

변압기의 권선변형 검증을 위한 LVI 시험기 개발

(The Development of LVI Tester for Winding Deformation Measurement in Power Transformers)

조국희* · 김광화 · 곽희로

(Kook-Hee Cho · Kwang-Hwa Kim · Hee-Ro Kwak)

Abstract

The assessment of the condition of a transformer winding which is suspected of having suffered short circuit damage can be difficult. Conventional test such as winding resistance, magnetisation current or insulation resistance will only detect damage if a permanent electrical fault exists. Visual inspection of windings necessitates the removal of oil and in many cases only a very small proportion of the winding can be seen. 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 transformers.

1. 서론

송변전기기는 고압 대용량화로 진행되어 기기고압이 전력계통에 미치는 영향이 높아 신뢰성 확보는 중요하다. 전력기기에 이용되는 변압기는 대부분 유입변압기로서 단락이나 과전압이 침입하면 권선층간 절연이 파괴되어 층간단락을 일으키는 결과를 초래한다. 대부분의 경우 변압기가 심한 단락전류를 받게되면 기계적인 힘은 변압기 권선내에서 진전되어 권선의 길이에 따른 스트레스가 형성되고 반경방향 스트레스에 의해 권선이 변형되거나 절연파괴가 발생하게 된다. 그러므로 권선변형 확인을 위한 측정과 검출방법이 필요하다[1][2].

권선변형을 측정하는 방법은 1966년 폴란드의 Lech에 의해 LVI(Low-Voltage Impulse)방법이 처음 제안 되었으며, 이 방법은 변압기의 한쪽단자에 충격전압을 인가하여 변압기 권선에 흐르는 유도전류를 저항(shunt)을 통해 측정하는 방법이다. 1969년에는 Smith와 Waters가 고압충격시험 원리를 이용하여 2상 권선에 흐르는 전류간의 차이를 측정하는 방법으로 단락강도 시험후에 절연파괴된 변압기에 적용한 결과 권선의 변형에 대해 파형이 다르게 나타나는 응답으로 검출되어 단락강도 시험 전후의 권선상태 검사를 위해 가장 널리 사용되고 있다[3][4].

그러나 LVI 시험기는 출력전압 가변과 안정성이 요구되며 반복률은 50~1000(pulse/sec)이고, 펄

스상승시간과 펄스폭은 변압기 권선변화의 검출이 가능하도록 설계되어야 하며 축방향과 반경방향으로의 권선 움직임을 구별할 수 있는 능력이 있어야 한다.

따라서 본 논문은 이와같은 관점에서 저압충격 시험기를 제작하였고 실험을 통해 성능을 평가한 결과 측정파형으로 권선의 변형을 감지할 수 있어 LVI 시험이 가능한 것으로 사료되었다.

2. 본론

2.1. 변압기 권선변형 진단방법

변압기의 권선변형 고장검출을 확인하는 방법은 크게 3가지가 있다.

-FRA(Frequency Response Impulse)

-IS(Inductance Signature)

-LVI(Low Voltage Impulse)

변압기에 단락이나 과전압이 발생하면 권선층간 절연이 파괴되어 층간 단락을 일으키는 결과를 초래한다. 대부분의 경우 변압기는 심한 단락전류를 받게 되면, 기계적인 힘은 변압기 권선 내에서 진전되어 권선의 길이에 따른 스트레스가 형성되고, 반경 방향 스트레스에 의해 권선이 변형되며 절연파괴가 발생하지 않을지라도 권선변형 확인을 위해 고장위치에 대한 측정과 검출방법이 필요하다.

축방향으로 권선이 변형되면 Series Capacitance(Cs)가 상당히 변하며, 반경방향으로 권선이 변형되면 Ground Capacitance(Cg)가 변하기 때문에 이에 따른 캐패시턴스와 인덕턴스의 변화는 권선의 고유주파수를 변화시킨다. 그러므로 고장과 권선변형은 층간과 층과대지간에 적당한 캐패시턴스를 부과 시킴으로서 모의할 수 있다. 적당한 캐패시턴스는 권선의 주파수 응답으로 결정되는 것이며, 변압기 하부 변형과 위치의 이동도 쉽게 측정할 수 있다. 변압기 권선에서 일어나는 고장점의 측정과 검출방법은 매우 중요하며 변형 범위는 실험실에서 확인할 수 있고 실험실 결과는 고장검출을 정확히 파악하는데 사용되고 있다. 권선 변형은 변압기 형태에 따라 고장점의 위치와 검출을 3가지 방법으로 비교할 수 있고 반복성, 재현성, 신뢰성이 강조되지만 서로의 장단점은 있다.

가. FRA 방법

변압기 권선의 변형은 권선구조상의 내부 인덕턴스와 캐패시턴스의 변화를 의미하며, 이것은 FRA와 LVI 방법에 의해 검출이 가능하다. FRA 방법은 변압기 권선단자에 다른주파수의 전압을 인가함으로써 변압기 단자로 부터 얻어진 신호의 진폭과 위상을 주파수 함수로서 나타낸다. FRA 방법의 측정장치는 크게 Sweep Generator, Dual Channel Detector, Hard Copy Pen-type Plotter로 분류되며, 그림 1은 시험측정장비와 변압기의 결선도이다.

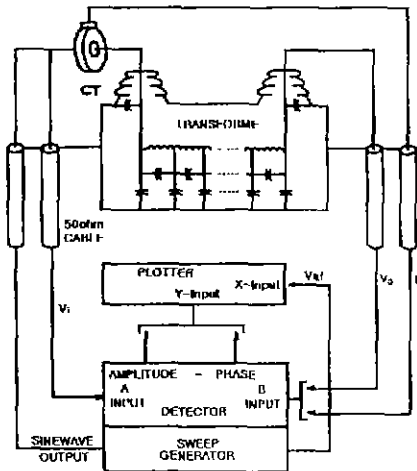


그림 1. FRA의 시험측정장비와 변압기의 결선도
Fig. 1. Arrangement of test equipment and transformer of FRA

동축 케이블은 반사문제 때문에 특성 임피던스를 고려해서 사용하여야 하며, 4개의 케이블 중 하나는 Sweep Generator에서 변압기 입력단자에 연결하고, 2개는 전압과전류의 입력신호용이며, 1개는 전압출력신호용이다. 전압출력신호는 출력단자에서 바로 측정하며 고주파 변류기는 출력을 케이블의 특성 임피던스와 갖게하여 전류입력 신호로부터 전류를 측정한다. 시험이 진행되는 동안 외부로부터 간섭은 영향을 미치지 못하며, 권선의 조그만 변형에서조차 매우 민감한 방법이기 때문에 단락강도 시험전후의 변압기 주파수 응답은 조그만 변형에서도 응답의 변화가 일어나고 $\propto(\sqrt{Cg}/\sqrt{Cs})$ 이 높을수록 매우 유용한 방법이다.

이와같이 FRA 장점은 변압기의 기계적인 변화를 검출하기 위한 진단방법이며, 실험장치는 간단하고 이동이 쉬우며 신호잡음에 영향이 없고 사용 주파수는 1MHz 이하이므로 임펄스나 입력신호에 대한 장해효과에는 반응이 민감하지 않다. FRA 측정 검출기는 주파수 응답 분석으로 변압기의 기계적인 구조와 권선변화량 및 손상정도를 파악하는데 사용하고, 진폭은 권선출력전압과 권선입력전압의비(V_o/V_i)로 측정하며, 위상은 권선 각각의 차이를 수반하기 때문에 측정이 가능하다.

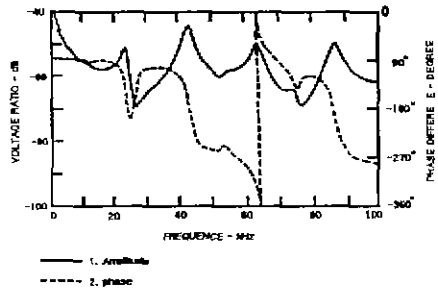


그림 2(a). 저주파 고압권선 응답(8 MVA 변압기)
Fig. 2(a). Low voltage HV winding response

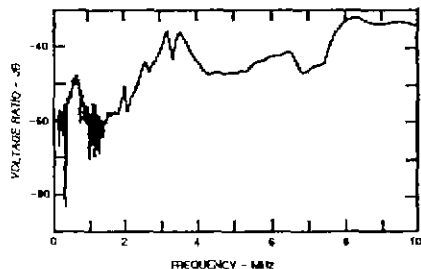


그림 2(b). 고주파 고압권선 응답(8 MVA 변압기)
Fig. 2(b). Low voltage HV winding response

그림 2는 전압비에 따른 파형이고, 그림 3은 변압기 고압권선이 직렬로 이루어진 Π 분할의 등가 회로이며, 주파수응답을 분석하기 위한 8MVA 변압기 모델로 계산은 다음과 같다.

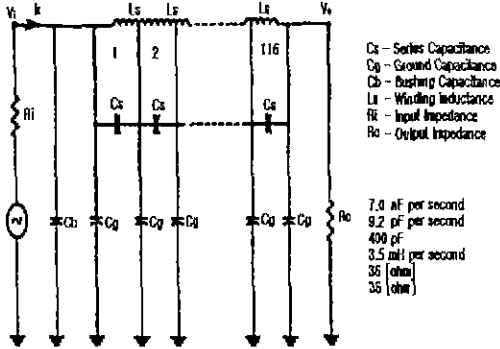


그림 3. 8 MVA 변압기의 고압권선 등가회로
Fig. 3. Simple equipment circuit for HV winding of 8 MVA transformer

저주파 응답은 그림 3에서 C_s 와 C_g 는 무시할 때, 출력 임피던스가 36Ω 이고 116권선분할이면

$$V_o/V_i = R_o / (R_o + j2\pi f \times 116L_s)$$

그림 2(a)로 부터 V_o/V_i 는 2.5kHz에서 -45dB

$$L_s = 36 \times 10^{2.25} / 2\pi \times 2500 \times 116 = 3.51$$

직렬 인덕턴스의 합계는 $3.51 \times 116mH = 0.41H$ 이다.

고주파 응답은 L_s 을 무시했을 때 그림 2(b)에서 V_o/V_i 는 3.2MHz에서 -36dB

$$V_o/V_i = r_n$$

여기서 r 는 손실/분할권선

C_s 는 대략 $C_g r^2 / (1-r)^2$ 같다.

$$r = \text{winding} \sqrt{\text{dB}} = 116 \sqrt{10^{-1.8}} = 0.9649$$

$$C_s = 9.2 \times 10^{-12} \times (0.9649)^2 / (0.0351)^2 = 7.0nF$$

$$C_i = \sqrt{C_s} \sqrt{C_g} = (7.0 \times 10^{-9} \times 9.2 \times 10^{-12})^{1/2} = (7000 \times 9.2 \times 10^{-24})^{1/2} = 254pF \text{이다.}$$

나. IS(Inductance Signature) 방법

이 방법은 인덕턴스 변화가 단락시험을 하는 동안에 발생하는 원리를 이용하여 고장을 검출하는 기법이다. 실험장치 구성은 마이크로 프로세서의 공진회로와 주파수 계수를 가진 고장 검출기를 기본으로 하며, 충방전 전위차계를 통해서 DC 5V의 전압이 변압기 권선에 인가된다.

이방법의 원리는 인덕턴스 변화를 확인하는 것으로, 캐패시턴스에 의한 고장검출에는 민감하지

못하고 조그만 변형은 측정하거나 검출할 수도 없고, 고장난 위상의 확인은 불가능 하다. IS 방법의 장점은 장비의 이동이 가능하며 어떤 위치에서도 쉽게 사용할 수 있다는 것이다.

다. LVI 방법

이 방법은 권선단자에 저압충격을 인가함으로써 구성된다. RLC 회로망의 출력은 정현파이고, 상승 시간과 하강시간은 캐패시턴스와 인덕턴스에 의해 정해지며, 뎀핑은 권선의 저항 때문이다. 임펄스의 출력은 인덕턴스와 캐패시턴스의 변화에 의해 뚜렷하게 나타나며 이 방법은 권선변형을 측정하고 검출하는데 사용된다. LVI의 임펄스 전압을 변압기에 인가 하였을때 출력응답은 R(Shunt)간에 전압강하로서 얻어진다. 이 방법은 변압기 고·저압측에 대하여 정확하게 측정이 가능하며, 감도는 주로 $\propto(\sqrt{C_g}/\sqrt{C_s})$ 에 의존하고 변압기의 입출력 단자에서 고장점의 측정은 \propto 이 정상적으로는 적기 때문에 가능하다. LVI 장점은 단락시험 전후에 측정하여 조그만 변형도 쉽게 검출할 수 있으며, 측정 시간이 매우 적게 걸린다. 따라서 현장 측정시험은 LVI 시험을 시행하고 있으며 현재 규격에 의거하여 변압기 시험에 적용하고 있다.

2.2. LVI 특성

LVI는 단락시험 전후의 권선변형을 파형으로 진폭의 크기, 주파수 및 위상을 비교 분석하여 판단하는 시험법이다. 권선 변형을 확인하기 위한 방법으로 육안검사, 임피던스 변화, 여자전류 변화, 절연확인 등이 있으나 효과적인 방법은 아니다. 여자전류 변화시험은 코일의 잔여자속에 영향을 미치고, 육안검사는 통계적으로 볼 때 변압기 5대중에 2대 만이 육안으로 검출할 수 있으며, 절연확인 시험도 계속적으로 단락강도를 유지할 수 있는 판단기준이 어렵기 때문에 효과적인 시험방법은 아니고 단지 확인에 대한 판단 기준이다.

LVI 디퍼렌셜 방법은 권선변화를 측정하는데 있어서 매우 민감한 방법으로서, 축방향의 권선손상은 위상이동과 관련이 있고, 더 큰 축방향의 변화가 일어난다면 파형은 180° 이동이 된다. 반경 방향의 권선손상은 초기 주파수 성분을 유지하는 것 처럼 보이나 진폭과 크기가 변화한 것으로 나타난다. 만약 권선 변화가 반경방향으로 발생한다면 C_s 는 매우 조금 변하고 C_g 는 상당히 변할 것이다. 축방향으로 권선이 변화했다면 C_s 가 상당히

㊦ 입출력 회로는 전기적으로 간섭하지 않아야 한다.

저압 충격 시험기는 시험을 하는데 사람에게 미치는 위험 요소가 없으며, 전압 펄스를 인가하는데 빠르고 신뢰성 있게 설계되었고, 펄스회로는 개개 요소로 되어 있기 때문에 펄스 형태는 선택 스위치로 변화가 가능하며, 반복율이 크기 때문에 오실로스코프에 잘 나타난다. 따라서 시험기를 사용할 수 있는 범위는 기계, 변압기, 리액터의 권선 모델 등이 있고 가변이 가능한 임펄스 전압 조건으로 권선의 바파괴 시험을 하며, 케이블의 이동파에 대한 측정과 측정 시스템의 전달 특성 조사를 할 수 있다. 모든 임펄스 회로 구성은 임펄스 형상이 넓은 범위에서 변화가 가능 하도록 스텝(steps)으로 제작하였고 캐패시터와 저항값은 다양하게 구성하였다. 임펄스 전압의 최대값도 안정화 시킬 수 있고 트리거가 연속적으로 인가할 수 있도록 하였으며, 네가티브(negative) 파형을 제거하였기 때문에 오실로스코프상에는 포지티브(positive) 파형만 검출되도록 하였다.

모든 입력과 출력단자는 저압 충격 시험기 판넬 후면에 있고 조작단자는 판넬 전면에 위치 하도록 배열하였으며, 주요 구성회로는 Recurrent Trigger(RT), Manual Trigger(MT), Timing Control(TC), Surge Trigger(ST), Charging Control(CC)등은 개개의 부품으로 기능에 이상이 있을 경우 회로 보드(Circuit Boards)만 교체하여 간단히 유지 보수 할 수 있도록 설계하였다.

임펄스 전압은 charging control circuit에 의해 안정화 시키며, 펄스폭은 시간 조절 회로(Timing Control Circuit)내에서 서지를 발생시키는 싸이리스터로 조절된다.

파형은 오실로스코프에 기록되며 트리거 신호는 두 개의 다른 전압 레벨(levels)을 가진 BNC 코드를 이용한다. 임펄스 회로 구성 요소인 Cs(Impulse Capacitance : nF), Rs(Front Resistor : Ω), L(Series Inductance : μH), Rp(Tail Resistor : Ω), Cb(Load Capacitance : nF)의 선택 스위치로 조작자가 임펄스 형상을 선택하며, RT push-button을 누르면 반복을 60pps인 주파수가 동시에 동기되며, MT push-button을 누르면 수동적으로 동기된다.

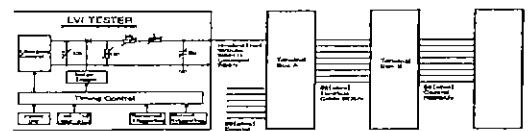
저압 충격 시험기 설계를 하기 위해서는 회로에 사용하는 주요 부품을 선정할 필요가 있으며 특히 트리거 펄스를 위한 싸이리스터 소자는 매우 중요하다. 싸이리스터는 펄스 상승시간과 밀접한 관계

가 있으며 전압은 800V이상 이어야 하고 di/dt는 클수록 상승시간이 빠르기 때문에 사양에 맞는 성능이 우수한 소자를 선택할 필요가 없다. 전반적인 기술자료는 표 1과 같다.

표 1. 저압충격 시험기의 설계치
Table 1. Design value of LV impulse tester

항 목	역 활	설 계 치
충전전압 출력전압	연속적 조작 부하와 펄스회로 에 의해 변함	0 ~ 600Vp-p, ±5% 최대 600Vp-p Selector dial
상승시간	상승시간 하강시간	50 ~ 1000ns -
펄스폭	-	200 ~ 1000ns
반복율 (주파수)	Auto Trigger Manual Trigger	60pulse/s(60Hz) Selector push-button
Cs(nF)	단계별로 구성	4.7/6.8/10/22/33/47/ 68/100/470/680/1000/ Selector push-button
L(μH)	10μH 단계별로 구성	0 ~ 100μH Selector Knob
Rs(Ω)	단계별로 구성	3.3/4.7/6.8/10/15/22/ 33/47/68/100/150/220/ 330/470/680/1K/ 1.5K/2.2K/3.3K/4.7K Selector Knob
Rp(Ω)	단계별로 구성	10/15/22/33/68/100/ 150/220/330/470/680/ 1K/3.3K/4.7K/10K/15K Selector Knob
Cb(nF)	단계별로 구성	0.47/0.68/1/2.2/3.3/ 10/22/33/47/68/100 Selector push-button
임펄스 터미널	Floating 전위 충전전압 출력 접지-Common	판넬 뒷면 Umax.=90V 판넬 뒷면
전원	선택전원 전원 케이블	110/220V 겸용, 60Hz 대략 2M

본 연구에서 제작된 저압충격시험기의 구성은 그림 4와 같다.



1. LV TESTER 100
2. LV TESTER - TERMINAL BOX A 2m/1EA
3. TERMINAL BOX B - TERMINAL BOX B 15m/1EA
4. TERMINAL A / B 2m/1EA
5. 100 Ω IMPEDANCE 5000/500 IMPEDANCE 1EA
6. 500 OHM TERMINATION (TR A 4EA TR B 4EA)

그림 4. 저압충격시험기의 구성
Fig. 4. Test connection of LV impulse tester

변하고 Cg는 조금 변한다. 변압기 권선의 변화 형태는 일반적으로 두가지 형태이며, Cs와 Cg의 관계는 $Cg > Cs$ 이면 α 는 커지고 일정한 속도로 전압펄스가 전송되며, 입력전압으로 부터 오실로스코프에서 측정된 시간은 권선변화점의 위치를 산출할 수 있다. $Cs > Cg$ 이면 α 값은 작아지고 펄스가 권선을 통과하므로 권선에 대한 파형을 측정하는데 있어서, 전압펄스 전송과 동시에 발생한 작은 α 값은 권선변화점의 위치를 찾기는 어렵다. 또한 단락은 내부권선을 압축시키는 경향이 있고, 외부권선의 버팀테에 힘을 가하는(Hoop Stress) 원인이 된다. 도체의 신장으로 Hoop Stress가 발생한다면 외부권선 저항은 증가할 것이다. 신장은 단락강도 시험후 도체의 길이 D_A 는 저항과 연관이 있으며 $D_A = D_B R_A / R_B$ 와 같다.

여기서

D_A = 단락강도 시험후 도체의 길이

D_B = 단락강도 시험전 도체의 길이

R_A = 단락강도 시험후 저항값

R_B = 단락강도 시험전 저항값

신장으로 인한 저항값의 변화는 도체의 길이 (D)/2와 같으며, 예를들면 저항 10%의 변화는 코일 직경의 5%변화를 발생시킨다. 측정용 캐패시턴스를 가변시켜 펄스상승 시간을 조절함에 따라 권선 측정에 필요한 주파수, 진폭, 위상 등을 관측하고, 측정전후의 변압기 유온 차이는 측정에 있어 오차를 유발시키나 심각한 문제는 아니다. 권선을 고정시키는 힘은 파괴시험인 단락강도 시험을 하는 동안 감소하나, LVI 시험은 비파괴 시험으로 변압기 권선측정에 영향을 주지 않는다. 이와같이 LVI 측정방법은 기본적으로 변압기에서 권선 변형에 따른 캐패시턴스 변화를 검출하기 위한 것이다.

LVI의 시험장비 사용기술은 현장에서 반복함으로써 개발되었고, 절연진단 시험에 있어서 감도가 매우 우수하다. 신장으로 외부 권선 직경이 0.07% 증가하면 임피던스는 0.5%변화하며, 단락강도 시험은 전류와 전압 파형이 고장을 분석할 수 있는 정보를 제공하나, 일반적으로 주요한 고장이 발생했을때 분석이 가능하기 때문에 변압기에서 권선 변화를 측정하는 문제는 매우 복잡하다. LVI 시험은 주로 변압기 유지 보수 관점에 적용되며, 디퍼렌셜 방법은 권선의 손상을 검출하는데 가장 감도가 우수하여 변압기 내에 변화를 검출할 뿐만 아니라 진전되어 있고 잠재되어 있는 위험 수위의

권선 움직임도 검출할 수 있는 장점이 있다. 권선이 변화된 위치 검출은 이동파에 의한 펄스를 전송함으로써 입력 신호로 부터 측정된 시간과 전달 속도에 의해 가능하다. 저압 충격 방법에 의해 변압기를 측정할 때 변압기의 측정은 접지나 배열의 어떤 변화에도 영향을 받지 않아야 하므로 변압기가 운전할 때 연결된 단자는 모두 분리 하는 것이 바람직하며, 시험 결선은 변압기 단자, 전류 측정용 저항(Shunt), 저압 충격기, 오실로스코프로 연결되며 외부 접속도 포함된다. 외부접속의 전기적인 매개변수의 변화는 권선 움직임 때문에 변화하는 것처럼 오실로그래프 기록의 변화를 일으키기 때문에, 예방책으로 저압 충격 시험기의 안정화 및 다음과 같은 요소들의 점검이 필요하다.

LVI로 측정하는데 영향을 주는 요소는 다음과 같다.

- Core Clamping Pressure의 손실
- 권선의 온도 변화
- 펄스를 인가하지 않은 권선단자에 대한 접지
- 내부 붓상과 권선 연결
- 외부 권선의 버팀테의 신장
- 권선 도체의 경사와 뒤틀림
- 변압기내에 기름이 없을때(권선변화 검출의 감도 문제) 등이다.

2.3. LVI 시험기 제작

LVI 시험 규격에 따라 현장에서 시험이 가능하도록 모든 조건을 고려하면 저압 충격 시험기, 케이블, 단자함으로 분류할 수 있다.

가. 저압 충격 시험기 제작

현재 사용중인 변압기의 안정성 검토를 위하여 저압 충격 시험을 수행할 수 있도록 하기 위한 시험기의 사양은 다음과 같다.

- ㉠ 출력전압 : 0 ~ 600 VP-P (가변)
- ㉡ 반복율 : 60 pps
- ㉢ 상승시간 : 50 ~ 1000 ns
- ㉣ 펄스폭 : 200 ~ 1000 ns
- ㉤ 사용 가능 범위 : 0 ~ 50 ns
- ㉥ 출력 모드 : Single and Dual BNC Receptacle
- ㉦ 출력 개수 : 1 Channel
- ㉧ 소요 전원 : 110V/220V 겸용 (PLC 뒷면에 전환 스위치 내장)
- ㉨ 내부 회로 전원 : 정전압 IC 소자 채택
- ㉩ 동작 온도 : 0 ~ 40℃, 습도 : 10% ~ 90%RH

케이블은 전압인가용과 측정용이 있으며 이들 케이블들은 외부의 잡음을 제거하기 위하여 동축(코액시얼:RG58A/U : 측정 과 부하 연결, 트라이 액시얼:RG8/U : 단자함 A 와 B 연결)케이블을 사용하였고, 용도에 따라 쓸 수 있도록 전압 인가용 케이블 1개, 측정용 케이블 14개, 단자함 연결용 케이블 8개를 제작하였다. 단자함은 저압충격 시험기 본체와 시료의 연결을 위한 매칭박스로서 내부에는 현장에서 측정이 편리 하도록 R(Shunt)와 분압기(Voltage Divider)를 내장 하였고, 2가지 형태로 단자함 A는 본체 및 측정을 위한 연결용이고 단자함 B는 시료인 변압기 연결용이다.

2.4. LVI 시험기 파형 분석

저압충격시험기의 성능을 확인하기 위해 외국(H사)에서 수입하여 사용하고 있는 시험기와 비교한 파형이 그림 5이다.

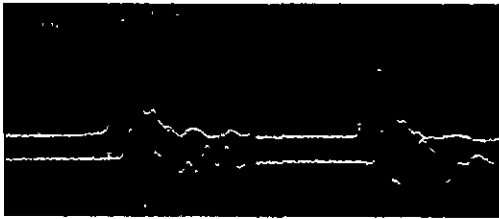


그림 5. LVI 시험기의 펄스상승시간 측정
Fig. 5. Rising time measurement of LVI tester

그림 5(a)가 본 연구에서 자체 개발된 시험기로서 펄스상승시간은 700[ns]이고, 그림 5(b)는 H사의 제품으로 500[ns]를 나타내고 있다. 펄스폭은 두 제품 모두 1000[ns] 미만으로 측정되었다. 그림 5의 상단파형이 인가파형이며, 하단이 유입변압기로 단락을 받지 않은 상태에서 측정된 파형이며, 인가파형에 따라 출력 파형이 다름을 알 수 있다. 따라서 LVI 시험에서 가장 중요한 펄스 상승시간이 50~1000[ns]이므로 시험기로서 적합하다고 할 수 있다.

그림 6은 본 연구에서 제작한 시험기로 유입변압기의 단락시험 전후 파형을 측정한 것이다. 그림 6(a)가 단락시험전 파형이고 6(b)가 단락시험후 파형으로 크게 변해있음을 알 수 있다. 이와같이 파형분석으로 변압기의 상태를 예측할 수 있으며 변압기를 해체하여 분해한 결과 권선이 축과 반경방향으로 변형되어 있었다.

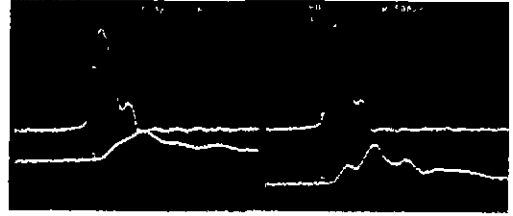


그림 6. 변압기의 파형분석
Fig. 6. Waveform analysis of transformer

3. 결론

변압기에서 권선변형을 확인하기 위한 방법으로 여러 가지 방법이 제시되고 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 조작이 간단히 측정을 쉽게 할 수 있으며 유지보수가 편리하도록 설계·제작되어 있다.
2. 현장시험을 위해 인가전압용 케이블과 단자함과의 거리를 15[m]로 모의해 트라이 액시얼 케이블을 사용한 결과 외부잡음을 효과적으로 제거할 수 있었다.
3. LVI 시험기, 단자함, 케이블을 제작하여 실험실에서 특성시험을 한 결과 현장에서의 진단시험도 충분히 적용할 수 있을것으로 사료되었다.
4. 변압기의 권선변형 상태에 따른 다양한 실험으로 자료가 수집된다면 파형분석으로 변압기의 찌그러짐 정도(반경방향, 축방향)를 충분한 알 수 있어 예방진단이 가능하리라 사료된다.

참고 문헌

- (1) A.C. Hall and P.G Parrott "Experience with the low voltage impulse testing of power transformers in service."
- (2) R.E Ayers "Low-voltage impulse testing of transformer."
- (3) E.J. Rogers, L.E. Humbard and D.A. Gillies "Low voltage impulse testing of power transformers", IEEE Paper 71 TP 535-PWR
- (4) E.P. Dick and C.C. Erven "Transformer diagnostic testing by frequency response analysis", IEEE paper F78 024-2