

# 강제 油냉각 變壓器의 流動帶電에 關한 基礎研究

## A Study on the Streaming Electrification in Forced Oil Cooled Transformer

權 東 震 \*  
姜 昌 龜  
郭 熙 春  
金 載 哲

송실대학교 전기공학과  
송실대학교 전기공학과  
송실대학교 전기공학과  
송실대학교 전기공학과

### ABSTRACT

When oil flows and rubs against various materials in transformer, electrostatic charges are separated at the interface of the oil and the solid material. Using simplified model transformer, authors investigated the basic characteristics of the streaming electrification which is caused by forced oil circulation. As the result of the study, it was concluded that the electrostatic charge distribution on test pipe of the transformer showed larger leakage current at the inlet and the outlet.

### 1. 序 論

대용량 變壓器의 경우, 絶緣油의 순환은 펌프에 의해 卷線하부로 들어가 卷線내부를 냉각시키고 卷線상부로 나온다. 이 絶緣油는 다시 냉각기를 통하여 펌프로 들어가 순환계를 형성한다. 變壓器 絶緣油가 流動될 때 고체물질과의 접촉으로 인하여 발생하는 靜電荷의 帶電을 "流動帶電 (Streaming Electrification)"이라고 한다.<sup>[1]</sup> 流動帶電에 관

한 실험은 液體의 유동속도, 파이프의 길이, 구경 등의 주변조건을 변화시킴으로써 帶電量의 대소를 구하는 방법과, 液體의 導電率, 粘度, 比誘電率 등의 물성을 변환하여 帶電量의 대소를 구하는 방법이 있다.<sup>[2]</sup> 靜電氣 帶電현상은 실험장치의 규모에 따라 실험 결과에 상당한 차이가 발생한다. 그러므로 防災에 필요한 신뢰있는 실험결과를 얻기 위해서는 실 규모에 가까운 실험을 행할 필요가 있다.<sup>[3]</sup> 本 論文에서는 變壓器의 油 순환과 유사한 모델을 이용하여 현장 운전상태와 유사한 조건하에서 油의 流動으로 인한 絶緣 파이프의 帶電극성과 帶電量을 측정하고, 絶緣 파이프내의 帶電電荷 분포에 關하여 研究하였다.

### 2. 實驗裝置 및 實驗方法

그림 1은 變壓器 油 순환과 유사한 실험장치가 다. 絶緣油는 펌프에 의해 탱크로 보내지고 실험용 파이프를 통과한 후, 다시 펌프로 순환된다. 실험용 파이프에서 발생한 電荷는 Electrometer(TR 865 1, TAKEDA)를 거쳐 대지로 누설되며, 전류치는 기

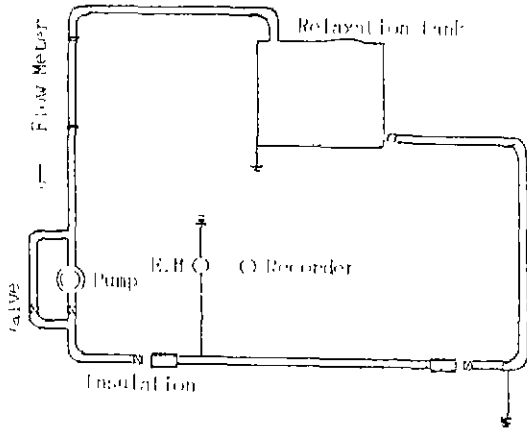


그림 1 실험 장치

Fig. 1 Experimental apparatus.

특계(MFG. No 205 176, SECONIC)로 기록된다. 본 실험에서는 대용량 변압기에서 사용하고 있는 變壓系 絶緣油를 사용하였으며, 絶緣油의 속도는 제어 밸브를 조절하여 유량계(4 - 50[l/min])로 측정하였다. 絶緣油의 온도를 변화시키기 위하여 모의 變壓器(800mm × 400mm × 500mm)에 히터와 온도 제어 장치를 설치하여 30 - 80[°C]까지 온도를 변화시켰다. 실험 파이프와 측정장치는 外亂 및 靜電誘導을 방지하기 위하여 차폐하였고, 측정신호 전달은 이중 차폐 케이블을 사용하여 外亂을 방지하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

그림 2는 絶緣紙 파이프(구경 15[mm], 길이 1[m])의 測定構成을 나타낸 것이다. 液體中の 電位분포를 직접 측정하기는 곤란하기 때문에,<sup>[4]</sup> 파이프에 그림과 같이 電極을 설치하여 電極에서 대지로 누설되는 漏泄電流를 측정하였다. 만일, 전극에서 대지로 어떤 부호의 電荷의 量이 누설된다면 같은 量의 반대부호의 電荷가 絶緣油 속으로 흘러 들

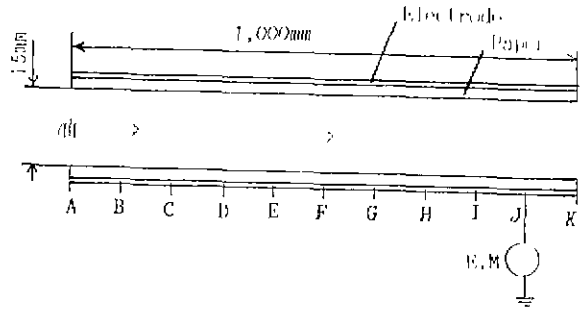


그림 2 絶緣紙 파이프의 구성

Fig. 2 Construction of Paper Pipe.

어가는 것과 상응하다.<sup>[5]</sup> 따라서, 絶緣油와 고체 絶緣物의 界面에서 분리되는 帶電電荷의 量은 전극에서 대지로 누설되는 漏泄電流의 크기로 定할 수 있다.

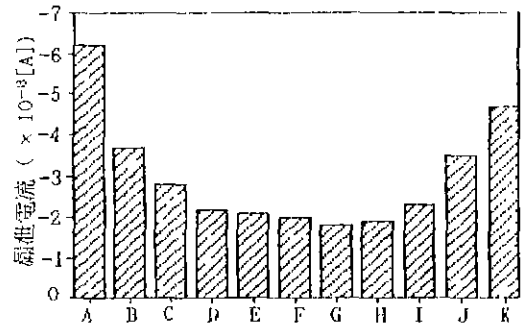


그림 3 絶緣紙 파이프의 전류 분포

Fig. 3 Current distribution in Paper Pipe. (14 l/min, 28°C)

그림 3은 그림 2의 모델에 電極을 설치하지 않고 11개의 檢出部를 설치하였을 때의 漏泄電流 크기를 나타낸 그림이다. 漏泄電流는 파이프 입구(A)에서 최대가 되며, 絶緣油가 흘러 들어가면서 지수함수적으로 감소하다가(G), 파이프 출구(K)에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 파이프 입구나 파이프 출구에서 絶緣油의 국부적인 漏流현상이 나

다나 漏泄電流가 증가한 것으로 해석되며, 이러한 결과로 보아 變壓器내의 電荷분포는 卷線이나 냉각 덕트의 입구인 變壓器 하부에서 최대가 되며, 絶緣油가 흘러 들어가면서 감소하다가 卷線이나 냉각 덕트 출구에서 다시 증가할 것으로 사료된다.

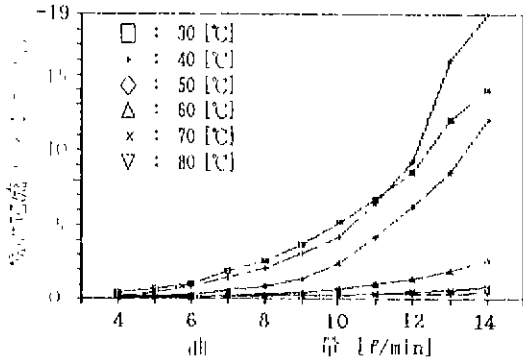


그림 4 유속과 누설전류의 관계

Fig. 4 Relation between Oil Velocity and Leakage Current from Electrode.

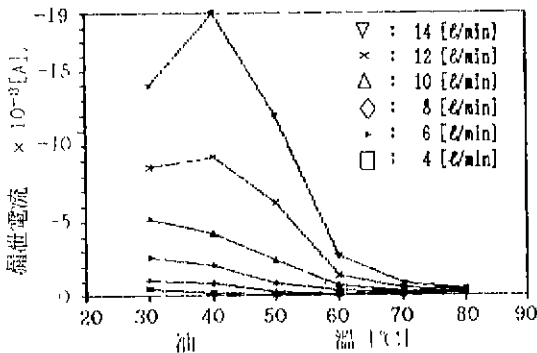


그림 5 유온과 누설전류의 관계

Fig. 5 Relation between Oil Temperature and Leakage Current from Electrode.

그림 4 및 그림 5는 그림 2의 모델을 사용하여 帶電量의 유속 및 온도 의존성을 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 漏泄電流의 극성은 負극성을 나타내었다. 絶緣紙의 주된 구성재료는 셀룰로오스이고, 셀룰로오스分子의 각 Unit는 3개의 Hydroxyl(OH基)을 가지고 있다.<sup>[6]</sup> 이때, 酸素原子의 電氣陰性도가 水素原子보다 훨씬 크기 때문에 水素原子의 電子는 酸素原子쪽으로 이끌리게 되어 酸素原子는 陰으로 分極되고 水素原子는 陽으로 分極된다. 絶緣紙의 표면은 이러한 分極된 水素原子로 덮여지게 되어 絶緣油속의 陰이온을 흡착하게 되고, 絶緣油는 陽電荷로 帶電된다. 絶緣油 流動으로 因하여 正電荷는 絶緣油속으로 흘러갈 것이며, 負電荷는 絶緣紙 표면에 남아 대지로 누설된 것으로 판단된다.<sup>[7]</sup> 그림 4에서 유속에 따른 帶電量은 저유속 범위에서는 유속에 비례하여 증가하다가, 고유속에서는 유속의 2승에 비례하여 증가하고 있다. 그림 5에서 帶電量의 온도에 따른 변화는 저온영역에서는 온도에 따라 帶電量이 증가하다가 40[°C]부근에서 최대치를 나타내었으며, 고온영역에서는 온도의 증가에 따라 帶電量이 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 結 論

變壓器의 油循環과 유사한 실험장치를 통하여 絶緣紙에서의 流動帶電을 측정한 결과, 실험 파이프 내의 帶電電荷의 분포는 파이프 입구에서 최대의 漏泄電流를 발생하였으며, 絶緣油가 흘러 들어가면서 감소하다가 파이프 출구에서 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 저유속 범위에서는 유속에

비례하여 증가하고, 실제 운전조건과 유사한 고유속에서는 유속의 2승에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Shimizu, "Electrostatics in Power Transformers", IEEE Trans., Vol. PAS-98, No.4, pp.1244 - 1250, 1979
- [2] 渡邊茂男, "流動帶電基礎理論研究の進め方", 日本 靜電氣學會誌, Vol.10, No.6, pp.401-406, 1986
- [3] 北村尙武, "緩和パイプによる除電效果の基礎特性と應用", 日本 靜電氣學會誌, Vol.5, No.3, pp.114-121, 1981
- [4] 上原利夫, "帶電した絶縁物の表面電位測定法", 日本 靜電氣學會誌, Vol.13, No.4, pp.284-291, 1989
- [5] R. Tamura, et al., "Static Electrification by forced oil flow in large power and Transformer", IEEE Trans., Vol. PAS-99, No.1, pp. 335-343, 1980
- [6] 安田正行, "大容量變壓器における流動帶電の抑制方法について", 日本電氣學會論文誌, Vol.105, No.3, pp.265-271, 1985
- [7] M Ieda, et al., "Suppression of static electrification of insulating oil for large power transformer", Electrical Insulation society, IEEE Trans., 1986