

원태원
곽희로
김재철
김용상
*박민규

한국전력 기술연구원
충실대학교 전기공학과
충실대학교 전기공학과
충실대학교 전기공학과
삼흥 중전기(주)

ABSTRACT

This paper presents research results on the use of a corona detector and a pulse counter in order to diagnose for oil transformers.

Using these experimental apparatus, tests were carried out on a typical transformer oil containing different carbonized paper and various moisture contents to measure the picocoulomb values and pulse count.

Through the result of this study it was found that the picocoulomb values and pulse count of corona were depended on the getting stained in transformer oil.

The amplitude of the partial discharge amount and the number of pulse were decreased up to 70 [°c] and then was increased as the oil temperature goes up.

It was concluded that the determination level for diagnosis of oil transformer was taken into account the temperature of transformer oil.

The use of pulse counter method, which have been taken the same property of voltage and temperature variation for the corona measurement method, considerably increase insulator availability.

1. 서 론

최근 전력용 기기는 산업사회의 다변화에 맞추어 초고압화, 대용량화 추세로 되고 있으며, 절연기기의 사고시 사고 범위가 커지고 경제적으로 막대한 피해를 입게 되므로 사고의 복구를 위해 장시간 휴전이 소요되고 따라서 사고를 미연에 방지하기

위한 고 신뢰도 운전이 한층더 요구되고 있다.

그러므로 고 신뢰도 운전을 하기 위해 절연기기 예방진단이 더욱 중요하게 되었으며 이들 기기에서 발생하는 부분방전을 측정하고자 하는 연구가 세계 각국에서 꾸준히 진행되어 왔다.

일반적으로 대용량 변압기의 예방진단을 하는 방법에는 Corona 법, 유중 가스 분석법, 유중 수소가스 농도감시법, 누유감시법, 역률 및 수분측정법, 저압 써지법등이 있으나 이들중 Corona 법이 특히 많이 연구되어 왔다.

Corona법에 의한 방전량의 측정은 1930년대 음극선관이 출현하면서부터 본격적으로 시작되었으며 근대에 이르러 방전량을 측정할 수 있는 각종 장비가 개발됨으로써 연구가 활발히 진행되고 있다.

1965년 P.N Fellow [1], R.B Kaufman [2], S. Yakov Cesi [3]등의 연구에 의해 Corona 측정 가능성을 예고해 주었다.

F.E Wherry [4]는 Corona 측정시 전압과 전하의 특성을 연구하였고 Kawaguchi [5]는 EHV (Extra-High Voltage) 변압기를 이용하여 부분방전량을 검출하였으며 R.Bartnikas [6], Sulaiman [7]은 유중에서의 Corona 개시전압 및 오염된 변압기유에서의 부분방전량을 검출하여 이들의 변화특성을 연구하였다.

또한 D.A Natrass [8]는 절연재료로서 사용되는 여러종류의 시료에 전압을 인가해서 부분방전량과 방전 파형을 측정함으로써 변압기 예방진단에 커다란 공헌을 하였다. 최근까지의 논문을 보면 변압기 예방진단 측면에서 부분방전량을 측정시 전압과 전하량과의 관계를 규명하는데 주종을 이루었으며 전압, 온도, 방전전하량, 펄스 (Pulse) 수를 측정하여 이들의 관계를 규명한 것은 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 계수기 (Pulse Counter), 증폭기 (Amplifier), 필터 (Filter) 를 자체 제작하여 신유와 신유에 물을 첨가 (비율 1:2:3) 한것 3 종류,

신유에 탄화층이 첨가 (비율 1:2:3) 한 것 3 종류의 변압기유를 사용해 침단의 곡률반경의 변화를 일정하게 하고 부분방전 변화의 온도 의존성의 존재성, 펄스 수 변화의 의존성을 관찰하고 이들을 분석하여 변압기 예방진단에 기초적인 자료를 제시하고 한다.

2. 실험장치 및 방법

전계분포가 균일하지 않은 절연물에 전압을 인가했을 때 인가전압을 서서히 증가시키면 전계가 집중된 부분에서 부분적으로 방전이 일어난다. 이와 마찬가지로 온전중인 변압기에서 Corona 가 발생하게 되면 여러 가지 화학적 작용을 수반하여 고에너지 전자나 이온, 수소 가스등이 발생하여 장시간 사용시 변압기유의 절연내력에 상당한 영향을 주므로 이들의 영향을 고려해야 한다.

유중의 Corona 계시전압은 유중에 포함되어 있는 불순물의 정도에 따라서 현저하게 달라지는데 이 현상을 이용하여 유중의 Corona 계시전압을 측정하여 절연유의 수순도를 판정할 수 있으며 이는 대단히 중요하다. 온전중인 변압기에서 Corona 측정은 전기적 측정법과 음향 측정법이 있는데 전기적 측정법은 Corona 발생 지점을 알 수 없지만 부분방전량의 크기를 측정할 수 있는 가장 효과적 방법이다.

측정원리는 온전중인 변압기에서 Corona 가 발생하게 되면 그림 1 과 같은 방전전류가 흐르는데 이 방전전류와 외부에서 유입되는 노이즈 (Noise) 를 분리시키기 위해 필터 (Filter) 를 사용한다.

그러나 과도된 방전전류의 크기가 극히 미약하므로 이 방전전류를 증폭시켜 방전전하량을 디지털 (Digital) 화 하여 숫자로 알아볼 수 있도록 하였고 방전 파형은 Hipotronics 사의 오실로스코프를 통해 화면상으로 측정하며, 계수기 (Pulse Counter) 를 사용하여 방전펄스를 측정할 수 있다.

또한 그림 2 와 같은 방법으로 식 (1) 에 의해서 방전펄스를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 N &= N^{\circ} (W/2\pi) U (E_0 - E_b) + \\
 &N^{\circ} (W/2\pi) U (E_0 - 2E_b) + \\
 &N^{\circ} (W/2\pi) U (E_0 - 3E_b) + \\
 &= N^{\circ} (W/2\pi) \sum_{m=0}^i U [E_0 - (m+1) E_b] \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 $m : 0, 1, 2, \dots, i$

$N : 1$ 초당 방전수

W : 라디안으로 나타낸 주파수항

$N^{\circ} : 1$ 사이클당 초기 방전수

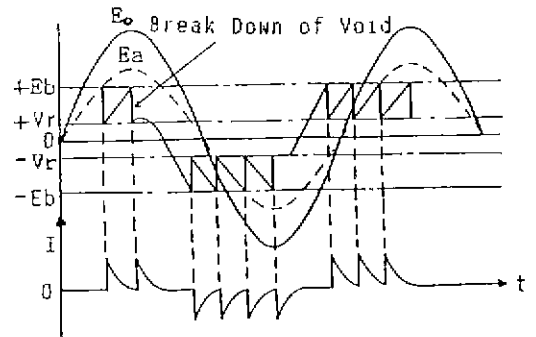


그림 1. 절연체 보이드 (Void) 절연파괴 전압과 부분방전 파형

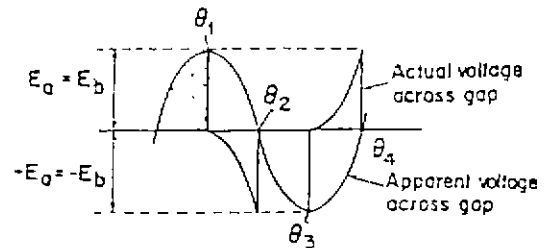
여기서 E_0 : 인가 전압

E_a : Void 에 걸리는 전압

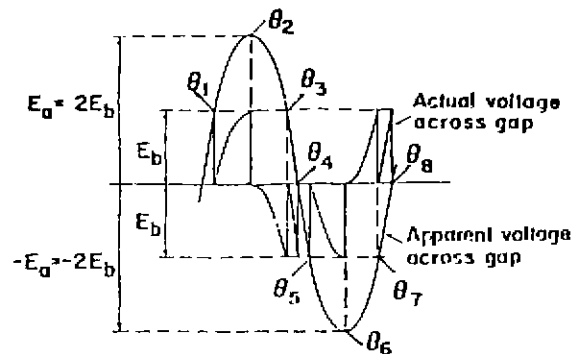
E_b : Void 방전 전압

V_r : Void 에 잔류하는 전압

I : 부분방전 발생시 흐르는 전류



(a) $R_a = E_b$ 의 경우



(b) $R_a = 2 E_b$ 의 경우

그림 2. 이상적인 보이드 (Void) 의 방전파형

2-1. 실험장치 구성

Corona의 크기를 측정하기 위한 실험장치 구성은 고압발생 및 결합 캐패시터 (Coupling Capacitor), 모의 실험장치 (Filter), 증폭기 (Amplifier), 전기신호장치, 계수기 (Pulse Counter)로 되어 있으며 그 개략도는 그림 3과 같다.

고압발생 및 결합 캐패시터, 전기신호 측정 장치는 Hipotronics사의 Corona 측정 장치인 모델 No 750 - 5CF와 CDO - 77A를 이용하였다.

모의 실험 장치는 Corona 발생을 위한 전극으로서 칩대 평판 전극, 변압기 Oil, 온도계, 히터를 사용하였다.

칩대 전극은 핸드 드릴과 샌드 페이퍼 및 광학 현미경을 사용하여 칩대의 곡률 반경을 $7[\mu m]$ 로 만들었으며 평판 전극은 직경 $42.02[mm]$, 두께 $0.3[mm]$ 의 원형형 전극으로 하였다.

칩대 평판 전극의 간격은 조정 가능하도록 되어 있으며 Oil의 온도를 변화시킬 수 있도록 히터를 설치하고 온도계로서 Oil의 온도를 측정하였다.

필터는 Corona로 인해 발생하는 펄스와 외부에서 유입되는 잡음 신호를 구별하도록

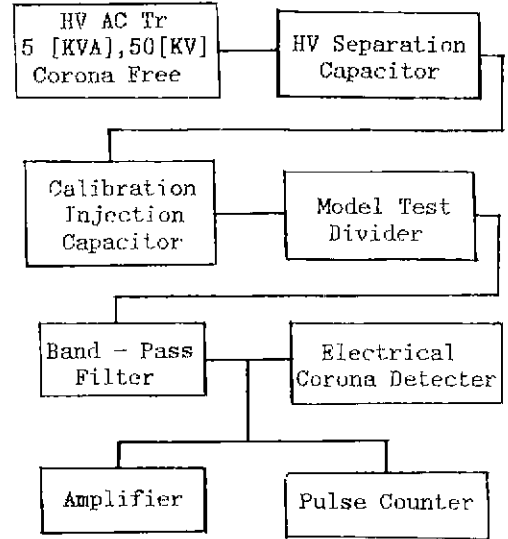


그림 3. Corona 크기 측정장치의 개략도

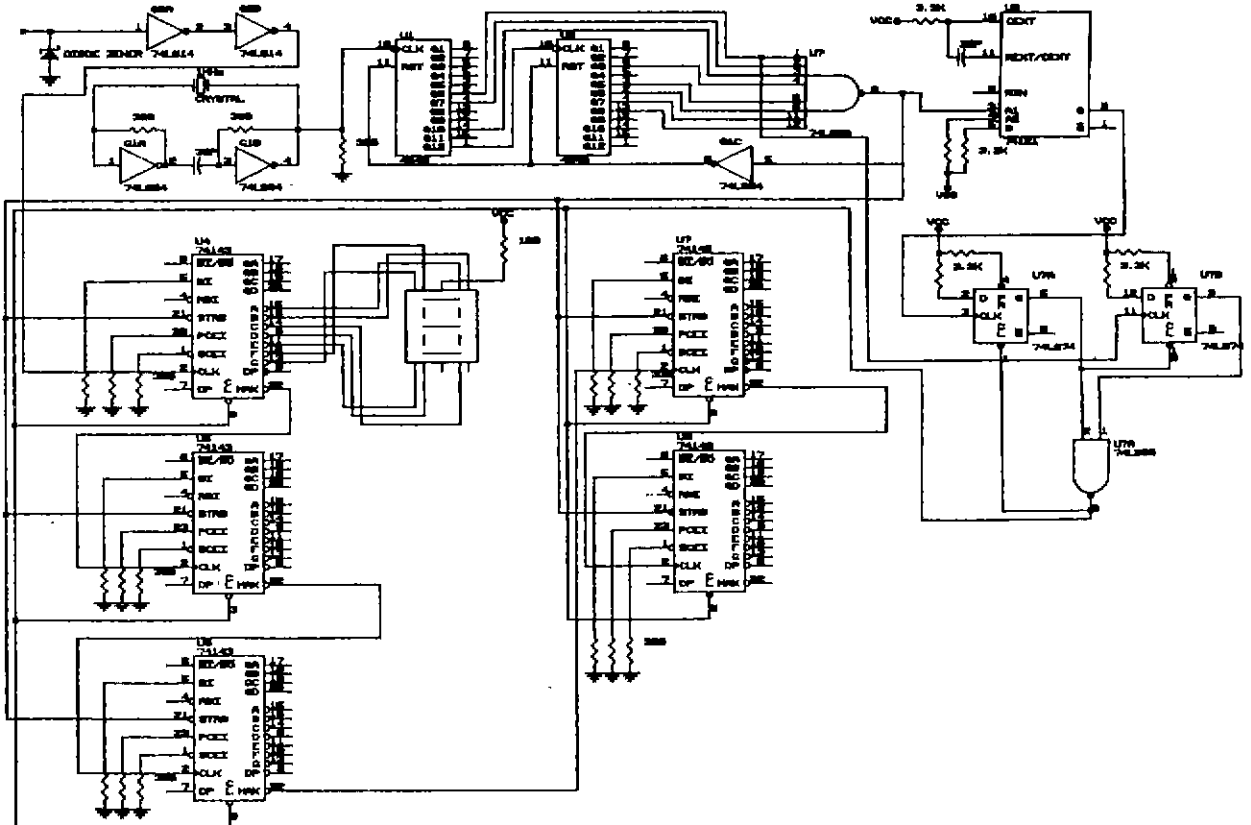


그림 4. 계수기 (Pulse Counter) 회로도

민들었다. 또한 필터는 양호한 전달 특성과 안정도가 우수한 Butterworth 근대역 통과 필터로서 OP Amp $\mu A 301$ 소자로 구성된 능동 필터이다.

저대역 필터는 차단 주파수가 200 [KHz] 이고 -40 [dB/decade] 성능을 갖고 있으며 고대역 필터는 차단 주파수가 50 [KHz] 이고, -60 [dB/decade] 성능을 갖도록 만들었다.

본 연구에서 증폭기는 I.R 351 OP Amp 소자를 사용하여 5 단 증폭한 전압 Follower 형으로 100 배까지 증폭되도록 제작하였나 계수기는 그림 4 와 같이 측정하고자 하는 Corona 펄스가 극히 미소한 신호이므로 충분히 증폭시킨후, 신호 파형을 정형시키고 1 [MHz] 수정 발진자를 사용하여 발진시킨후 이 신호를 1 [Hz] 까지 분주시켰으며 기준시간이 정확히 1 초가 되도록 제작하였다.

3. 실험 및 결과 검토

본 연구에서는 Corona 를 일으켜 부분 방전 장지에 고전압을 인가하여 부분 방전량을 측정하고 방전 펄스 수를 계수하였다.

Corona 가 침전극에서만 발생되는 것을 확인하기 위해 고전압 단자에 침전압을 인가해 Corona 가 발생하지 않음을 확인한 후 온도를 30, 50, 70, 90 [$^{\circ}C$] 의 4 단계로 유지시켜 약 30 분 후 실험하였다.

시료로는 신유 1600 [ml] 외 신유에 물 0.5, 1, 1.5 [cc] 및 신유에 탄화종이 0.1, 0.067, 0.033 [mg] 을 첨가하여 실험하였다.

3-1. 부분방전량 변화의 전압 의존성

침전의 곡률반경을 7 [μm], 온도를 30 [$^{\circ}C$] 로 고정시키고 침전 간격을 1 [Cm] 로 하여 신유와 신유에 물을 첨가한 비율 (1:2:3) 의 3 종류와 신유에 탄화종이 불 첨가한 비율 (1:2:3) 의 3 종류에 대한

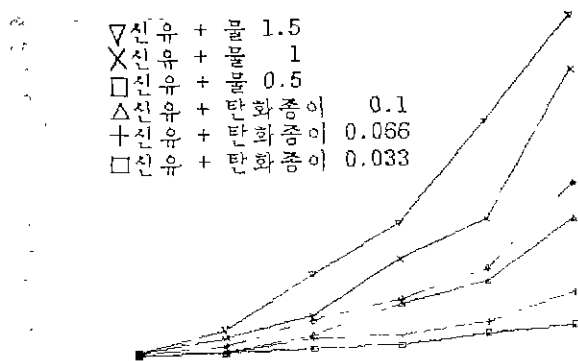


그림 5. 부분방전량 변화의 전압 의존성

부분방전량을 측정하는 것으로 그 결과를 그림 5 에 나타내었다.

그림에 나타난 마와 같이 같은 전압에서 물을 첨가한 것의 방전량이 크게 나타나서 사실상 물이 탄화종이보다 절연내력에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

3-2. 펄스 수 변화의 전압 의존성

이 실험은 3-1과 같은 방법으로 동등한 전압을 인가했을 때 계수기를 사용하여 Corona 펄스 수를 측정하는 것으로 그 결과를 그림 6. 에 나타내었다.

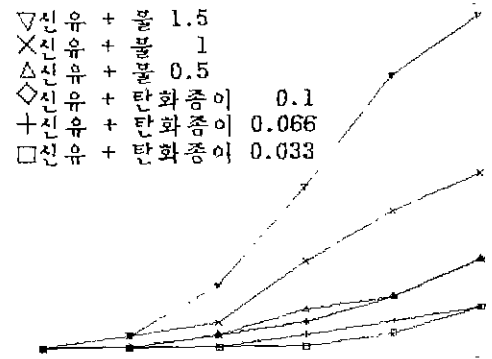


그림 6. 펄스 수 변화의 전압 의존성

시료가 신유일 경우 신유에 전압을 10 [KV] 까지 인가해도 거의 방전 펄스 수는 관측되지 않았다.

그리고 신유에 물과 탄화종이를 첨가한 시료의 경우 첨가량의 증가에 따라 방전 펄스 수가 증가하는데 이는 3-1 과 같은 현상으로 생김되며 앞으로 방전 펄스 절연물의 열화 정도를 판정할 수 있는 수단으로 사용될 수 있으리라 생각된다.

3-3. 부분방전량 변화의 온도의존성

침전의 곡률반경을 7 [μm], 침전 간격을 1 [Cm], 인가전압을 9 [KV], 온도를 30, 50, 70, 90 [$^{\circ}C$] 로 하여 부분방전량을 측정하는 것으로 방전량의 변화는 온도가 증가할수록 방전량이 감소하다가 70 [$^{\circ}C$] 부근에서 가장 적은 값이 되었고 점차 온도를 증가하면 다시 커지는 현상을 볼 수 있는데 그 결과를 그림 7 에 나타내었다.

온도 상승의 더불어 부분방전량이 감소하는 이유를 명확히 알지 못하나 될 이유의 수분, 가스 등의 용해도가 온도에 따라 변화하고 고온에서 용해되는 불순물이

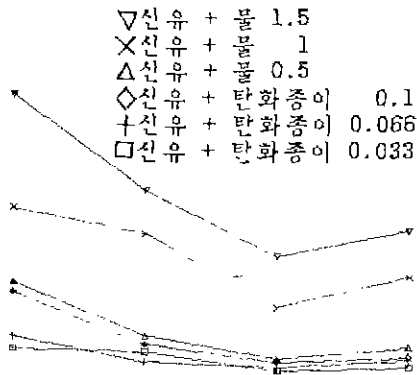


그림 7. 부분방전량 변화의 온도의존성

있을 경우 이들이 용해되기 때문으로 생각된다. 따라서 부분방전량의 기준치를 설정할 경우 반드시 온도의 영향을 고려해야 할 것이다.

3-4. 펄스 수 변화의 온도의존성

이 실험은 3-3 과 같은 방법으로 동일 전압을 인가했을 때 계수기를 사용하여 부분방전 펄스 수를 측정함으로써 그 결과를 그림 8 에 나타내었다.

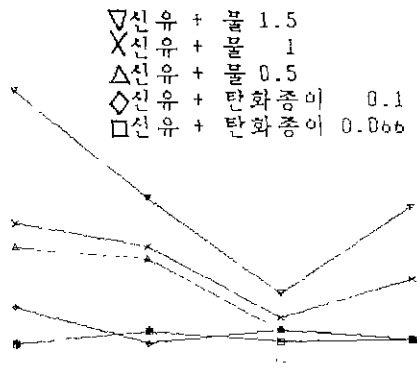


그림 8. 펄스 수 변화의 온도의존성

그림에 나타난 바와 같이 온도가 증가함에 따라 펄스 수가 감소하다가 70 [°C] 이상에서 펄스 수가 증가하는 현상은 3-3 에서 설명한 이유때문으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 신유와 신유에 물 또는 탄화층이 첨가한 시료들을 사용하여 부분방전량 변화의 전압 및 온도의존성, 펄스 수 변화의 전압 및 온도의존성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전압 상승에 따른 방전량의 크기는 신유 < 신유 + 탄화층이 0.033 [mg] < 신유 + 탄화층이 0.066 [mg] < 신유 + 탄화층이 0.1 [mg] < 신유 + 물 0.5 [cc] < 신유 + 물 1 [cc] < 신유 + 물 1.5 [cc] 순으로 나타났으며 물이나 탄화층이 첨가량이 증가하면 부분방전량 및 펄스 수가 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 온도 상승에 따른 부분방전량과 펄스 수는 온도 증가시 방전량은 감소하다가 70 [°C] 때 최소치에 도달하고 온도가 70 [°C] 이상이 되면 오히려 증가함을 알 수 있었다. 따라서 부분방전량의 기준치를 설정시 온도를 중요한 변수로 고려하여야 할 것이다.
- 3) 전압 및 온도 상승에 따른 부분방전량의 변화 특성 곡선과 펄스 수 변화 특성 곡선은 유사하므로 절연물의 열화 정도를 판정하는 요소로서 펄스 수는 유용하다고 생각된다.
- 4) 계수기 (Pulse Counter) 를 Corona 위치 측정에 결합시켜 시간을 두고 계속 측정하면 부분방전의 진행상태를 파악할 수 있어 변압기 고장 검출 진단 지표의 하나로 이용할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] P.N. Fellow
 " Transformer Corona Measurement Using Condenser Bushing Tap and Resonant Measuring Circuits " IEEE Trans. Committee, New York, pp. 652-657, Aug 1965.
 [2] J.R. Meador, R.B. Kaufman,
 " Transformer Corona Testing " IEEE Trans. Committee, New York, pp. 893-900, August 1966.
 [3] S.C. Enel and S.Yakov. Cesi
 " Switching Surge Response of Transformer Insulation Designed on The Basis of Power Frequency PD Inception Volt - Time Curves " IEEE Trans. Power Apparatus and Systems. Vol. PAS - 100, No 7. pp 3263 - 3273, July 1981.
 [4] F.E. Wherry, L.R. Toothman
 " The Significance of Corona Measurements on Transformers " IEEE Trans. Power

Apparatus and System. Vol PAS-87, No 11.
pp.1889 - 1898, November 1968.

[5] Y.K. Member et al

" Partial - Discharge Measurement on
High - Voltage Power Transformers " IEEE
Trans. Power Apparatus and Systems Vol.
PAS-88. No 8. 1187-1194, August 1969.

[6] R.Bartnikans

" Corona Discharge Processes in Voids "
ASTM D-9, pp. 22-67, February 1979.

[7] A.A. EI-Sulaiman and M.I. Qureshi

" Quasi - steady and Burst Current in
Aged Transformer Oil Under High Direct
Field " IEEE Trans. Elect, Vol. EI-16,
No 5. pp 453-457, October 1981.

[8] D.A/ Natrass

" Partial Discharge Measurement and
Interpr-etation " IEEE Elect Insulation
Magazine, Vol. 4. No 3. pp. 10-23,
May/June 1988.