

광유의 절연파괴에 미치는 전극간격 및 침전극 곡률반경의 영향

The Effects of Gap Length and Tip Radius Influenced in Breakdown of Mineral Based Insulating Oil

이종섭 충북대학교 공대 전기공학과
신태수 충북대학교 공대 전기공학과
이운용 충북대학교 공대 전기공학과
박영국 충북대학교 공대 전기공학과
강성화 충청전문대 산업안전과
임기조 충북대학교 공대 전기공학과

Jong-Sub Lee Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l University
Tae-Su Shin Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l University
Un-Yong Lee Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l University
Young-Kuk Park Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l University
Seong-Hwa Kang Dept. of Industrial Safety Eng., Chungcheong College
Kee-Joe Lim Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l University

Abstract

In this paper, we investigated the effects of gap length and tip radius influenced in breakdown of mineral based insulation oil. Electrode system was needle-plane geometry. It is to model conductive extrusions in oil filled electrical power apparatus. 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. It was calculated electrical breakdown strength at tip using Mason's equation from breakdown voltage.

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.

1. 서 론

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

유입기기의 절연 수명에 큰 영향을 미치는 것은 유층의 불순물이나 금속 돌기이다. 이런 결함이 있으면 국부 고전계가 형성되어 액체 절연체에 큰 전기적 스트레스를 가하게 된다. 이로 인하여 절연체가 열화되고 결국에는 절연파괴에 이른다.

국부 고전계가 절연 수명에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 수행되어 여러가지 절연파괴 기구가 제안되었다.

Kao는 주유열에 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 양극 표면에서의 전계가 절연파괴의 주원인이라고 제안하였다[1]. 제안된 이러한 파괴 기구들의 경우 불명한 점이 많이 남아 있다.

본 연구에서는 전력용 유입기기에 존재할 수 있는 돌기가 절연유의 파괴에 미치는 영향을 검토하기 위하여 침전극의 곡률 반경 및 전극 간격을 변화시켜 절연파괴 전압을 측정하여 절연유의 절연파괴 기구를 검토하였다.

2 실험

본 실험에서는 변압기 내의 금속 돌기에 의한 불평등 전계를 모의하여 실험하기 위해 침-평판 전극구조를 선정하였으며, 침의 곡률 반경은 5, 10, 20, 25 μ m인 것을 사용하였고 전극 간격은 2~12mm의 범위에서 2mm씩 증가하면서 절연파괴 전압을 측정하였다. 전극은 Pulse Eletronic사의 insulation oil tester(OT-300)에 설치하여 절연파괴 실험을 행하였다. 절연 파괴시 침단이 심하게 손상되기 때문에 침을 매회 교체하였고, 평판 전극은 매회 깨끗이 닦은 후 실험하였다. 액체 절연체로는 (주)동남 석유의 광유를 사용하였고 1회의 실험 후 새것으로 교체하였다. 인가 전압은 직류와 교류 전압을 각각 절연 파괴시까지 인가했고, 직류 전압 인가시에는 침 전극의 극성을 positive와 negative로 바꾸어서 행하였다. 전압은 1kV/sec로 절연파괴될 때까지 승압시키면서 파괴전압을 판측하였다.

측정된 전압은 침-평판 전극구조하에서 침 전극의 기하학적 형상을 고려한 Mason의 식에 의거하여 절연 파괴시의 침단 전계치를 계산하였다.

실험시 주위온도는 25 $^{\circ}$ C였고 습도는 75%RH였다.

3 실험 결과 및 검토

각 전극 형태에 따른 전계 계산식의 유도는 Bateman은 타원면을 갖는 전극 대 평판전극 배치인 경우, Mason은 포물면(침전극 끝단의 곡면) 전극 대 평판전극배치인 경우, 또한 Whelan은 두 포물면 전극배치인 경우에 대해서 각각 전계식을 유도하여 제안하고 있다 [2].

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

Mason은 그림 1과 같은 전극 구조하에서 기하학적 형상의 왜형을 고려한 전계 계산식을 식 1과 같이 유도하였다.

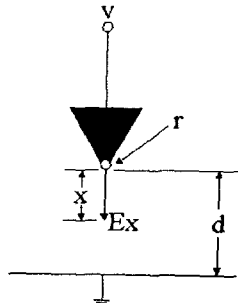


그림 1. 침(포물면)-평판 전극

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

3.1 교류 전압 인가시의 절연파괴 특성

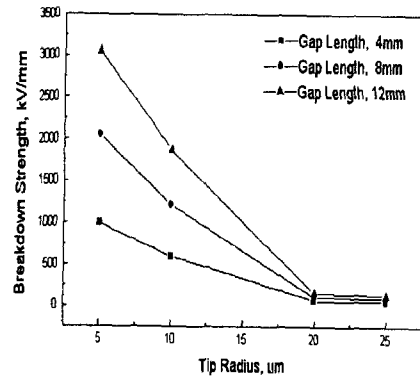


그림 2. 교류 전압 인가시 곡률 반경에 따른 절연파괴강도

그림 2는 교류 전압을 1kV/sec로 승압하면서 전극 간격을 4mm, 8mm, 12mm로 고정하고 침 전극의 곡률 반경에 따른 절연파괴 전압을 측정하고, 측정된 절연 파괴 전압을 Mason의 식에 의해 침단 전계로 계산하여 도시한 것이다.

전극 간격이 다른 각 경우 곡률 반경이 증가함에 따라 침단 전계는 지수함수적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Hanaoka가 제시한[1] 바와 같이 침 전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효 일함수(effective work function)가 감소하여 절연유로의 전자 주입이 용이해지므로 절연파괴 강도는 감소하게 되는 것으로 사료된다.

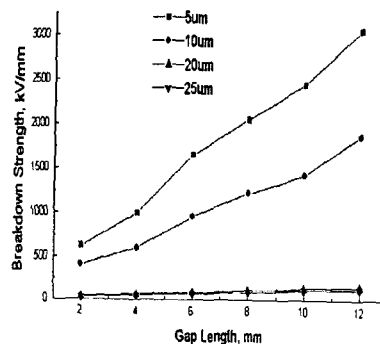


그림 3. 전극 간격의 증가에 따른 절연파괴 강도

그림 3은 전극 간격의 증가에 따른 절연파괴 강도를 나타낸 것이다. 각 경우 전극 간격의 증가에 따라 절연 파괴 강도는 직선적으로 변화하는 경향을 보이고 있다 [3]. 그러나, 곡률 반경이 20 μm 이상이 되면 5 μm , 10 μm 인 경우에 비해 전극 간격의 증가에 따른 절연 파괴 강도의 증가율은 매우 낮아 거의 일정한 경향을 보이고 있다. 이것은 전극 간격이 커짐에 따라 침-평판 전극구조하에서 절연파괴에 미치는 중요한 영향은 전극 간격보다는 침 전극의 곡률 반경이 더 큰 것으로 생각된다.

3.2 직류 전압 인가의 절연파괴 특성

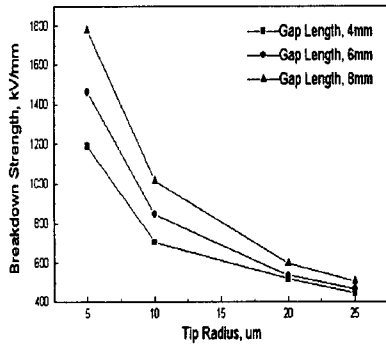


그림 4. 곡률 반경에 따른 절연파괴 강도 (침전극이 positive인 경우)

그림 4는 직류 전압 인가시 침 전극이 positive일 때 전극 간격을 4mm, 6mm, 8mm로 고정하고 침 전극의 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 전압을 측정하였다.

측정된 절연파괴 전압을 교류 전압 인가시와 마찬가지로 Mason의 식에 의해 침단 전계로 계산하여 도시한 것이다.

전극 간격이 다른 각 경우 침 전극의 곡률 반경이 증가함에 따라 침단 전계는 지수함수적으로 감소하고 있다. 이러한 경향은 교류 전압 인가시와 마찬가지로 침 전극의 곡률 반경이 증가할수록 유효 일함수가 감소하여 전자 주입이 용이해지게 되므로 이에 따라 절연파괴 강도는 감소하게 된 것으로 사료된다.

그림 5는 침전극이 negative일 때 곡률 반경의 증가에 따른 절연파괴 강도를 나타낸다. 침 전극이 negative일 때도 positive와 마찬가지로 곡률 반경이 증가함에 따라 절연파괴 강도가 지수함수적으로 감소하고 있다.

그림 6은 침 전극 positive 일 때 전극 간격이 증가함에 따른 절연파괴 강도를 나타낸 것이다. 각 경우 전극 간격이 증가함에 따른 절연파괴 강도는 교류 전압 인가시와 유사하게 절연파괴 강도는 거의 선형적으로 증가하고 있다[3]. 곡률 반경이 20 μm 이상일 때는 5 μm 및 10 μm 일 경우에 비해 전극 간격의 증가에 따른 절연파괴 강도의 증가는 매우 낮은 경향을 보이고 있다. 이러

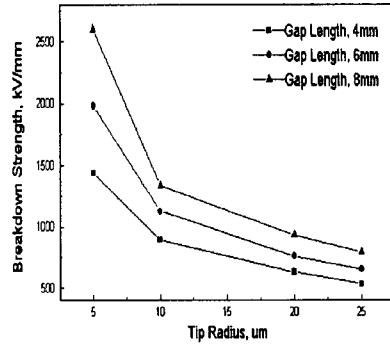


그림 5. 곡률 반경에 따른 절연파괴 강도 (침전극이 negative인 경우)

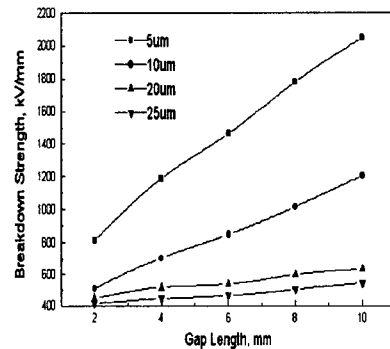


그림 6. 침 전극이 positive일 때 전극 간격에 따른 절연파괴 강도

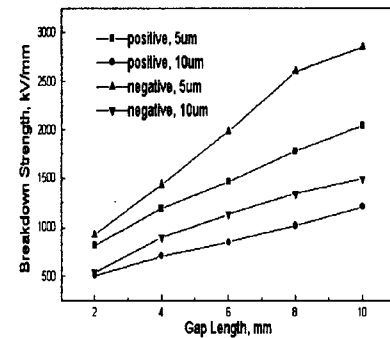


그림 7. 침 전극 극성에 따른 절연파괴 강도

한 경향은 교류 전압일 때와 마찬가지로 침-평판 전극 구조하에서 전극 간격이 커짐에 따라 절연파괴에 미치는 영향은 전극 간격보다는 침 전극의 곡률 반경이 더

커지는 것으로 생각된다.

그림 7은 침전극이 positive일 때와 negative일 때 전극 간격에 따른 절연파괴 강도를 보이고 있다. 침전극의 곡률 반경은 5 μ m와 10 μ m인 경우이다.

그림 7의 경우 침 침단의 곡률 반경이 같은 경우에 침전극이 negative인 경우가 positive인 경우보다 절연파괴 강도가 더 높은 경향을 보이고 있다. 이는 침단주위에 형성되는 공간 전하에 기인한 것이다[4,5].

4. 결 론

본 연구에서는 절연유로 가장 많이 사용되고 있는 광유의 절연파괴에 미치는 전극 간격 및 침 전극의 곡률 반경의 영향을 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

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 것이다.

침 전극의 곡률반경이 증가하면 강도는 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 20 μ m이상일 때에는 매우 낮은 증가 경향을 보였다. 따라서, 이러한 경향은 전극 간격이 커짐에 따라 절연파괴에 미치는 영향은 전극 간격보다는 침 전극의 곡률 반경이 더 커지는 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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.
- [2] R. M. Eichhorn, "Treeing in Solid extruded Electrical Insulation", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. EI-12, NO. 1, 1976.
- [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.