

변압기에서 저압충격시험기를 이용한 권선변형 측정

조국희\*, 강동식\*, 김광화\*  
한국전기연구소\*

권동진\*\*, 윤진열\*\*  
전력연구원\*\*

Winding Deformation Measurement using Low-voltage Impulse Tester in Transformers

Kook-Hee Cho\*, Dong-Sik Kang\*, Kwang-Hwa Kim\*, Dong-Jin Kweon\*\*, Jin-Yeol Yoon\*\*  
K E R I K E P R I

Abstract

We describe the characteristic of LVI test system and methods to detect the deformation of windings in the power transformers. As the front rise time of recurrent-surge generator pulse less than 1000ns and the peak value of pulse is about 500V, we have the good results of detecting winding deformation in the LVI test of transformer. And we discuss the application of LVI test method and the condition of RSG pulse through results of in one and three pole transformers under Lab. tests.

1. 서론

최근 송변전 및 발전기기는 고압 대용량화로 진행되어, 1대의 기기 고장이 전력계통에 미치는 영향이 높아 신뢰성의 확보가 매우 중요하므로, 예방보수의 점검차원에서 각종진단기술을 이용하여 전력기기의 사고를 미연에 방지하는 것이 요구된다.

전력기기에 이용되는 변압기는 대부분 유입변압기로서, 단락이나 과전압이 침입하면 권선층간 절연이 파괴되어 층간단락을 일으키는 결과를 초래한다. 대부분의 경우 변압기가 심한 단락전류를 받게 되면, 기계적인 힘은 변압기 권선내에서 진전되어 권선의 길이에 따른 스트레스가 형성되고, 반경 방향 스트레스에 의해 권선이 변형되거나 절연파괴가 발생하게 된다. 그러므로 권선변형 확인을 위한 측정과 검출방법이 필요하다.

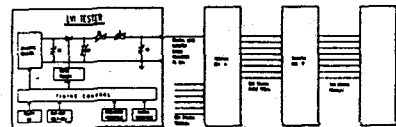
권선변형을 측정하는 방법은 1966년 폴란드의 Lech와 Tyminski에 의한 LVI 방법이 처음 제안되었으며, 이 방법은 한쪽권선에 충격전압을 인가하여 다른 권선에 흐르는 유도전류를 저항(shunt)을 통해 측정하는 방법이다. 1969년에는 Smith 와 Waters가 고압충격 시험원리를 이용하여 임펄스

전압을 인가하여 2상권선에 흐르는 전류간의 차이를 매우 높은 감도로 측정하는 방법으로, 단락강도 시험중에 파괴된 변압기에 적용한 결과 권선의 변형에 대한 좋은 응답으로 검출되었으며 단락강도 시험 전후의 권선상태 검사를 위해 가장 널리 사용되는 차분 측정방법이다. LVI 시험장치는 출력전압 가변과 안정성이 요구되며, 반복률은 50~1000pps (pulse/sec)이고, 펄스상승시간과 펄스폭은 변압기 권선 변화의 검출이 가능하도록 설계되어야 하며, 축방향과 반경방향으로의 권선 움직임을 구별할 수 있는 능력이 있어야 한다.

이와 같은 관점으로 본 연구에서는 LVI Tester를 제작하고 시험실에서 시험을 시행하여, LVI Tester의 성능을 평가하고 현장에서의 사용여부를 확인한 결과 LVI 시험이 가능한 것으로 사료되었다.

2. LVI Tester 제작 및 시험회로

LVI 시험 규격(ANSI C57. 12. 90 Part II 3.4항 및 4.1.1항 1993)에 따라 현장에서 시험이 가능하도록 구성하면, 주 구성요소는 저압 충격 시험기, 케이블 및 단자함으로 분류되고, 기본적인 측정장치의 블록 다이어그램은 그림 1과 같다



1. 저압 충격 시험기  
2. 변압기 (1000VA, 100V/100V)  
3. 케이블 (100m, 100V/100V)  
4. 단자함 (100V/100V)  
5. 측정장비 (100V/100V)

그림 1 저압 충격 시험 측정장치의 블록 다이어그램 현재 사용중인 변압기의 안정성을 확인하기 위한 저압 충격 시험기의 사양을 다음과 같이 선정하였다.

- ㉠ 출력전압 : 0 ~ 600 V<sub>P-P</sub> (가변)
- ㉡ 반복율 : 60 pps
- ㉢ 파두시간 : 50 ~ 1000 ns
- ㉣ 펄스폭 : 200 ~ 1000 ns
- ㉤ 출력 모드 : Single and Dual BNC Receptacle
- ㉥ 출력 개수 : 1 Channel
- ㉦ 소요 전원 : 110V/220V 겸용 (PLC 뒷면에 절환 스위치 내장)
- ㉧ 내부 회로 전원 : 정전압 IC 소자 채택
- ㉨ 동작 온도 : 0 ~ 40℃ 습도 : 10% ~ 90%RH
- ㉩ 입출력 회로는 전기적으로 간섭하지 않아야 한다.

저압충격 시험기는 시험을 하는 데 있어서 인체에 미치는 위험 요소가 없으며, 전압 펄스를 인가하는 데 빠르고 신뢰성 있게 설계되었고, 펄스회로는 개개 요소로 되어 있기 때문에 펄스 형태는 선택 스위치로 변화가 가능하며, 반복율이 크기 때문에 오실로스코프에 잘 나타난다. 따라서 저압충격 시험기를 이용할 수 있는 대상은 변압기, 리액터등의 권선 모델이 있고, 가변이 가능한 임펄스 전압 조건으로 권선의 비파괴 시험을 실시하여 권선의 이상유무를 확인한다.

임펄스 출력전압은 사용상 넓은 범위에서 변화가 가능하도록 캐패시터와 저항값을 다양하게 구성하였다. 임펄스 출력전압 구성 요소인 Cs(Impulse Capacitance : nF), Rs(Front Resistor : Ω), L(Series Inductance : μH), Rp(Tail Resistor : Ω), Cb(Load Capacitance : nF)는 선택 스위치로 조작자가 쉽게 임펄스 출력파형을 오실로스코프로 확인하면서 선택하는 것으로 설계하였다. 임펄스 전압은 충전 조절 회로(Charging Control Circuit)를 이용하여 출력전압을 안정화 시키며, 펄스폭은 시간 조절 회로(Timing Control Circuit)를 이용하여 가변이 가능하며, 펄스 파두시간은 싸이리스터로 조절된다.

저압 충격 시험기 설계를 하기 위해서는 회로에 사용하는 주요 부품을 선정할 필요가 있으며 특히 트리거 펄스를 위한 싸이리스터 소자는 매우 중요하다. 싸이리스터는 펄스 파두시간과 밀접한 관계가 있으며 전압은 800V이상 이어야 하고 di/dt는 클수록 상승시간이 빠르기 때문에 사양에 맞는 성능이 우수한 소자를 선택할 필요가 있다.

모든 입력과 출력단자는 저압 충격 시험기 판넬 후면에 구성하였고, 조작단자는 판넬 전면에 위치하도록 배열하였으며, 주요 구성회로는 (Recurrent Trigger(RT), Manual Trigger(MT), Timing Control(TC), Surge Trigger(ST), Charging Control(CC))등이 있으며, 부품기능 이상시에는 회

로 보드(Circuit Boards)만 교체하여 간단히 유지 보수할 수 있도록 설계하였다. RT는 반복율 60pps로 주파수에 동기하여 임펄스 전압을 자동 인가하며, MT는 조작자가 수동으로 1회씩 임펄스전압을 인가하는 회로로 설계하였다.

케이블은 동축 케이블과 이중 동축 케이블을 사용하였으며, 이중 동축 케이블(52Ω RG 8/U)은 외부 잡음을 줄이기 위해 사용되며 현장 실험장치를 구성하는 데 필수적이다. 신호전송과 측정 기록용 동축 케이블(RG 58A/U)은 반사(Reflection)의 영향을 최소화하기 위하여 같은 특성 임피던스를 가진 케이블로 연결하여 구성하였다.

이중 동축 케이블 사용은 펄스를 인가하여 권선에 대한 응답을 측정하는 데 필수적인 것으로 변압기와 측정기 사이의 이중 동축 케이블의 길이는 케이블 접속효과등으로 인하여 15m이내가 적당하다. 단자함은 동축 케이블과 이중 동축 케이블을 연결하기 위한 박스이다.

3상 변압기에 적용되는 LVI 시험회로 구성은 그림 2와 같이 기본적인 회로와 차분측정 시험방법이 있으며, 단상변압기의 시험회로는 그림 3과 같이 구성된다.

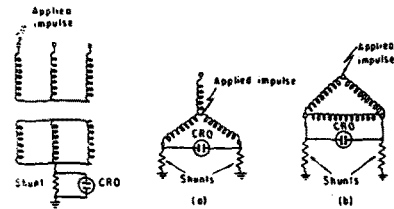


그림 2. 기본적인 회로와 차분측정 시험 회로도

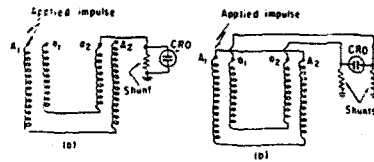


그림 3. 단상 변압기 시험회로도

### 3. 시험 결과

시험은 3상 150kVA, 22.9kV/230V의 지상변압기와 단상 100kVA, 12.6kV/230V의 아몰퍼스 변압기를 대상으로 하여, 3상 변압기는 그림 2.(a)와 단상 변압기는 그림 3.(a)의 시험회로를 구성하였다. 대상 변압기의 단락시험에 따른 내부권선의 변형유무를 확인하기 위하여, 단락강도 시험전후에 전기연구소 증저전압 실험실에서 LVI 시험을 수행하였다.

단락강도 시험 전

단락강도 시험 후

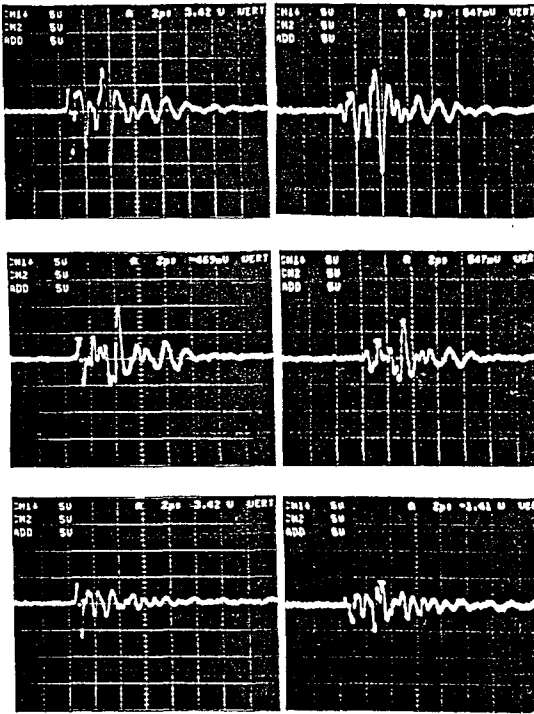


그림 4. 차분측정 방법으로 측정한 파형

그림 4는 3상 150kVA 지상변압기에 대한 단락강도 시험전후의 LVI 시험 결과 파형으로 시험전후의 파형을 비교해 볼 때 큰 변형이 없는 것으로 나타났다. 변압기 권선의 응답은 인가전압 300V, 파두시간 400ns를 인가하여 확인한 것이며 그림 4의 차분측정으로 측정한 파형에서 보는 바와 같이 각 상에 대한 변화가 거의 없었으며 변압기를 해체하여 육안검사를 한 결과 특별한 이상을 발견할 수도 없었다. 또한 별도로 실험실에서 변압기 및 계측기의 성능을 확인하기 위해 임펄스 전압을 500V까지 인가하여 실험을 수행하였고, 임피던스 변화를 측정한 결과 이상이 없는 것으로 나타났다.

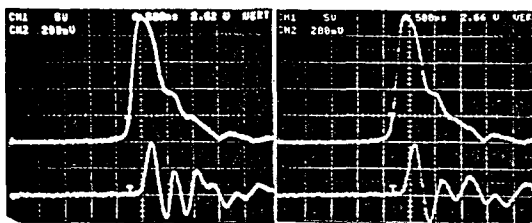


그림 5. 단상으로 측정한 파형

그림 5는 단상 100kVA 아몰퍼스 변압기에 대한 단락강도 시험 전후에 LVI시험을 한 파형으로 상

단은 인가펄스이고 하단은 권선의 응답으로 계측기의 상승시간은 400ns, 인가전압 250V, 펄스폭 2000 ns으로 측정하였으며 상승시간 1000ns이내, 인가전압 500V 이내 펄스폭 1000ns이내의 조절도 가능하다. 아몰퍼스 변압기도 임피던스 병화 및 육안검사를 실시한 결과 특별한 이상이 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

변압기에서 권선변형을 확인하기 위한 방법으로 육안 검사, 임피던스 변화, 여자전류 변화, 절연확인, LVI 시험 등이 있으나 전 세계적으로 ANSI 규격에 의거하여 LVI 시험을 수행하므로 LVI 시험기를 제작하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ANSI 규격에 따라 시험할 수 있는 계측기로서 PCB 보드를 카드로 바꿀수 있도록 설계제작되어 유지보수가 편리하다.
2. 인가전압용 케이블과 현장시험을 위해 단자함 간의 거리를 15m로 모의해 RG8/U 트라이 엑시얼 케이블을 사용하여 시험한 결과 외부 잡음을 효과적으로 제거할수 있었다..
3. 기존의 현장시험은 시험 변압기에서 결선을 해야 하지만 KERI에 의해 제작된 계측기는 계측기 자체의 결선으로 시간과 위험성을 줄일 수 있다.
4. 현장에서의 진단시험은 저압충격시험기, 단자함, 케이블을 제작하여 실험실에서 특성실험을 한 결과 충분히 적용할 수 있을것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] W. Lech and L. Tyminski, " Detecting Transformer winding Damage. The Low voltage Impulse Method", Electrical Review Vol. 179, No.21, PP. 768-772, 1966
- [2] R. A. Smith and M. Waters, " Detection of winding Damage in Power Transformers using the Low Voltage Impulse Method", ERA Report No. 5252, 1969
- [3] E. J. Rogers and L. E. Humbard, " Low Voltage Impulse Testing of Power Transformers" IEEE Paper No.71, TP535-PWR., PP1281-1293, 1971.
- [4] "IEEE Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformers" Part II ANSI/IEEE C57. 12. 90(1993) pp. 61-75