

變壓器卷線(層間)短絡時的 衝擊波試驗波形分析에 관한 研究

Study on the Analysis of Impulse Test Wave in the Short Coil (Layer) of Transformer Winding

朴 旻 鎬*
(Min Ho Park)

한 권
25~5~4

Abstract

The most difficult problem encountered in impulse test of transformer is the determination of exact fault for coil layer short.

This paper is to establish one of improved standards in the above case by means of wave form analysis, based on the equivalent circuits and experimental investigation

During the fault occurs, the local oscillation in fault circuit is applicable where as the reflection wave is utilized to the main circuit. The result current wave form at neutral impedance point is similar to the wave form by impulse test and has the singular wave form respectively.

1. 序 論

變壓器衝擊波試驗에 있어 가장 문제가 되는 것은 故障判別이다. 故障判別이 확실히 判定되지 않아 비록 적은 故障이라도 이 判別에 失敗하면 이 變壓器로서는 그 만큼 絕緣耐力的 弱점을 지니고, 후일 送配電系統에 사용할 때 變壓器自體뿐만 아니라 系統에 까지 故障波及의 危險性이 있게 된다. 그래서 國內 各 變壓器 製作會社는 반드시 製品에 대한 衝擊波試驗을 해야 하고, 또 BIL가 높은 變壓器가 점차적으로 要求됨에 따라 이 試驗의 必要性和 試驗結果에 대한 故障檢出의 重要性을 再認識하게 되었다.

變壓器製作후 위에서 말한 Surge 電壓에 變壓器가 견딜 수 있다는 것을 立證하는 衝擊波試驗方法은 J.H. Hagenguth⁽¹⁾에 의해 처음으로 中性點電流波形法이 開發되었고, 그 후 H.C. Stewart⁽²⁾, L.C. Aicher⁽³⁾ 등의 研究에 의해 故障檢出法에 큰 發展을 가져왔다. 현재 KSC⁽⁴⁾의 方法으로는 電流, 電壓의 波形을 그림 1(a)와 같이 50%基準(BIL)에 대하여 測定하고, 다음에 100%基準에 대한 試驗波形을 그림(b)와 같이 測定하여 두 그림을 比較하여 故障有無를 判別한다. 그림(b)에서 알다시피 波尾(電流波形)의 部分은 그림(a)에 비해 異常이 있으므로 變壓器로서 故障를 초래하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 이것이 變壓器內의 어떠한 部分의 故障이라는 判別은 多年간의 經驗에서 이루어 지는 경우가 많다.

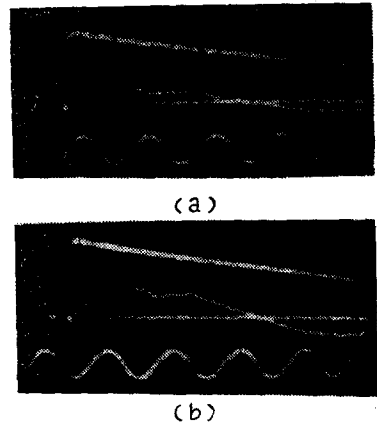


그림 1. 波形比較에 의한 故障判別
Fig. 1. Failure detection by comparison, full wave (b) with 50% reduced full wave(a)

故障中에서도 層間 또는 卷回間의 損傷의 檢出은 대단히 곤란한 것으로 되어 있고, 이것이 현재로서 故障檢出에 대한 研究問題의 중심이 되어 있다. 本 研究에서는 이 경우의 變壓器等價回路를 구성하여 定性的인 波形을 解析하는 동시에 衝擊波試驗에서 卷線部分 短絡 및 層間短絡時의 波形資料에 의한 實驗的 考察에서 이 個所의 故障時의 波形의 特異性을 究明하고자 한다.

2. 變壓器等價回路에 의한 故障波形的 解析

變壓器 1次卷線의 衝擊波分布定數回路는 그림 2(b)와 같은 測定回路를 구성하고 있다. 여기서 a-b간의 層間卷線은 衝擊波電位振動에 의해 短絡될 可能性이 있

* 正會員 : 서울大 工大教授 · 工博(當學會調查理事)
接受日字 : 1976年 8月 2日

는 故障點 F를 내포하고 있다고 가정한다. 그리고 그림 2(a)는 振動電位の 어느時刻에 全卷線에 分布된 電壓의 波形을 표시한다. a의 位置의 코일의 大地에 對한 電壓은 E_a , b位置에서는 E_b 가 되고 따라서 a-b간의 電位差는 $E_a \sim E_b$ 가 된다.

衝擊電壓의 時刻에 따르는 内部振動電位分布의 예는 MKC⁽⁶⁾ 理論에서 그림 3과 같이 표시되고 電位振動중 $E_a \sim E_b$ 가 F점을 Fresh over할 정도로 큰 電壓이라 하면 이 때 a-b간은 短絡故障(예로는 抵抗分을 통하여 不完全短絡) 狀態가 되고, 이 순간부터 電位振動狀態

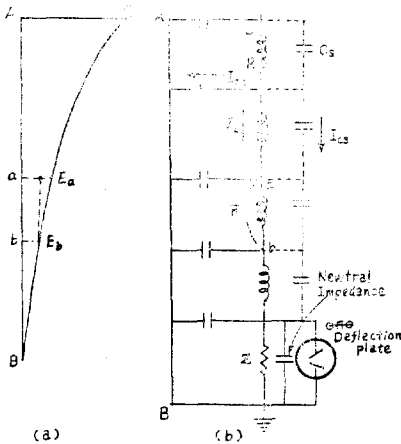


그림 2. 變壓器等價回路와 電位分析
Fig. 2. Equivalent circuit of transformer winding (b) and potential distribution

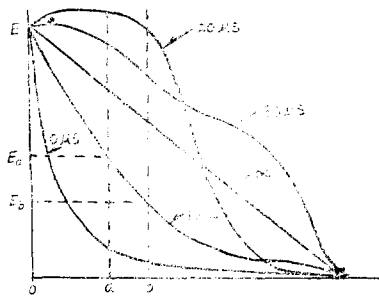


그림 3. 時間에 따르는 電位分布曲線
Fig. 3. Potential distribution curve with time

는 달라진다. 그러나 層間短絡부분은 變壓器 全卷線에 對한 비율이 적으므로 印加衝擊電壓波形式으로 故障判別을 하기는 불가능하다. 따라서 이 경우에는 中性點電流의 變化波形을 檢出하여야 한다.

그림 2(b)에서 F에 의해 단락되는 순간 a-b간에는 電壓이 0이나 $E_a \sim E_b$ 의 電位가 존재한다고 하면 a-b간의 코일에는 逆方向으로 $-(E_a \sim E_b)$ 의 전압이 가해

진다고 보는데 이 경우의 中性點電流波形은 全卷線의 健全時의 電位振動에 의한 電流와 故障短絡된 a-b간의 卷線의 局部回路內의 反射波電位振動에 의한 電流와의 重첩과형으로 形成된다고 解析된다. 여기서 變壓器는 일반적으로 1次 卷線이 多重卷線으로 되어 있고 그림 2(b)의 a-b간의 卷線部分의 等價回路는 그림 4(a)와 같이 LC 分布定數回路를 구성하고 있다. 이것의 變形回路를 표시하면 그림 (b)와 같고 이때 $-(E_a \sim E_b)$ 의 電壓을 이 回路에 加하였다고 하면 振動을 하게 된다. 즉 그림 4(b)의 簡易回路인 그림 5(a) 回路에서 써어지 · 임피던스 Z, 端子인덕턴스 Z_0 에서 e에 대한 印加

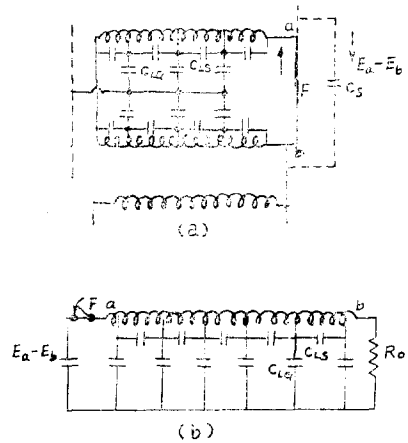
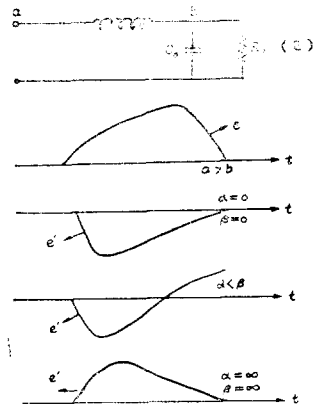


그림 4. 局部振動回路(a)와 等價回路(b)
Fig. 4. Local transient circuit(a) its equivalent(b)



surge impedance $Z = \frac{1}{Y}$ $\alpha = \frac{1 - YR_0}{CoRo}$, $\beta = \frac{1 + YR_0}{CoRo}$
그림 5. 進行波의 反射
Fig. 5. Reflection of traveling waves

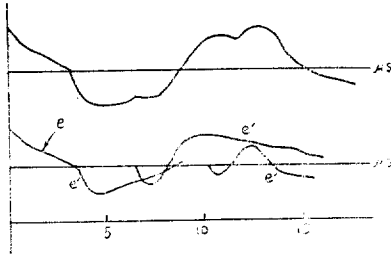


그림 6. ab회로내의 進行波의 合成波形
 Fig. 6. Resultant waveforms of traveling waves in a-b circuit

電壓에 의해 反射波電壓 e' 의 進行波形은 그림(b)와 같이 되고, α, β 의 값에 따라 反射波形의 모양이 달라진다. 이 경우에 局部回路에는 계속적인 反射(Successive Reflection)가 그림 6과 같이 일어난다. 즉 故障回路를 1往復하는 反射時間은 짧아져 1次卷線의 傳播時間에 波形이 重複된다. 결과적으로 中性點電流는 健全時의 電流와 局部回路에 의한 電流 와의 중첩인 波形이고, 前者의 경우는 이미 많은 文獻에서 검토되어 있고, 後者의 경우는 局部回路의 振動電流를 그림 6과 같이 구 하므로써 卷線短絡時의 故障電流의 特異性을 알 수 있게 된다.

3. 故障波形의 實驗的考察

그림 7은 衝擊波試驗結果 卷線層間의 故障으로 判別된 波形의 代表的인 것이다.

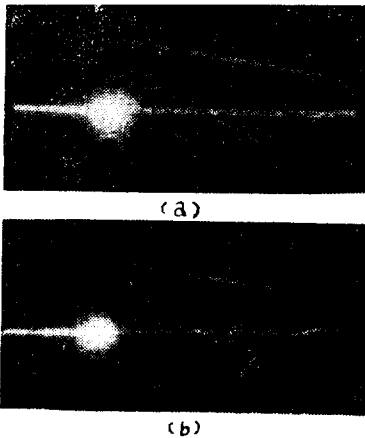


그림 7. 層間短絡時의 故障波形
 Fig. 7. Failure waveform when coil layout shot (a) and short with resistance

이 波形의 測定方法은 그림 9의 impulse 發生裝置의 A에서 印加電壓波形, B에서는 中性點電流波形을 동 시에 얻도록 하였다.

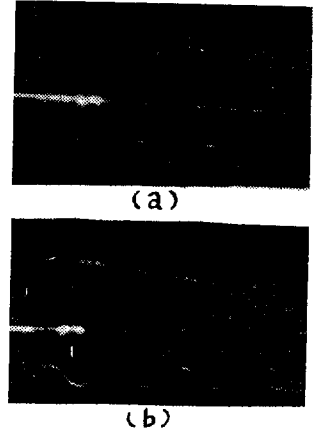


그림 8. 그림 7의 變壓器의 修理후의 波形
 Fig. 8. Waveform after repair of fault transformer of Fig. 7.

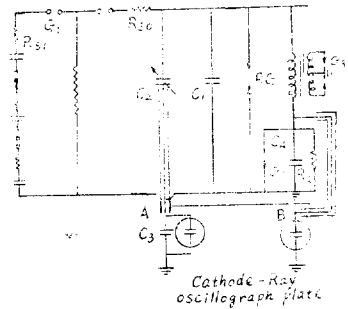


그림 9. 配電用 變壓器에 대한 impulse 發生回路
 Fig. 9. Impuls testing circuit for distribution transformer

靜電容量 C_4 와 shunt로 抵抗를 넣은 것은 充電電流가 遲延되어 容量에 과대한 電壓이 걸리는 것을 방지하기 위해서이다. 또 發生器와 供試變壓器사이의 放電 gap RG를 사용할 때는 容量의 充電電荷가 남아있으므로 적당한 漏洩抵抗를 사용하였다. 그리고 오시로스코프의 스캐닝 時間은 $40\mu s$ 로 하였다.

· 無故障時의 波形은 그림 8(a), (b)와 같이 되고(修理後) 그림 7(a)는 그림 8(a)의 故障時의 波形이다. 衝擊電壓印加후 $10\mu s$ 에서 故障이 發生하여 그림 8(a)의 電流波形上에 全卷線의 7%가 되는 局部回路에 의한 振動波가 중첩되어 連續인 突起波形을 나타내고 있다. 그림 7(b)는 그림 8(b)의 경우의 故障波形이고 故障位置, 故障範圍는 그림 7(a)와 같으나 故障回路에 抵抗이 插入된 경우이고 故障發生은 $15\mu s$ 후에 생기고 局部回路의 發振周期는 약 $5\mu s$ 이고 그림(a)에 비해 느리다, 그리고 두 故障狀態에서 印加衝擊波電壓에는 變動이 없다는 것을 알 수 있다.

參 考 文 獻

4. 結 論

變壓器의 層間短絡波形分析에 의한 故障判別은 종래의 經驗의 판단으로는 誤判할 可能性도 많고, 한편 확실한 판단을 내릴 정도가 되려면 많은 經驗과 時間을 가져야 하는데, 본 研究에서는 衝擊波等價回路의 解析에서

- (1) 全卷線의 等價回路에 의한 電流는 故障이 없는 것으로 하고
- (2) 故障으로 발생하는 現象을 局部回路에서 얻어내므로 故障中性電流의 定性的解析이 가능하였고, 그 結果는 實際 試驗에서 나타난 波形을 쉽게 判定할 수 있다.

- (1) J.H. Hagenguth; "Progress in Impulse Testing of Transformer," AIEE Trans. Vol. 63, 1944, pp. 999~1005
- (2) H.C. Stewart, J.E. Holcomb; "Impulse Failure Detection Transformer," AIEE Trans. Vol 64, Sep., 1945, pp. 640~844
- (3) L.C. Aicher; "Experience with Transformer Impulse Failure Detection Methods." AIEE Trans. Vol. 67, 1948, pp. 1621~1631
- (4) 한국규격협회; "소형전기기의 충격시험방법", KS-C 0905, 1969.11
- (5) L.V. Bewley; "Traveling Waves on Transmission Systems," Dover Publication, Inc., New York, 1933.