

초고압 대용량 변압기에서의 유동대전 현상에 관한 연구(전압무인가)

A Study of the Streaming Electrostatic Current

in High Voltage - Large Power Transformer

박재운\* 윤승진 小金實成 이덕출 각희로\*\*

인하대학교

승실대학교\*

Park Jae-Yun Yun Seung-Jin Kogane Minari Lee Duck-Chool Kwak Hae-Ro \*\*

INHA Univ

Sung Sil Univ.\*\*

Abstract

In this paper, the pheonmena of flowing electrification is experimently studied in the model transformer of a super high voltage transformer. The current of natural terminal which is flowed by the flowing electrification is increased according to oil flow, but according to the oil temperture the current is decreased and the direction of the current is changed.

1. 서론

절연성이 좋은 액체가 파이프중을 흐를때 발생하는 대전현상에 관한 연구는 19세기 후반에 Quinkes, Lipman, Helmholtz, Nernst 등에 의해 시작되었고 20세기에 들어서 Gouy Chapman 등이 확산 이중층 이론을 제시하였으며 Debye, Huckel 등에 의해서 확산 이중층 이론으로 대전 현상을 분석하였다.

액체의 유동대전 현상은 액체와 고체가 접촉하고 있을때 액체중에 존재하는 正負 이온들이 고체의 특성에 따라 화학 퍼텐셜에 의해서 고체표면에 선택 흡착되고 이 표면에 對이온이 Coulomb

인력에 의해 이끌려 전기 이중층을 형성하게 된다. 이상태에서 액체가 유동하게 되면 이중층의 확산층내 對이온들이 액체와 함께 유동함으로써 전기 이중층이 균형을 잃게되어 전하가 분리됨으로써 액체와 고체가 각각 반대의 극성으로 대전하게 된다.

최근에는 날로 증가하는 전력수요를 수용하기 위하여 전력계통의 고전압화 및 절연성능 향상을 목적으로 초고압 대용량 변압기의 냉각효과를 향상시키기 위해 강제 유순환 방식을 채택하고 있다. 이와같은 강제순환 방식을 채택하고 있는 초고압 대용량 변압기에서 지금까지는 문제가 되지 않았던 유와 케이스 pressboard 철심과의 계면에서 유동대전 현상에 의해 발생된 유중 정전하가 어떤 레벨까지 누적되고 이 전하에 의한 DC 전계가 극부적으로 상승하게 되어 연면방전이나 부분방전을 일으켜 대형 변압기 사고가 발생되며 미국의 Berkshire Transformer consultants, INC의 보고에 의하면 매년 약 12 대의 이와같은 사고가 일어나고 있다고 보고하고 있으며 Texas power and Light Company 의 1985년도 보고서에도 유동대전에 의한 사고경위를 자세히 보고하고 있다. 따라서 초고압 변압기의 유동대전 현상에 의한

사고가 더이상 간과할 수 없는 현안문제가 되었다.

본 연구에서는 이와같은 국제적 연구동향에 따라 코아형 초고압 대용량 모델 변압기 (3 $\phi$  100KVA)를 제작하고 변압기 내에서 발생하는 유동대전 현상을 다각적으로 연구, 분석, 제어하기 위하여 절연유의 순환유량 변화와 온도변화에 따라 중성점 누설전류, 중성점 전위, 유동대전에 의해 생긴 유중 대전현상에 의한 절연유 표면의 정전 포텐셜을 측정하고 변압기 케이스에 바이어스 전압을 인가하고 절연물 표면에 흡착되는 이온의 극성을 조사하였다.

2. 실험

2-1. 장치 개요

본 연구에서 사용된 변압기는 한전 인천지사서 기증받은 100 KVA 3 $\phi$  (  $\Delta$ -Y 형 ) 인 코아형 변압기를 초고압 대용량 모델 변압기로 개조하여 사용하였다. 그 개략도는 그림 (1)에 나타난다.

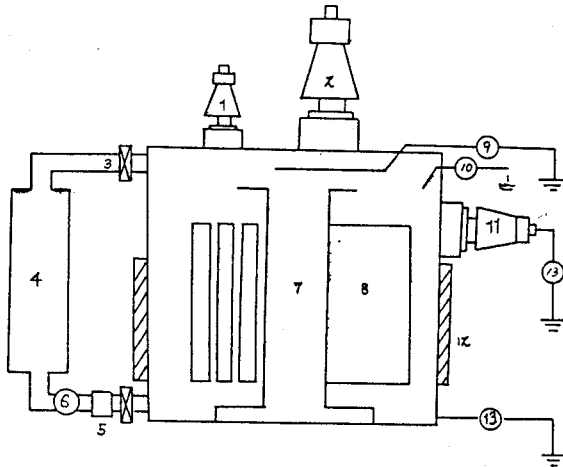


그림 1. 실험장치 개략도  
Fig 1. schematic diagram of experiment apparatus

1. 저압부싱 2. 고압부싱 3. 밸브 4. 라디에이터
5. 펌프 6. 유량계 7. 철심 8. 코아 9. 표면전위계
10. 온도계 11. 중성점 12. heater 13. 미소 전위계

주변 기기로는 DC 모터를 구동시키기 위한 DC Power Supply와 절연유의 온도변화를 위해 용량이 2 kW 인 히터 4개를 변압기 본체에 부착시켰다.

Y형 코어 및 pressboard로부터 발생하는 전하에 의한 전류를 측정하기 위하여 고압측으로부터 중성점단자를 도출시켜 전류계를 연결시켰으며 유동대전에 의해 생긴 유중 대전현상에 의한 절연유 표면전위를 측정하기 위하여 변압기 윗부분으로부터 절연유 표면에 ANDO AA-2414 Electrostatic Voltmeter의 고압 센서 및 온도계를 삽입했다. 실험장치를 사진 (1)에 나타낸다.

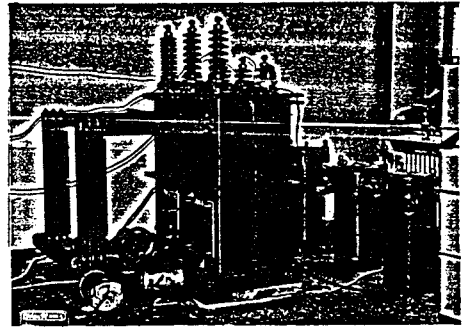


사진 1 실험장치  
photo 1. experiment apparatus

2-2. 방법

일정량의 절연유를 변압기 상부공간 → 라디에이터 → 유량계 → 변압기 하부공간 → 코아, pressboard → 다시 상부공간으로 순환할 수 있도록 펌프를 이용하였다. 펌프의 DC Motor 입력전압을 변화시켜 펌프의 회전수를 조절하였고 이 작용으로 유량을 250 ~ 900 l/h 변화시킬 수 있었다. 절연유의 온도를 20 ~ 65°C 로 변화시키기 위하여 변압기 케이스에 히터를 부착하였다. 측정전과 측정후의 온도가 약 2-3 °C 차이가 나타났으며 그 평균값을 측정온도로 하였다. 코일 및

pressboard등의 고체 절연물과 절연유가 강제 순환 하면서 접촉유동에 하게 된다. 이때 코일 및 pressboard등 고체 절연물측에 발생된 축전하가 접지로의 누설되고 이 누설전하에 의한 전류를 중성점에 접속된 전류계로 측정하고 절연유 측에 발생된 정전하가 변압기 상부공간으로 유입되어 형성된 전위를 Electrostatic Voltmeter 로 측정 하였다.

또한 고체 절연물에 흡착되는 이온의 극성을 검토하기 위해서 변압기 케이스에 직류 바이어스 전압을 인가하고 실온에서 위와같은 방법으로 중성점을 통하여 흐르는 유동전류를 측정한다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 유동전류에 의한 중성점 누설전류( $I_n$ )

a) 유량 의존성

절연유의 온도를 R.T. 30, 40, 50, 60, 65 °C로 일정히 하고 유량을 300 ~ 900 [l/h]로 변화시킬 때 중성점 단자로 흐르는 누설전류를 그림 (2)에 나타낸다.

보편적으로 유량증가에 따라 비례하여 누설전류가 증가하는 경향이며 온도가 증가함에 따라  $I_n$ 는 감소하는 특성을 나타내고 있다.

강제순환으로 절연유가 권선을 통과 할때는 권선 내의 coil 및 고체 절연물인 pressboard 와 절연유의 접촉대전으로 coil 및 pressboard 에 부전하가 발생하여 중성점 단자로 부의 유동전류가 흐른다. 한편 절연유와 라디에이터, 케이스 기타 순환계통에서 접촉유동으로 절연유내에 발생된 정전하가 중성점 단자로의 환화로 인한 전류가 흐르게 되고  $I_n$ 는 이 두전류의 산술적 합이 일반적으로 관측된다.

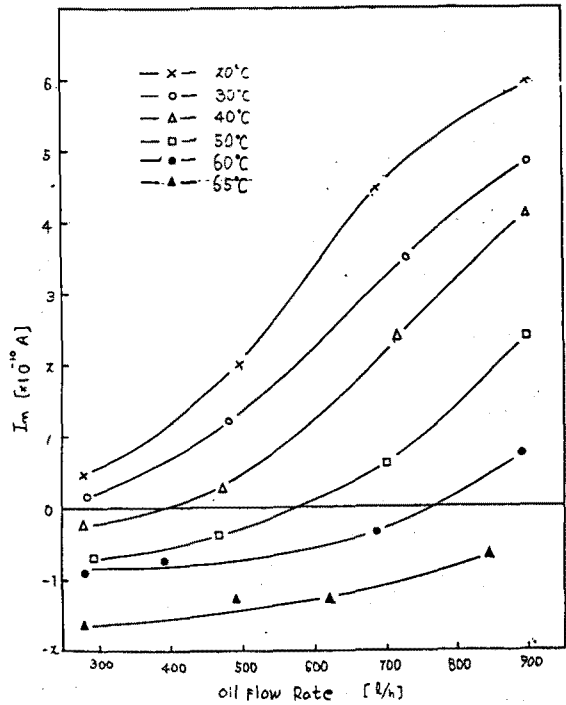


그림 2.  $I_n$ 의 유량 의존성  
Fig 2. Dependence of  $I_n$  on oil flow Rate

b) 유온 의존성

강제순환으로 절연유의 유량을 270, 480, 700, 900 [l/h]로 일정히 하고 유온을 R.T 에서 65 °C로 변화시킬때 중성점 단자로 흐르는 누설전류들 그림 (3)에 도시한다.

일반적으로 온도가 증가함에 따라  $I_n$ 이 감소하며 임의 온도에서 극성반전이 일어나며 유량이 증가함에 따라 감소 비율이 매우 큰편이며 극성반전점이 고온쪽으로 이동하는 경향이 있다.

상기의 (a), (b)의 실험결과는 일본 Mitsubishi 의 田村씨가 발표한 절연유의 온도가 40°C부근에서 유동전류가 미크값을 갖는다는 실험결과와 상이한 특성이 관측되었다. 이 현상을 검토하기 위해 이론식을 도입해 이를 고찰한다.

$$I_n(z) = ab^{-m} \cdot \exp\left(\frac{E_k - E_n/2}{kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{Z}{Z_0}\right)\right]$$

$$Z_0 = b'v \cdot \exp\left(\frac{E_k + E_n/2}{kT}\right)$$

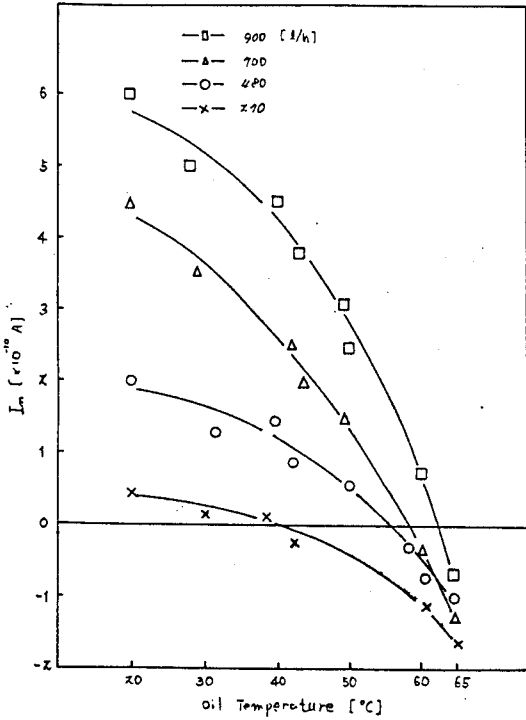


그림 5.  $I_m$ 의 온도 의존성  
Fig 5. Dependence of  $I_m$  on oil Temperature

여기서  $E_k$ ,  $E_D$ ,  $E_n$ 는 도전율  $K$ , 열확산 계수  $D$ , 및 유증이온 농도  $n$  등의 온도의존성에서 활성화 에너지,  $k$ 는 볼츠만 정수,  $T$ 는 절대온도,  $Z$ 는 유입구(duct입구)로부터의 거리,  $a$ 와  $b$ 는 온도에 의존하지 않는 정수이다. 이 식에서 온도가 높은 경우는 유증전하가 coil, pressboard면으로 빨리 완화되기 때문에 전하완화시간  $Z_0$ 가 짧다. 따라서  $I_0(Z)$ 는 낮은 레벨에서 포화하게 되고 온도가 낮은 경우는 완화시간이 길게 되므로  $I_0(Z)$ 는 직선적으로 증가하게 되며 온도가 중간적인 경우에는 완화시간과  $I_0(Z)$ 도 중간적인 값을 갖게 된다. 따라서  $Z$ 가 충분히 큰 경우  $I_0(Z)$ 는 저온인 경우가 가장 큰 값이 되고 중간온도, 고온의 순으로 작아지며 전체적으로는 온도에 따라 비례적으로 감소하게 되며 본 실험에서 관측된 실험결과와 잘 일치 하였다.

#### 4. 결론

초고압, 대용량 변압기의 유동대전 현상을 연구하기 위하여 모델 변압기를 제작하고 油溫 및 과전특성을 검토하기 위하여 유량범위(250~900 l/h), 유온 20 - 65°C 범위에서 유동대전에 의한 중성점 누설전류, 중성점 전위, 표면 전위 및 케이스 과전특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 중성점 누설 전류는 유량의 증가에 따라 증가하며 유온이 증가함에 따라 급속히 감소하여 극성이 반전된다. 이것은 유료가 충분히 긴 경우로 가정하고 세운 유동대전 모델과 잘 일치한다.
- 2) 중성점 전위는 유량의 증가에 따라 단조증가하지만 유온의 증가에 따라 감소하며 케이스 비접지의 경우는 극성반전 현상이 나타난다. 이것은 유온의 상승과 함께 전하완화 시간이 짧아지므로 케이스, 펌프, 유량계등과 절연유 계면에서 발생된 유증 正전하가 이들을 통과하는 동안 거의 이들로 완화되므로 변압기 하부공간으로 유입되는 유증 正전하 밀도가 감소하기 때문에 권선 pressboard와 절연유 계면에서 고체 절연물속에 발생된 부전하가 접지로 누설되는 전류가 상대적으로 크게되기 때문인 것으로 사료된다.

#### 5. Reference

1. M.higaki, et al. : IEEE PES Meeting F 79 231-2 1979
2. M.higaki, et al. : ibid. F 79 230-4 1979
3. S.Shmizu, et al. : ibid. F 79 232-0 1979