

침전극 곡률 반경에 따른 절연유의 절연파괴 특성

이 종섭, 정수현*, 이홍규, 임기조, 김현후**,
충북대 전기공학과, *대원전문대, **두원전문대

Breakdown Characteristic of Transformer Oil Depending on Tip Radius

J.S. Lee, S.H Jeong*, H.K. Lee, K.J. Lim, H.H. Kim**
Dept. of E.E., Chungbuk Univ., *Daewon College, **Duwon College

Abstract - We investigated the breakdown characteristic of mineral oil according to applied voltage and tip radius. In this experiment, electrode system was point-plane geometry. The tip radius of needle was 5, 10, 20 and 25 μ m, respectively. Applied voltage was AC and DC. We measured breakdown voltage for each tip radius with increasing electrode gap, 2mm to 10mm. Under nonuniform electric field, breakdown strength was higher when needle was negative than when needle was positive. Because it is polarity effects due to space charge. And the more sharp tip radius, whether we applied AC or DC, the higher breakdown strength. As tip radius increase, breakdown strength decreases exponentially.

1. 서론

최근, 송전선로에 있어서의 초고압화와 함께 전력계통기기등에 대해서도 높은 절연내력을 요구하고 있다. 그러므로, 절연내력과 내열성이 좋은 액체 절연체가 많이 사용되고 있다. 절연유 중에서도 석유로부터 얻어지는 광유가 오래 전부터 광범위하게 사용되고 있다. 특히, 대전특성과 산화안정성 등을 향상하기 위해 알킬벤젠 등을 혼합하여 사용하고 있다. 이렇듯, 절연유가 널리 사용되고 있어 이에 대한 절연파괴 mechanism에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 여러 연구자들은 다음과 같은 요인을 지적했다. Kao는 주열열에 의한 기포의 발생이 절연파괴의 원인으로 생각했다. Wintenberg, Denat와 Marsden은 액체 유전체에서 부분 방전에 의한 전류의 요동을 관측한 후 부분 방전 전류를 절연파괴의 요인에 추가하였다. 또, Bragg와 Swan은 전계 강도에 대한 공간 전하의 영향을 연구한 후 음극이나 양극의 표면에서의 전계가 절연파괴의 주원인이라고 하였다.

일반적으로 액체 절연체의 절연파괴 전압은 침의

곡률 반경이나 전극 거리, 공간 전하, 불순물, 온도, 기압 등에 많은 영향을 받는다.

따라서, 본 논문에서는 침의 곡률 반경에 따른 액체 절연체의 절연파괴 특성에 대해 연구하였다.

2. 본론

2.1 실험 방법

사용 전극은 침-평판 전극 구조를 택하였다. 전압은 교류와 직류를 파괴 될 때까지 2kV/sec의 속도로 인가하였다. 교류 전압 인가시 평판 전극을 접지측 전극으로 하였고 직류 전압 인가시에는 침 전극을 positive와 negative로 하여 각각 절연파괴 실험을 하였다. 침 전극으로는 곡률 반경이 5 μ m, 10 μ m, 20 μ m와 25 μ m인 것을 사용하여 insulating oil test cell에서 행하였다. 실험에 사용된 액체 절연체는 널리 사용되는 절연유인 광유를 사용하였다. 절연유는 JIS C-2101에 의거하여 5회의 절연파괴 시험을 한 다음 새것으로 교체하였다. 침 전극은 침단에 국부적 고전계가 가해져 침단이 상하기 때문에 매 번 침을 새것으로 바꾸었고 평판 전극은 절연파괴가 일어나면 부식되거나 탄화된 흔적이 생겨 전극 표면을 깨끗하게 청소하였다. 교류 전압 인가시 전극 간격을 2mm에서 12mm까지 2mm씩 증가시키면서 각각의 곡률 반경에서 절연 파괴 전압을 측정하였다. 측정된 절연 파괴 전압은 Mason의 식에 의해 침단 전계로 환산하였다. 직류 전압 인가시에는 전극 간격을 2mm에서부터 10mm까지 2mm씩 증가시키고 침전극이 positive일 때와 negative일 때에 각각의 절연 파괴 전압을 측정하였다. 교류 전압 인가시와 마찬가지로 절연 파괴 전압을 침단 전계로 환산하였다. 실험 할 때의 주위온도는 25 $^{\circ}$ C였고 주위습도는 75%RH였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

전극 표면의 기하학적 형태상의 왜형 또는 절연

체에 존재하는 불순물 등이 국부적 고전계의 발생 원인이 된다.

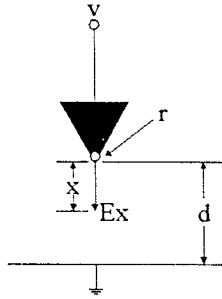


그림 1. 포물면 대 평판 전극 배치

Bateman은 타원면 도전성 돌기부와 평판전극배치에서, Mason은 포물면 전극 대 평판전극배치에서, 또 Whelan은 두 포물면 전극배치에서 각각 식을 유도하였다[1]. 본 실험에서는 침-평판 전극 구조를 사용하였기 때문에 Mason의 식에 의거하여 침단 전계를 계산하였다.

Mason은 그림 1과 같은 전극 구조하에서 고려한 전계를 식(1)과 같이 유도하였다.

$$E_x = \frac{2V}{(r+x) \ln(1 + \frac{4d}{r})} \quad \text{식(1)}$$

2.2.1 교류 전압 인가시

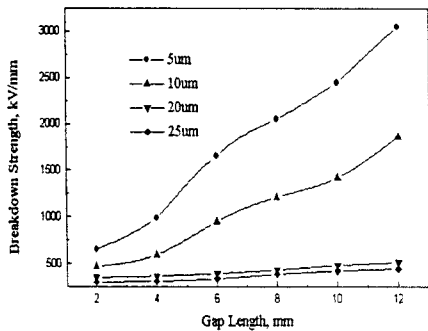


그림 2. 교류전압 인가시 전극 간격에 따른 절연 파괴 강도

그림 2는 교류 전압을 인가하고 전극 간격을 2mm에서부터 12mm까지 2mm씩 증가시켜 절연파괴 전압을 측정하고 그 측정치를 식(1)을 이용하여 절연파괴시의 침단 전계로 환산하여 전극 간격에 따른 절연파괴 강도를 나타낸 그림이다. 이 그림으로부터 곡률 반경이 10um이하일 때는 전극 간격을 증가시키면 따라 절연파괴 강도도 거의 직선적으로 증가

하고 있고 곡률 반경이 10um이상이 되면 절연파괴 강도는 거의 일정하게 나타내고 있다. 이는 절연파괴에 미치는 중요한 요인은 전극 간격보다는 곡률 반경이라는 것을 알 수 있다.

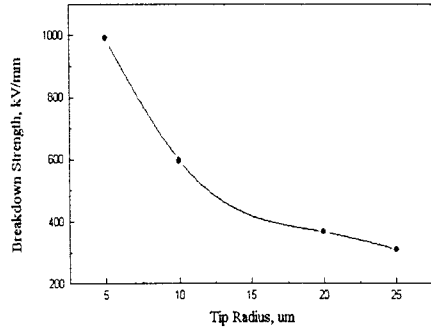


그림 3. 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 강도

그림 3은 전극 간격을 4mm로 고정하고 곡률 반경을 증가함에 따른 절연파괴 강도의 변화 양상을 나타내고 있다. 곡률 반경이 증가함에 따라 절연파괴 강도는 지수 함수적으로 감소하는 것을 알 수 있고 곡률 반경이 10um이상이 되면 전극 간격이 증가하여도 절연파괴 강도는 거의 변화하지 않고 일정하다. 이는 Hanaoka가 제시한 바와 같이 침전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효 일함수가 감소하여 전자 주입이 용이해지기 때문이다. 이에 따라 침전극의 침단 곡률 반경이 증가될수록 절연파괴 강도는 감소하게 된다[2].

2.2.2 직류 전압 인가시

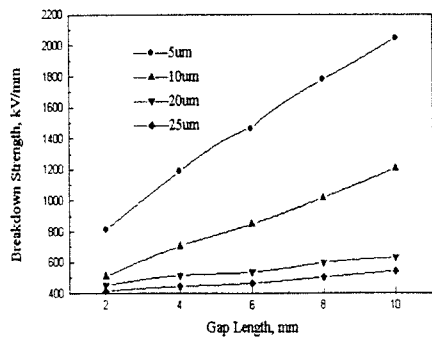


그림 4. 침전극이 positive일 때 직류 전압 인가시 전극 간격에 따른 절연파괴 강도

그림 4는 직류 전압 인가시 침 전극이 positive일 때 전극 간격을 2mm에서부터 10mm까지 2mm씩 증가시켜 절연파괴 전압을 측정하고 식(1)을 사용하여 침단 전계로 환산하여 그린 그림이다. 이 그림으로

부터 인가 전압이 직류 일 때도 전극 간격이 증가함에 따라 교류 일 때와 마찬가지로 절연파괴 강도는 거의 직선적으로 증가하고 곡률 반경이 10 μm 이상이 되면 전극 간격이 증가하여도 절연파괴 강도는 거의 변화하지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉, 직류 일 때와 마찬가지로 절연파괴 강도는 곡률 반경에 더 많은 영향을 받는 것으로 생각된다.

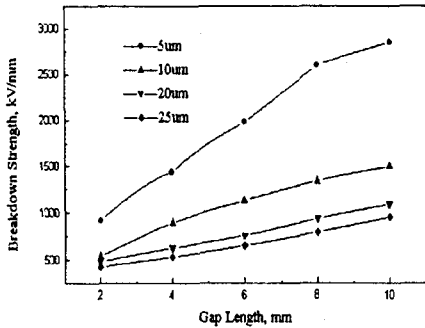


그림 5. 침전극이 negative일 때 직류 전압 인가시 전극 간격에 따른 절연파괴 강도

그림 5는 침전극이 negative일 때의 전극 간격에 따른 절연파괴 강도를 나타내고 있다. 전극 간격에 따른 절연파괴 강도는 침전극이 positive일 때와 같은 증가 추세를 나타내고 있다. 그러나, positive일 때보다 절연파괴 강도가 더 높다. 이것은 침단 주위의 공간 전하에 기인한 것으로 생각된다. 즉, 침단 주위의 전하 주입에 의해 형성되는 공간 전하는 절연파괴 강도에 상당한 영향을 주게 된다[3-5].

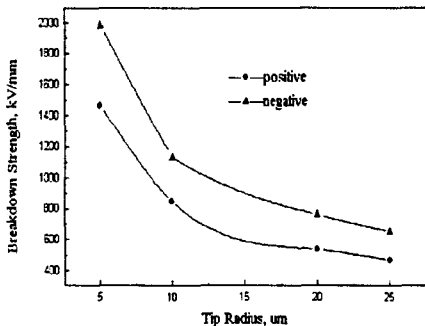


그림 6. 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 강도

그림 6은 직류 전압을 인가하였을 때 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 강도를 나타내고 있다. 교류 일 때와 유사하게 곡률 반경이 증가함에 따라 절연파괴 강도는 지수 함수적으로 감소하고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 절연유로 가장 많이 사용되고 있는 광유에 대해 불평등 전계하에서의 전극 간격이 12mm이하에서 곡률 반경에 따른 절연파괴 특성에 대해 연구하였다.

직류나 교류를 인가했을 때 곡률 반경이 10 μm 이하일 때는 전극 간격의 증가에 따라 절연파괴 강도는 거의 직선적으로 변했다. 그러나, 곡률 반경이 10 μm 이상이 되면 거의 변하지 않았다. 즉, 액체 절연체의 절연파괴는 전극 간격보다는 곡률 반경에 더 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

침전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효일함수가 감소하여 전하 주입이 용이해지기 때문에 절연파괴 강도는 감소함을 알 수 있었다.

직류 전압 인가시 침전극이 negative일 때가 positive일 때보다 절연파괴 강도가 높았다. 이는 침단 주위의 전하 주입에 의해 형성되는 공간 전하에 의한 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. M. Eichhorn, "Treeing in Solid extruded Electrical Insulation", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. EI-12, NO. 1, 1976.
- [2] R. Hanaoka, R. Ishibashi and M. Kasama, "Positive Breakdown Mechanism in Transformer Oil Subjected to a Non-Uniform DC Field", T. IEE Japan, Vol. 113-A, NO. 7, pp. 518-526, 1993.
- [3] J. L. Hernandez-Avila, N. Bonifaci and A. Denat, "Hot Electron Phenomena in Liquid and Gaseous Ar and N₂ in Divergent Electric Fields", IEEE Trans. DEIS, Vol. 1, NO. 3, 1994.
- [4] E. O. Forester, "The Effect of the Electrode Gap on Breakdown in Liquid Dielectrics", IEEE Trans. DEIS, Vol. 1, NO. 3, pp. 440-445, 1994.
- [5] 家田正之外 3人, "誘電体 現象論", 電氣學會, pp. 299-303, 1985.