

# 回轉圓筒 시스템에 의한 絶緣油의 帶電特性

(Static Electrification of Insulation Oil Using the Spinning Cylinders)

金斗錫\* · 權東震\*\* · 孫哲根\*\* · 郭熙魯\*\*\*

(Du-Seok Kim · Dong-Jin Kweon · Chul-Keun Son · Hee-Ro Kwak)

## 요 약

본 논문에서는 기존의 펌프나 가스를 이용한 강제유동식 시스템과는 달리 회전원통을 이용한 유동대전현상에 대하여 연구하여, 강제유동식에서의 대전특성과 비교, 분석하였다.

연구 결과, 회전원통 시스템에서의 회전원통의 회전속도 및 온도에 따른 유동대전 특성은 강제유동식과 같은 경향을 보여 회전원통 시스템이 유동대전현상을 연구하는데 적합함을 알 수 있었다. 회전원통 시스템은 강제유동식에 비하여 실험장치의 기계적 구조가 간단하고, 적은 양의 절연유만이 필요하며, 여러가지 다른 물질로 실험하기가 비교적 편리하였다. 또한 대전 방지제의 첨가나 절연유의 열화에 따른 대전현상 등을 연속적으로 측정할 수 있는 특징이 있음을 알 수 있었다.

## Abstract

This paper studied the streaming electrification with the spinning cylinder system, and compared and analyzed it with the conventional forced flowing system which used a pump or gas for oil flowing

As results, in spinning cylinder system, characteristics of the streaming electrification to its rotational speed and oil temperature are same tendency as those of the forced flowing system and it showed the spinning cylinder system is useful to study the streaming electrification. The spinning cylinder system has a simple mechanical structure and needs smaller amount of insulation oil than the conventional forced flowing system and the effects of various materials on the streaming electrification could be investigated more conveniently than other methods.

## 1. 서 론

超高壓 大容量 變壓器에서 絶緣油는 펌프에 의

해 권선하부로 유입되어 권선내부를 냉각시키고 권선상부로 나온다. 이 絶緣油는 냉각기를 통하여 다시 펌프에 이르게 되어 순환계를 형성한다. 電力用 變壓器의 용량이 증가하고 電力 시스템의 電壓이 증가함으로써, 絶緣油의 순환으로 인하여 발생하는 流動帶電現象은 증가하게 되어,<sup>1), 2)</sup> 이를 억제하기 위한 많은 연구가 행해지고 있다.

\*正會員: 全北産業大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\*正會員: 崇實大 大學院 電氣工學科

\*\*\*正會員: 崇實大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字: 1994年 2月 15日

가연성 액체에 비하여 變壓器에서의 流動帶電現象은 절연물로 사용되는 액체, 고체의 양 계면에서 발생하는 밀폐된 순환계내의 현상이다. 또한, 온도의 변화범위가 넓고, 복잡한 냉각구조와 變壓器 운전상태, 즉 過電狀態등 變壓器 고유의 조건을 많이 함유하고 있는 특징을 갖고 있다.

流動帶電現象은 2개의 물질이 접촉반응을 통하여 電荷移動, 電荷分離, 帶電의 과정으로 발생하며, 일반적으로 이렇게 발생한 電荷는 空間電荷, 表面電荷로서는 아주 미량이지만, 그것의 이동, 축적에 의해서 높은 電位를 발생하여 電界의 집중을 일으키게 된다.<sup>3), 4)</sup> 지금까지의 流動帶電에 관한 실험들은 일반적으로 流體의 운송속도, 파이프의 길이, 구경 등과 같은 요소를 변화함으로써 帶電量의 대소를 구하는 방법과 액체의 도전율, 점도, 비유전율 등의 물성을 변화시킬때의 帶電量을 조사하고, 帶電機構를 알고자 하는 방법을 사용하여 왔다.<sup>5), 6)</sup> 그러나, 유동하는 誘電液體의 流動帶電現象을 해석하기 위한 표준 측정 절차가 없기 때문에 각 실험자들은 나름대로의 流動帶電現象 모델링을 개발하여 왔으며, 측정장치 자체가 측정에 영향을 주는 경우가 많이 있다.

本 論文에서는 絶緣油의 流動帶電現象을 해석

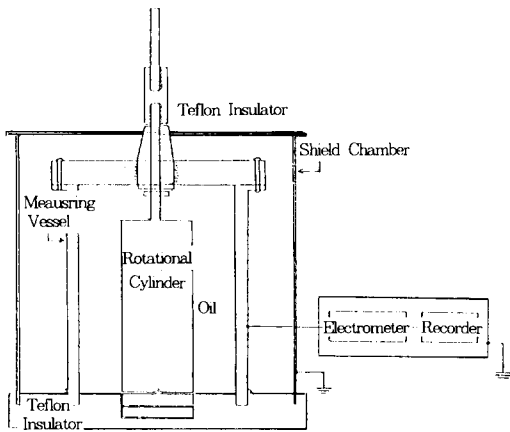


그림 1. 回轉圓筒 시스템의 概略圖

Fig. 1. Schematic diagram of the spinning cylinder system

하고 이를 억제할 수 있는 방안을 도출하기 위하여, 流動帶電現象의 모델링에 대하여 연구, 검토하고, 기존의 펌프나 가스를 이용한 強制流動式과는 달리 回轉圓筒을 이용한 측정법에 대하여 回轉圓筒의 회전속도, 원통의 재질 등을 변화시켜, 기존의 強制流動式에서의 帶電電流와 비교, 검토하였다. 또한, 變壓器內의 流體 흐름속에 물체가 놓일 경우에 流動帶電에 미치는 영향을 측정하고, 기존의 측정방법중 帶電파이프에 導電探針子를 설치하여 油中の 電荷를 측정하는 방법을 검토하기 위하여 접지선을 油中에 함침시켜 表面電位의 변화를 측정하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

絶緣油의 순환으로 발생하는 流動帶電現象의 帶電強度를 측정하기 위하여 대부분의 실험에서는 絶緣油에서의 靜電荷나 緩和電流를 측정하거나, 고체로부터의 漏泄電流를 측정하는 방법을 흔히 사용하고 있으며, 각 실험장치는 나름대로의 장단점을 갖고 있다. 본 연구자에 의해 개발된 強制流動式 帶電裝置는<sup>7)</sup> 超高壓 大容量 變壓器에서의 絶緣油 순환계통을 가장 잘 모의한 모델이지만, 電壓 인가상태의 운전조건이나 수분, 불순물의 영향 등을 고려한 실험에서는 적합하지 않다. 또한, 帶電電荷를 絶緣油에서 직접 측정할 수 없고, 帶電用 파이프에서 漏泄되는 電流만을 측정하게 되므로 오차가 발생하기 쉽고, 電荷의 발생과정과 누설과정이 중복되어 있으므로 帶電現象에 대한 규명이 불분명하다는 단점을 갖고 있다. 또한, 直列式 帶電裝置는<sup>8)</sup> 帶電電荷의 측정이 테스트 파이프와 하위탱크 두 곳에서 가능하기 때문에 두 값을 비교하여 해석하기에 용이하나, 일정 정도의 자료를 얻기 위하여 상당히 많은 량의 시료가 필요하고, 絶緣油의 劣化에 따른 帶電特性이나 帶電防止劑의 첨가와 같은 연구에서 장시간의 연속측정이 불가능하다는 단점을

갖고 있다.

그림 1은 變壓器에서의 絶緣油 유동과 유사하게 금속원통 및 變壓器用 프레스보드를 부착한 동축 원통사이의 變壓器 絶緣油를 채울 수 있도록 제작한 回轉圓筒 시스템으로서, 두 개의 원통은 變壓器 권선 및 철심사이의 냉각덕트나 라디에이터를 모의한 것이다. 本 研究에서 채택한 回轉圓筒 시스템은 기존의 실험들이 고체를 고정하고 액체를 유동시키는데 비하여 고체를 회전시키는 방법이다. 回轉圓筒 시스템에서도 고체가 정지하고 있을 경우에는 強制流動式 시스템과 같이 고체와 絶緣油의 界面에는 電氣二重層이 형성된다.<sup>9)</sup> 이때, 고체가 회전하면 고체표면에 부착한 固着層은 유체역학 법칙에 따라 回轉圓筒과 같은 속도로 회전하고, 擴散層은 粘性에 따라 천천히 운동할 것이다. 따라서, 回轉圓筒 시스템은 強制流動式 시스템에서와 같이 電氣二重層의 파괴가 일어나고, 이로 인하여 靜電荷가 발생한다.

回轉圓筒은 직경에 따른 帶電傾向을 측정하기 위하여 길이 150[mm], 직경 35[mm], 32[mm], 25[mm]의 스테인레스 봉을 사용하였으며, 스테인레스와 스테인레스에 프레스보드를 부착한 회전원통을 사용하여 재질에 따른 流動帶電現象을 비교하였다. 회전원통은 0~500[rpm]까지 회전속도를 조절할 수 있도록 하였으며, 回轉圓筒과 모터와의 접속은 電氣的으로 절연하기 위하여 테프론봉(teflon pipe)으로 연결하였다. 外部圓筒은 직경 130[mm], 높이 180[mm]의 스테인레스를 사용하였다. 回轉圓筒 시스템은 외부잡음의 차폐를 위하여 직경 230[mm], 높이 220[mm]의 스테인레스를 사용하여 차폐하였으며, 外部圓筒과는 테프론으로 절연하였다. 온도에 따른 流動帶電의 특성과 絶緣油의 劣化에 따른 영향을 측정하고, 외부영향을 최소화하기 위하여 실험장치는 온도챔버(temperature chamber)에 설치하였으며, 측정신호는 이중차폐 케이블을 사용하여 外亂을 방지하였다.

고체와 絶緣油 界面에서의 電荷發生은 回轉圓

筒의 회전속도로 조절되며, 回轉圓筒과 絶緣油 界面의 電荷가 回轉圓筒의 회전으로 인하여 분리되어 絶緣油 속으로 확산되고, 이 電荷는 外部圓筒에 연결된 微小電流計를 거쳐 대지로 漏洩되어 측정되도록 구성하였다. 本 研究에서 사용한 測定裝置는 Keithley사의 614 微小電流計(electrometer)와 측정범위가  $0.3 \sim 10^{-15}$ [A]인 TAKEDA, TR 8651의 微小電流計를 사용하였다. 또한, 外部圓筒에 축적되는 電荷의 크기를 측정하기 위하여 TREK, 모델 344의 靜電電壓計(electrostatic voltmeter, 측정범위:  $\pm 2,000$ [V])를 사용하여 表面電位를 측정하였다. 측정 데이터는 Graphtec사의 SR6211 記錄計를 微小電流計와 연결하여 기록하였다. 실험에 사용한 試料油는 일반 電力用 變壓器에서 사용하는 鑛油系 絶緣油를 사용하였다. 實驗裝置는 제작과정에서 不純物이 實驗裝置의 표면에 상당히 부착하였을 것이며, 이러한 不純物들은 流動帶電現象에 영향을 미치게 될 것이다. 本 研究에서는 不純物의 영향을 최소화하여 측정값의 오차를 없애기 위하여 공업용 휘발유로 세척한 후, 벤젠으로 다시 세척하여 不純物의 부착을 최대한 제거하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

액체를 強制 流動시키는 기존의 實驗裝置에서

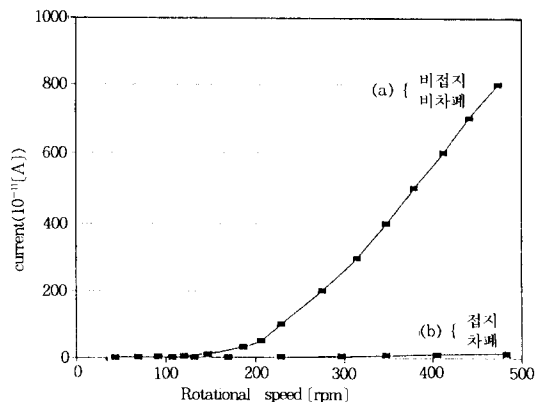


그림 2. 電動機에 의한 流入電荷의 影響

Fig. 2. Effects of the induction charge by a motor

는 액체를 유동시키기 위하여 펌프나 가스를 필요로 하는 반면, 회전원통 시스템에서는 액체 대신 고체를 회전시키기 위하여電動機가 필요하다. 本 研究에서는 電壓 調節器로 回轉速度를 제어할 수 있는 直流 電動機를 사용하였는데, 이때 회전자와 브러시와의 마찰로 인하여 발생하는 電荷가 流動帶電의 측정에 영향을 미치지 않도록 주의하여야 한다.

그림 2는 外部圓筒과 回轉圓筒을 모두 스테인레스로 하였을 경우로서, 電動機를 접지하지 않았을 경우에 回轉速度에 따라 브러시에서 발생하는 電荷가 측정용기에 流入되는 것을 측정하는 것이다. 이때의 回轉圓筒의 직경은 35[mm]이다. 그림 2-(a)는 電動機를 접지하지 않았을 경우에 브러시에서 발생한 電荷가 측정용기에 流入된 것이고, 그림 2-(b)는 電動機를 접지하고 측정용기를 차폐한 경우의 순수 流動帶電에 의한 漏泄 電流이다. 그림에서와 같이 電動機를 접지하지 않은 경우의 漏泄 電流는 회전속도의 증가에 따라  $10^{-9}$ [A]의 범위에서 증가함을 보인 반면, 電動機를 접지하고 實驗裝置를 차폐한 후, 外部圓筒과 回轉圓筒 사이에 絶緣油를 채우지 않고 回轉圓筒을 회전시킬 경우에는  $10^{-14}$ [A]범위에서도 漏泄 電流가 측정되지 않았으므로 電動機에 의한 電荷의 流入은 제거된 것으로 판단된다. 여기에, 外部圓筒과 回轉圓筒 사이에 絶緣油를 1.5[ℓ] 채울 경우, 回轉速度에 따른 漏泄 電流는 그림 2-(b)

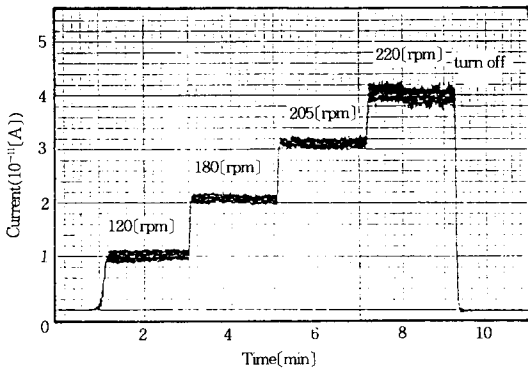


그림 3. 回轉速度에 따른 帶電傾向

Fig. 3. Charging tendency with rotational speed

와 같이  $10^{-11}$ [A]범위를 나타내었는데, 이것은 순수한 고체와 액체간의 電荷分離에 의한 流動帶電으로서 A.J.Morin<sup>10)</sup>등의 측정범위와 일치함을 보였다. 回轉圓筒 시스템은 絶緣油의 帶電現象을 연구하는데 있어서 간단한 기계적 구조와 적은 양의 絶緣油만이 필요하며, 여러가지 다른 물질로 실험하기가 비교적 편리함을 알 수 있었다. 또한, 電荷發生을 최소화하고, 發生電荷를 가능한 빨리 완화시켜 電荷蓄積에 의한 靜電氣 放電災害를 방지하기 위한 帶電 防止劑의 첨가나, 變壓器의 장시간 운전으로 인한 絶緣油의 劣化에 따른 帶電電荷의 특성을 연속적으로 측정할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 3은 時間特性을 알아보기 위하여 回轉速度를 단계적으로 증가시킬 경우의 漏泄 電流를 측정한 것이다. 이때의 外部圓筒과 回轉圓筒의 재질은 모두 스테인레스이다. 각각의 속도에서 漏泄 電流는 수초이내에 안정이 되었으며, 이 값은 3시간 이상 계속 측정하여도 안정적인 값을 유지하였다. 이때, 回轉速度가 0~220[rpm]사이에서의 漏泄 電流는  $1\sim 4\times 10^{-11}$ [A]를 나타내었다.

그림 4는 回轉圓筒의 직경을 35[mm], 32[mm], 25[mm]로 변화시킬 경우에 회전속도에 따른 帶電傾向을 측정한 것으로, 回轉圓筒의 직경이 감소됨에 따라 帶電量이 감소되는 경향을 보였다. 이는 回轉圓筒의 表面에 형성되는 電氣二重層이 表面적에 비례함을 나타내는 것으로서, 실 變壓器

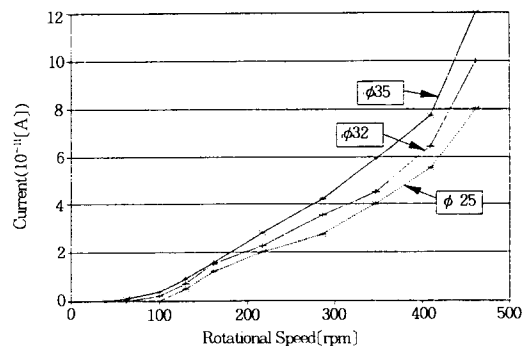


그림 4. 직경에 따른 帶電傾向

Fig. 4. Charging tendency on the radius

에서 유로의 접촉면적이 많을 수록 발생 帶電電荷의 發生量이 증가할 것임을 보여주는 것이다.

일반적으로, 자유공간중에는 여러가지 원인에 의해 電荷가 축적된다. 축적된 電荷는 시간의 경과에 따라 자기확산, 電界에 의한 드리프트(drift), 반대부호의 電荷에 의한 재결합 등의 과정을 거쳐 감쇄된다. 기체, 액체에 비하여 고체 유전체에서는 일반적으로 電荷 이동이 적고, 電荷감쇄를 적게 일으키므로 電荷 보유능력이 크다. 變壓器 絶緣油의 순환으로 발생한 帶電電荷는 絶緣油와 고체물질에 축적됨으로써 높은 電界를 야기하여 變壓器 사고의 원인이 되므로 축적 電荷의 감쇄상황을 파악하는 것은 아주 중요하다. 일반적으로, 帶電電荷의 측정은 帶電된 시료에 電位 프로브(probe)를 사용하여 表面電位를 측정할 수 있으며, 이 방식은 주로 고체시료에 적용되지만, 액체시료에 대해서는 액체내에 電位 프로브를 삽입하는 경우도 있다. 그러나 微小電流計에 의한 측정법은 발생된 電荷가 微小電流計를 통하여 漏泄되는 電流를 측정하는 것이기 때문에 고체나 絶緣油에 축적되는 電荷를 측정할 수 없는 단점을 갖고 있다.

그림 5는 微小電流計에 의한 측정법을 검증하고, 外部圓筒에 축적되는 電荷의 量을 측정하기 위하여 微小電流計를 제거한 후 靜電電壓計로 外部圓筒에 축적되는 表面電位를 측정한 것이다.

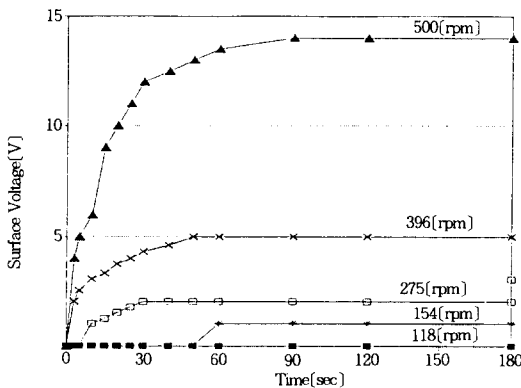


그림 5. 靜電 電位  
Fig. 5. Electrostatic potential

靜電電壓計의 프로브는 外部圓筒과의 간격이 멀어지면 측정되는 表面電位의 크기가 급격히 줄어들고, 노이즈의 영향을 받을 수 있으므로 外部圓筒에 3(mm)의 간격을 두고 설치하였다. 外部圓筒에 이미 電荷의 축적이 있을 수 있으므로 접지상태에서 영점조정을 하고 접지선을 제거하였는데, 이때 접지선 제거시의 접촉으로 인하여 帶電이 되지 않도록 주의하였다.

電動機를 회전시키면 回轉圓筒에서 발생된 陰電荷는 回轉圓筒을 접지한 접지선을 통하여 漏泄되고, 絶緣油에 발생된 陽電荷는 外部圓筒에 축적되어 表面電位로 나타난다. 이때, 回轉圓筒의 접지선을 제거하면 回轉圓筒에서 발생된 陰電荷가 漏泄되지 못하여 축적되고, 絶緣油 속에 발생된 陽電荷量과 같으므로 靜電電壓計에는 表面電位가 측정되지 않았다. 이러한 현상은 微小電壓計에 의한 漏泄電流에서도 같은 경향을 보였으며, 테프론으로 제작한 回轉圓筒을 이용한 경우에도 帶電電荷가 측정되지 않았다.

回轉圓筒의 回轉速度에 따라 表面電位는 118(rpm)까지는 특별히 帶電值가 측정되지 않았고, 154(rpm)부터 表面電位가 측정되기 시작하여 回轉速度의 증가에 따라 表面電位도 증가하는 경향을 보였다. 일정한 回轉速度에서 表面電位는 거의 1분 이내에 안정이 되었다. 回轉速度에 따른 表面電位의 측정은 반복 측정시 측정치가 거의

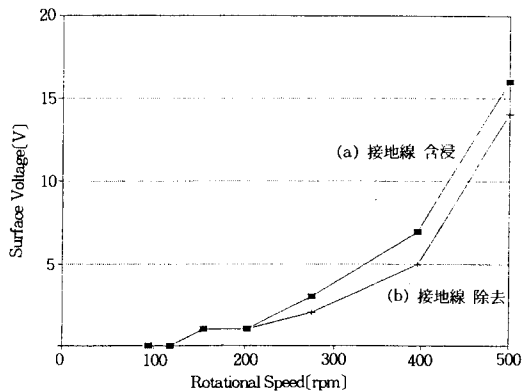


그림 6. 探針의 影響  
Fig. 6. Effects of the grounding wire

일정하여 재현성이 아주 높았으며, 表面電位の 時間特性도 微小電流計에 의한 시간특성과 같이 表面電位가 일단 안정이 되면 측정시간의 경과에 따라 蓄積電荷의 변화는 나타나지 않았다.

流動帶電되어 있는 액체중의 電位分布는 측정이 곤란하고, 측정방법도 확립되어 있지 않다. 액체중의 電位分布를 측정하기 위한 導電 探針法은 유체속에 놓인 探針子를 통하여, 帶電된 액체중의 電荷가 대지로 漏泄될 때의 電流를 측정하는 방법이다. 그림 6은 變壓器內의 流體의 흐름속에 물체가 놓일 경우에 流動帶電에 미치는 영향을 측정하고, 기존의 測定方法中 帶電파이프에 導電 探針子를 설치하여 油中の 電荷를 측정하는 방법을 검토하기 위하여 접지선을 油中에 함침시켜 表面電位の 變化를 측정한 것이다. 그림6-(a)는 접지선을 함침시켰을 경우에 측정된 表面電位이고, 그림6-(b)는 接地線을 除去하였을 경우 表面電位를 測定한 것이다. 回轉圓筒을 회전시켜 一定電壓에 안정된 후 접지선을 함침시키면 表面電位가 2(V)정도 상승하여 포화되었고, 접지선을 제거하면 이전의 表面電位값으로 돌아가 포화되었다. 또한, 접지선을 처음부터 油中에 함침시키고 回轉圓筒을 일정한 속도로 회전시켜도 같은 表面電位값을 나타내었다. 따라서, 流體의 흐름속에 물체가 놓이게 되면 流體의 흐름에 後流(wake)가 발생되어 流體 흐름이 매우 복잡하게

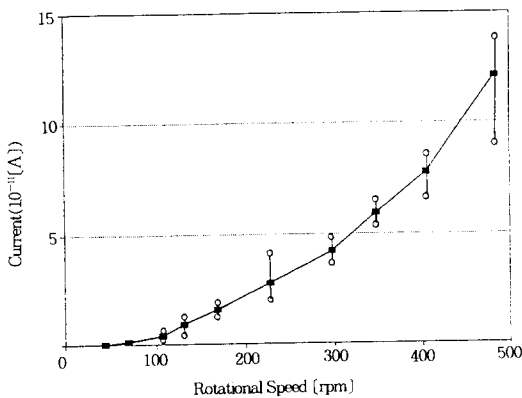


그림 7. 回轉速度 依存性  
Fig. 7. Dependence on rotational speed

되고, 流體의 흐름속에 놓인 물체에 의하여 전하가 발생하여 表面電位가 상승된 것으로 생각된다. 따라서, 導電探針法에 의한 絶緣油中の 電荷測定方法은 帶電된 유체의 흐름으로부터 探針子가 추출해 내는 電荷의 量이 어느 정도인지 명확히 알 수 없으며, 액체가 유동할 때 帶電되지 않았더라도 그림 6과 같이 探針子 자체로부터 발생하는 電荷의 영향을 제거할 수 없다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 回轉圓筒의 回轉速度를 0~500(rpm)까지 변화시키면서 측정한 漏泄電流이다. 측정시의 주위온도는 23~25(°C)범위였다. 回轉速度가 증가할 수록 漏泄電流는 크게 증가하여 強制流動式에서의 유동속도 증가시 누설전류의 증가와 같은 경향을 나타내어, 回轉圓筒 시스템이 流動帶電을 연구하는데 적합함을 알 수 있다.

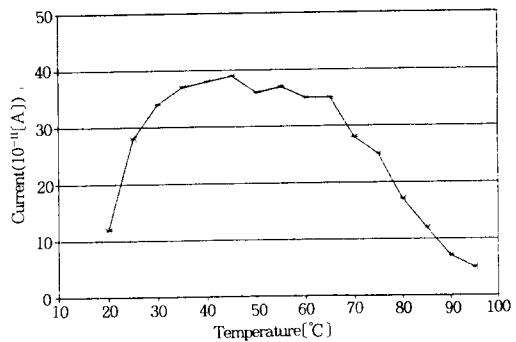


그림 8. 油溫 依存性  
Fig. 8. Dependence on temperature

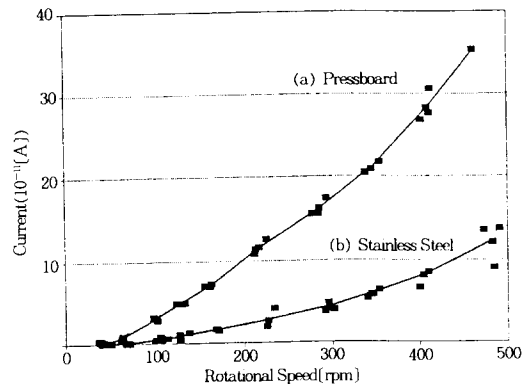


그림 9. 프레스보드 및 스테인레스의 帶電傾向  
Fig. 9. Charging tendency on pressboard and stainless steel

그림 8은 회轉圓筒 시스템을 항온조에 설치하고 회轉圓筒의 회전속도를 286(rpm)으로 일정하게 유지하면서 온도를 20(°C)에서 부터 95(°C)까지 변화시킬 때의 溫度依存性を 측정할 것이다. 온도의 증가에 따라 強制流動式 시스템에서와 같이 40~50(°C)부근에서 최대치를 나타내는 경향을 보였으며, 특히, 고온범위에서는 帶電量이 상당히 감소함을 보였다.

그림 9는 變壓器內的 주요물질인 프레스보드를 회轉圓筒에 부착하여 원통의 재질에 따른 流動帶電의 特性을 비교한 것이다. 그림 9-(a)는 회轉圓筒에 프레스보드를 부착하였을 경우이며, 그림 9-(b)는 스테인레스를 재질로 사용하여 측정한 것이다. 실험에 사용한 프레스보드는 1(mm)의 두께를 사용하였는데, 접합부분의 이음매를 최소화하기 위하여 두께를 0.2(mm)로 나누어서 롤(roll)형태로 5회 감아서 사용하였으며, 회轉圓筒과의 부착은 에폭시(epoxy)를 사용하였다. 圓筒의 재질이 프레스보드인 경우의 帶電度는 스테인레스에 비하여 상당히 크게 나타났으며, 회轉圓筒의 회轉速度가 증가할 수록 帶電度의 차이는 증가하였으며, 帶電極性은 스테인레스와 같은 陽極性を 나타내었다.

#### 4. 결 론

本 研究에서는 流動帶電現象의 研究에 있어서 기존의 펌프나 가스를 이용한 強制流動式 시스템과는 달리 고체를 회전시키는 회轉圓筒을 시스템을 사용하여, 강제유동식 대전장치와 비교, 검토하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

원통의 재질, 회전속도, 온도 등을 변화시키면서 측정한 결과, 각 요소의 변화에 따른 帶電特性은 強制流動式과 같은 경향을 보여 회轉圓筒 시스템이 流動帶電을 研究하는데 적합함을 보였으며, 強制流動式에 비하여 실험장치의 기계적 구조가 간단하고, 적은 量의 絶緣油만이 필요하며, 여러가지 물질이 流動帶電에 미치는 영향을

비교적 용이하게 검토할 수 있었다. 또한, 帶電防止劑의 첨가나, 變壓器의 장시간 운전으로 인한 絶緣油의 劣化에 따른 帶電電荷의 特性을 연속적으로 측정할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) J. L. Lauer and P. G. Antal, "Electrostatic Charge Generation during Nonuniform Flow of Hydrocarbons through Porous Insulators," Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 32, No. 3, pp.407~423, 1970.
- 2) S. Shimizu, H. Murata, and M. Honda, "Electrostatics in Power Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 98, No. 4, pp.1244~1250, 1979.
- 3) M. J. Lee and J. K. Nelson, "Flow-induced Electrification and Partial Discharge Measurements in Transformer Duct Structures," IEEE Trans. EI, Vol. 26, No. 4, pp.739~748, 1991.
- 4) 花岡良一 外, "變壓器油中の傳導特性と絶緣破壊電壓に及ぼす強制流動の影響," 電氣學會論文誌, Vol. 114, No. 1, pp.71~78, 1991.
- 5) T. Tanaka et al., "Model Approach to the Static Electrification Phenomena Induced by the Flow of Oil in Large power Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 99, No. 3, pp.1097~1106, 1980.
- 6) J. D. Cross, "Breakdown Across a Dielectric Spacer in Insulation Oil and the Role of Electrohydrodynamics in Liquid Breakdown," IEEE Trans. EI, Vol. 17, No. 6, pp.493~498, 1982.
- 7) 郭熙魯·權東震·金斗錫·金載哲, "材質이 變壓器絶緣油의 流動帶電에 미치는 影響," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 5, No. 3, pp.72~77, 1991.
- 8) 金斗錫·權東震·姜昌龜, "수분 및 먼지의 첨가에 따른 絶緣油의 對電傾向," 한국조명·전기설비학회지, Vol. 6, No. 5, pp.50~56, 1992.
- 9) 趙成甲·鄭慶燮, "流體力學," 源利, 1991.
- 10) A. J. Morin, "Fluid Electrification Measurements of Transformer Pressboard/Oil Insulation in a Couette Charger," IEEE Trans. EI, Vol. 26, No. 5, pp.870~901, 1991.

◇ 著者紹介 ◇



김 두 석 (金斗錫)

1943年 7月 20日生. 1967年 全北  
大工大 電氣工學科 卒. 1981年 崇  
實大 大學院 電氣工學科 卒(碩  
士). 1991年 崇實大 大學院 電氣工  
學科 卒(博士). 現在 全北産業大 電氣工學科 教授



권 동 진 (權東震)

1963年 1月 20日生. 1986年 서울  
産業大 電氣工學科 卒. 1992年 崇  
實大 大學院 電氣工學科 卒(碩  
士). 現在 崇實大 大學院 電氣工學  
科 博士課程.



곽 희 료 (郭熙魯)

1942年 3月 1日生. 1967年 서울大  
工大 電氣工學科 卒. 1978年 호주  
New South Walse大 大學院 電氣工  
學科 卒(碩士). 1986年 中央大 大  
學院 電氣工學科 卒(博士). 1967年 韓電 勤務. 1986年  
美國 M.I.T. Visting Scientist. 現在 崇實大 教授, 教務處  
長. 當學會 副會長.