

변압기절연재료의 유동대전특성에 미치는 제인자 연구

이 승 념⁰, 허 장 수
인하대학교 전기공학과

A STUDY ON THE FACTOR OF STATIC ELECTRIFICATION ON TRANSFORMER INSULATING-MATERIALS

Lee Sung Nyeong⁰, Huh Chang Su
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

ABSTRACT

In this paper, we measured leakage current that produced by static electrification at pressboard and insulating paper. We found that the leakage current increased as temperature increased, as oil velocity increased. The leakage current at pressboard is higher than that of insulating paper

1. 서 론

절연성 액체가 고체절연재료와 접촉하여 전하 분리, 전하 이동, 전하완화 과정을 통해 생기는 정전기대전 즉 유동대전현상은 변압기의 대용량화, 고전압화가 진행되면서 변압기의 냉각효율을 상승시키기 위해 더 많은 유를 변압기 내부에서 강제 순환시키게 되고 이 때 절연유와 절연지, 프레스보드 등과의 계면에서 발생하는 정전기에 의해 변압기 내부에 다량의 전하가 축적되어 전계집중을 유발하여 변압기내에서 유중방전을 일으켜 변압기의 절연신뢰성을 위협하게 되면서 더욱 크게 부각되고 있다.[1][2] 이러한 변압기내에서 정전기대전에 영향을 끼치는 요소로서는 유속, 온도, 수분함유량, 유의 흐름 경로, 유의 성질, 고체 절연물의 종류 등이 있으며, 이러한 것들이 복합적으로 작용하여 대전특성을 결정한다고 알려져 있다. 또한 유동대전현상은 변압기수명을 예측할 수 있는 하나의 요소로서 연구되어지고 있다.[3] 이러한 유동대전현상은 그 원인 뿐만 아니라 방지대책에 있어서 구미, 일본 등의 국가에서 많은 연구가 있었으며, 국내에서도 765kV로 송압 결정이후 많은 연구가 진행중이다. 따라서 본 논문에서는 일반적으로 변압기권선절연재료로서 사용되는 전기절연지, 프레스보드에서의 대전특성을 조사하여 변압기 수명진단에 유동대전현상을 적용하기위한 기초자료로서 활용될 수 있도록 하였다.

2. 실험

일반적으로 대전된 전하량을 측정하는 방법으로서 회전원통을 사용하는 방법과 절연유를 펌프로 강제로 순환시키는 방법으로 크게 구별된다.[4] 회전원통형은 절연유나 재료들에 따른 대전특성을 고찰하기 쉬운 장점이 있으나 실제의 변압기에서의 유의 흐름을 모의하기가 어렵기 때문에 본 실험에서는 절연유를 펌프로 강제 순환시키는 방식을 택하였다. 고체·액체 계면에서의 전하생성과 분리, 축적에 대하여 정량적으로 측정할 수 있도록 파이프 형상의 대전관을 제작하고, 이 파이프에서 생성되는 전하는 정·부 동량의 전하가 발생하고 정의 전하는 유중에, 부의 전하는 그 표면을 통하여 누설한다는 사실에서 전하의 생성량은 파이프측의 누설전류로서 생성과 축적되는 전하량을 측정하였다. 본 실험장치는 그림 1에 나타낸 바와 같이 대전관, 완화탱크, 측정용탱크, 펌프와 유량계, 냉각장치등으로 구성되어 있으며, 펌프에 의해 강제 순환된 유는 대전부를 지나면서 고체절연재료는 부에, 유는 정에 대전한다. 이때 유에 축적된 전하는 측정용탱크에서 검출되며 고체측에서 발생한 전하는 대전관에 설치된 전극을 통해 미소검류계(TR8651)로서 검출하였다. 대전발생부는 프레스보드, 전기절연지로서 길이 60cm, 두께 5mm가 되도록 파이

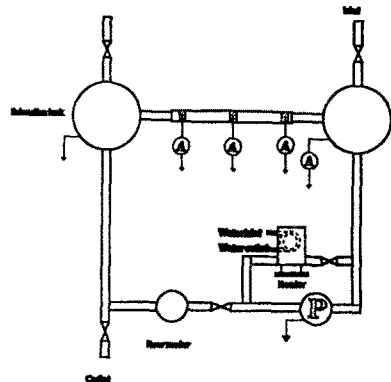


그림 1. 실험장치의 구성

프형상으로 제작하고 유동시 대전관 각 부분에서의 전하 생성량을 검출할 수 있도록 전극을 설치하였다. 이 대전과 이프를 측정용탱크에 연결하기전에 투명한 아크릴판에 삽입하여 추후 자외선 조사시의 대전특성 및 흐름상태에 따른 대전특성을 관찰할 수 있도록 하였다. 완화탱크는 대전 발생부로 유가 들어가지 전에 펌프나 기타 파이프를 지나면서 대전한 전하를 큰 용량의 탱크에 축적시켜 이를 접지측과 연결하여 대전량을 zero로 만들어 대전부로 들어가는 유의 전기적 성질을 중성으로 유지시키도록 하였다. 유온 측정은 thermocouple을 냉각탱크에 삽입하여 측정하였으며 온도조절은 히터 및 냉각수로서 조절하였다. 유를 순환시키기 위해 사용한 펌프는 floating된 chemical 펌프이며 관로의 재질은 내경이 20mm인, 가교화 폴리에틸렌파이프를 사용하였다. 유의 유량은 동양계기교역주식회사의 적산 디지털형 유량계로서 측정하였으며, 유량조절은 by-pass (throttle valve)로서 조절하였다. 본 실험에서 사용된 유의 총량은 15ℓ이다.

3. 실험결과 및 고찰

국내 송전계통도 345KV에서 765KV로 승압하게 됨에 따라 기존의 송전계통에서는 문제되지 않았던 유동대전인 송전계통, 특히 변압기의 절연신뢰성에 심각한 영향을 끼치리라 생각된다. 이 유동대전현상은 여러가지 인자들에 의해 영향을 받게 되고, 또한 이러한 여러 인자가 동시에 영향을 끼친다고 보고되고 있다.[5] 이러한 복잡성으로 유동대전현상은 수학적 모델링이 어렵고, 실운전과 같이 여러가지 변수들이 있는 상황에서는 더욱 더 이 현상에 대한 정확한 해석과 원인규명이 어렵게 된다. 변압기의 절연 성능에 영향을 미치는 유동대전현상에는 많은 인자들이 있다. 그중에서 가장 크게 영향을 미치는 요소로서 유속과 온도를 들 수 있다.

다음 그림 2, 그림 3, 그림 4는 대전관의 유입구 및 유출구, 측정용탱크에서의 프레스보드 및 전기절연지에서의 대전특성을 나타내고 있다.

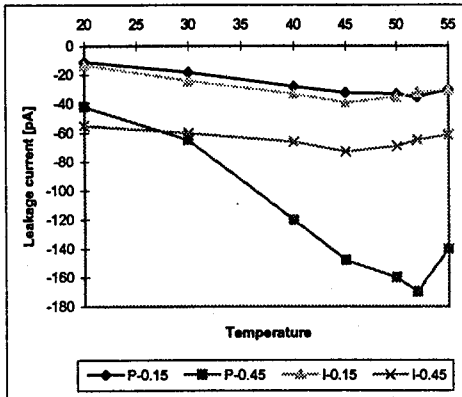


그림 2. 유입구에서의 대전특성

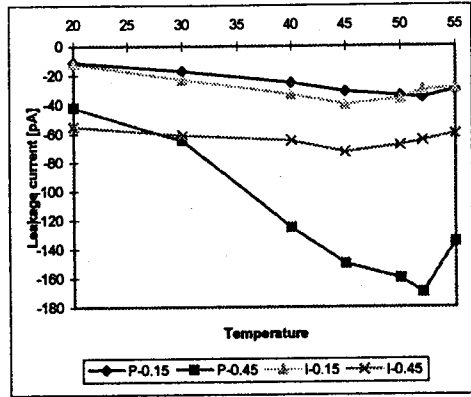


그림 3. 유출구에서의 대전특성

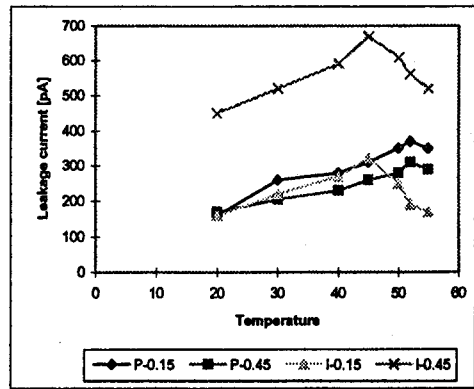


그림 4. 측정용탱크에서의 대전특성

- P-0.15 : pressboard, 유속 0.15m/s일때
- P-0.45 : pressboard, 유속 0.45 m/s일때
- I-0.15 : 전기절연지, 유속 0.15m/s일때
- I-0.45 : 전기절연지, 유속 0.45m/s일때

그림에서도 알 수 있듯이 재료에 상관없이 온도가 증가하면서 대전량은 증가하나 어느 일정온도에서 최고치를 보인다 다시 감소하는 특성을 나타내고 있다. 또한 전기절연지보다는 피크치가 약 45°C에서 보이나 프레스보드에서의 피크치는 약 52°C로서 피크치를 나타내는 온도가 전기절연지보다 더 높다는 것을 알 수 있다. 그리고 유속이 증가하면서 대전량은 증가하는 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 온도가 증가하면서 대전량이 증가하다가 피크치를 나타내는 원인은 유속이 일정할 때 오일온도가 더 높아지게 됨에 따라 도전율이 증가하고 점도는 작아지게 되므로 도전율의 함수인 대전전하의 완화시간은 감소하게 되어 결과적으로 누설전류는 어떤온도에서 피크치를 나타낸다고 생각된다. 또한 유의 속도에 따라서 대전파이

프에서의 대전량의 변화가 현저한데 이는 고온영역에서는 유의 도전율이 높아지게 되어 완화시정수가 작게 되어 대전량이 증가되는 효과를 나타내게 되며, 저 유속으로 될수록 유중 정전하의 완화가 현저하게 되어 파이프에서의 누설전류가 작게 되기 때문인 것으로 사료된다.

또한 그림 4에서 알 수 있듯이 유의 속도가 빨라지면서 측정용탱크에서의 누설전류는 증가한다. 이는 절연유가 느리게 흐를 경우에는 대전전하가 파이프를 흐르는 과정에서 유중의 정전하가 고체측 및 유중 부이온과 결합하여 중성의 이온으로 완화하나 유속이 빨라지면서 이러한 중성이온으로 될 수 있는 완화시간이 되기전에 유속이 느린 탱크내에 주입되어 상대적으로 많은 전하가 측정되기 때문인 것으로 사료된다. 또한 프레소보드에서는 유속에 따른 누설전류는 미미하나 전기절연지의 경우 유속에 따라 거의 2-3배의 대전량의 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 2 및 그림 3의 유입구와 유출구에서의 대전량의 변화가 없는 것으로 보아 대전부에서는 중류상태로서 흐른다고 고려할 수 있다.

4. 결론

본 실험에서는 대표적인 변압기 권선절연재료로서 사용되는 전기절연지 및 프레소보드에서의 대전특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유입구와 유출구에서의 대전특성의 변화가 거의 없는 것을 보아 본 실험에서의 유의 흐름은 중류상태로서 흐름을 알 수 있다.
2. 유속 및 온도가 증가하면서 누설전류는 증가하며 어느 일정온도에서 최고치를 나타낸다는 사실을 확인하였다.
3. 전기절연지는 45°C에서 670[pA], 프레소보드에서는 52°C에서 320[pA]의 최대누설전류가 측정되었다.

본 연구는 한국 전력 공사의 연구비 지원으로 수행되었음

참고 문헌

1. 大容量變壓器における流動帶電現象
田村良平 外 2, 日本電氣學會雜誌, 99권 10호,
pp 913-920, 1979
2. Static electrification by forced oil flow in large
power transformer
IEEE R.Tamura et al, pp 335-343, 1988
3. Electrostatics in power transformer.
S. Shimizu IEEE on power apparatus and system.
Vol pas-98. No 4. 1979, pp 1244-1250

4. Investigation of static electrification phenomena
due to transformer oil flow in electric power
apparatus, R. M. Radwan et al, IEEE insul.
Vol 27. No 2, pp 278 -285, 1992
5. Streaming electrification study of transformer
insulation system using a paper tube model
T. V. Oommen, IEEE on power delivery, Vol 5, No 2,
pp 972-983, 1990