

전력기기용 Nozzle의 전기적 특성

박효열, 강동필, 안명상

한국전기연구원

Electrical Properties of Nozzle for Electrical Apparatus

Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, and Myeong-Sang Ahn

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

This paper presents the electrical properties of PTFE nozzle for a electrical apparatus. In the arcing environment in a electrical apparatus, 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 leads to the depolymerization and eventually leads to the generation of decomposed gas as well as some isolated carbon particles. 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. Light reflectance of fillers was investigated. Dielectric constant and dissipation factor of PTFE composites were investigated. Dielectric constant and dissipation factor of the PTFE composites increased with increasing contents of the fillers.

Key Words : PTFE, nozzle, electrical apparatus, light reflectance, dielectric constant, dissipation factor

1. 서 론

전력기기의 핵심부로서 차단부는 도체인 금속 접점부분이 기계적으로 동작하여 분리됨으로서 전력을 차단하는데 이 접점 주위를 절연부품인 노즐이 감싸고 있다. 즉, 절연물인 노즐 내부로 접점이 움직이면서 개폐기능을 하도록 되어 있다. 노즐은 차단기에서 전류를 차단할 때 아크를 노즐 내부에 발생시켜 아크 확장을 억제하는 용기로서 작용을 한다. 노즐은 차단 순간에 파파실에 축적된 고압의 가스를 아크에 효율적으로 분사하고 또한 열 가스를 하류로 신속히 유출시키는 기능을 한다. 노즐의 디자인과 전개해석에 관해서는 많은 연구가 있어 왔지만[1, 2] 노즐재료 자체의 성능 및 성능개선에 관해서는 연구가 거의 없었다.

고전압 대전류의 차단기에 사용되는 노즐을 비롯한 절연부품들은 아주 순간적이긴 하지만 매우 높은 온도에 노출된다. 따라서 차단기의 금속접점 주위를 둘러싸고 있는 절연재료는 내열성, 열충격성 등이 우수하여야 하고, 광범위한 온도범위에서 물성의 변화가 크지 않아야 한다[3].

전기절연성, 화학적 불활성, 내열성, 윤활성, 넓은 사용온도 범위 등이 우수하여 특수용도의 구조재료로서 사용되고 있는 PTFE (polytetrafluoroethylene : 사불화불소수지)가 현재 노즐재료로 사용되고 있지만 부분적으로 탄화가 발생하고, 아크에 의하여 용삭되는 기구(mechanism)에 관해서는 완전히 이해되지 않고 있다[4]. 차단용량이 증대됨에 따라 PTFE 노즐재가 대전류의 아크에 노출되면서 표면의 열화뿐만

아니라 내부에서의 폭발(explosion)이 발생되어 내구성에 심각한 문제가 생긴다. 즉, 고온의 플라즈마상의 아크로부터 발생된 에너지선이 노즐에 도달하여 그 노즐의 표면으로부터 내부층에 불규칙하게 침입하여 노즐 내에 에너지가 축적되어 지고 이 축적된 에너지에 의하여 노즐 내부에서 폴리머의 열분해가 일어나서 어떤 부분은 검게 변하고, 어떤 부분은 가스화 된다. 따라서 이 발생된 가스는 고상의 수지에 비하여 매우 체적이 팽창된 것이기 때문에 기계적으로 취약한 부분을 경로로 하여 외부로 방출되게 된다. 실제 여러 회 차단 후의 노즐에서는 내부로부터의 폭발현상이 관찰되고 있다[5].

차단동작이 일어날 때 발생하는 아크 에너지는 복사(radiation)의 형태로 노즐에 전달되므로[6, 7] 이 아크 에너지를 반사시키는 광반사율이 중요한 인자가 된다[8]. PTFE의 광반사율은 상온에서 매우 높게 나타난다. 그러나 대전류를 차단할 때 발생하는 아크에 의하여 온도가 상승하게 되면 PTFE는 용융되어 무정형의 투명한 상태로 되어 광반사율이 저하되게 된다. 따라서 아크광을 반사하는 능력이 떨어지게 되므로 재질내부로 에너지의 유입이 증가되어 내부온도 상승의 원인이 되며 그것이 재질 용삭의 직접적인 원인이 된다.

차단동작이 일어날 때 발생하는 아크에 의하여 노즐의 온도가 상승하여 광반사율이 저하되므로 여기에 아크에 내구성이 있는 무기물 보강재를 첨가하게 되면 아크에 의한 노즐의 용삭이 줄어들 것으로 예상된다. 실제, 대전류 차단기의 노즐로서 PTFE에 무기물 보강재를 첨가하여 사용을 하고 있으며 이에 대한 재료의 특성에 관한 연구[9-11]가 일부 보고되고 있다. 그러나 보강재의 종류 및 양에 대한 과학적인 자료가 없으며, 보강재의 첨가에 따른 여러 가지 특성의 변화도 찾아보기가 쉽지 않다.

본 논문에서는 고온의 아크환경에서 광반사율을 증가시키는 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 광반사율을 측정하고 PTFE에 첨가한 뒤 PTFE 복합재료의 유전 특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

본 실험에서는 진공분위기 하에서 압축성형으로 시편을 제작하였다. 시편은 봉상으로 성형하여 판상으로 절단하여 사용하였다. 복합 PTFE의 성형압력

은 보강재 종류나 수지와 보강재의 비율에 따라서 크게 달라지므로 보강재 함량이 증가할수록 성형압력을 증가시켰다. 300~600 kg/cm²의 압력으로 성형하고 380℃서 5시간 정도 열처리하여 시편을 제작하였다. BN은 육방정(hexagonal) 결정구조인 Atlantic Equipment Engineers의 BO-502, Al₂O₃는 Sumitomo chemical의 ALM-43, TiO₂는 DuPont의 rutile형 결정구조인 R-900을 사용하였다.

2.2 광반사율 측정

빛이 반사되는 경우는 두 성분으로 분리하여 생각할 수 있다. 유리면과 같은 매끄러운 표면에서 일어나는 반사로서 입사각과 반사각이 같은 반사를 경면(specular)반사라고 하고, 표면이 유리와는 달리 매끄럽지 않은 경우에 빛이 물체의 표면에서 여러 가지 다른 방향으로 산란이 일어나는 난반사를 확산(diffuse)반사라고 한다. 일반적으로 확산반사는 적분구(integrating sphere)를 사용하여 측정한다. 반사율은 경계면에서 반사된 에너지의 입사 에너지에 대한 비 또는 그 백분율을 말한다.

고전압, 대전류를 차단할 때 발생하는 플라즈마상의 아크에너지는 대부분이 복사의 형태로 주변의 재료에 에너지 전달이 이루어지므로 대전류 차단기의 내아크성 재료에 있어서 광반사율은 매우 중요한 인자이다.

본 실험에서는 Varian의 Cary5 UV-Vis-NIR Spectrophotometer를 사용하여 110 mm의 반경의 적분구로서 경면반사와 확산반사 성분의 반사율을 합한 전체 반사율(total reflectance)을 측정하였다. PTFE 시편이 기본적으로 유리면과 같이 매끈하지 않기 때문에 빛이 조사되었을 때 산란하는 특성을 나타내므로 경면반사와 확산반사 성분을 함께 측정하는 것이 필요하다.

2.3 유전특성 측정

PTFE는 분자의 대칭성이 극히 높은 무극성 고분자로서 손실계수(loss factor)가 매우 낮아서 고주파용 절연재료로 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.

3. 결과 및 고찰

3.1 광반사율

경면반사(specular)와 확산반사(diffuse) 성분의 반사율을 합한 전체 반사율(total reflectance)을 측정하였다.

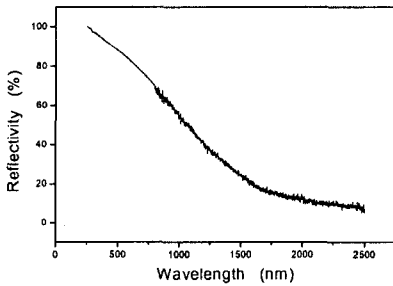


그림 1. PTFE의 광반사율

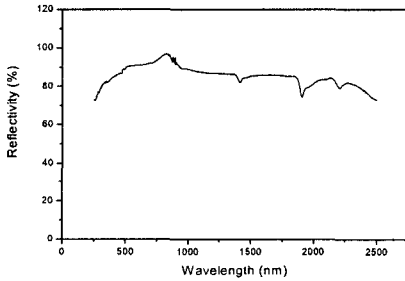


그림 2. BN의 광반사율

그림 1에 PTFE의 파장에 따른 광반사율의 변화를 나타내었다. 광반사율은 파장이 짧을수록 높게 나타났고 파장이 길어짐에 따라서 점차 낮게 나타났으며 파장이 2,000 nm 부터 그 감소의 정도는 크지 않았다.

그림 2, 3, 4에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂ 분말의 파장에 따른 광반사율의 변화를 나타내었다. 단파장에서는

모든 분말의 광반사율이 낮게 나타났으며 BN을 제외한 Al₂O₃ 및 TiO₂ 분말의 광반사율은 단파장에서 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 광반사율은 BN 분말이 가장 높게 나타났고, Al₂O₃, TiO₂ 분말의 순서로 광반사율이 낮게 나타났다.

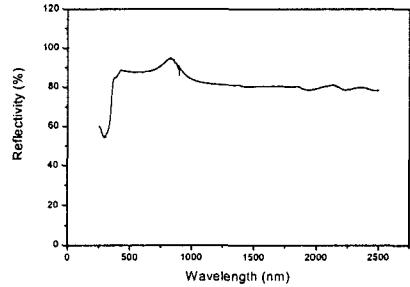


그림 3. Al₂O₃의 광반사율

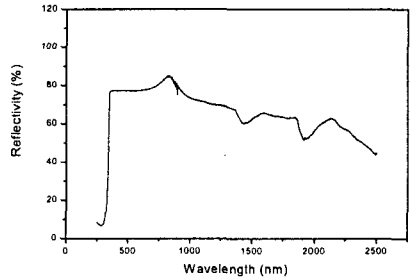


그림 4. TiO₂의 광반사율

3.2 유전율

그림 5와 6에 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 생기는 현상으로 볼 수 있다.

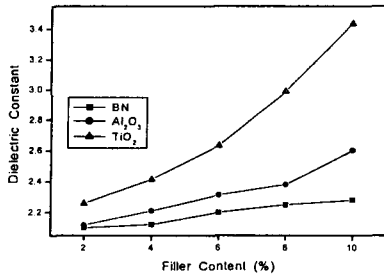


그림 5. PTFE 복합재료의 유전율

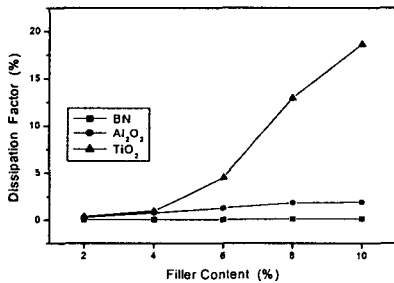


그림 6. PTFE 복합재료의 손실율

4. 결론

BN, Al₂O₃ 및 TiO₂의 광반사율을 측정하고 보강재를 PTFE에 첨가함에 따른 PTFE 복합재료의 유전특성을 조사하였다.

BN, Al₂O₃ 및 TiO₂ 분말은 단파장에서는 모든 분말의 광반사율이 낮게 나타났으며 BN을 제외한 Al₂O₃ 및 TiO₂ 분말의 광반사율은 단파장에서 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 광반사율은 BN 분말이 가장 높게 나타났고, Al₂O₃, TiO₂ 분말의 순서로 광반사율이 낮게 나타났다.

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.

참고 문헌

[1] M.T.C. Fang, W.H. Bu, "Investigation of Ablation-Dominated AC Nozzle Arcs", IEE

Proc-A, Vol. 138, No. 1, pp. 71-77, Jan., 1991.

[2] S. Taylor, M.T.C. Fang, G.R. Jones, D.W. Shimmin, "Current Zero Flow Conditions in a Circuit Breaker-Nozzle", IEE Proceedings-A, Vol. 138, No. 5, pp. 259-264, Sep., 1991.

[3] K. Ibuki, "Key Technologies for Developing a 400kV 50kA GCB", IEEE Tran. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1738-1744, 1989.

[4] W.D. Liu, J.W. Spencer, J.K. Wood, J.J. Chaaaraoui, G.R. Jones, "Effect of PTFE Dielectric Properties on High Voltage Reactor Load Switching", IEE Proc-Sci. Technol., Vol. 143, No. 3, pp. 195-200, May, 1996.

[5] Japanese Patent, No. 1155281.

[6] G. R. Jones, N. Y. Shammam, and A. N. Prasad, "Radiatively Induced Nozzle Ablation in High-Power Circuit Interrupters", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. PS-14, No. 4, pp. 413-422, August, 1986.

[7] R. W. Liebermann and J. J. Lowke, "Radiation Emission Coefficients for Sulfur Hexafluoride Arc Plasmas", J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer Vol. 16, pp. 253-264, Pergamon Press, 1976.

[8] Japanese Patent, No. 2581606.

[9] L. Müller, "Pressure Build-up and Ablation of Insulating Nozzles by Arcs", The Eleventh International Conference on Gas Discharges and Their Applications, pp. 366-369, September, 1995.

[10] 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.

[11] 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, pp. 187-211, 1989.