

차단기용 PTFE의 내아크성과 광반사율

박효열, 강동필, 안명상, 이태주, 이태희, 명인혜

한국전기연구원

Arc Resistance and Light Reflectance of PTFE for Circuit Breaker

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

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

A study on the arc resistance and light reflectance of PTFE (polytetrafluoroethylene) nozzle for circuit breaker is presented. PTFE has been used widely as a material for circuit breaker nozzle. PTFE has excellent electrical resistivity, high melt viscosity, chemical inertness, heat resistance and low loss factor. PTFE melts at 327 °C but the viscosity is very high above the melting point.

In the arcing environment in a circuit breaker, the fraction of the power is emitted out of the arc and reaches the nozzle wall by radiation, causing ablation at the surface and in the depth of the wall. Some fraction of the radiation power emitted out of the arc directly break up the chemical bonds at the surface while some fraction of the radiation power penetrates into the wall, heats up the material to evaporation temperature and causes damages deeper inside the volume of the nozzle.

In this paper, some fillers that have endurance in the high temperature arc environment were added into PTFE. Adding some fillers into PTFE was expected to be efficient in improving the durability against radiation. The light reflectance and arc resistance of PTFE composites were investigated.

Key Words : PTFE, nozzle, circuit breaker, arc resistance, light reflectance

1. 서론

산업의 발달로 전기에너지의 수요가 크게 증가함에 따라서 전력설비도 점차 대용량화되고, 전력기기의 절연부품도 더욱 더 가혹한 조건에 처하게 되었다. 변전소의 핵심설비 중에서 변압기를 제외한 대부분을 하나의 가스절연 시스템으로 설비화(GIS)하여 개발하고 있다. GIS의 핵심부로서 차단부는 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. 따라서 차단기의 금속접점 주위를 둘러싸고 있는 절연재료는 내열성, 열충격성 등이 우수하여야 하고 광범위한 온도범위에서 물성의 변화가 크지 않아야 한다[1].

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 비하여 매우 체적이 팽창된 것이기 때문에 기계적으로 취약한 부분을 경로로 하여 외부로 방출되게

되어서 실제 여러 회 차단 후의 노즐에서 내부로부터의 폭발현상이 관찰되고 있다.

PTFE는 매우 우수한 절연저항, 높은 용융점도, 화학적 불활성, 열저항성과 낮은 유전손실을 나타내기 때문에 차단기의 노즐재료로 많이 사용되고 있다.

차단기 내에서 노즐까지의 주된 열전달 기구가 복사이기 때문에 노즐재료에서의 광반사율은 매우 중요한 인자이다. 아크의 온도가 올라갈수록 아크의 파장은 짧아지게 되고 PTFE의 화학적 결합이 단파장에서 더 잘 분해되기 때문에 단파장에서 광반사율은 더 중요하게 된다. 실온에서 자외선 및 가시광선 영역의 PTFE의 반사율은 매우 높으므로 복사를 잘 반사할 수 있다. 그러나 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.

노즐재료에 관한 논문이 일부 보고되어 있지만 [2, 3, 4] 광반사율과 내아크성과의 관련에 관한 논문은 보고되어 있지 않다. 이 논문에서는 고온의 아크환경에서 내구성을 증가시키는 필러, 내아크성과 광반사율의 관계에 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 ℃에서 5시간 열처리를 하였고 시간당 50 ℃의 속도로 천천히 냉각시켰다. PTFE 복합재료의 시편 제작과정은 그림 1과 같다.

2.2 내아크성 측정

내아크 특성은 절연체의 표면에서 발생하는 아크에 대한 저항성을 나타내는 것이다. 절연체의 표

면에서 발생하는 아크에 의하여 부분적으로 열적 및 화학적으로 분해가 일어나거나 침식이 생겨서 도전로(conducting path)가 형성되고 시료의 표면 및 내부로 전류가 흐르기 시작하여 절연성을 상실하게 된다.

본 실험에서 시료는 압축성형한 판상을 사용하였다. ASTM D495의 방법에 의하여 내아크성을 측정하였다. 실험시편인 PTFE는 아크 방전에 의하여 탄화되지 않고 계속 용삭되므로 규정에 의한 내아크 시험은 불가능하다. 따라서 본 실험에서는 아크에 의한 저항성을 측정하기 위하여 일정 전압을 인가하고 일정 시간 후 용삭이 일어난 뒤의 무게손실로 비교를 하였다. 인가한 전압은 20,000 V 이고, 270 초 후 무게감량을 측정하였다.

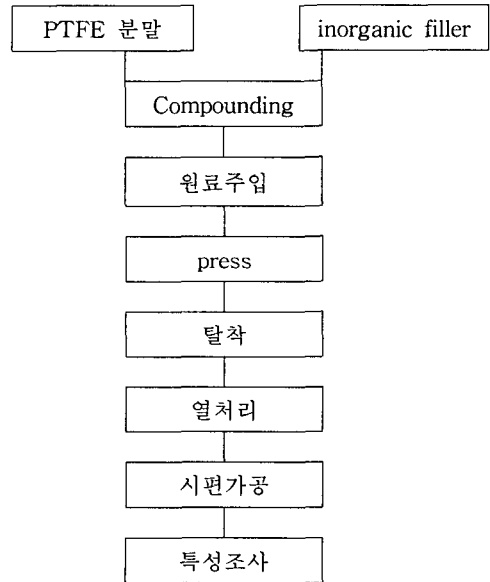


그림 1. 시편제조 공정

2.3 광반사율 측정

고전압 대전류의 차단시에 발생하는 플라즈마상의 아크 에너지는 대부분 복사의 형태로 주변의 재료에 에너지 전달이 이루어지므로 초고압 내아크성의 재료에 있어서 광학적 특성을 매우 중요한 인자이다. 빛이 물체 표면에 입사되면 빛의 일부가 반사되는데 반사율은 경계면에서 반사된 에너지의 입사에너지에 대한 비 또는 그 백분율을 말한다. 나머지는 그 물체에 흡수되거나, 그 물체가 유리나

물과 같이 투명한 경우에는 투과된다. 반사의 경우 specular와 diffuse의 2 성분으로 분리하여 생각할 수 있는데 specular 반사는 유리면과 같은 표면에서 일어나는 반사로서 반사의 법칙인 입사각과 반사각이 같은 반사이다. 반면에 diffuse 반사는 빛이 물체의 표면에서 여러 가지 다른 방향으로 산란이 일어나는 반사를 지칭하는 것으로서 표면이 유리 와 달리 매끄럽지 않은 경우에 일어난다.

본 실험에서는 Varian의 Cary5 UV-Vis-NIR Spectrometer를 사용하여 110 mm 반경의 적분구로써 specular와 diffuse 성분의 반사율을 합한 전체 반사율(total reflectance)을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 내아크성

그림 1에 BN, Al₂O₃, TiO₂를 첨가한 PTFE 복합 재료의 아크 인가 후 무게손실을 나타내었다.

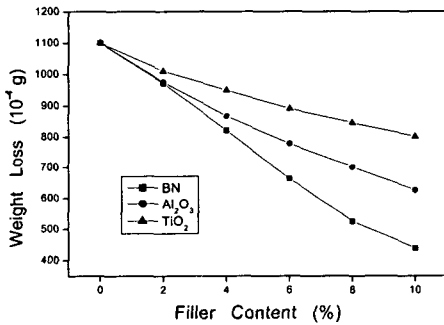


그림 2. BN, Al₂O₃, TiO₂의 첨가량에 따른 PTFE 복합재료의 무게감량의 변화

그림 2에서 필러의 양이 증가됨에 따라서 PTFE 복합재료의 무게손실이 줄어들고 있으며 BN, Al₂O₃, TiO₂를 첨가한 순서로 무게손실이 작게 나타났다. 무게손실이 작다는 것은 내아크성이 우수하다는 것과 같다. 따라서 BN을 첨가한 PTFE의 내아크성이 가장 우수하고 필러의 양이 많을수록 내아크성이 우수하게 나타났다.

3.2 광반사율

그림 3에 PTFE의 광반사율을 나타내었다. 단파장 영역에서 PTFE의 광반사율이 매우 높게 나타났지만 파장이 길어질수록 광반사율이 급격히 감

소함을 나타내고 있다.

그림 4에 BN 분말의 광반사율을 나타내었다. 그림 3의 PTFE의 광반사율에 비하여 파장의 증가에 따른 광반사율의 감소는 크지 않게 나타났지만 약간씩은 감소하는 경향을 나타내었고, 단파장 영역에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

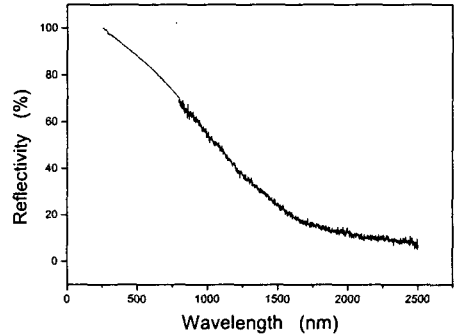


그림 3. PTFE의 광반사율

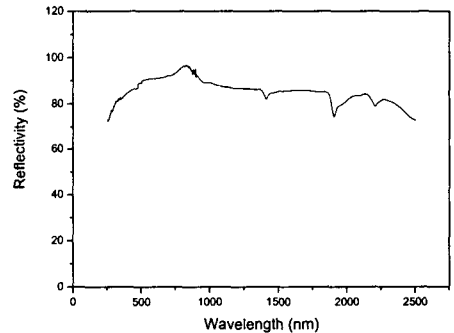


그림 4. BN 분말의 광반사율

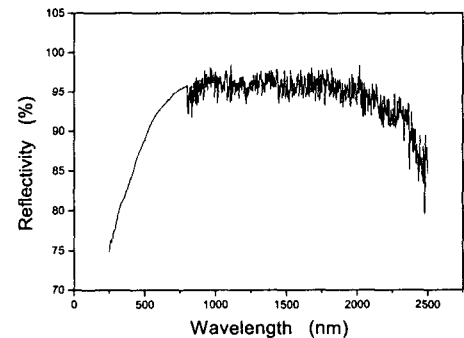


그림 5. BN 10% 첨가한 PTFE의 광반사율

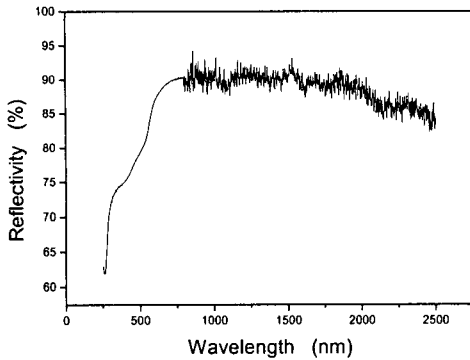


그림 6. Al₂O₃ 10% 첨가한 PTFE의 광반사율

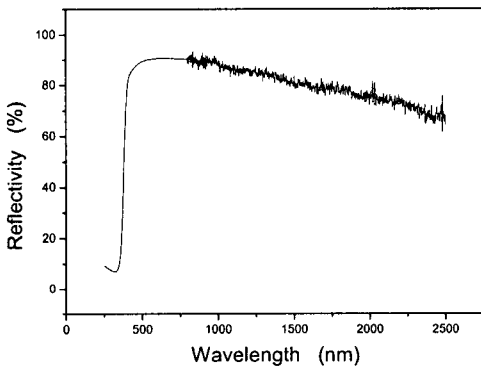


그림 7. TiO₂ 10% 첨가한 PTFE의 광반사율

PTFE에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂를 각각 10% 첨가함에 따라서 PTFE 복합재료의 광반사율은 단파장에서는 PTFE에 비하여 크게 감소하였고, 장파장에서는 증가하는 현상이 나타났다. 이것은 PTFE가 단파장에서의 광반사율이 높고, 장파장으로 갈수록 광반사율이 낮아지는 반면에 BN, Al₂O₃ 및 TiO₂ 등의 보강재는 PTFE에 비하여 단파장에서는 광반사율이 낮고, 장파장에서 광반사율이 높기 때문인 것으로 생각된다. BN, Al₂O₃ 및 TiO₂가 각각 10% 첨가된 PTFE 복합재료에서 전체적인 광반사율은 BN이 첨가된 PTFE 복합재료가 가장 높게 나타났고, TiO₂가 첨가된 PTFE 복합재료가 가장 낮게 나타났다.

4. 결론

필러의 첨가량이 증가함에 따라서 내아크 특성은 우수하게 나타났으며 BN, Al₂O₃, TiO₂ 중에서 BN을 첨가한 PTFE의 내아크 특성이 가장 우수하

게 나타났다.

PTFE의 광반사율은 단파장에서 매우 높고, 장파장에서는 감소하는 경향을 나타내었지만 필러를 첨가함에 따라서 단파장에서의 광반사율은 오히려 감소하고 장파장에서의 광반사율은 증가하는 현상을 나타내었다. BN, Al₂O₃ 및 TiO₂ 중에서 BN을 첨가한 PTFE의 광반사율이 가장 높게 나타났다.

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