

차단기용 PTFE의 전기적 특성

박효열, 강동필, 안명상, 이태희, 명인혜, 이태주

한국전기연구원

Electrical Properties of PTFE for Circuit Breaker

Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, Myeong-Sang Ahn, Tae-Hui Lee, In-Hae Myung, Tae-Joo Lee

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

This paper presents the electrical properties of PTFE (polytetrafluoroethylene) nozzle for circuit breaker. PTFE has been used widely as a nozzle material for circuit breaker. In the arcing environment in a circuit breaker, radiation is considered to be the major energy transport mechanism from the arc to the wall. The fraction of the radiation power is emitted out of the arc and reaches the nozzle wall, causing ablation at the surface and in the depth of the wall. The energy concentration in the material lead to the depolymerization and eventually lead to the generation of decomposed gas as well as some isolated carbon particles. The generation of the decomposed gas in the depth of the material causes inner explosion. The surface of nozzle becomes uneven. The flow of gas is not uniform due to the unevenness of the surface. Adding some fillers into PTFE is expected to be efficient for improving the durability against radiation.

In this experiment, three kinds of fillers that have endurance in the high temperature environment were added into PTFE. Dielectric constant, dissipation factor, electrical resistivity and dielectric strength of PTFE composites were investigated.

Key Words : PTFE, nozzle, circuit breaker, dielectric constant, dissipation factor, resistivity

1. 서론

산업의 발달에 따라서 사회가 정보화, 자동화, 쾌적한 환경 및 복지후생의 시대로 진행되고 전기 에너지의 수요는 계속 증가하고 있다. 이에 맞추어 발전설비, 송변전설비 및 배전설비도 크게 증대되고 있으며 전력기기의 용량도 증가하고 있다.

전력기기 중에서 차단기는 도체인 금속 접점부분이 기계적으로 동작하여 분리됨으로서 전력을 차단하는데 이 접점 주위를 노즐이란 절연부품이 감싸고 있다. 고전압 대전류의 차단기류에 사용되는 노즐을 비롯한 절연부품은 아주 순간적이긴 하지만 매우 높은 온도에 노출되게 되어 있다. 따라

서 차단기의 금속접점 주위를 둘러싸고 있는 절연 재료는 내열성, 열충격성 등이 우수하여야 하고 광범위한 온도범위에서 물성의 변화가 크지 않아야 한다[1]. 또한 전력기기의 절연재료로서 기본적으로 체적 및 표면절연저항, 절연내력, 내아크성 등이 높아야 하고, 유전손실이 낮아야 한다.

대전류 차단시 고온의 플라즈마 상의 아크로부터 발생된 에너지선이 노즐에 도달하여 그 수지의 표면으로부터 내부 층에 불규칙하게 침입하여 수지 내에 에너지가 축적되어 지고 이 축적된 에너지에 의하여 불소수지 내부에서 폴리머의 열분해가 일어나서 어떤 부분은 검게 변하고, 어떤 부분은 가스화 된다. 발생된 가스는 고상의 수지에 비

하여 매우 체적이 팽창된 것이기 때문에 기계적으로 취약한 부분을 경로로 하여 외부로 방출되게 되어서 실제 여러 회 차단한 적이 있는 노즐에서는 내부로부터의 폭발현상이 관찰되고 있다.

차단기 내에서 아크로부터 노즐까지의 주된 열 전달 기구가 복사이기 때문에 노즐재료에서의 광 반사율은 매우 중요한 인자이다. PTFE가 용융온도 이상의 고온에 존재하게 되면 용융되어 투명하게 되어서 광반사율은 매우 크게 떨어지게 된다. 이 경우에 아크에너지가 재료의 내부에까지 침투하게 되어 PTFE의 열화가 심하게 일어난다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 무기물 필러를 첨가하는 것이 매우 유용하게 보인다[2, 3, 4].

본 논문에서는 고온의 아크환경에서 내구성을 증가시키는 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂를 PTFE에 첨가한 뒤 PTFE 복합재료의 전기적 특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

진공분위기 하에서 압축성형방법으로 시편을 성형하였다. 시편은 봉상으로 성형하여 판상으로 절단하여 사용하였다. 복합PTFE의 성형압력은 보강재 종류나 수지와 보강재의 비율에 따라서 크게 달라지므로 보강재의 함량이 증가할수록 성형압력을 증가시켰다.

본 실험에서 성형압력은 300~600 kg/cm²이었고 380 °C에서 5시간 열처리를 하였고 시간당 50 °C의 속도로 천천히 냉각시켰다.

2.2 유전특성 측정

PTFE는 분자의 대칭성이 극히 높은 무극성 고분자로서 손실계수(loss factor)가 매우 낮아서 고주파용 절연체재료로 매우 적합하다. 고전압 대전류의 내아크 재료로서 보강재를 첨가할 때에는 보강재의 유전특성이 PTFE의 특성을 크게 저하시키지 않는 것을 선정하여야 한다.

본 실험에서는 유전율(dielectric constant)과 손실율(dissipation factor)을 보강재의 종류와 양의 변화에 따라서 측정을 하였다. Tettex AG Instruments의 Precision Dissipation-Factor and Capacitance Bridge를 사용하여 주파수 60 Hz, 500

V의 전압을 인가하여 측정하였다.

2.3 절연파괴전압 측정

PTFE의 절연파괴전압은 매우 높으며 그 강도는 성형조건에 크게 좌우된다. PTFE는 기본적으로 성형시에 많은 문제점을 가지고 있지만 특히 기공을 없애고 불순물이 혼입되지 않도록 하여야 한다.

절연파괴전압이란 절연체의 절연파괴가 시작되는 전압을 가르킨다. 절연파괴전압은 시험방법에 따라서 매우 다르게 나타나며, 특히 전계가 불균일하게 나타나기가 쉽다. 시료가 얇을수록 일정 두께의 시편에 대한 절연파괴전압이 높게 나타나므로 실험결과에는 항상 시편의 두께와 전극상태 및 전압인가방법 등을 구체적으로 나타내어야 한다.

본 실험에서는 절연파괴 예상전압의 50 %까지는 단시간에 전압을 상승시키고 그 이후는 30초당 0.5 kV의 속도로 전압을 상승시켰다. 측정 주파수는 60 Hz이며 전극은 구형(Ø12.5 mm)전극을 사용하였다. 측정 시편의 두께는 2 mm이었고 전극간의 섬락을 막기 위하여 실리콘 오일 안에서 절연파괴전압을 측정하였다.

2.4 절연저항 측정

PTFE는 매우 높은 절연저항을 나타내며 특히, 200 °C 가까운 고온에서도 절연저항이 크게 떨어지지 않아서 온도가 높은 곳에서도 절연체재료로 사용할 수 있는 장점이 있다. 마찰에 의하여 대전되기 쉬우므로 측정시 유의하여야 한다.

본 실험에서는 HP4339A(High Resistance Meter)를 사용하여 체적절연저항과 표면절연저항을 보강재의 종류와 양의 변화에 따라서 측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유전율

그림 1과 2에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 첨가에 따른 유전율 및 손실율의 변화를 나타내었다. 보강재의 첨가량이 증가함에 따라서 유전율과 손실율은 증가하는 현상을 나타내었다. BN이 첨가되었을 때 유전율과 손실율의 증가가 가장 작게 나타났고, TiO₂가 첨가되었을 때 유전율과 손실율의 증가가 가장 크게 나타났다. 이것은 보강재의 유전율과 손실율이 PTFE의 유전율과 손실율 보다 더 크기 때문에 생

기는 현상으로 볼 수 있다.

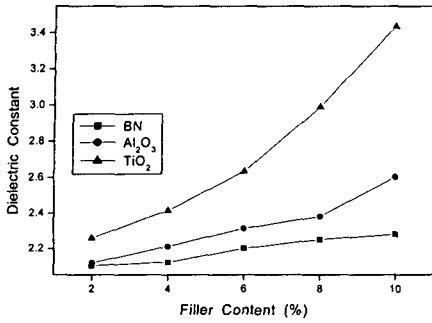


그림 1. PTFE 복합재료의 유전율

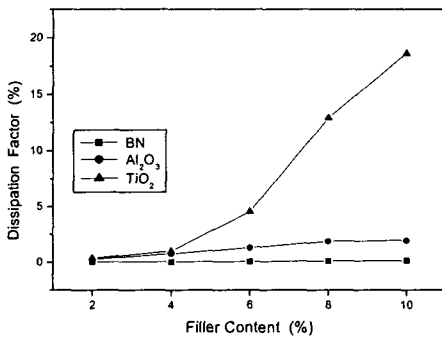


그림 2. PTFE 복합재료의 손실율

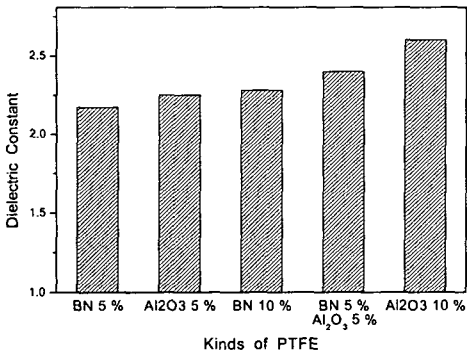


그림 3. PTFE 복합재료의 종류에 따른 유전율

그림 3과 4에 PTFE에 BN과 Al₂O₃를 단독 첨가한 시편과 복합 첨가한 시편의 유전율과 손실율을 비교하였다. BN 5 %, Al₂O₃ 5 %를 복합첨가한 PTFE 시편의 유전율과 손실율은 BN을 10 % 첨가

한 PTFE 시편의 유전율과 손실율 보다는 높게 나타났다고 Al₂O₃ 10 % 첨가한 PTFE 시편의 유전율과 손실율 보다는 낮게 나타났다. 이것은 BN의 유전율 보다 Al₂O₃의 유전율이 더 높기 때문에 생기는 현상으로 볼 수 있다.

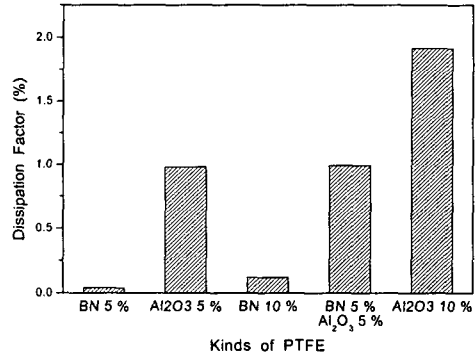


그림 4. PTFE 복합재료의 종류에 따른 손실율

3.2 절연저항

그림 5와 6에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 첨가에 따른 체적절연저항 및 표면절연저항의 변화를 나타내었다. BN 및 Al₂O₃의 첨가량이 증가함에 따라서 절연저항율은 감소하는 현상을 나타내었지만 크게 감소하지는 않았다. 그러나 TiO₂가 첨가되었을 때 절연저항율의 감소는 BN 및 Al₂O₃를 첨가하였을 때와 비교하여 크게 나타났다. 이것은 보강재인 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 절연저항이 PTFE보다 낮으며, BN 및 Al₂O₃의 절연저항이 TiO₂의 절연저항보다 더 높기 때문에 생기는 현상으로 볼 수 있다.

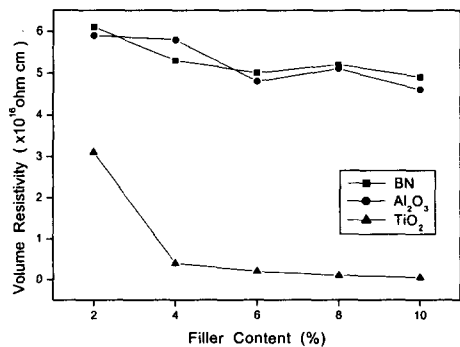


그림 5. PTFE 복합재료의 체적절연저항율

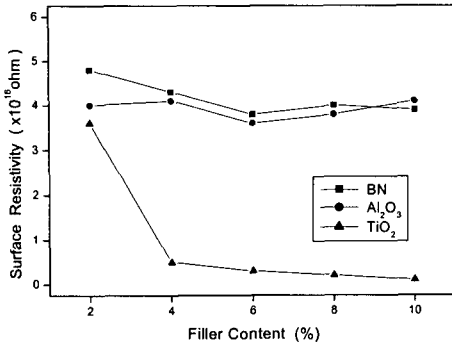


그림 6. PTFE 복합재료의 표면절연저항율

3.3 절연파괴전압

그림 7에 PTFE에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 첨가에 따른 절연파괴전압의 변화를 나타내었다. BN 및 Al₂O₃의 첨가량이 10 %까지 증가할 때까지는 절연파괴전압의 감소가 크게 나타나지 않았지만 첨가량이 10 %에서 20 %까지 증가하면서 절연파괴전압은 크게 감소하였다. 그러나 TiO₂를 첨가한 경우에는 소량의 첨가에도 절연파괴전압은 크게 감소하였고 전체적으로 BN 및 Al₂O₃를 첨가하였을 때 보다 절연파괴전압은 더 낮게 나타났다.

보강재를 첨가함에 따라서 절연파괴전압이 감소하는 것은 보강재인 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 절연저항 및 절연파괴전압이 PTFE보다 낮고, 보강재가 첨가되면서 보강재와 PTFE 사이에 계면이 형성되기 때문에 생기는 현상으로 볼 수 있다.

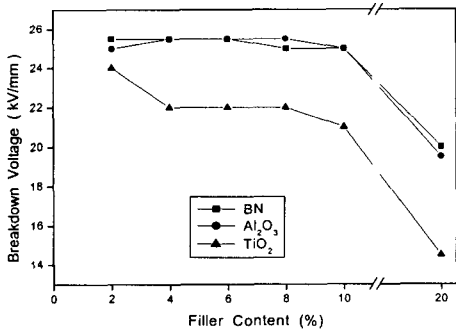


그림 7. PTFE 복합재료의 절연파괴전압

4. 결론

BN, Al₂O₃ 및 TiO₂를 PTFE에 첨가함에 따른 PTFE 복합재료의 유전율, 손실율, 절연저항 및 절연파괴강도를 조사하였다.

보강재의 첨가량이 증가함에 따라서 유전율과 손실율은 증가하는 현상을 나타내었다. BN이 첨가되었을 때 유전율과 손실율의 증가가 가장 작게 나타났고, TiO₂가 첨가되었을 때 유전율과 손실율의 증가가 가장 크게 나타났다.

BN 및 Al₂O₃의 첨가량이 증가함에 따라서 절연저항율은 감소하는 현상을 나타내었고 TiO₂가 첨가되었을 때 절연저항율의 감소는 BN 및 Al₂O₃를 첨가하였을 때와 비교하여 크게 나타났다.

BN 및 Al₂O₃의 첨가량이 증가함에 따라서 절연파괴전압은 감소하였고 TiO₂를 첨가한 경우에는 BN 및 Al₂O₃를 첨가하였을 때와 비교하여 절연파괴전압은 더 크게 감소하였다.

참고 문헌

- [1] K. Ibuki, "Key Technologies for Developing a 400 kV 50Ka GCB", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, 1989
- [2] L. Müller, "Pressure build-up and ablation of insulating nozzles by arcs", The Eleventh International Conference on Gas Discharges and Their Applications, I (366-369), September 1995
- [3] A.K. Pugachev, V.S. Chemeris, A.F. Tikhomirov and O.I. Ol'shevskii, "Composite materials for the nozzles of SF₆ breakers with increased switching wear resistance", Elektrotehnika, Vol. 61, No.12, pp. 72-74, 1990
- [4] R. Meier, F. K. Kneubühl, and H. J. Schötzau, "Mass-spectroscopic study of the influence of nozzle material on high pressure SF₆ arcs, Appl. Phys. B 48, pp187-211, 1989