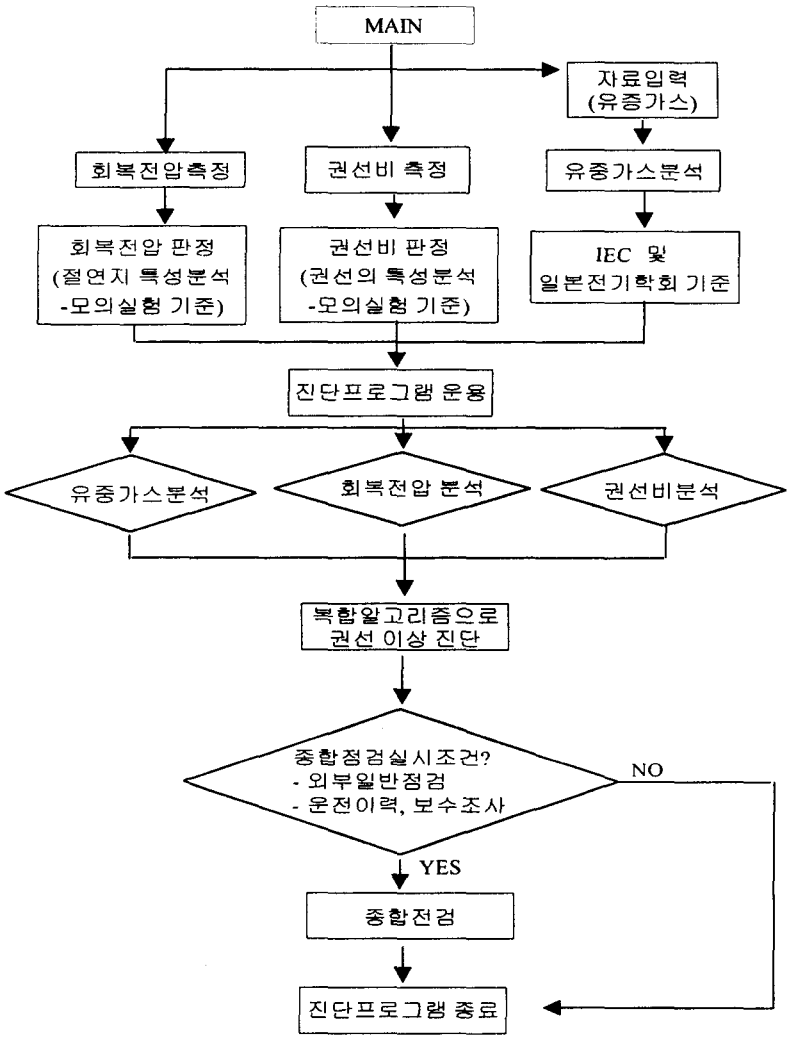


그림 3. 변압기 권선 진단 알고리즘

변압기 등 유입기기 내부에서의 이상현상은 대부분 절연파괴현상이나, 국부과열에 의하여 발열을 동반하며, 이와 같은 발열 원과 접촉한 절연유, 절연지, 프레스보드 등 절연재료는 열의 영향을 받아 분해 반응을 하고, CO_2, CO, H_2, C_2H_2등의 탄화 수소계 가스를 발생시킨다. 그 대부분은 절연유중에 용해되기 때문에 변압기로부터 채유된 절연유중의 가스를 추출·분해하고, 그 가스량 및 가스 성분으로부터 변압기 내부이상의 유무 및 열화정도를 추정한다.

변압기 절연유의 일반적인 분석방법은 가연성 가스 및 가연성 가스 총량(TCG), 가스 패턴에 의한 분석, 조성비에 의한 분석, 특성 가스에 의한 분석등 총 4가지로 분류할

수 있으며, 이중 특성가스 분석에서 고체 절연물이 과열되면 주로 나타나는 CO와 CO_2의 양으로 변압기 권선의 열화정도를 판단하고자 하였다. 이 검출 가스중 CO_2가 판정에 미치는 영향은 CO에 비해 미미하다. 본 논문에서는 유중가스 분석을 위해 IEC 및 일본 전기학회 제시값을 기준으로 한 유중가스 분석 및 앞절에서 검토한 권선비 및 회복전압 측정과 상호 비교하여 분석하는 변압기 권선의 진단 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 위에서 기술한 각 장치별 제어·분석 프로그램을 먼저 개발하여, 측정한 후 결과값과 유중가스 분석을 종합하여 분석할 수 있는 구조로 제작하였다.

이 프로그램은 windows 95, 98 등에서 누구나 쉽게 사용할 수 있으며, 권선 진단 프로그램의 기본 알고리즘은 그림 3과 같다. 먼저 각 측정장치에서 변압기 절연지의 특성 및 권선비를 측정하고, 유중가스 농도를 입력받아 실험기준값 및 유중가스 이상 기준값과 비교하는 복합알고리즘에서 상호 비교·분석함으로서 변압기 권선의 절연 상태를 진단할 수 있도록 개발하였다.

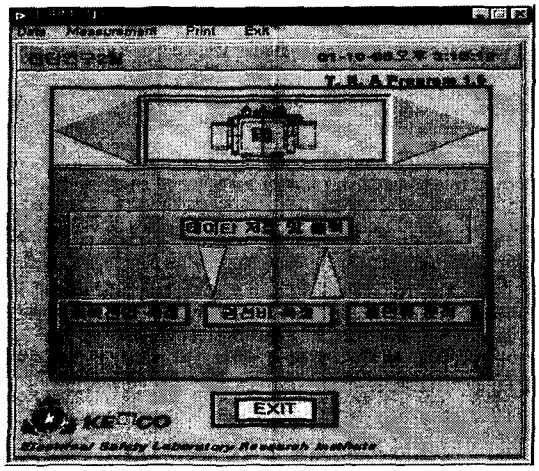
3.2 진단프로그램

LabVIEW 프로그램을 이용하여 그림 3의 알고리즘을 기초로 한 변압기 권선 진단프로그램을 개발하였다. LabVIEW 프로그램은 일반 기기제어 및 분석, 시뮬레이션 등에 주로 사용되며, 본 논문에서는 RS232C를 이용하여 측정 및 분석 프로그램을 구성하였다

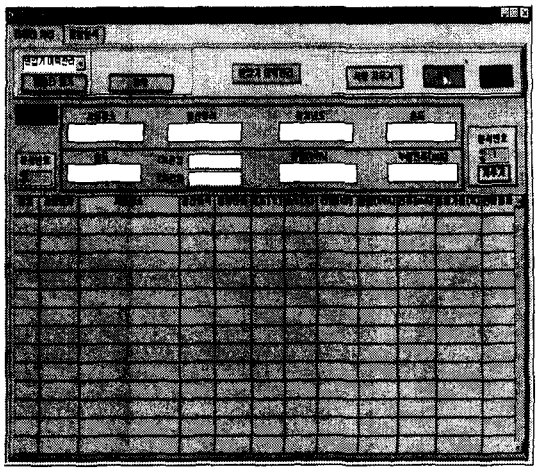
진단 프로그램의 구성은 그림 4와 같다. 먼저 시작화면을 구동시킨 다음, 회복전압, 권선비 측정을 실시하고, 유중가스 분석 결과를 입력한 후, 복합 알고리즘 부분에서 모의실험 및 기존의 정립된 결과들과 비교 분석후 실시간으로 변압기 권선의 특성을 종합 판정한다. 따라서 전력용 변압기에 전문 지식이 없는 사용자라도 본 개발프로그램의 분석 결과를 토대로 신속한 대처를 할 수 있을 것으로 판단된다.

측정 결과의 분석은 각 측정단계별로 열화가중치를 적용하여 판단하였다. 각 단계별로 가중치를 최대 100%로 하여, 전체를 300%로 하였으며, 100%이하는 정상상태, 100~200%요주의상태, 200%초과는 이상상태로 설정하였다. 먼저 권선비 측정은 단락 등의 극단적인 사고의 형태로 이 값의 검출은 변압기가 이미 많은 스트레스를 받고 있다는 것을 나타내며, 실험값을 기준으로 30turn을 20%로 설정하여 10turn 변화마다 5%를 가중시키고, 회복전압은 200초를 기준으로 하여 30sec가 단축될 때마다 10%의 가중치를 적용하였다.

그리고, 절연유 분석은 기존의 정립된 값을 적용하여, 요주의(40~70%), 이상(70% 이상)을 열화가중치로 적용하여 프로그램을 구성하였다. 이와같이 설정된 열화가중치에 따라 모의실험의 결과를 분석한 결과 열화가중치가 170%로, 요주의 상태로 분석되는데, 이는 실험특성상 전압 스트레스만의 열화에 의하여 절연지 및 절연유가 열화 단계에 따라 큰 폭의 변화를 보이지 않았고, 권선비는 변화가 없었다. 즉 현장과 달리 주위환경 및 부하 등 의 조건이 상대적으로 양호하기 때문인 것으로 분석된다.



(a)진단프로그램 시작화면



(b) 종합 분석 화면

그림 4. 변압기 권선비 진단 프로그램

4. 결 론

기기제어 및 시뮬레이션 등 개발환경이 우수한 LabVIEW를 이용하여 변압기 권선 진단 프로그램을 개발하였으며, 이것은 다음과 같은 모듈별로 개발하였다.

· 회복전압 권선비 측정장치를 이용한 제어 · 분석 프로그램(RS232C 인터페이스)

· 유중가스 분석 프로그램(자체 데이터 베이스화), 종합 진단 분석 프로그램

개발된 진단프로그램을 활용하여 측정한 결과 위에서 기술한 바와 같이 열화에 따른 각 측정값의 변화를 통하여 변압기 권선의 특성변화를 관찰할 수 있었다. 향후, 변압기의 절연 특성에 가장 큰 영향을 미치는 열 열화 실험을 반환부하법을 이용하여 실시한 후, 회복전압 및 권선비의 특성을 보다 분명히 하여, 명확한 기준을 제시할 수 있는 복합 알고리즘 및 프로그램을 개발할 것이다. 본 연구에서 개발된 프로그램의 각 진단 항목별 데이터 관리를 통해서 변압기 권선의 경년열화 이력관리를 실시한다면 설비의 사고를 미연에 방지하는데 크게 기여할 것이다.

5. 참고문헌

[1] T.K. Saha, M. Darvenia, "Electrical and Chemical diagnostics of transformer insulation - Part A : Aged Transformer Samples", IEEE Transformer on Power Delivery, Vol. 12, No.4, October 1997

[2] Roger Brooks Haefely Trench AG, Tettex Instruments Div, "Practical Foundations of the RVM(Recovery Voltage Method for Oil/Paper Insulation Diagnosis)

[3] IEC, Draft IEC 60599 E.d.2.0 : Mineral Oil- impregnated equipment in service-interpretation of dissolved and free gases analysis. 10/418/CDV, 1997