

流動帶電에 미치는 變壓器 材質의 影響

權 東 震* · 姜 昌 龜* · 郭 熙 魯* · 金 載 哲* · 李 德 出**
* 송실대학교 ** 인하대학교

Effect of Materials on Streaming
Electrification in Transformer

(Dong-Jin Kweon* · Chang-Gu Kang* · Hee-Ro Kwak* · Jae-Chul Kim* · Deok-Chul Lee**)
* Soong-Sil UNIV. ** In-Ha UNIV.

In a large power transformer, an insulating oil is forced to circulate for cooling the heat generated by the losses within the windings and core. When oil flows and rubs against various materials, including insulating paper and steel, electrostatic charges are separated at the interface of the oil and the solid material. This paper considers the polarity and the streaming electrification of the various materials which are used in transformer. As a result of this study, it is confirmed that the leakage current on the solid material, such as paper, is charged negative. On the other hand, the solid material, such as steel, is positively charged.

1. 序 論

變壓器 권선을 효과적으로 냉각시키기 위하여, 變壓器 油는 大容量 變壓器에서 강제 순환된다. 絶緣油의 순환은 變壓器內의 고체물질과 마찰될 때 靜電荷가 絶緣油와 고체물질의 界面에서 분리된다.^{[1][2]} 최근, 變壓器의 정격電壓과 容量이 증가하고 있다. 이러한 추세는 變壓器 内部에서 발생하는 熱을 더욱 효과적으로 냉각시키기 위하여 絶緣油의 流動量이나 유속의 증가를 필요로 하게 되며, 靜電帶電의 관점에서 이러한 증가는 絶緣油의 流動으로 因하여 발생하는 帶電電荷의 量을 증가시키게 될 것이다.^[3] 絶緣油의 流動으로 발생된 正, 負의 電荷들은 傳導, 擴散, 再結合등에 의하여 완화, 소실되며, 緩和時間이 큰 곳에서는 傳導, 擴散등으로 소멸되기 힘들다.^[4] 정격電壓이 증가함에 따라 절연물질은 더 높은 저항율을 필요로 하게 되고, 流動帶電으로 발생한 帶電電荷의 누설을 곤란하게 할 것이다. 絶緣油에 의해 발생하는 電荷가 누설되는 電荷보다 많을때 空間電荷 분포를 형성하게 되며, 絶緣油속이나 고체 절연물질에서의 帶電電荷의 축적은 강한 DC 電界를 만들게 되고, 만일 이 DC 電界가 어떤 정도를 넘어서면, 油中 靜電放電이나 沿而放電을 일으킬 수 있다.^[5] 결과적으로 電力用 變壓器의 容量이 증가하고, 系

統電壓이 증가함으로써 變壓器內에서 발생하는 流動帶電은 증가하게 될 것이며, 그 영향은 더 이상 무시할 수 없게 될 것이다.

本 論文에서는 變壓器의 絶緣油 순환과 유사한 실험장치를 사용하여, 초고압 電力用 變壓器의 온전상태와 유사한 조건으로 유속과 유온을 변화시켜, 變壓器의 각종 材質에서 발생하는 帶電量 및 극성등에 관하여 연구 및 검토를 하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法.

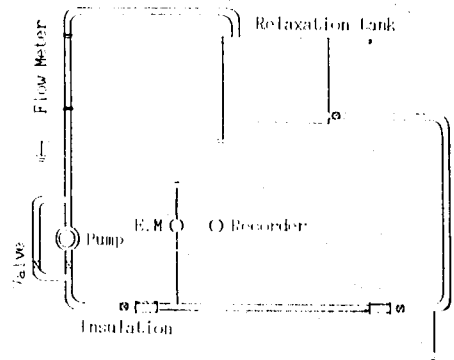


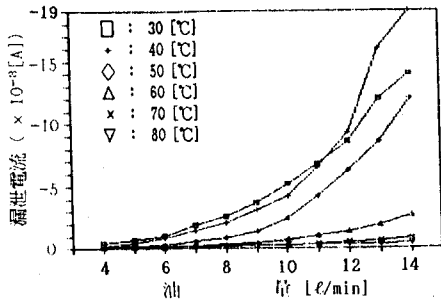
그림 1 실험 장치

Fig. 1 Experimental apparatus.

그림 1은 강제 油냉각 大容量 變壓器의 油 순환 과정과 유사한 실험장치이다. 실험에 사용한 絶緣油는 일반 變壓器에서 사용하고 있는 鑛油系 絶緣油를 사용하였다. 絶緣油는 펌프에 의해 탱크로 보내지고 실험용 파이프를 통과한 후 다시 펌프로 순환된다. 이때, 실험용 파이프에서 고체물질과의 마찰로 靜電荷분리가 발생한다. 실험용 파이프에서 발생한 電荷는 Electrometer(TR 8651, TAKEDA)를 거쳐 대지로 누설되며, 전류치는 기록계(MFG. No 205 176, SECONIC)로 기록된다. 絶緣油의 온도를 변화시키기 위하여 모델 變壓器(800mm × 400mm × 500mm)에 히터와 온도 제어장치를 설치하

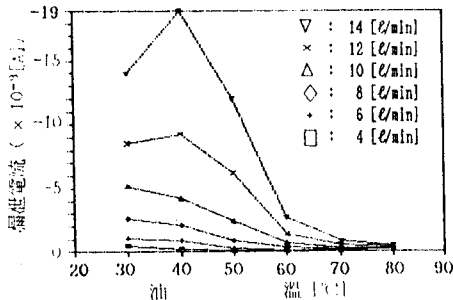
여 30-80[°C]까지 온도를 변화시켰으며, 油速의 변화는 제어 벨브로 0.2[m/s]에서 1.9[m/s]까지 조절하였다. 실험용 파이프는 變壓器 각 부분에서의 電荷분리를 판단하기 위하여 變壓器에 사용되는 구성물로 길이 1[m], 구경 15[mm]의 파이프를 제작하였다. 실험용 파이프는 電氣的으로 絶緣하기 위하여 양단을 Polyvinyl Colloride로 절연, 분리하였고, 실험용 파이프 이외 부분의 영향을 방지하기 위하여 모델 變壓器 및 펌프등은 직접 접지를 했으며, 外亂을 방지하기 위하여 실험용 파이프 주변과 Electrometer 부분을 차폐하였으며, 측정신호전달은 이중 차폐 케이블을 사용하여 外亂을 방지하였다.

3. 實驗結果 및 考察



(a) 유속과 누설전류의 관계

(a) Relation between Oil Velocity and Leakage Current from Electrode.



(b) 유온과 누설전류의 관계

(b) Relation between Oil Temperature and Leakage Current from Electrode.

그림 2 絶緣紙의 누설전류

Fig. 2 Leakage Current of the Paper.

그림 2는 실험용 파이프가 絶緣紙일때의 油速과 油溫에 따른 漏泄電流의 관계이며, 전극으로부터 대지로 누설되는 電流는 負극성을 나타내었다. 이것은 絶緣油의 流動으로 絶緣油와 絶緣紙의 접촉면에서 電荷분리가 일어날 때 絶緣油속으로 正電荷가 분리되어 흘러가고, 絶緣紙 표면에는 負電荷가 남아 대지로 누설된 것으로 사료된다. 그림 (a)의 漏泄電流와 유속의 관계는 저속도 영역에서는 絶緣油의 유동속도에

비례하여 증가하고, 고속도 영역에서는 絶緣油 유동속도의 2승에 비례하여 증가하고 있다. 그림 (b)의 온도에 따른 漏泄電流의 관계는 온도의 상승에 따라 40[°C]부근에서 최대치를 나타내고 있다.

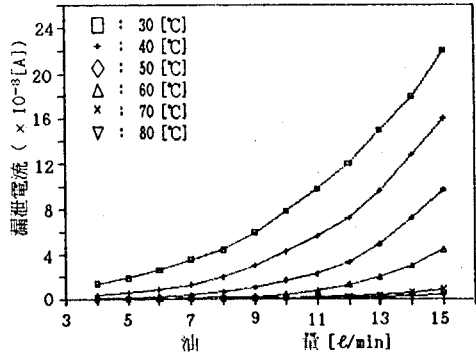


그림 3 Steel의 누설전류

Fig. 3 Leakage Current of the Steel.

그림 3은 실험용 파이프가 Steel일때의 漏泄電流를 나타낸 그림이다. 이때의 漏泄電流의 極性は 正極性으로 나타났다. 같은 絶緣油에서도 실험용 파이프의 재질이 다름으로 인하여 帶電구성도 다르게 나타난 것은, 油중의 어떤 이온을 선택적으로 흡착하는 電荷이동현상이^[4] 고체의 성질에 따라 다르게 나타난 것으로 사료된다.

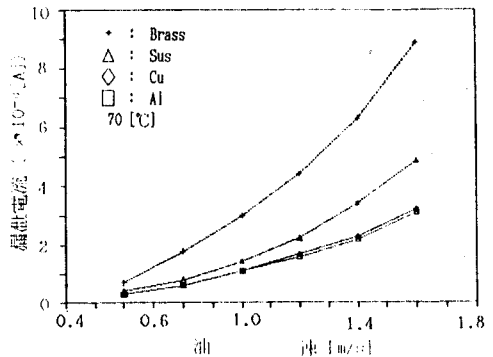


그림 4 각종 금속에서의 누설전류

Fig. 4 Leakage Current of the various Metals.

그림 4는 變壓器에서 사용되고 있는 물질중 알루미늄, 구리, 황동 및 스테인레스등으로 실험용 파이프를 만들어 실험한 결과이다. 이때의 漏泄電流는 모두 正극성을 나타내었으며, 帶電量의 크기는 황동인 경우가 가장 크게 나타났으며, 구리와 알루미늄의 경우는 황동에 비하여 월씬 적게 나타났고, 스테인레스는 황동과 구리의 중간정도의 크기를 나타내었다. 이상의 결과로부터 絶緣油가 펌프에 의해 流動될 때 變壓器內의 帶電電荷분포를 추정하면 다음과 같다. 펌프에 의해 變壓器 하부로 보내진 絶緣油는 變壓器 내부의 絶緣紙와의 마찰로 인하여 正電荷로 帶電되어 變壓器 상부로 이동하고 絶緣紙는 負電荷로 帶電된다. 正으로 帶電된 絶緣油는 유

동속도가 낮은 變壓器 상부에서 완화, 소실되며, [7] 일부는 냉각기로 들어가게 될 것이다. 냉각기로 들어온 正電荷는 냉각기에 의해 발생되는 負電荷와 결합하여 소실되고, 냉각기에서 발생한 負電荷는 펌프에 의해 다시 變壓器 내부로 보내지게 된다. 결국, 變壓器 내부의 絶緣油는 냉각기에서 발생한 負이온과 絶緣紙로부터 분리된 正이온의 이온쌍에 의해 결정될 것이다.

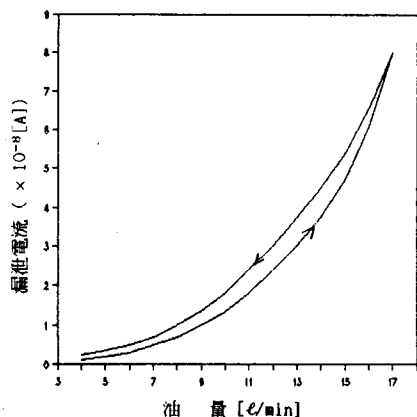


그림 5 온도와 대전경로의 관계 (油溫: 50℃)

Fig. 5 Relation between Oil Temperature and Charging Path.

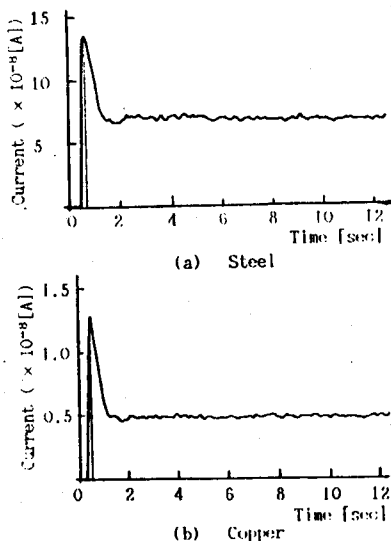


그림 6 누설전류의 시간특성

Fig. 6 Time Characteristics of Leakage Current. (10 ℓ/min, 60℃)

그림 5는 絶緣油의 온도를 증가시킬 때와 감소시킬 때, 일정 온도에서 측정된 漏泄電流의 경로이다. 그림에서와 같이 같은 온도에서 측정하였음에도 漏泄電流의 대전경로는 다르게 나타났다. 그림 6은 絶緣油를 流動시킬 때의 時間特性을 알아보기 위하여 펌프를 가동시킴과 동시에 漏泄電流를 측정하였다. Steel일 때의 漏泄電流는 0.5초후부터 급격히 증가

하여 0.7초후에 최대치에 도달하고 1.5초뒤 안정되었다. 이때의 最大電流는 안정된 후 電流의 1.8배가 되었다. 한편, 구리일 때의 漏泄電流는 0.3초 후부터 급격히 증가하여 0.5초후에 최대치에 도달하고 1.2초뒤 안정되었다. 이때의 最大電流는 안정된 후 電流의 2.7배가 되었다. 다른 물질에서도 다소의 차이는 있지만 같은 경향을 보이고 있다. 이는 펌프의 가동과 함께 絶緣油의 流動에 渦流가 발생함으로써 안정된 후의 電流의 몇 배나 되는 過度狀態가 발생한 것으로 해석된다. 이러한 결과로 미루어 실 계통에서 絶緣油 펌프의 잦은 ON, OFF는 축적된 帶電電荷의 油中 靜電放電이나 沿面放電을 일으키는데 아주 큰 영향을 미칠 것으로 추정된다.

4. 雜 論

실계 變壓器의 油 循環과 유사한 모의 변압기 실험장치를 사용하여 變壓器에 사용되는 각종물질에 대한 유동대전 현상에 관하여 연구한 결과, 絶緣紙와 絶緣油의 관계에서 絶緣油는 正으로 帶電하고, 금속과 絶緣油의 관계에서는 絶緣油가 負로 帶電되었으며, 帶電量의 크기는 황동인 경우에 가장 크게 나타났으며, 구리와 알루미늄의 경우는 황동에 비하여 훨씬 적게 나타났고, 스테인레스는 황동과 구리의 중간경도의 크기를 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Higaki, et al., " Static Electrification and Partial Discharges caused by Oil Flow in Ford Oil Cooled Core type Transformers ", IEEE Trans., Vol. PAS-98, No.4, pp.1259-1276, 1979
- [2] 日本 靜電氣學會, " 靜電氣ハンドブック ", オーム社, pp.101-107, 381-387, 1986
- [3] S. Shimizu, " Electrostatics in Power Transformers ", IEEE Trans., Vol.PAS-98, No.4, pp.1244 - 1250, 1979
- [4] M.Yasuda, " Suppression of Static Electification of Insulating Oil for Large Power Transformers ", IEEE PES Winter Meeting, Vol.197, No.2, 1982
- [5] 村崎憲雄, " 靜電氣障災害對策 핸드ブック ", マグロウヒル 好學社, pp.75-77, 1977
- [6] 安田 正行, " 大容量變壓器における流動帶電の一抑制方法について ", 日本電氣學會論文誌, Vol.105, No.3, pp.265-271, 1985
- [7] R. Tamura, et al., " Static Electrification by forced oil flow in large powerand Transformer ", IEEE Trans., Vol. PAS-99, No.1, pp. 335-343, 1980