

진단용 X 선관 절연유의 전기적 특성

Electrical Properties of Insulating Oils for Diagnostic X-ray Tube

김건중*, 이인성*, 백금문**, 김두호**, 김왕근**, 홍진웅*
(K.C. Kim*, I.S. Lee*, G.M. Baik**, D.H. Kim**, W.G. Kim**, J.W. Hong*)

Abstract

In order to investigate the electrical properties of X-ray tube oils for insulating and cooling, the breakdown characteristics in temperature range of 20~100[°C], that of AC breakdown in 0.5~2.5[mm] of gap length, we are made researches.

The classification for the physical properties of oil for X-ray tube by FTIR and ¹H-NMR experiments was confirmed to type of mineral oils.

As for the dependance of breakdown characteristics due to electrode gap length, breakdown voltage was found nearly uniform by impurity effect according to the increase of gap. As a result the characteristics for AC breakdown, the dielectric strength was increased to 90[°C] but decreased over 90[°C] in the temperature range.

Key Words : X-ray tube oils, AC breakdown, mineral oils, dielectric strength, impurity effect

1. 서론

인간이 전기 현상을 발견한 이래 수많은 종류의 연구가 진행되어 왔다. 방전현상에 관한 연구는 대기압 상태에서 전계강도가 어떤 한계값을 넘으면 기체의 절연성은 급격히 떨어지면서 글로우 방전(glow discharge)과 아크방전(arc discharge)을 일으키면서 절연파괴에 이르는 것을 알았다. 이와 같은 사실에 근거하여 10⁻⁷[mmHg]로 배기한 유리관에 음극(-)과 양극(+)의 전극을 설치하고 전압을 인가하면 한층 더 약한 전계강도에서도 방전을 일으킬 뿐만 아니라, 진공관 내부에서 발광현상이 나타난다는 사실도 알았다.

이 현상은 19세기 후반에 중요한 연구 대상이 되

었으며, 특히 Eugen Goldstein(1850~1931)은 발광 현상을 연구하여 다음과 같이 보고하였다. 즉 발광 현상은 음극 면에 대하여 수직으로 방출되며, 성질은 음극 물질에 관계없이 동일하다는 것을 확인하고 이 선을 음극선이라고 명명하였다.

진술한 X선관은 관전압이 높아지면 방전에 의하여 인체가 감전되는 사고를 유발할 염려가 있으므로 사고를 미연에 방지하기 위해 광유를 담은 금속 용기내에 X선관을 유치하는 방전격, 방X선의 X선관을 개발하였다.

따라서 본 논문에서는 전국의 의료기관에서 사용하고 있는 진단용 X선관의 절연유에 대하여 자체 인가시와 무자계시의 절연내력을 상온에서 100 [°C] 범위까지 측정온도를 변화시키면서 비교 측정 한 결과를 보고한다.

* : 광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1,
Fax : 02-915-4630
E-mail : ealab@daisy.gwu.ac.kr)
** : 서울산업대학교 전기공학과

2. 실험

2.1 시료

진단용 X선관 보호에 사용되는 절연유는 이용선 이외의 X선을 흡수하고, 고압으로부터 전기적 충격을 막아 X선관을 보호하는 작용을 하는 1종 4호 전기 절연유를 시료로 선택하였으며 진단용 X선관의 구조는 그림 1과 같고 절연유로 채워져 있으며 절연유내와 X선관과 관용기 사이에는 공기가 없어야한다. 만약 기포가 포함되면 가열시 X선관이 파괴됨은 물론이고 절연성이 낮아진다.

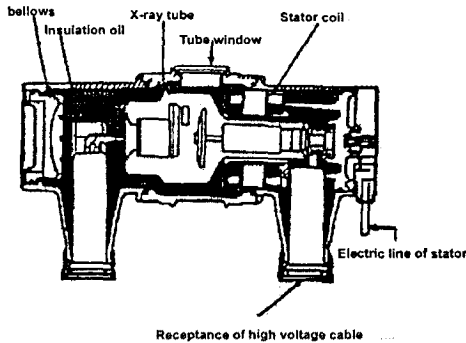


그림 1. 진단용 X선관의 구조

시료는 순수 국산으로 M사 Mictrans 고전압 대용량 유입변압기용으로 일체 첨가제를 넣지 않은 것으로 절연유를 사용하였다. 광유계 절연유 속에 포함된 탄화수소는 매우 복잡한 이성체로 구성되어 화학구조를 파악하는 것은 불가능하고 형태로 분류하고 있다.

2.2 실험방법

X선관용 절연유의 전기적 특성을 조사하기 위하여 절연파괴특성은 gap변화에 따른 절연파괴 강도와 온도변화에 따른 절연파괴 강도 및 자계 의존성을 실험하였다. 자계는 4000 [Gauss] 영구자석을 2개 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 절연파괴실험

1) 갭 간격 의존성

X선관용 절연유는 X선관을 전기적인 충격으로부터 보호하고 X선 발생시 손실에너지가 열로 되기 때문에 높은 열을 액체의 대류작용으로 열전도에 의하여 냉각하여야 한다. 일반적으로 절연파괴 전압은 갭 간격에 의하여 크게 변한다.

그림 2는 X선관용 절연유의 갭 간격변화에 따른 파괴전압을 측정한 그림이다. 측정시 갭 간격이 1.0 [mm]이하에서는 측정온도 범위에서 측정이 가능했으나 이상에서는 측정범위를 초과하였다. 갭 간격 500[μm]에서는 측정온도가 상온에서 90[$^{\circ}\text{C}$]까지는 높아지고 그 이상에서는 포화된다. 갭 간격 750[μm]에서는 상온에서 90[$^{\circ}\text{C}$]까지는 파괴전압이 매우 급하게 증가하다가 그 이상의 온도에서는 매우 급하게 낮아지며 갭 간격 1000[μm]는 750[μm]와 같은 특성을 나타낸다. 특히 상온에서 갭 간격이 500[μm]에서 1000[μm]까지는 매우 급하게 상승(42.5%)하지만 갭 간격이 1250[μm]이상에서는 약간 상승되면서 포화된다. 이것은 갭 간격이 적으면 불순물의 영향이 적기 때문으로 사료된다.

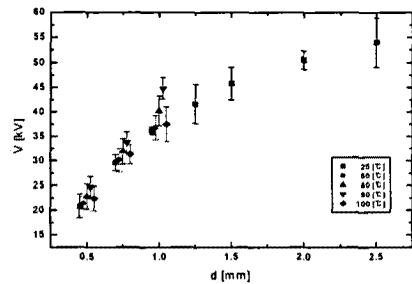


그림 2. 절연파괴 전압의 갭 길이 의존성

그림 3은 X선관용 절연유의 갭 간격의 절연파괴 강도특성을 나타내는 그림으로 갭 간격이 커지면 낮아짐을 확인할 수 있다. Goodwin, Edwards, Sharbaugh, Crowe, Liewis씨 등은 1000[μm] 이하 작은 갭 간격에서 펄스전압을 인가하였을 때, 갭 간격 d 가 적으면 급격히 감소한다고 보고하고 있다. 본 실험에서도 갭 간격이 적은 경우는 급하게 감소하다가 갭 간격이 1250[μm] 이상에서는 서서히 감소한다. 이것은 갭 간격이 길어지면 불순물의 존재확률이 높아지기 때문으로 사료된다. 일반적으로 절연파괴강도의 갭 간격 의존 특성식은 $F_b = Kd^{-n}$ [kV/mm], 여기서 K 는 액체의 종류와 인가전압 파형에 따라 변하며 교류전압 인가시는 약 20정도이다. n 은 측정자에 따라 약간씩 다르며 액체종류에는 크게 의존하지 않고 절연파괴강도는 갭 간격길이 d 의 약 $-1/3$ 승으로 저하한다. 이는 갭 공간에서 절연파괴강도가 불순물에 의해 결정되는

것으로, 宮城씨 등은 변압기유에 대하여 교류전압 인가시 실험식을 $F_b = 29.4 d^{-0.2}$ 로 보고하고 있는데, 실험에서는 그림 4에서와 같이 n 은 0.24~0.328를 얻었다.

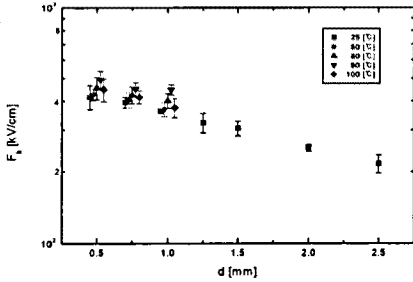


그림 3. 절연파괴 강도의 갭 길이 의존성

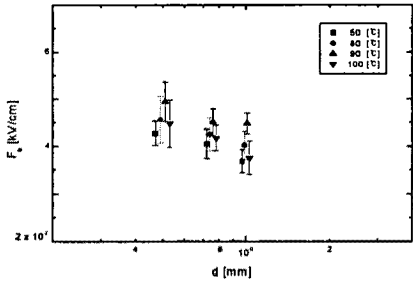


그림 4. 절연파괴의 갭 길이 효과

그림 5는 측정온도 25[°C]와 90[°C]일 때 자계 14[mT]인가 유·무에 따른 절연파괴특성을 조사한 그림으로 같은 조건에서 자계가 인가되면 무자계의 절연파괴강도보다 낮아진다. 이것은 자계에 의한 전자가 이동시 힘을 얻기 때문에 절연파괴강도가 낮아지며, 갭 간격이 좁고 측정온도가 25[°C] 때는 자계 인가시가 무자계시 보다 매우 낮으나, 측정온도가 90[°C]로 높아지면 액체의 점성이 낮아지고 열에너지에 의한 캐리어의 이동이 자계가 미치는 힘보다 상대적으로 낮아져 자계의 영향이 적은 것으로 사료되며 상온에서 전극간격이 1[mm] 이상으로 커지면 시료간격에 불순물 혼입이 쉬워져 파괴전계의 감소율은 커지는 것을 확인할 수 있다.

3.2 온도 의존성

상용 주파수의 교류전압을 전극에 인가하면 불순물에 의해 파괴전압이 변동하기 쉽다. 그림 6은 탈기하지 않고 현재 진단용 X선관 절연유의

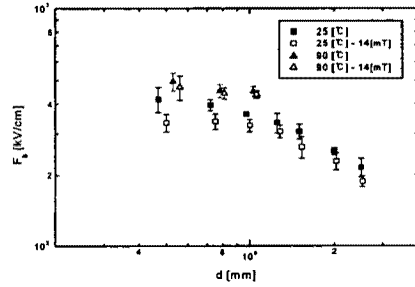


그림 5. 절연파괴 강도의 갭 길이 의존성

절연파괴강도의 온도의존 특성을 나타낸 그림으로 측정온도가 상온에서 60[°C]까지는 온도의 증가에 따라 파괴전계의 영향은 매우 적고, 갭 간격의 증가에 따라 약간 감소함을 확인할 수 있으나 측정온도가 상승하면 90[°C]에서 최대파괴강도가 나타난 후 그 이상온도에서는 감소함을 확인할 수 있다. 鳥山씨는 변압기유에 대하여 -60~105[°C]범위에서 실험하였는데 80~90[°C]에서 파괴전압이 최대로 되는 것을 보고하고 있다. 그리고 平野의 연구보고에 의하면 절연유 및 전극을 충분히 탈기할 경우 온도의 영향은 거의 없다. 그러나 기름만 탈기하고 전극을 탈기하지 않은 경우 파괴전압은 鳥山과 같은 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서도 시료 및 전극을 탈기하지 않고 현장과 같은 조건에서 실험하였으므로 90 [°C]에서 최대파괴전압이 나타나며 이 현상은 시료내 녹아 있는 가스의 영향임을 알 수 있다. 그리고 90[°C]에서 절연파괴강도가 최대로 되는 현상은 절연유내 용해된 공기가 쉽게 제거되기 때문이다. 또한 절연유의 절연파괴는 간단히 열적 파괴만으로 결정되는 것이 아님을 의미하고 Glaser, D. A. & Rahm, D. C. 등은 절연유 속에 전자방출 측정장치를 개발하고 파괴시 전극간에 기포가 발생하고 시간에 따라 증가한다.

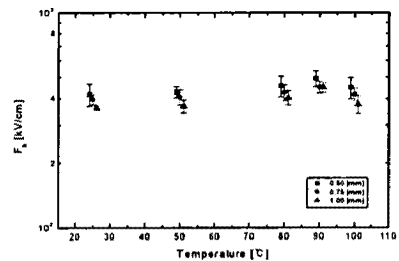


그림 6. 절연파괴 강도의 온도 의존성

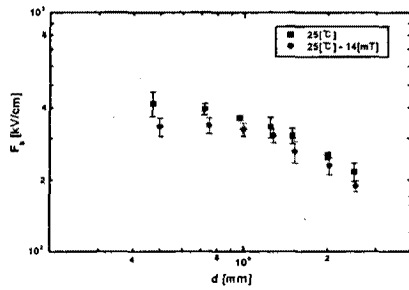


그림 7. 절연파괴 강도의 두께 의존성

그림 7은 절연파괴강도의 시료두께 의존성을 나타낸 그림이다. M. Higaki et al 등 여러 연구자들은 갭 간격이 20[mm] 이상에서 파괴전압의 특성을 조사하였는데 거의 선형적으로 증가한다고 보고하고 있다. 吉野 씨 등은 liquid electronics에서 실험식을 이용 교류파괴전압에 대한 갭 간격 그림으로부터 기울기 값은 측정자에 따라 약간씩 값 차이는 있으나, 액체의 종류에는 크게 의존하지 않고 절연파괴강도가 갭 길이에 약 1/3승으로 저하한다고 보고했다. 이것은 갭 사이에 절연파괴특성이 불순물의 영향으로 사료된다. 본 실험에서 n 값은 상온에서 자계 14[mT] 인가시 0.23을 얻었고, 무자계시는 0.328을 얻었다.

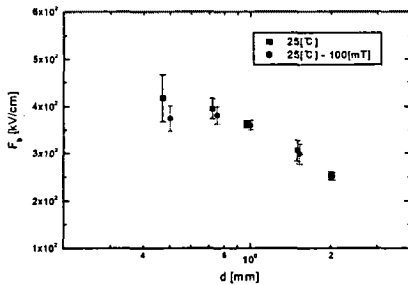


그림 8. 갭 변화에 따른 절연파괴강도 (자계 100[mT])

그림 8은 상온에서 자계를 100[mT] 인가시와 무자계시 갭 변화에 따른 절연파괴강도를 도시한 것으로 무자계시 파괴 전계값이 자계 인가된 것보다 높으며, 그리고 갭 간격이 가까우면 자계의 영향이 큰 것을 확인할 수 있다.

이것은 캐리어가 전극 사이를 이동할 때 자계로 부터 힘을 얻기 때문으로 사료되며, 갭 간격의 지수는 무자계시 0.328를 얻었고, 100[mT] 인가시 0.25를 얻었다.

4. 결론

진단용 X 선관 절연유의 전기적 특성을 조사하기 위하여 절연파괴실험을 한 결과

1. FTIR과 ¹H-NMR을 이용하여 시료의 형태를 확인했고, GC-MS로 가스분석을 확인하였다.
2. 절연파괴전압은 갭 1000[μm]이하에서는 간격의 증가와 더불어 증가하고, 간격이 넓어지면 불순물의 영향으로 증가율이 감소한다.
3. 절연파괴 강도의 갭 간격 지수는 0.24에서 0.328를 얻었다.
4. 절연파괴 강도는 무자계시가 자계인가시 보다 우수함을 확인하였다.
5. 상온에서 자계 인가시 절연파괴 강도의 갭 간격 지수는 14[mT] 0.23를 얻었고, 100[mT] 0.25를 얻었다.

참고 문헌

- [1] Mottelay, P. F: Electrical World, 18, 4-5, 28, 43-45, 59-60, 77-79, 93-94 (1891).
- [2] Glasser, O : The Generalogy of the Rontgen Ray, Am. J. Rontgenol., 30, pp.180 ~ 200, 349 ~ 367 (1933).
- [3] Goldstein, E: Ueber die Reflection electrischer Strahlen, Ann., Phys., 15, 246, 254 (1882).
- [4] Rontgen, W.C.; On a new kind of rays, Nature, 53, 274-275, Jan, 23 (1896)
- [5] Coolidge, W. D. ; A powerful Rontgen ray tube with a pure electron discharge, Phy. REV., 2, 6, 409-430 (1913).
- [6] Leistner, K ; Wege zur Steigerung der Leistung von Diagostic-Appararaten, Fortschr. a. d. Geb. d. Rontgenst, 37, 3, 321-328 (1928).
- [7] Gross, M. J. ; Progress in the design of rotating anode tube, Am. J. Rontgenol., 41, 2, 276-282 (1939)