

전기절연유의 절연파괴에 미치는 전극간격 및 곡률반경의 영향

강성화[†] · 채홍인^{*} · 이종필^{**} · 임기조^{***}

충청대학 산업안전과 · ^{*}주성대학 방사선과 · ^{**}광운대학교 전기공학과 · ^{***}충북대학교 전기공학과
(2003. 8. 29. 접수 / 2003. 12. 3. 채택)

The Influence of Gap Length and Tip Radius on Breakdown of Electrical Insulating Oil

Seong-Hwa Kang[†] · Hong-In Chae^{*} · Jong-Pil Lee^{**} · Kee-Joe Lim^{***}

Department of Industrial Safety Engineering, Chungcheong College

^{*}Department of Radiology, Juseong College

^{**}Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

^{***}Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University

(Received August 29, 2003 / Accepted December 3, 2003)

Abstract : In this paper, we investigated the influence of gap length and tip radius on breakdown of mineral based insulation oil. Applied voltages were DC and AC voltage. Electrode system was needle-plane structure. The tip radius of needle electrode was 5, 10, 20 and 25 μ m, respectively. We measured breakdown voltage for each of tip radius with increasing electrode gap, 2mm to 12mm. Electric breakdown strength at tip was calculated using Mason's equation contained geometric figure.

As gap length increased, breakdown strength increased linearly. But, as tip radius of needle increased, breakdown strength decreased exponentially. It can be explained by the phenomenon that electron is easily injected, as tip radius increases, and effective work function decreases. When applying DC voltage, breakdown strength was higher when polarity of needle was negative than positive. It is because of the space charge effect in accordance with the influence of liquid motion.

Key Words : electrical insulating oil, breakdown strength, gap length

1. 서 론

전력계통을 구성하고 있는 주요 유입기기는 유입 변압기 및 케이블 등이 있다. 이러한 유입기기에 사용되고 있는 액체 절연체는 일반적으로 다음과 같은 특성이 요구된다. 냉각 작용이 우수하고 점도가 낮고 인화점이 높으며 화학적으로 안정하여 내부식성이 강해야만 한다. 이런 특성들을 향상시키기 위해 첨가제를 혼합하여 사용하기도 한다.

유입기기의 절연 수명에 큰 영향을 미치는 것은 절연유 중의 불순물이나 금속 돌기 등이다. 이런 결함이 있으면 국부적인 고전계가 형성되어 액체 절연체에 큰 전기적 스트레스를 가한다. 이에 의해 절

연체가 열화되고 결국에는 절연파괴에 이른다.

불평등 전계가 절연 수명에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 수행되어 여러가지 절연파괴 기구가 제안되었다. Kao는 주울열에 의한 기포의 발생이 절연파괴의 원인²⁾으로 고려했다. Wintenberg, Denat와 Marsden은 액체 유전체에서 부분 방전에 의한 전류의 요동을 관측한 후 부분 방전 전류를 절연파괴의 요인⁴⁾에 추가하였다. 또, Bragg와 Swan은 전계 강도에 대한 공간 전하의 영향을 연구한 후 음극이나 양극 표면에서의 전계가 절연파괴의 주원인¹⁾이라 하였다.

이렇듯, 오늘날까지 절연유에 대해 많은 연구가 수행되었지만 침 전극의 곡률 반경과 전극 간격의 영향에 대한 연구는 아직 미약한 단계이다.

본 연구에서는 전력용 유입기기에 존재할 수 있

[†]To whom correspondence should be addressed.
shkang@ok.ac.kr

는 돌기가 절연유의 파괴에 미치는 영향을 검토하기 위하여 침 전극의 곡률 반경 및 전극 간격을 변화시켜 절연파괴 강도를 측정하여 절연유의 절연파괴 기구를 검토하였다.

2. 실험

본 실험에서는 변압기 내의 금속 돌기에 의한 불평등 전계를 모의하여 실험하기 위해 침-평판 전극 구조를 선정하였으며, 측정 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다.

침의 곡률 반경은 5, 10, 20, 25 μm 인 것을 사용하였고 전극 간격은 2~12mm의 범위에서 2mm씩 증가하면서 절연파괴 강도를 측정하였다. 전극은 insulating oil test cell에 설치하여 절연파괴 실험을 행하였다. 절연 파괴 시 침단이 심하게 손상되기 때문에 침을 매회 교체하였고, 평판 전극은 매회 깨끗이 닦은 후 실험하였다. 액체 절연체로는 (주)동남석유의 광유를 사용하였고 1회의 실험 후 새것으로 교체하였다. 인가 전압을 직류와 교류 전압을 사용했고, 직류 전압 인가시에는 침 전극의 극성을 positive와 negative로 바꾸어서 행하였다. 전압은 1kV/sec로 절연파괴 될 때까지 승압시키면서 파괴전압을 관측하였다.

측정된 전압은 침-평판 전극구조하에서 침 전극의 기하학적 형상을 포함한 Mason의 식에 의거하여 절연파괴시의 침단 전계치를 계산하였다.

실험시 주위온도는 25°C였고 습도는 75%RH였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Bateman은 타원면 도전성 돌기부와 평판전극배치에서, Mason은 포물면 전극 대 평판전극배치에서, 또한 Whelan은 두 포물면 전극배치에서 각각 전계식을 유도하여 제안하고 있다¹⁾.

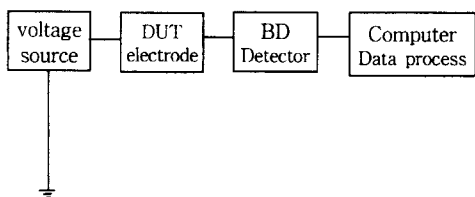


Fig. 1. Experimental setup for measuring breakdown strength

변압기의 국부적 고전계의 발생원은 기하학적 형태상의 왜형 등에 의해 발생하며 본 실험에서는 돌기를 모의하여 실험하기 위해 침-평판 전극 구조를 선택하여 실험하였기 때문에 Mason의 식에 의거하여 침단 전계를 계산하였다.

Mason은 Fig. 2와 같은 전극 구조하에서 기하학적 형상의 왜형을 고려한 전계 계산식을 식 (1)과 같이 유도하였다. 여기서 V는 인가전압, r은 곡률반경, d는 전극간격이다.

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

3.1. 교류 전압 인가시의 절연파괴 특성

Fig. 3은 교류 전압을 1kV/sec로 승압하면서 전극 간격을 4mm, 8mm, 12mm로 고정하고 침 전극의 곡률 반경에 따른 절연파괴 강도를 측정하여, 측정된 절연 파괴 전압을 Mason의 식에 의해 침단 전계로 계산하여 도시한 것이다.

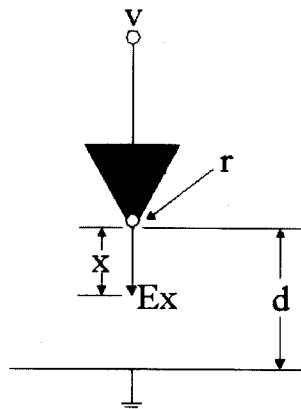


Fig. 2. Needle-Plane electrode

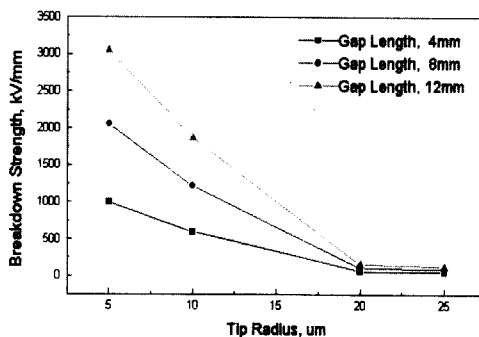


Fig. 3. Breakdown strength with tip radius at AC voltage

이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 곡률 반경이 증가함에 따라 침단 전계는 지수함수적으로 감소하고 있다. 이는 Hanaoka가 제시한 바와 같이 침전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효 일함수(effective work function)가 감소하여 절연유로의 전자 주입이 용이해지므로 절연파괴 강도는 감소하게 된다²⁾.

Fig. 4는 전극 간격의 증가에 따른 절연파괴 강도를 보이고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 전극 간격이 증가함에 따라 절연파괴 강도는 거의 직선적으로 변화하고 있다³⁾. 그러나, 곡률 반경이 20 μm 이상이 되면 5 μm , 10 μm 에 비해 전극 간격의 증가에 비해 절연파괴 전압은 거의 일정하였다. 이것은 침-평판 전극구조 하에서 절연파괴에 미치는 중요한 영향은 전극 간격보다는 침 전극의 곡률 반경이 더 크다는 것을 의미한다.

3.2. 직류 전압 인가시

Fig. 5는 직류 전압 인가시 침 전극이 positive일 때 전극 간격을 4mm, 6mm, 8mm로 고정하고 침전극의 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 강도를 측정하였다. 이 측정된 절연파괴 전압도 교류 전압 인가시와 마찬가지로 Mason의 식에 의해 침단 전계로 계산하여 나타낸 그림이다.

이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 침전극의 곡률 반경이 증가함에 따라 침단 전계는 지수함수적으로 감소하고 있다. 이런 경향도 교류 전압 인가시와 마찬가지로 침전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효 일함수가 감소하여 전자 주입이 용이해지게 되므로 이에 따라 절연파괴 강도는 감소하게 된다.

Fig. 6은 침전극이 negative일 때 곡률 반경이 증가함에 따른 절연파괴 강도를 나타낸다. 침전극이 negative일 때 positive와 마찬가지로 곡률 반경이 증가함에 따라 절연파괴 강도가 지수함수적으로 감소하고 있다.

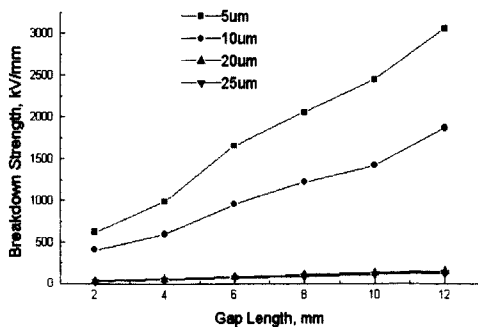


Fig. 4. Breakdown strength with gap length

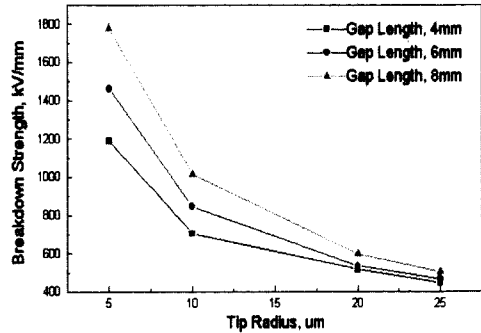


Fig. 5. Breakdown strength with tip radius when needle electrode is positive

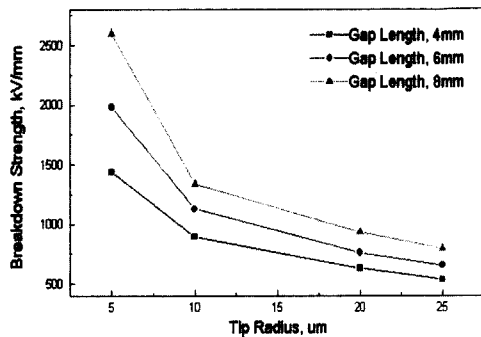


Fig. 6. Breakdown strength with tip radius when needle electrode is negative

Fig. 7은 침전극이 positive일 때와 negative일 때 전극 간격에 따른 절연파괴 강도를 보이고 있다. 이 때 곡률 반경은 5 μm 와 10 μm 일 때를 대표적으로 보인다.

이 그림으로부터 알 수 있듯이 침전극이 negative일 때가 positive일 때보다 절연파괴 강도가 더 높았다. 이는 침전극 주위에 형성된 공간전하가 전계완화 효과에 기여했기 때문으로 생각된다^{4,5)}.

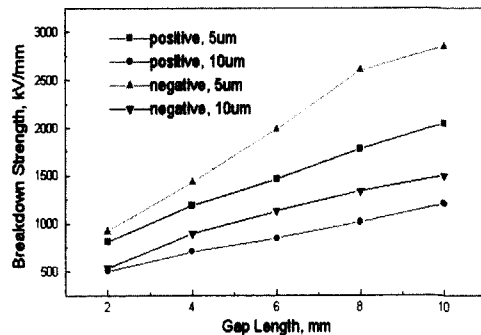


Fig. 7. Breakdown strength with gap length according to electrode polarity

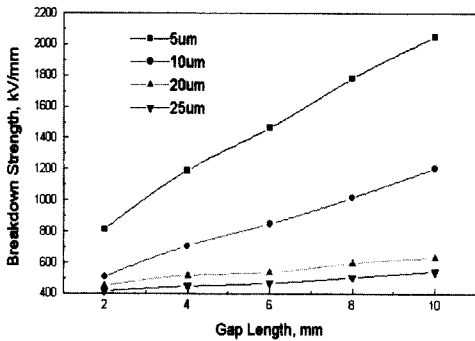


Fig. 8. Breakdown strength with gap length when needle electrode is positive

Fig. 8은 침 전극의 positive 극성일 때 전극 간격이 증가함에 따른 절연파괴 강도를 보이고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 전극 간격이 증가함에 따른 절연파괴 강도를 교류 전압 인가시와 유사하게 절연파괴 강도는 거의 선형적으로 증가하고 있다³⁾. 곡률 반경이 20um 이상일 때는 5um나 10um일 때에 비해 전극 간격의 증가에 비해 절연파괴 강도는 거의 일정하였다. 이것은 교류 전압일 때와 마찬가지로 침-평판 전극구조하에서 절연파괴에 미치는 중요한 영향은 전극 간격보다는 침 전극의 곡률 반경이 더 크다는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 전기절연유에 대해 불평등 전계하에서 절연파괴시 전극 간격과 침 전극의 곡률 반경의 영향을 연구하였다.

전극 간격이 증가할수록 절연 파괴 강도는 거의 직선적으로 증가하였다. 또한, 직류 전압 인가시 침

전극의 극성이 positive일 때가 negative일 때보다 절연파괴 강도가 더 낮다. 이는 침단 주위에 형성되는 공간전하에 기인된 것으로 사료된다.

침 전극에 의한 절연파괴의 영향은 곡률 반경이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하였다. 이는 곡률 반경이 증가함에 따라 침 전극의 유효 일함수가 감소하여 전자의 주입이 용이해지게 되므로 절연파괴 강도는 감소함을 알 수 있었다.

전극 간격의 증가에 따른 절연파괴 강도는 곡률 반경이 20um 이상일 때에는 거의 일정하게 나타났다. 따라서, 절연파괴에 미치는 영향은 전극 간격보다 침 전극의 곡률 반경이 더 큰 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 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) M. Nakano, K. Sugita, "電極極性反轉後の鑛油の電界誘因流動におよぼす電極間隔の影響", T. IEE Japan, Vol. 116-A, No. 5, pp. 453~460, 1996.
- 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.