

변압기 권선변형 L.V.I. 진단 실적용을 위한 연구

조 국희, 강 동식, 김 광화, 권 동진
한국전기연구소, 전력연구원

A Study on L.V.I. Diagnosis Field Application of Transformer Winding Deformation

Kook-Hee Cho, Dong-Sik Kang, Kwang-Hwa Kim, Dong-Jin Kweon
Korea Electrotechnology Research Institute, KEPRI

Abstract

We describe the possibility of field application and the diagnosis method of winding deformation in the power transformers using L.V.I. test system.

Any winding deformation will result in a change of capacitance between winding parts and passibly some change in the winding inductance. These changes will then result in a change in the responce to the applied pulse in both the magnitude and period of the resulting oscillations.

And we discuss with respect to test result of model transformer and commercial transformer, appear good results with application possibility in field.

1. 서 론

송변전기기는 고압 대용량화로 진행되어 기기고장이 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 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. [1][2]

권선변형을 측정하는 방법은 1966년 폴란드의 Lech와 Tymins에 의한 LVI(Low Voltage Impulse)방법이 처음 제안되었으며 이 방법은 한쪽권선에 충격전압을 인가하여 다른 권선에 흐르는 유도전류를 저항(shunt)을 통해 측정하는 방법이다. 1969에는 Smith 와 Waters가 고압충격 시험원리를 이용하여 임펄스 전압을 인가하여 2상권선에 흐르는 전류간의 차이를 매우 높은 감도로 측정하는 방법으로, 단락강도 시험후에 파괴된 변압기에 적용한 결과 권선의 변형에 대해 파형이 다르게 나타나는 좋은 응답으로 검출되었으며, 단락강도 시험 전후의 권선상태 검사를 위해 가장 널리 사용되고 있다. [3][4]

따라서 본 논문에서는 권선 변형에 따른 측정파형의 변화를 관찰하고자 하여 유입변압기에 단락강도 시험전의 측정파형을 임피던스 변화가 30(%) 발생한 단락강도 시험후의 측정파형을 비교하였으며 이때 진폭은 3배가 변했고, 주파수도 저주파 형

태로 심하게 변화되었다. 이 값은 시험용 모의 변압기에서 캐패시턴스 330[V] V상의 탭에 1,200[nF]을 병렬로 연결하여 정한 파형과 비교할 수 있어 시험 데이터를 많이 확보하게 되면 정량적인 분석이 가능하고 LVI 진단방법이 현장에서 파형분석이 가능한 것으로 나타났다.

2. 측정장치 제작 및 시험회로 2-1. 측정장치

본 연구에서는 L.V.I 시험 측정을 위하여 L.V.I 시험 장치, 델변압기 및 유입 변압기를 설계, 제작하였다.

LVI 시험장치는 출력전압 가변(300~600[V])과 안정성이 수하고, 반복률은 50~1000pps (pulse/sec)로 펄스상승시 펄스폭은 변압기 권선 변화의 검출이 가능하도록 설계되었고 측정방향과 반경방향으로의 권선 움직임을 구별할 수 있는 능력이 있도록 제작하였다.

또한 3상, 50[kVA], 33[kV]/1.1[kV]인 외합이 없고 권선간이 있는 시험용 모델 변압기를 설계, 제작하여 캐패시턴스를 이용한 권선변형에 따른 출력파형을 기본회로와 차분회로로 비교 분석하였고, 이에 따른 L.V.I 시험장치의 성능을 평가하였다. 이 시험용 변압기는 각 상에 1차/2차의 탭을 여러개로 구성하였으며 1차/2차 탭 전압은 다음과 같다. [5]

1차 탭 전압[V] :

U/3630/3300/2970/2640/2310/1980/1650/1320/990/330

2차 탭 전압[V] :

u/1850/1480/1110/740/370/x

그리고 이 변압기는 단상결선 및 3상결선이 가능하며, 3상 시험시 결선으로 사용자의 결선에 따라 Δ-Δ, Y-Δ, Y-Δ, Y-Y결선으로 구분해 사용할 수 있다.

유입변압기는 3상, 정격용량 200[kVA], 22.9[kV]/230[V]로 용으로 설계하여 제작하였다. 이 유입변압기는 단락강도 시험으로 권선을 변형시켜 측정된 파형을 캐패시턴스를 병렬로 연결하여 모델변압기에서 측정된 결과와 비교, 검토를 하기 위해 제작한 것이다.

3-2. 시험회로

현재 LVI 시험은 ANSI C57. 12. 90(1993) Part II 3.

4.1.1항에 의거하여 시행되며, 시험이 가능하도록 구성하면, 구성요소는 LVI 시험기, 케이블, 단자함 및 변압기로 분류할 수 있으며 변압기 권선변형을 검출하기 위해서는 차분측정 전류 방법이 가장 감도가 우수하다. 3상 변압기에 적용되는 LVI 시험회로 구성은 그림 1과 같은 차분측정 시험방법이 있다.

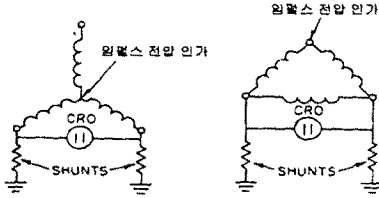


그림 1. 차분측정 시험 회로도

변압기 단락강도 시험은 지난 30년동안 단락사고로 인하여 변압기가 손상하는 양이 점차로 증가되고 있는 추세이므로 이미 IEEE Transformer Committee에서 단락강도 시험 규격 제안하였고 이 시험의 중요한 사안은 권선의 손상을 검출하는 것이다.

우리나라에서도 각종 변압기의 단락강도 시험은 한국전력 표준규격 BS-148(1968)이 제정되어 지금까지 개정해 오면 단락강도 시험을 실시하고 있다. 탭이 있는 변압기에 대해 단락강도 시험을 모의하면, 외부회로 단락으로 규정된 단락전류가 소정시간 흘러도 각 탭에서 열적, 기계적 손상없이 견딜 수 있도록 설계와 제작을 하였는지 확인하는 것으로, 외부회로 단락이란 3상단락 뿐만 아니라 선로와 선로의 단락, 이중단락, 1선지락 고장 등을 의미한다. 따라서, 본 연구에서 시험한 변압기 단락강도 시험회로는 그림 2와 같다.

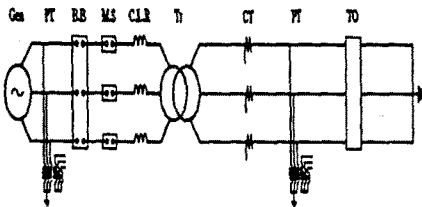


그림 2. 변압기 단락강도 시험회로

3. 시험결과

변압기를 3상으로 결선하여 중성점에 임펄스 전압을 인가하고 두상(U상, V상)을 차분방식으로 측정하여 비교하였다.

표 1. 차분방식으로 측정된 비교 분석표(V상)

Case	U상, V상 1차/2차별[V]	V상 캐패시턴스 결선 및 용량	파형 조정용 소자				그림 No.
			Cs	Cb	Rp	Rs	
1	3300/1110	-	33	2.2	15	3.3	10
2	3300/1110	3300V 1200nF	33	2.2	15	3.3	11
3	3300/1110	2640V 1200nF	33	2.2	15	3.3	12
4	3300/1110	330V 1200nF	33	2.2	15	3.3	13

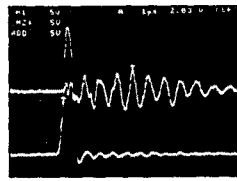


그림 3. Case 1인 경우

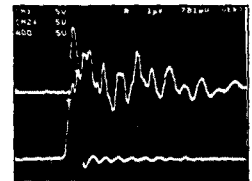


그림 4. Case 2인 경우

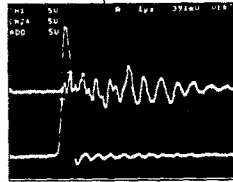


그림 5. Case 1인 경우

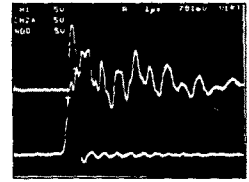


그림 6. Case 2인 경우

그림 3은 캐패시턴스가 없는 정상상태에서의 LVI 파형으로 U상과 V상을 합한 차분방식으로 측정된 파형이고 하단이 인가펄스이다. 임펄스전압은 300[V]이고 상승시간은 500[ns]이다. 그림 4는 3300[V] V상의 탭에 캐패시턴스 1,200[nF]를 병연결하여 측정하였다. 그림 3과 비교하였을 때 임펄스 전압을 인가하고 1.5[μs] 후에 주파수와 크기가 조금 변화하였음을 알 수 있다. 2.5[μs]에서 보면 주파수의 위상이 180[%] 바뀌어 옛 권선의 변형을 예측할 수 있었다.

그림 5는 2640[V] V상의 탭에 캐패시턴스 1,200[nF]를 병연결하여 측정하였다. 그림 3과 비교하였을 때 임펄스 전압을 인가하고 0.5[μs] 후에 주파수와 크기가 변화했는데 특히 크기가 1.5배 커졌음을 알 수 있고 변화된 파형의 구별이 가능하였다.

그림 6은 330[V] V상의 탭에 캐패시턴스 1,200[nF]를 병연결하여 측정하였다. 그림 3과 비교하였을 때 임펄스 전압을 인가하고 0.5[μs] 후에 주파수와 크기가 뚜렷하게 변화했으며 특히 크기가 5배 커졌음을 알 수 있고 주파수의 변화도 심하게 관측되어 변화된 파형의 구별이 가능하였다. 이와 같은 관점에서 권선변형의 범위가 전반적으로 넓게 분포되어 있으면 파형의 구별이 더 명확해 짐을 알 수 있었고, 차분방식의 측정은 파형변화를 확인하는데 있어서 효과적인 것으로 판단된다.

그리고, 실제 사용되고 있는 3상, 200kVA, 22.9kV/220V로 압축이 외부권선이고 저압측이 내부권선인 탭이 없는 유입변압기를 제작하여 단락강도시험 전후 권선변형에 따른 출력파형을 비교분석 하였다.

변압기 단락강도 시험전에 차분방식으로 LVI 파형을 비교분석한 결과 특별한 이상이 검출되지 않았으며 그림 7과 그림 8이 차분방식으로 측정된 파형이다.

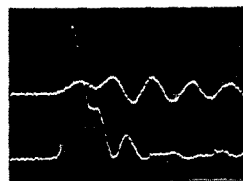


그림 7. W상+V상 측정

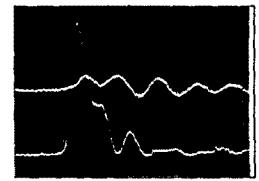


그림 8. W상+U상 측정

변압기 단락강도 시험후 그림 9의 오실로그림에 나타난 바와 같이 단락전류가 계산값보다 상승해 임피던스를 계산한 결과 30(%) 변하여 단락강도 시험전 LVI 파형과 비교분석을 하였다.

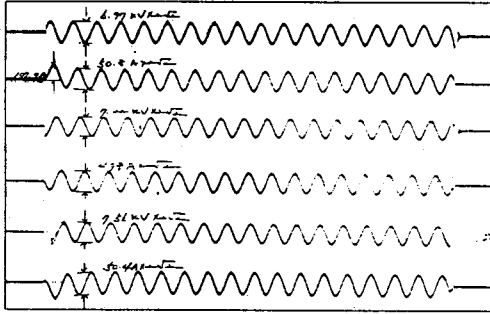


그림 9. 3상 단락강도 오실로그림

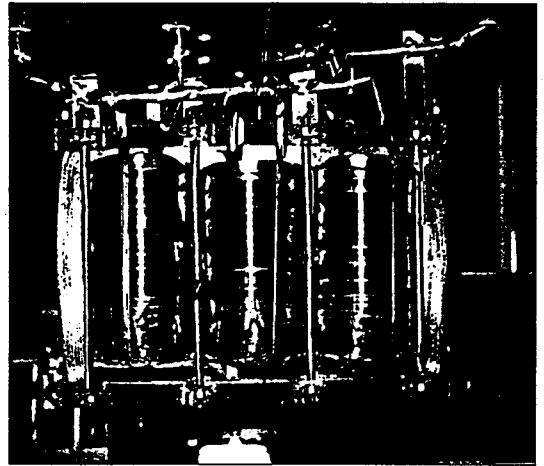


그림 12. 유입변압기의 권선 변화 상태

변압기 단락강도 시험후에 그림 10과 그림11의 차분방식으로 LVI 파형을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

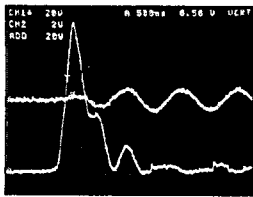


그림 10. W상+V상 측정

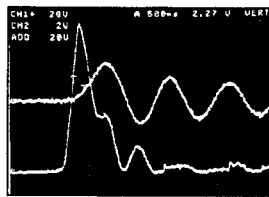


그림 11. W상+U상 측정

그림 10은 차분방법으로 그림 7과 비교할 때 크기가 작아졌고 주파수의 변화도 구분이 되어 권선변형 예측이 가능하였다.

그림 11은 그림 8과 비교할 때 주파수의 변화가 확연하게 드러났고, 크기는 3배로 커졌으며, V상보다, U상으로 차분측정할 때 파형의 변화가 뚜렷한 것으로 보아 더 큰 권선의 변화가 생겼으리라 예측할 수 있고, 이상과 같은 비교에서 3상 모두 측방향보다는 반경방향으로 권선이 변한 것으로 생각할 수 있었다.

따라서 시험용 모델변압기로 측정한 결과에서 그림 6은 크기가 5배 커졌고 주파수가 저주파 형태로 나타난 것과 같이 유입변압기의 그림 11도 권선변형이 없을때보다 권선변형이 생겼을 때 크기는 3배크고 저주파 형태로 나타나, 모델변압기에서 캐패시턴스 변화에 따른 데이터로 실 변압기를 측정해 정량적인 임피던스 변화를 예측할 수 있으리라 사료되었다.

LVI 시험을 끝내고 유입 변압기를 해체 분해한 결과 고압측의 권선은 측방향의 위로 올라갔고 저압측은 아래로 처졌으며 권선의 버팀목도 파괴되어 있었다.

그림 12가 해체된 유입변압기이며 그림에서 보는바와 같이 권선의 배열형태도 일정하지 않고 턴간 사이도 벌어졌으며 3상 모두 반경방향으로 변화가 심하게 발생했다. 특히 U상(그림의 오른쪽)이 가장 심하게 권선이 변해 있어 LVI 시험결과와 일치함을 보여주었다.

4. 결론

이와 같은 관점으로 본 연구에서는 LVI 시험기를 제작하고 시험실에서 시험을 시행하여 LVI 시험기의 성능을 평가하고, 모델변압기와 유입변압기를 단락강도 시험 전후에 LVI 시험으로 파형을 분석하여 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 시험용 모델변압기에서 3상으로 권선변형을 캐패시턴스로 모의한 결과 권선변형 분포에 따라 크기, 위상 및 주파수가 변하는 정도를 추측할 수 있는 가능성을 제시하였다.
2. 시험용 모델변압기의 캐패시턴스 변화에 따른 진폭크기 변화와 권선변형 분포에 따른 시험결과를 실 변압기에 적용한 결과 캐패시턴스 변화에 의한 데이터 확보에 따라 주파수와 진폭의 크기로 변압기 임피던스의 변화율을 예측할 수 있으리라 사료된다.
3. 유입변압기를 분해하여 살펴본 결과 LVI 시험에서 나타난 것처럼 3상 모두 반경방향으로 변화가 심하게 발생하였으며 특히 U상이 가장 심하게 권선이 변해 있어 LVI 시험결과와 일치함을 보여주었다.

(참고문헌)

- [1] W. Lech and L. Tyminski, "Detecting Transformer w Damage. The Low Voltage Impulse Method", Ele Review Vol. 179, No.21, PP. 768-772, 1966
- [2] R. A. Smith and M. Waters, "Detection of w Damage in Power Transformers using the Low Vo Impulse Method.", ERA Report No. 5252, 1969
- [3] E. J. Rogers and L. E. Humbar, "Low Voltage I Testing of Power Transformers." IEEE Paper N TP535-PWR., PP1281-1293, 1971.
- [4] "IEEE Guide for Short-Circuit Testing of Distr and Power Transformers" Part II ANSI/IEEE C5 90 (1993) pp. 61-75
- [5] 조 국회 외 "저압충격을 이용한 변압기에서 권선변형 측정" 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, pp 338-390, 1997.