

회복전압 측정을 위한 DAQ 프로그램

이세현\*, 최태식\*, 한상욱\*\*  
 한국폴리텍대학\*, 충남대학교\*\*

A Data Acquisition program for recovery voltage measurement

Sei Hyun Lee\*, Tae Sik Choi\*, Sang Ok Han\*\*  
 Korea Polytechnic college\*, Chungnam National University\*\*

**Abstract** - 회복전압 측정법(RVM: Recovery voltage measurement)은 최근 유압지역에서 활발히 연구 진행되고 있는 절연 진단 기법 중의 하나로 소개된바 있으며, 오일과 절연지 사이에 스며든 수분량을 검출할 수 있는 진단 시스템기법이다. 변압기 내부의 절연물질에 대한 분극특성을 분석함으로써 열화진행정도 및 열화정도를 진단하는데 활용될 수 있다.

본 논문은 국산화의 일환으로 전기계측제어용 LabVIEW 프로그램을 활용하여 RVM 전 과정을 자동으로 사용할 수 있도록 자체 제작한 프로그램을 소개하고자 한다.

1. 서 론

전력시스템 진단의 주목적은 신뢰를 바탕으로 경제적 이고, 효과적으로 에너지를 전달하는 데 지장이 없도록 하는 것이다. 또한 그 신뢰성은 무전선 상태로 운전을 하느냐에 달려있기도 하다.

절연 진단은 시설물의 절연 개선 및 잔존수명예측에 활용에 적용될 수 있다. 절연 진단기술은 원리와 방법이 다르고, 또한 이들 기술은 전기적, 기계적, 화학적 방법으로 분류 할 수 있다. 전기적 절연 진단 기술은 절연 저항(IR), 유전 손실 요소(DLF), 부분방전(PD), 그리고 회복전압 측정(RVM), 분극전류측정(PDC), 주파수 스펙트럼(FDS) 등의 측정을 포함하고 있다. 기계적 방법은 절연지 및 프레소보드의 인장강도 측정이 있다. 화학적 방법으로는 용존개스분석(DGA), 부란생성물 검출(HPLC), DP, GPC등이 있다.

일반적으로 전력용 변압기의 절연 시스템은 절연지, 프레소보드 그리고 광유로 구성된다. 광유가 절연과 냉각수단으로 이용되고 있고, 절연지 및 프레소보드는 권선과 접속부의 절연을 담당한다. 열화 된 변압기의 잔존수명은 보통 절연시스템의 조건에 영향을 받게 된다. 절연물의 열화와 관련한 수명예측은 가수분해, 산화, 열분해를 포함한 환경에 큰 영향을 받게 된다. 절연물의 열분해와 가수분해에 의해 수분이 만들어 지게 되고, 광유와 절연지에 함유된 수분은 절연 시스템의 파괴강도를 결정하는 결정적인 요소가 될 수 있다. 그 결과 생성된 수분은 변압기의 고장을 야기해 파급을 야기 할 수 있기 때문이다.

절연 시스템의 열화정도를 평가하기위해 오일/절연지의 수분함유량을 측정하는 것은 매우 중요하다. RVM은 수분 함유량과 오일/절연지 절연내력 저하를 결정하는 기술이다.

본 논문에서는 회복전압 측정을 위해 LabVIEW 프로그램을 이용하여 컴퓨터 상에서 원격 제어계측 및 분석이 이루어 질 수 있도록 하였다.

2. 회복전압 측정 개요

RVM측정의 주목적은 전력용 대용량 변압기에 대해 기존 이루어지고 있는 일련의 진단기술을 재검사하기 위한 것과 사용 중인 대형 변압기의 새로운 절연 진단 방법의 개발에 있었다.

RVM은 비파괴시험으로 최소의 시간으로 현장에서 측정 및 분석을 수행할 수 있으며, 변압기 내부의 절연 물질에 대한 유전특성과 관련해 오일과 절연지의 수분함유량을 계속하게 된다.

이 방법은 유전손, tanδ 스펙트럼의 10ms~1000초 범위에서 분극 시정수를 바탕으로 제안된 방법이다. 이 시정수는 절연물의 계면분극에 관한 특성을 보여준다. 계면 분극은 변압기 내부의 절연지와 오일 사이에 전하들의 축적이 있을 때 발생한다. 계면분극은 열화로 생성된 수분함유량과 기타 분극을 유발할 수 있는 열화 생성물들에 의해 강하게 영향을 받게 되어 시정수의 감소를 초래한다.

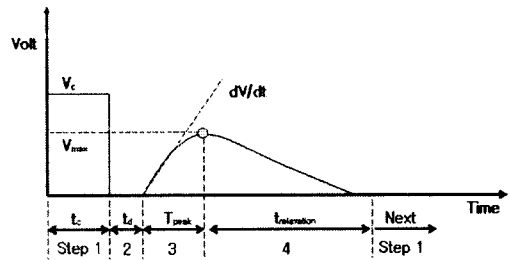


그림 1 회복전압 측정 절차

그림 1은 각각의 RVM 시험절차로 4개의 부분을 가진다: ① 충전시간(tc) ② 방전시간(td) ③ 측정(Tpeak) ④ 완화(trelaxation).

시료에 직류전압을 인가해 충전 시키면 분자들은 분극되고 전계 방향으로 정렬하게 된다. 시료는 충전시간을 고려한 일정한 방전시간을 정해 단락을 시킨다. 분극을 일으켰던 분자들은 부분적으로 원래의 상태로 탈분극하게 된다. 단락된 회로를 개방하면 아직 원래의 상태로 되돌아오지 못한 잔류전하에 의해 생성된 전압은 시료 양 단자에 걸리게 된다. 잔류 분극에 의한 이 전압을 회복 전압이라 부른다.

그림 2는 시험에 관련한 일련의 과정에서 나타나는 특성값(최대회복전압)을 추출해 새로이 충전시간에 대한 최대회복 전압값 만을 그림으로 재 표현한 그림이다.

충전, 방전 과정은 충전 시간을 방전시간에 비해 2배 정도로 고정하고 1-4단계를 반복적으로 변화시켜가며 측정을 하게 된다.

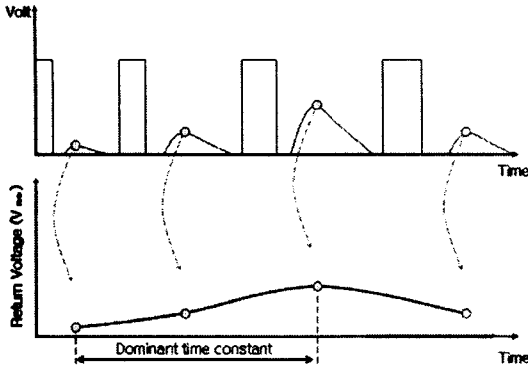


그림 2 전형적인 회복전압 분극 스펙트럼

분극 스펙트럼의 가장 큰 특징으로 최대 회복전압을 나타내는 지점까지의 시간 즉 시정수(Dominant time constant)는 절연 물질의 특성과 관련되어 있다. 좀 더 명확하게 이 값은 oil/paper 절연 시스템의 수분 함량에 직접적으로 나타나는 값이다. 회복전압 분극 스펙트럼 곡선에서 수분의 함유량이 많을 경우, 시정수(Dominant time constant)는 작아지게 되는 경향을 보이게 된다. 즉 좌측으로 이동하게 된다. 결과적으로 절연 시스템의 열화를 나타내게 된다.

더 높은 수분 함량을 가진 절연 시스템은 분극전하의 충전과 방전이 더 빠르므로 상대적으로 빠른 분극 응답을 가지게 되고, 짧은 충전 시간에서 최고 회복 전압이 나타나게 된다. 반대로 낮은 수분 함량을 가진 절연 시스템은 분극전하 충전과 방전이 느리므로 비교적 늦은 분극 응답을 가진다. 그래서 회복전압의 최고값은 더 긴 충전 시간에서 나타날 수 있다.

분극 스펙트럼은 표준과 비표준 두 그룹으로 나뉘질 수 있다. 표준 분극 스펙트럼은 전체적으로 단 하나의 최고값을 가지고, oil/paper 절연에서 실제 수분함량의 정확한 측정을 제공한다. 최고점이 여러 개인 곡선과 평평한 곡선, 그리고 불연속적인 곡선은 비표준으로 간주된다. 이러한 그래프를 해석하기 위해서는 측정 물질에 대한 자세한 정보와 경험이 요구된다.

### 3. 측정 시스템

그림 3은 시료에 인가되는 전원을 공급하기 위한 전원 회로도이다. 스위치는 모두 컴퓨터에서 제어될 수 있도록 했으며, 전원전압의 증감을 컴퓨터 상에서 가능할 수 있도록 SMP로 제작하였다.

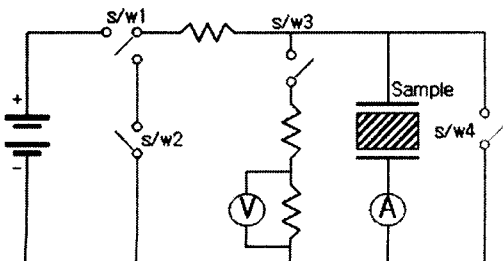


그림 3 전원회로

모든 스위치가 개방된 상태에서 S/W3이 투입되어 시료의 전압을 측정할 준비가 된다.

그 후 S/W1이 투입되어 시료를 충전하고, 일정시간이 지나면 S/W1이 개방되고 동시에 S/W2가 투입되어 시료에 충전된 전압으로부터 방전을 충전시간의 1/2로 하게 된다. 그 후 S/W2가 개방되면서 회복전압이 측정되게 된다.

그림 4는 개발된 RVM 시스템의 다이어그램이다. 컴퓨터, NI PXI-1050은 측정 과정을 자동화하기 위한 컨트롤러로 사용되었다. 인터페이스는 National Instrument사의 데이터 수집 카드 NI PXI-6251을 이용하였다. 스위칭 유닛의 릴레이를 컨트롤 하기 위해 세 개의 디지털 출력 채널이 사용 되었다. Keithley Electrometer로 부터의 회복 전압 신호를 기록하기 위해 한 개의 아날로그 입력 채널이 사용 되었다. 변압기 오일과 절연지의 절연 저항이 수십~수백 Giga 오옴의 영역이 되기 때문에 전압 측정을 위해 수백 Giga 오옴의 임피던스를 갖는 Electrometer 사용은 필수적이었다.

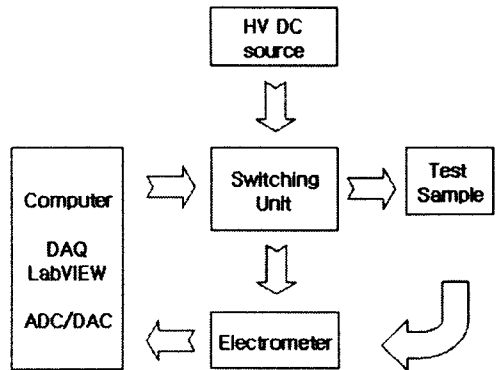


그림 4 RVM시스템 인터페이스

스위칭 박스에 있는 릴레이는 미리 정한 충전, 방전, 측정 시간에 스위치를 ON/OFF 하기 위해 컴퓨터에 의해 제어 된다. 이 시간 간격은 사용자에게 의해 LabVIEW 프로그램으로 입력되었다. 각각의 RVM 사이클의 끝에서 잔류전하를 제거 하기위해 테스트 물질은 일정 기간 동안 방전 될 것이다. 충전 전압은 0V~3000V 까지 조절 가능한 DC 파워 서플라이로 인가되었다.

LabVIEW는 릴레이 컨트롤, 신호 캡처, 파라미터 계산 시스템의 핵심이다. LabVIEW는 C, BASIC 같은 프로그램 개발 환경이다. 특별히 다른 점은 프로그램이 텍스트 언어 대신에 그래픽컬 아이콘으로 구성된 것과 개발시간은 기존의 텍스트 언어보다 수배 줄일 수 있는 장점이 있다.

각각의 LabVIEW 응용은 Virtual Instrument(VI)로 나타나게 되고, 각각의 VI는 2개의 창으로 이루어지는데 그림 5는 프론트패널, 그림 6은 블록 다이어그램이다. 프론트 패널은 사용자가 보는 모니터와 같고, 원격의 장치를 제어하고, 원하는 파라미터와 계산 프로그램을 입력하게 해준다. 블록 다이어그램은 프로그램을 코딩하는 부분이고, VI의 그래픽 소스 코드를 포함한다.

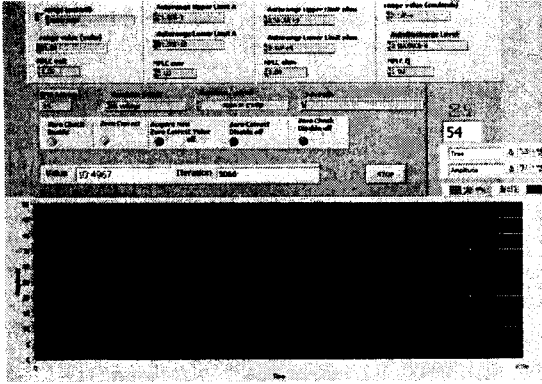


그림 5 회복전압 측정중인 LabVIEW의 프런트패널

본 연구에 사용된 RVM 측정용 LabVIEW 프로그램은 plug-in DAQ, GPIB, RS232C, TCP/IP를 통해 통신할 수 있도록 구성하였다.

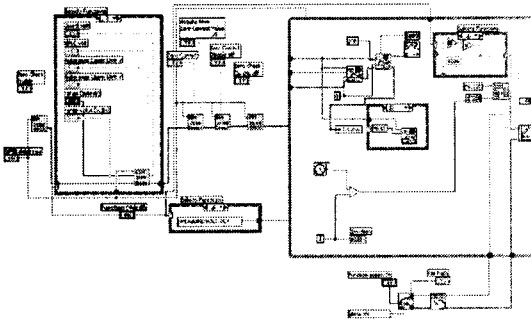


그림 6 회복전압 측정중인 LabVIEW의 블록다이어그램

#### 4. 결과 및 그래프

일렉트로미터로 얻어진 회복 전압은 그림 7에서 보여 지는 바와 같이 인가된 전원전압과 회복전압이 혼합되어 있는 파형이다. 데이터의 범위가 달라 확대를 하게 되면 그림 8과 같이 된다.

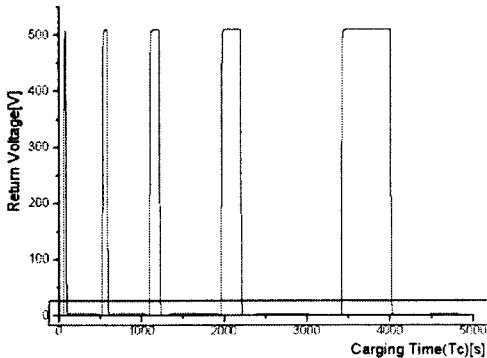


그림 7 측정된 전원전압과 회복전압

데이터는 약 초당 60개 정도를 수집해 풀롯하게 되고, 이때 디지털 필터를 통해 노이즈를 제거하게 된다. 그림 9는 그림 7, 8로부터 얻은 최대회복전압값을 재구성하여 다중으로 그려낸 최종의 회복전압값 그래프이다.

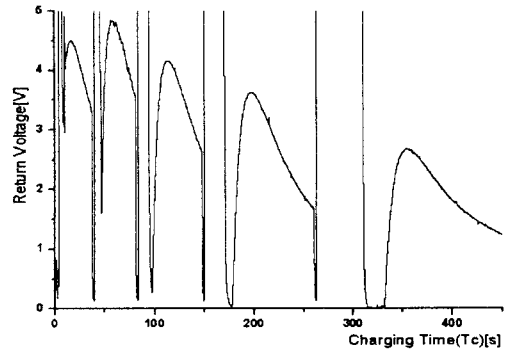


그림 8 확대된 회복전압

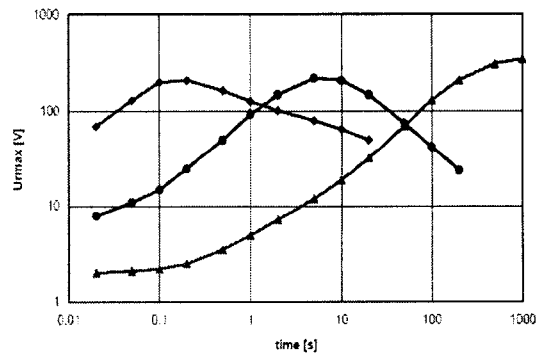


그림 9 최대회복 전압값의 다중 그래프

#### 5. 결 론

자동화 계측을 위한 LabVIEW 프로그램을 활용하여 회복전압 측정용 S/W를 개발하였다. 전력용 변압기를 현장에서 측정하고자 할 때 미소의 유전체 이동으로 결과값이 달라 질 수 있기 때문에 가급적 원격에서 측정을 유도해야 한다. 측정용 케이블은 적어도 15m 이상 떨어진 상태에서 측정할 때 양호한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 실험조건을 고려해 고전압 전원을 SMPS 방식으로 원격에서 컴퓨터의 입력만으로 인가전압을 제어할 수 있고, 센서로부터 얻어지는 데이터 수집 및 수학적 분석을 현장에서 즉시 활용 가능하도록 하였다.

그 동안 전력용 변압기에 함유된 수분의 양을 검출하기 위해서 화학적인 Karl Fischer titration(KFT)법으로 샘플을 채취해 연구실에서 측정 가능했으나 본 연구의 결과를 활용할 경우, 시간의 투자 없이 전기적인 방법으로 즉시 현장에서 측정 및 분석이 가능해 졌으며, 이 데이터 및 분석결과는 TCP/IP를 통해 네트워크로 즉시 공급될 수 있다.

## [REFERENCES]

- [1] M. Darveniza, T. K. Saha, D. J. T. Hill, T. T. Le, "Assessment of Insulation in Aged Power Transformers by Interfacial Polarization Spectrum and its Correlation with Chemical Properties", Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp.671~678, 1992
- [2] H. Yoshida, Y. Ishioka, T. Suzuki, T. Yanari and T. Teranishi, "Degradation of Insulation Materials of Transformers", IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1987.
- [3] Working Group Report, "Background Information on High Temperature Insulation for Liquid Immersed Power Transformers", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.9, No.4, pp.1892~1906, 1992
- [4] S. Itahashi, H. Mitsui, T. Sato and M. Sone, "Analysis of Water in Oil Impregnated Kraft 절연지 and its Effect on Conductivity", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2, No.6, pp.1111~1116, 1995
- [5] Gusztáv Csépes, István Hámos, Roger Brooks, Volker Karius, "Practical Foundations of the RVM (Recovery Voltage Method for Oil/절연지 Insulation Diagnosis)", Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Vol.1, pp.345~355, 1998
- [6] P. R. S. Jota, S. M. Islam, F. G. Jota, "Modeling the Polarization Spectrum in Composite Oil/절연지 Insulation Systems", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.6, No.2, pp.145~151, 1999
- [7] LabVIEW on-line tutorial
- [8] KÜchler, A. Leibfried, T. "Beruecksichtigung geometrischer und parasitaerer Einflüsse bei der Bestimmung des Wassergehalts in Oel-Papier Isolationen durch dielektrische Diagnose", ETG Fachtagung Diagnostik Cologne 2004