

변압기 절연유의 순환 계통에서의 흐름 조건의 개선에 의한 유동대전현상의 완화 방법에 관한 연구

論文
43~4~8

A Study on the Method for Mitigation of Streaming Electrification by the Improvement of Flow Condition in the Oil Flow System of Transformer

權 錫 兜* · 南 相 千**
(Suk-Doo Kwon · Sang-Chun Nam)

Abstract—The maximum charge accumulation in transformers caused by streaming electrification is commonly observed on the bottom area of transformer winding(i. e. the oil inlet of transformer winding). It is because turbulent flows occur in this portion of transformers. Consequently, if we are to reduce the maximum charge accumulation of transformers, it is important that we should have a good understanding of the conditions of the occurrence of partial turbulent flows in the oil inlet of transformer winding. With this point in mind, a simple flow model was designed in this study in order to simulate oil flow in the insulation ducts of power transformers. As a method for mitigating charge accumulation, attention was given to (a) a flow path design for the improvement of flow conditions, and (b) the charge tendency of the material used this design. The results of this study show that the above method is useful for mitigating charge accumulation.

Key Words : Streaming Electrification(유동대전), Turbulent Flows(난류), Flow Path(유로)

1. 서 론

변압기의 流動帶電現象은 固體絶緣物과 절연유의 界面에서 2개의 물질이 接觸離反을 통하여 電荷의 移動, 分離, 帶電이라는 과정을 거치면서 발생한다. 일반적으로 이렇게 하여 발생하는 대전 즉, 空間電荷, 表面電荷는 극히 미량이지만, 그의 축적에 의하여 높은 電位를 발생시키거나, 電界의 집중을 가져와서, 變壓器의 絶緣破壞로까지 이행되는 등의 심각한 문제를 발생시키기도 한다.

油循環계통에서 고체 절연물측에 축적된 電荷는 流入口 즉, 권선 하부 영역에서 최대로 되고, 절연유측의 電荷는 流出口 즉, 권선의 상부 부분에서 최대로 된다. 이러한 帶電電荷의 極性은 재

질의 帶電性向에 따라 다르지만, 보통 固體絶緣物은 負(-), 絶緣油는 正(+)으로 대전된다.

유입구 부분에서 電荷分布가 크게 되는 것은, 그곳의 유로 형상에 의하여 흐름의 흐트러짐이 생겨서, 그 주위에 부분적인 高流速이 발생하기 때문이다. 특히 절연유의 순환 계통에서 흐름의 왜곡에 의하여 생긴 亂流는 전하의 발생을 촉진시키는 것으로 되어 있다.[1, 2, 3]

本 研究에서는 유동대전에 의하여 발생하는 대전 전하를 완화 시키기위한 方案으로 變壓器油循環 系統의 電荷蓄積 部位를 모델링한 프레스 모도관을 제작하고, 이곳에 설치한 電極의 帶電狀態를 油湍과 流速의 각 조건에서 검토하였다. 또한, 전하축적이 최대로 되는 流入口 부분의 流動條件을 개선하기 위한 목적으로 油路形狀의 고안과 재질의 대전성향을 이용하도록 설계된 실험용 필터를 설치하여 대전전하의 변화를 고찰하였다.

*正 會 員 : 天安工業專門大 電氣科 教授

**正 會 員 : 忠北大 工大 電氣工學科 教授·工博

接受口字 : 1993年 9月 22日

1 次修正 : 1994年 1月 4日

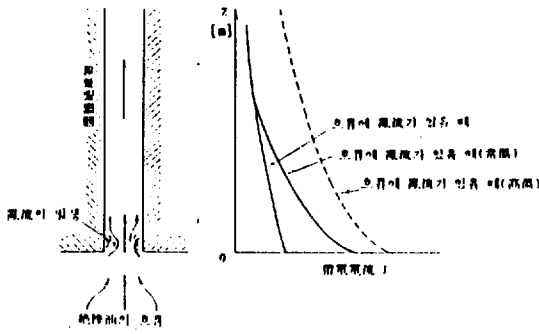


그림 1 흐름의 흐트러짐과 流動帶電發生量의 변화

Fig. 1 Turbulent blows and Current distribution in a flow duct.

2. 帶電電荷의緩和

2.1 流路形狀

변압기의 油순환계통에서 발생하는 帶電電荷는 권선 아래 부분의 절연 구조물 즉, 유입구 부분에서 최대로 되는데, 그 부분의 절연유 의 흐름 형태와 대전 발생량의 변화를 그림 1에 나타낸다.

그림1에서 固體絶緣物側에 축적된 전하의 양은 덕트의 길이 (z방향)에 대하여 指數函數적으로 분포되고 있다. 여기서 알 수 있듯이 고체 절연물에 분포하는 電荷는 流入口 부근에서 크게 되는데, 이것은 流入口에 난류가 발생하기 때문으로 유입구의 帶電電流 I를 작게 하는 방안이 모색되어야 할 것이다. 이를 위하여 유입구(oil duct)의 형태를 개선하거나, 위치를 이음새(oil gap) 부분이 아닌 다른 곳으로 하는 것 등, 油流의 집중을 피해야 할 것이라 생각한다.[6,7]

2.2 管路의 帶電特性

流動摩擦에 의한 帶電現象의 기본 원리는 관로 내벽에 있어서의 이온의 選擇吸着現象으로서 이온의 선택 흡착 현상은 固體-液體의 두 양상을

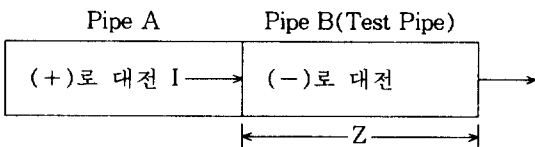


그림 2 파이프의 直列接觸

Fig. 2 Two pipes connected each other.

구성하는 물질의 電氣化學的性質에 의하여 결정된다. 예로서, 흡착 전하 극성이 다른 2개의 파이프를 그림 2와 같이 직렬로 접속한 경우를 생각해 보면, 절연유는 이미 파이프 A를 흘러 正으로 대전할때

그 대전전류에 상당하는 초기 유입전류 I_0 가 파이프 B에 유입하고, 이 파이프B는 절연유를 負로 대전시키는 특성을 갖는것으로 하여, 그림 2에서와 같이 한정된 부위의 파이프 B의 길이를 $Z[m]$ 라 하면 파이프 B에서 흘러 나오는 전류 I_s 는 Schön의 식에 의하면 다음과 같이 된다.[1,2, 4,5]

$$I_s = I_\infty \{1 - \exp(-z/V\tau)\} + I_0 \exp(-z/V\tau) \quad (1)$$

여기서 첫번째 항은 발생된 電流를, 두번째 항은 완화된 電流를 나타낸다. I_∞ 는 파이프 B의 特有電流(飽和值), I_0 는 帶電電流에 상당하는 初期流入電流, V 는 유속, τ 는 帶電液體의 緩和時間이다.

반경 R의 파이프를 통하여 평균 유속 V인 亂流形態일 때, 파이프 벽면의 電流密度를 ja 라 하면, 뒷식에서 I_∞ 는 다음 식으로 주어진다.

$$I_\infty = 2\pi R V \tau j a \quad (2)$$

여기서 ja 는 절연유 의 導電率, 油路形態, 流速, 固體이 才質등에 의존한다.

$I_0 > 0$, $I_0 < 0$ 로 해서 식 (1)을 圖示하면 그림3과 같이 된다. $I_s = 0$ 일 때의 파이프 B의 길이를 Z_0 (m)라고 하면, Z_0 는 식(1)에 의하여

$$Z_0 = V\tau \cdot \ln(1 + I_0/I_\infty) \quad (3)$$

로 되는데, 여기서 Z_0 는 流速, 導電率, 初期電流, 特有電流에 의존한다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 길이의 파이프를 설치하면 절연유 의 流動帶電에 의한 流入電流를 "0"으로 할 수 있음을 나타내고, Z_0 의 길이를 적절하게 조절함

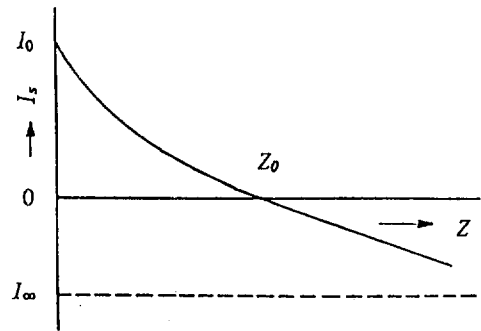


그림 3 I_s 와 Z와의 관계

Fig. 3 Relationship between I_s and Z.

으로써, 流動電流을 작게하여 대전 방지의 목적을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 實驗

3.1 實驗裝置

實驗裝置는 帶電發生部位인 프레스보드管, 緩和탱크, 펌프와 流動制御裝置로 구성되어 있는데, 帶電狀態를 검출하기 위하여 전극을 프레스보드管的 각 부위에 설치하고, 대전의 완화를 실험하기 위한 방법으로서, 實驗用필터 장치를 마련할 수 있는 구조로 제작하였다.

그 개요도를 그림 4에 나타낸다.

실험장치의 기름 탱크의 크기는 항상 0電位에서 실험할 수 있는 적당한 크기로 되어야 한다. 냉각유의 居住時間(residence time)은 緩和時間(relaxation time)의 최소한 3배의 크기여야 한다. 緩和時間 τ 는 다음 식으로 주어진다.[1]

$$\tau = \frac{\epsilon\epsilon_0}{\sigma} \tag{4}$$

여기서, ϵ 은 冷却油의 比誘電率이고, ϵ_0 는 眞空의 誘電率(8.854×10^{-12} F/m)이다. σ 는 도전율로 단위는 ps/m(10^{-14} S/cm)이고, τ 의 단위는 초[s]이다.

본 연구에 사용된 변압기 절연유의 導電率은 25[°C]에서 0.72[ps/m]였고, 70[°C]에서는 6.4[ps/m]였으며, 이에 대응하는 완화 시간은 각각 27초와 3초였다. 최대 거주 시간은 대략 1.5분으로 할 수 있으므로 120[Cm/s]의 최대 유속에서 완화 탱크의 총 체적은 충분한 緩和時間을 고려하여 154[ℓ]로 하고, 프레스보드 管의 입구와 출

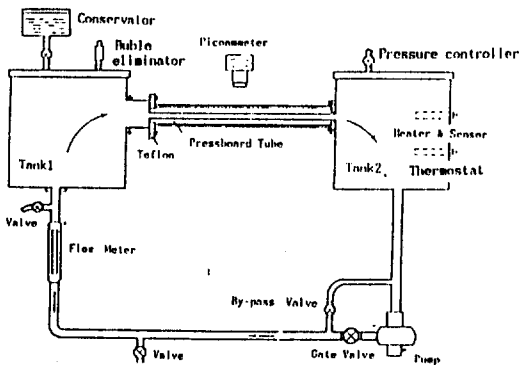


그림 4 實驗裝置
Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus.

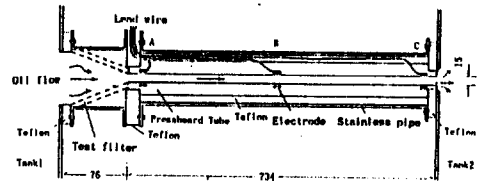


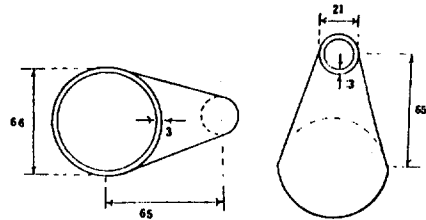
그림 5 프레스보드管的 상세도
Fig. 5 Construction of pressboard tube.

구에 각각 100[ℓ] 54[ℓ]인 2개의 탱크를 설치하였다.

電極의 설치는 그림 5의 프레스보드管에서 권선의 유입구 부분에 해당하는 A, 흐름의 진행 경로인 권선 내의 냉각 덕트 부분에 해당하는 B와, 권선의 유출구 부분에 해당하는 C의 부분에 설치하였는데, 프레스보드管에 절연 구조물의 이음새 모양을 만든 다음, 두께 0.25[mm], 폭 7[mm]의 동판을 프레스보드 절연지 사이에 끼워 넣어서, 설치 부위의 帶電電荷를 충분히 검출할 수 있도록 하였다.

한편, 流通路가 갑자기 좁아져서 난류 현상이 나타나는 프레스보드管的 유입구 부분의 넓은 공간(60mmφ Stainless pipe)은, 프레스보드管과 테플론 플랜지로 완전히 절연시키고, 이 곳에 각 재료의 實驗用 필터를 설치하여 실험할 수 있도록 설계하였다. 그림 6은 實驗用 필터의 구조도이다.

프레스보드管(electrode)과 實驗用필터 등의 각 측정 부위는 테플론에 의하여 電氣的으로 절연해서, 각부의 누설 전류의 측정을 가능케하였다. 또한 漏泄電流의 측정은 Electric picoammeter(kotronix 8641. $10^{-12} \sim 10^{-2}$ A)를 사용하였고, 그 기록에는 Recoder(MGF No. 205176 SECONIC)를 사용할 수 있도록 구성하였다.



재료: Stainless, Fe, Cu.

그림 6 實驗用 필터의 구조
Fig. 6 Structure of test filter.

3.2 測定

실험에 앞서서 絶緣油를 실험 장치에 완전히 채운 뒤, 펌프로 절연유를 순환시키고 거품이 제거되도록 조작한다. 펌프는 출력 1/2[HP]모터 기어 펄프 결합형(TROCHOID. 208 HG 2~16 l/min)을 사용하고, 유량은 모터의 回電速度를 일정하게 유지시키면서 바이패스 밸브(by-pass valve)를 조절하여 변화시킨다.

대용량 外鐵型變壓器의 냉각 덕트에서 직선 부분의 기름의 유속은 평균적으로 15~30[Cm/s](본 프레스보드관의 油路直徑 15mm에서 유량으로 환산하면 1.6~3.2[l/min] 이내이다.[1] 본 실험에서의 유속은 30[Cm/s]단위로 증가시키면서 기본 유속은 4배(120Cm/s)까지 측정하였다.

유온에 의한 영향을 측정하기 위해, 디지털 溫度調節器(HAN YOUNG DX4-50~1300℃)와 히터(heater: 2KW)를 완화 탱크에 설치하여, 일정 온도에서 실험할 수 있도록 하였다. 變壓器運轉時의 유온은 계절적 차이는 있으나 60~80[℃]로 하여, 측정 유온은 이 한도 내에서 선택하였다.

본 연구에서 사용한 試料油는 일반 電力用變壓器에 사용되는 광유계 절연유(KSC 2301. No. 4632. isoroltix K 7종 2호)로서, 현장에서 사용하여 열화된 것을 선택하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 流動電流의 流速依存性

난류의 흐름 형태에서 流動電流의 유속의 의존성을 검토하기 위하여, 설정유온에서 유속 30 [Cm/s]을 基準流速率(1 flow rate)를 하여, 각 유속률(flow rate)에서의 전극 A부분의 漏泄電流를 측정하였다.

測定結果는 동일 조건에서 10번씩의 측정치를 구한 다음 이들의 평균치를 취하였으며 이에 의하여 流動電流의 유속률 의존성을 圖示한 것이 그림 7이다.

그림 7에서 漏泄電流는 유속률에 의하여 급격히 상승함을 보여주고 있다. 이것은 유입구의 난류현상이 유속의 영향에 민감하기 때문인 것으로 생각된다. 유속은 유동 전류를 결정하는데 가장 큰 요소로서, 그것은 變壓器 流通路의 형태에 따라 달라진다. 측정치에 의하면 漏泄電流는 일반적으로 다음 식에 나타내는 바와 같이 유속의 제곱 내지 4승에 비례한다는 것을 알 수 있다.

$$I_s = K[\text{Flow Rate}]^{2-4} \quad (5)$$

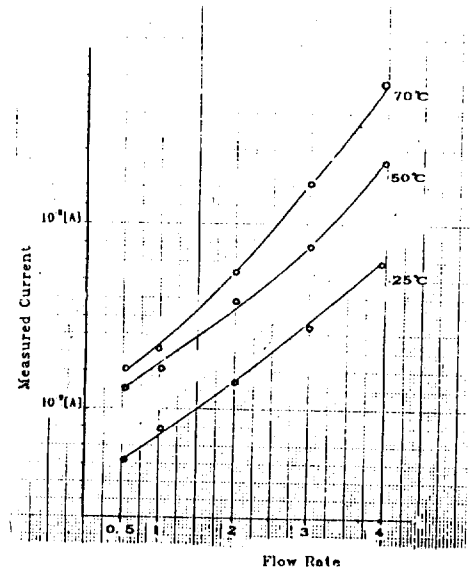


그림 7 流動電流의 流速率依存性
Fig. 7 Dependence of flow rate.

정상적인 경우에 있어서는, 층류에 의한 流動電流는 유속에 비례하여 증가하지만, 난류에 의한 경우에 있어서는 유동 전류 I_s 는 다음식으로 주어진다.[8,9,10]

$$I_s \propto R^{4/3} \cdot V^{7/4} \quad (6)$$

여기서, R은 실험에 사용된 관로의 반경, V는 평균 유속을 나타낸다. 위식에서 전류는 평균 유속의 7/4승에 비례한다는 것을 의미한다. 그러나 지역에 따라 난류의 정도가 심해지면 그의 의존도는 제곱 이상으로 된다. 즉, 흐름이 층류에서 난류로 바뀌면 결국 유속에 대한 의존성이 한층 더 크게된다.

그림 7에서 유온의 의존성에 대하여 검토해 보면, 총 電荷量은 식 (1)과 (2)에서 알 수 있듯이 ∇, τ, j_s 에 비례한다. 유속이 일정하면 유온이 높아질수록 즉, 도전율이 높아질수록 電流密度 j_s 는 그만큼 더 커질 것이고, 반대로 유온이 높아질수록 그만큼 緩和時間 τ 는 작아질 것이다. 이렇게 되어 漏泄電流는 증가한다.

4.2 流動電流의 지역적 흐름 형태의 영향

유입구 부분에서 유류의 흐트러짐에 의한 국부적인 高流速의 발생에 의한 영향과, 流入口로 흘러들어온 절연유가 유출구로 흘러 나가는 과정의 帶電狀態를 검토하기 위하여, 그림 8에서와 같이 프레스보드관의 흐름의 진행방향의 전극

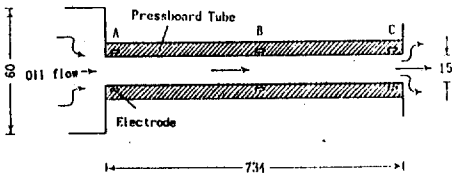


그림 8 프레스보드관의 油路形態
Fig. 8 Flow path design of pressboard tube.

A, B, C의 漏泄電流를 측정하였다.

設定油溫 25[°C]와 50[°C]에서 각각 평균 유속 30[Cm/s] 및 120[Cm/s]에 대한 측정 결과를 구하고 그림 9에 이에 대한 流動電流의 분포를 나타내었다.

그림 8에서 알 수 있는 바와 같이, 유입구 부분 A가 수직으로 잘려져 있기 때문에 난류가 발생하는데, 이 난류의 발생은 유속이 커질수록 증가한다. 그러므로 유입구 부분에서 대단히 큰 漏泄電流의 상승이 관찰된다. 이 현상은 유속이 높아질수록 더욱 현저하게 나타난다.

유온 25[°C]에서 절연유의 도전율은 0.72[ps/m]이므로, 식 (4)에 의하여 전하의 완화시간 $\tau = 27(\text{초})$ 로 된다. 평균 유속 $V = 30[\text{Cm/s}]$ 이면 완화 길이(relaxation length) L 은

$$L = V\tau = 9[\text{m}] \quad (7)$$

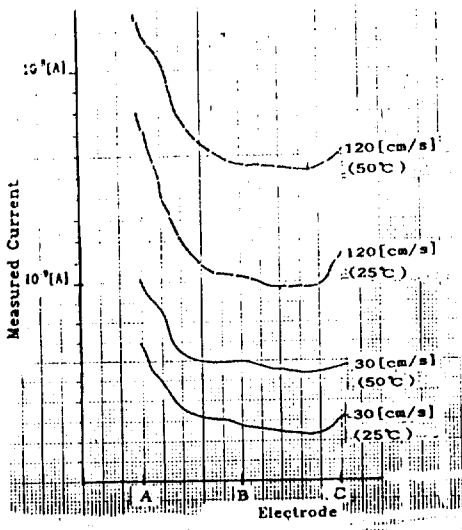


그림 9 프레스보드관의 流動電流分布
Fig. 9 Electrified current distribution in pressboard tube.

로 되는데, 이 값은 프레스보드관의 길이에 비하여 충분히 크기 때문에, 유입구 주위에 난류가 발생되지 않는다고 하면, 거의 균일한 전하 분포가 될 것이다.

그림 9에서 보면, 흐름의 중간 부분 B에서는 덕트면이 매끄럽기 때문에, 帶電現象은 거의 발생하지 않고, 감소 추세를 보이면서 안정되다가, 출구 부분 C에 이르러 역시 난류에 의한 영향으로 약간 상승하고 있음이 관찰된다.

온도에 의한 영향을 검토해 보면, 유온이 상승함에 따라 점성이 감소되고 완화 길이 L 또한 감소하게 된다. 그러므로 끝 부분에서의 영향은 유온이 낮을 때 좀더 크게 나타내었다.

이와 같은 결과로 볼 때, 변압기 내의 帶電電荷分布를 추정해 보면 난류의 발생이 예상되는 권선이나 냉각 덕트의 입구에서 최대가 되고, 흘러 들어가면서 감소하다가 유출구에서 다시 약간의 증가 현상이 나타난다는 것을 알 수 있다.

4.3 帶電電荷의 緩和

유속의 부분적 상승에 따른 난류 현상에 의한 帶電電荷의 발생을 완화하기 위한 방안으로, 그림 5에 나타난 바와 같이 實驗用 필터를 설치하여 실험하였다. 實驗用 필터는 재질의 帶電性向을 이용함과 동시에 기름의 유입구에서 부분적 난류의 발생을 개선하기 위하여 유선형 구조로 설계하였다. 實驗用 필터의 크기는 동일한 규격으로 油路의 본체 및 프레스보드관과 電氣的으로 완전히 절연되도록, 연결 부분은 테플론 플랜지(teflon flange)로 분리시켰고, 그 재질은 銅(Cu), 鐵(Fe), 스테인리스鋼(St)의 것을 사용하였다.

4.3.1 實驗用 필터 自體의 帶電

유속의 변화에 따른 실험용 필터 자체의 순수 漏泄電流를 측정하고 그림 10에 그 漏泄電流의 변화를 圖示하였다.

그림에서 漏泄電流는 재질에 따라 약간의 차이를 보였고, 正極性을 나타내었다. 동일한 온도 내에서 유속에 따라 각재질의 누설전류의 크기가 다른 이유는 재질과 절연유의 界面에서 油中の 어떤 이온을 선택적으로 흡착하는 電荷移動現象이 고체의 성질에 따라 다르게 나타나기 때문이다. 본 실험결과에서 대전량의 크기는 미소하나 Stainles, Fe, Cu의 順으로 나타났으며 유동 대전에서 재질에 따른 대전량의 크기는 앞으로의 연구과제이다.

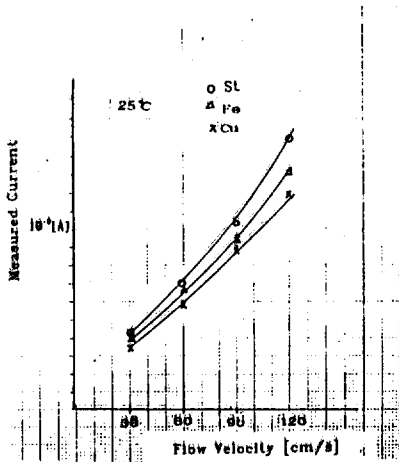


그림 10 實驗用 필터 自體의 漏泄電流
Fig. 10 Leakage Current of test filter.

4.3.2 實驗用 필터 설치 후의 帶電의 變化

實驗用 필터를 설치한 상태에서 프레스보드管的 전극 A, B, C의 漏泄電流를 기름의 유속과 유온을 변경하면서 측정하였는데, 그림 11는 그 漏泄電流의 變化를 나타낸 것이다.

그림에서 점선으로 나타낸 부분은 실험용 필터를 설치하지 않은 상태에서 동일한 실험 조건으로 측정한 값이다.

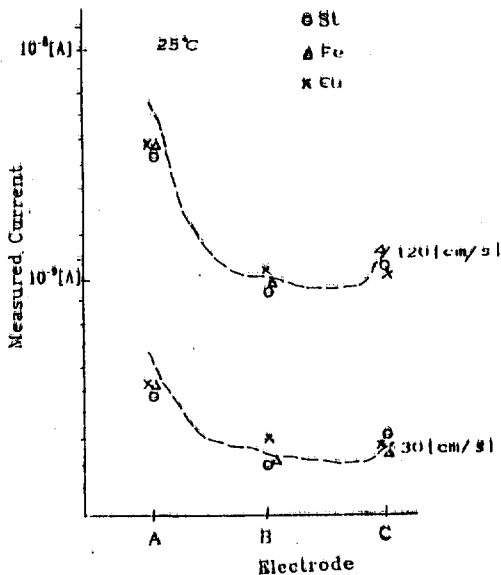


그림 11.1 實驗用 필터에 의한 漏泄電流의 變化 (25°C)
Fig. 11.1 Effects of leakage current by the test filter (25°C)

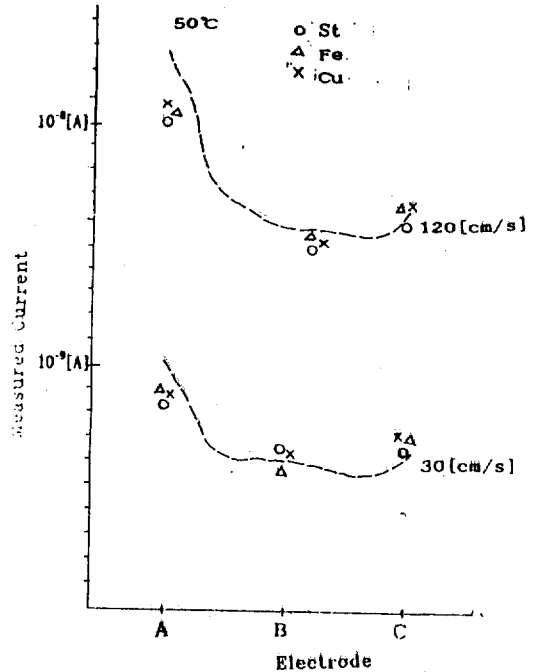


그림 11.2 實驗用 필터에 대한 漏泄電流의 變化 (50°C)
Fig. 11.2 Effects of leakage current by the test filter (50°C)

帶電電荷는 陰이온이고, 전하량은 전반적으로 감소하는 추세였다. 특히 流入口部分(A)에서는 氧化 현상이 뚜렷하였고, 흐름의 中間部分(B)과 流出口部分(C)의 變化는 미미하였는데, 이것은 실험용 필터 설치후의 漏泄電流의 變化는 주로 유로형상의 개선에 의한 영향을 나타내는 것이라 생각된다.

또한 재질의 帶電特性에 의한 영향은 한정되어 있음을 나타내고 있다. 이 경향은 동일한 재질의 경우 식 (1), (2)에서 관로의 길이 즉 固體絶緣油 界面의 면적에 의존한다는 것을 알 수 있다.

5. 結 論

상술한 바와 같은 實驗裝置(flow model)를 사용하여 帶電狀態의 관찰 및 유동조건 개선에 관한 연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 일반적으로 층류인 경우에는 流動電流는 流速에 비례하여 증가하지만, 기름의 흐름이 層流에서 亂流로 바뀌면 유속에 대한 의존성이 더

속 증대되고, 난류의 정도가 심해지면 流動電流는 유속의 제곱 이상에 비례하여 증가하게 된다. 또한 유속이 일정하면 유온이 높아질수록 流動電流는 증가한다.

(2) 流動電流는 난류의 발생이 예상되는 냉각덕트 입구에서 최대가 되고, 흘러 들어가면서 감소하다고 유출구 부분에서 다시금 약간 상승하는 경향을 나타낸다.

(3) 實驗用필터의 설치에 의한 流動電流의 帶電電荷는 陰이온이고, 전하량은 전반적으로 감소하는 추세였다. 특히 流入口部分(A)에서는 完化 현상이 뚜렷하였고, 흐름의 中間部分(B)과 流出口部分(C)의 변화는 미미하였는데, 이것은 실험용 필터 설치후의 漏泄電流의 변화는 주로 유로형상의 개선에 의한 영향을 나타내는 것이라 생각된다.

소분은 주로 油流形態의 개선 즉, 난류의 감소에 의한 것으로 생각되며, 재질의 帶電特性에 의한 영향은 한정되어 있음을 나타내고, 그 경향은 동일한 재질의 경우에는 固體·絶緣油界面의 면적에 의존함을 알 수 있었다.

(4) 단위 유량당 流動電流의 크기는 동일한 절연유를 사용하는 경우에는 주로 固體絶緣物과 絶緣油의 界面條件에 의존함을 알 수 있었다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] T.V. Oommen et al : "Streaming Electrification Study of Transformer Insulation

System Using A paper Tube Model", IEEE Trans VOL 5, NO.5 pp.972-983, 1990

[2] S.Shinzu et al : "Electrostatic In Power Transformers", IEEE Trans VOL.PAS-98 NO.4 pp.1259-1267, 1979

[3] M.Higaki et al : "Static Electrification And Partial Discharges Caused By Oil Flow In Forced Oil Cooled Core Type Transformers", IEEE Trans VOL.PAS98 pp. 1259~1267, 1979

[4] 大久保仁 外 : "油中絶緣 における 破壊 と 空間電荷" 靜電氣學會誌 VOL 14-1 pp.16-24, 1990.

[5] M.Arimoto et al : "A New Method for Reduction of Static Charge in oil Flowing in Pipe line", IEEJ. Trans VOL 105-A NO.12, pp.617-622, 1985.

[6] T.V.Oommen : "Static Electrification Properties of Transformer oil", IEEE Trans VOL 23, NO.1, pp.123-128, 1988.

[7] T.T.Oomen and E.M.Petrie : "Electrostatic charging Tendency of Transformer oil", IEEE Transactions, VOL PAS-103, NO.7, pp.1923-1931, July, 1984.

[8] A.Klinkenberg and J.L.van der minne : "Electrostatics in the Petroleum Industry", Elsevier Publishing Company, 1958.

[9] A.Klinkenberg : "Elektlische Abladung schlecht Leitender Flüssigkeiten bei turbulenter Strömung", Chemie-Ing.-Tech. 36, pp.283-290, March, 1964.

[10] Y.Suga et al : "hach Rook of Static Electrification", Edited by Society of Polymer science, Chijin Sholean, 1972.



권석두(權錫兜)

1948년 3월 10일생 1975년 한양대 공대 전기공학과 졸업 1981년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 충북대 대학원 전기공학과 박사과정 수료 1976~1982년 대한 주택공사 근무. 1994년 현재 천안공업전문대 전기과 교수.



남상천(南相千)

1933년 3월 5일생 1957년 한양대 공대 전기공학과 졸업 1977년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1982~1983년 明治大學 객원 연구원 1986년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사) 현재 충북대 공대 전기공학과 교수.