

## 고전압 인가 Couette Charger의 유동대전현상에 관한 연구

전 상 준<sup>0</sup>, 정 용 기, 강 창 구, 이 강 수, 박 회 로  
송실대학교 전기공학과

### A Study on the Streaming Electrification of the Energized Couette Charger

Sang-Jun Jeon<sup>0</sup>, Young-Ki Chung, Chang-Gu Kang, Kang-Soo Lee, Hee-Ro Kwak  
Dept. of Electrical Engineering, Soong Sil Univ.

#### ABSTRACT

A Couette Charger was used to simulate streaming electrification process in transformer. This paper describes the electrification characteristics of the energized and unenergized Couette Charger. By applying low frequency and high voltage across the cylinder of the Couette Charger, the measured short circuit current( $i_{sc}$ ) is compared with the measured values of unenergized Couette Charger. As a result, short circuit current was increased with voltage.

#### 1. 서론

계통전압과 변압기 용량 증가에 따라서 초고압 대용량 변압기에서 발생하는 유동대전현상은 증가<sup>1)</sup>하게 되었고 이를 규명하기 위하여 많은 연구가 행해지고 있다. 특히, 유동대전현상을 분석하기 위하여 개발된 Couette Charger(이하 CC라 부름)는 변압기에서의 유동대전현상을 유사하게 모의하고 있다.<sup>2)</sup>

본 논문에서는 CC에 전압을 인가하지 않은 경우와 전압을 인가한 경우의 누설전류( $i_{sc}$ )를 비교하였으며, 전압 인가시 CC내에 전하유입을 위하여 저주파수 고전압을 인가하여 실제 유입변압기 권선에서 정전하 발생과 누적을 모의하였다. 이를 위하여 저주파수 고전압인가 장치를 제작·이용하였고, CC내 전압인가와 그에 따른 전하발생 상태를 이론적으로 고찰하였다. 특히 CC에서 측정된 누설전류가 정상상태에서 전압과 주파수의 영향을 받아서 어떻게 누적되고 전이되는가를 분석하였다.

#### 2. 이론적 고찰<sup>3)</sup>

본 연구를 위해서 필요한CC내 난류흐름에 의존하는 몇가지 전기적, 유체 역학적인 길이가 있다. 이러한 길이에 CC의 각 변수를 대입하여 사용하였다. AC전계의 크기  $E_0$ , 주파수  $\omega$ 가 인가되었을 때 전하가 이동할 수 있는 최대거리  $\delta_{mig}$ 는

$$\delta_{mig} = \frac{2bE_0}{\omega} \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $b$ 는 이온이동도로  $b = \frac{2 \times 10^{-11}}{\eta}$ 이며  $\eta$ 는 절대점성계수로  $0.02[\text{Ns/m}^2]$ 이다. 이 길이는 전계가 혼합된 난류 중심으로 전기이중층 전하를 움직이는 곳에서는 중요하다. 또한 전기이중층 내에서 전하는 인가 전계  $E_0$ 에 의해 속도  $bE_0$ 로 이동한다. 전하 이동저항두께  $\delta_b$ 는

$$\delta_b = 63dR^{-\frac{2}{3}} \left[ \frac{bE_0d}{\nu} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

이다. 단,  $d$ 는 CC의 내·외부 원통간격이고  $R$ 은 Reynolds수로  $R = \frac{\Omega R_2 d}{\nu}$ 이다. 여기서  $\Omega$ 는 각속도  $[\text{rad/s}]$ 이고  $R_2$ 는 외부원통반경,  $\nu$ 는 절연유의 점도이다. Reynolds수는 실험적으로  $2.8 \times 10^4$ 회전속도 $[\text{rpm}]$ 이다.

전압인가시 이 저층을 통과하는 이동전하가 난류중심속으로 주입된다. 교류전계를 가했을 때 교류전계의 반주기에서는 전하가 CC의 내부Cylinder벽으로부터 CC내 난류중심으로 주입되고 나머지 반주기에서는 전하가 내부Cylinder벽으로 되돌아 간다. 전하가 이동하는 최대거리  $\delta_{mig}$ 가 전기이중층두께  $\delta_b$ 보다 작을때는 전하는 난류속으로 주입되지 못하여 주입전하의 영향은 적게 된다. 그러나 전계 $E_0$ 가 충분히 높고 주파수 $\omega$ 가 충분히 낮으면 주입전하의 영향이 난류속에 나타나게 된다.

### 3. 실험장치 및 실험방법

CC를 이용하여 대용량 변압기에서 발생하는 유동대전 현상을 모의하기 위한 실험장치로 저주파 고전압 발생 장치를 제작하여 전압인가 상태를 모의하는데 이용하였다. 그림 1에 실험장치의 개략도를 나타내었다.

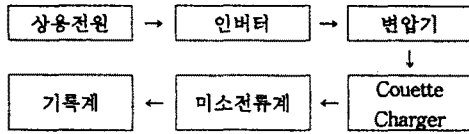


그림 1. CC의 전압인가장치와 측정장치 개략도

CC에 저주파수 고전압을 인가하기 위하여 상용주파수 전원(60[Hz], 220[V])을 인버터(0.5[Hz]~240[Hz])를 통하여 저주파수로 변환하고 특수제작된 변압기(5[kV])를 통하여 전압을 상승시키도록 전압인가장치를 구성하였다. 본 실험에 사용한 주파수는 5[Hz]이며 전압은 1[kV]이다.

인버터는 PWM방식의 인버터로서 인버터에서 변환된 신호는 변압기를 통해서 자연스럽게 평활되어져 정현적인 파형의 전압을 인가할 수 있도록 하였다.

CC는 외부노이즈 영향을 고려하여 철망으로 차폐하여 접지하였으며 측정시 노이즈 문제를 고려하여 신호측정은 이중 차폐케이블을 사용하였다. 또한 외란을 제거하기 위하여 미소전류계 부분은 알루미늄 호일로 차폐하였다.<sup>4)</sup> CC의 내부원통 높이는 25.5[cm]이고 내부원통 반경은 7.62[cm], 외부원통 반경은 10.16[cm]이며 내부원통과 회전용 전동기와와의 사이는 테프론으로 절연하여 내부원통에 전압인가시 전동기에 영향을 주지 않도록 하였다.<sup>5)</sup> 또한 CC내부원통회전용 전동기와 지지대는 모두 접지하여 누설전류측정시 영향을 주지 않도록 하였다. 또한 각 실험이 끝난 후 계측기의 외부원통에 축적되어 잔류하고 있는 전하의 영향을 고려하여 접지상태에서 영점조정하고 접지선을 제거하였다. 이때 접지시 접촉으로 인하여 대전이 되지 않도록 주의하였다. 또한 실험장치 제작시 불순물의 영향을 최소화하기 위하여 벤젠으로 세척하여 오차를 최소화하였다. 그림 2는 Couette Charger를 이용한 전압인가 실험장치를 나타내었다.

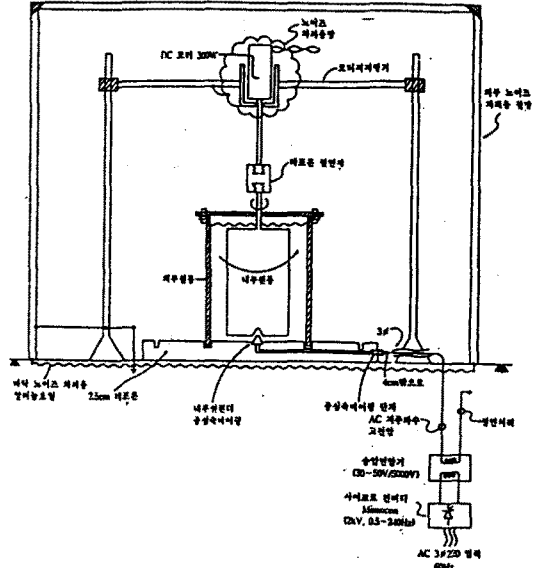


그림 2. Couette Charger

### 4. 실험결과 및 고찰

CC를 이용하여 변압기에서 발생하는 유동대전현상을 모의할 경우에 내·외부 원통에 유도되는 전하의 극성은 같고 절연유는 반대극성을 나타내게 된다. 본 연구에서는 외부원통에서 누설전류를 측정하였으며, 누설전류의 극성은 음극성을 나타내었다. 측정시 매측정값의 비교를 위하여 해당 속도에서 5분간 측정하였고 각각 4회씩 측정하여 각 측정값의 오차를 고려하여 평균내어 사용하였다.

따라서, 내부원통에 축적되는 전하의 영향을 제거하기 위하여 내부원통을 접지한 경우와 내부원통에 축적되는 전하의 영향을 고려하여 접지를 하지 않은 경우를 그림 3에서 비교하여 나타내었다.

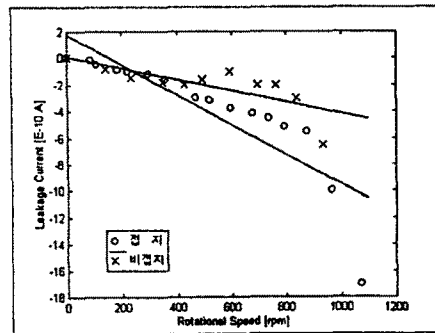


그림 3. 내부원통의 접지에 따른 누설전류

접지를 하지 않은 경우에 누설전류는 접지를 통한 내부원통에서 발생된 전하의 누설이 없고 CC내부에서 완하되어 외부원통에서 측정된 전류가 작은 것을 볼 수 있다.

그림 4는 내·외부 원통사이에 전압을 인가하였을 경우와 전압을 인가하지 않은 경우의 누설전류를 나타내고 있다. 전압을 인가하였을 경우에 누설전류값은 전압을 인가한 순간부터 일정치의 누설전류치를 보였다.

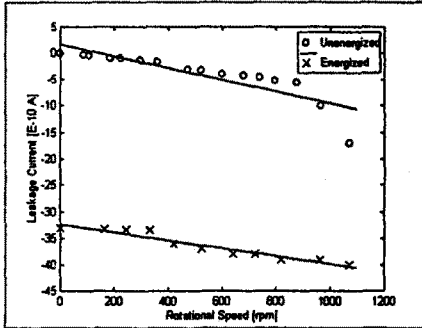


그림 4. 전압인가시 누설전류

## 5. 결론

CC를 이용하여 초고압 대용량 변압기에서 발생하는 유동대전현상을 연구하기 위하여 저주파수 고전압을 인가하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 실제의 유입변압기를 모의한 CC내에서 전하이동최대거리가 전하이동저층 두께보다 크기위해서 저주파수 고전압의 전원을 인가하였을 경우 전압을 인가하지 않은 경우의 측정치보다 누설전류의 증가를 보였다.

## 6. 참고문헌

- [1] S. Shimizu, H. Murata, and M. Honde, "Electrostatics in Power Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 98, No. 4, pp. 1244~1250, 1979
- [2] D. J. Lyon, J. R. Melcher, and M. Zahn, "Couette Charger for Measurement of Equilibrium and Energization Flow Electrification Parameters : Application to Transformer Insulation," IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol. EI-23, No. 1, pp. 159-176, 1988
- [3] A. J. Morin II, "Fluid Electrification Measurements

of Transformer Pressboard / Oil Insulation in a Couette Charger," IEEE T - EI, Vol. 26, No. 5, pp. 870-901, 1991

- [4] 박희로 의 3인, "회전원통 시스템에 의한 절연유의 유동대전", 한국조명·전기설비학회, Vol. 8, No. 4, pp. 363~369, 1994
- [5] 박희로 의 3인, "Couette 흐름현상을 이용한 초고압 변압기의 유동대전 기구 연구", 한국조명·전기설비학회, Vol. 9, No. 4, pp. 93-102, 1995