

## 초고압 내아크용 불소수지 복합재료의 전기적 특성

### The Electrical Properties of Fluorocarbon Polymer Composites with High Voltage Arc Resistance

박 효 열\*, 안 명 상, 강 동 필                      한 국 전 기 연 구 소

Hoy Yul Park\*, Myeong Sang Ahn, Dong Pil Kang

Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

Polytetrafluoroethylene is very suitable for insulation materials because of its high thermal and chemical stability, high electrical resistance and low loss factor. But almost all kinds of pure fluoroplastic cannot endure long time in the high temperature arc environment breaking high voltage and current.

In this study, inorganic materials such as BN,  $TiO_2$  and  $Al_2O_3$  were filled in the polytetrafluoroethylene to improve arc resistance. The electrical properties, arc resistant properties and light reflectance of the composites were investigated.

#### 1. 서론

사불화불소수지는 저항과 절연파괴강도가 매우 높고 유전상수와 유전손실이 아주 낮아 우수한 절연재료이다. 특히 열분해온도가 높아서 아크에 대한 저항성이 좋으며 트래킹이나 탄화로를 형성하지 않을 뿐만 아니라 발생된 불화수소

가스가 아크를 차단하는 역할을 하므로 초고압 차단기류의 절연부품으로 매우 적합한 재료이다. 그러나 초고압 대전류의 아크환경에서 불소수지 절연물이 플라즈마상의 고온의 아크에 노출이 되면 아크로부터 발생한 에너지선(빛 또는 열선)이 절연물의 표면을 심하게 용삭시키거나 내부까지 침투하여 절연물의 내부에 구조적 결함을 발생시킨다.

본 연구에서는 초고압 대전류의 차단시 발생하는 아크에너지에 대한 내용삭성을 향상시키기 위하여 사불화불소수지에 BN,  $TiO_2$  및  $Al_2O_3$  등을 첨가하여 전기적 특성, 아크용삭특성, 광반사율 등을 조사하였다.

#### 2. 실험

내아크성의 측정은 고전압 저전류 측정방법 (ASTM D495-89)으로 하였고 20,000V의 전압을 인가하여 누적시간 270초간의 방전으로 재료를 용삭시킨 뒤 무게감량을 측정하였다. 불소수지의 경우 표면이 아크에 의하여 탄화가 일어나 도전로가 형성되는 물질이 아니므로 본 연구에

서는 일정한 아크를 불소수지의 표면에 가한 뒤 불소수지의 무게감량을 측정하여 첨가제의 종류와 양에 따라서 서로 비교함으로써 내아크특성을 추정하였다.

절연파괴전압을 측정하고 유전특성을 알기 위하여 Tettex AG Instruments의 Precision Dissipation-Factor and Capacitance Bridge를 사용하여 주파수 60Hz에서 50V의 전압을 인가하여 유전상수와  $\tan \delta$ 을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 검토

BN과  $\text{TiO}_2$ 의 첨가에 따른 유전율과  $\tan \delta$ 의 변화를 그림 1, 2에, 그리고 혼합보강재의 첨가에 의한 유전율과  $\tan \delta$ 의 변화를 표 1에 나타내었다.

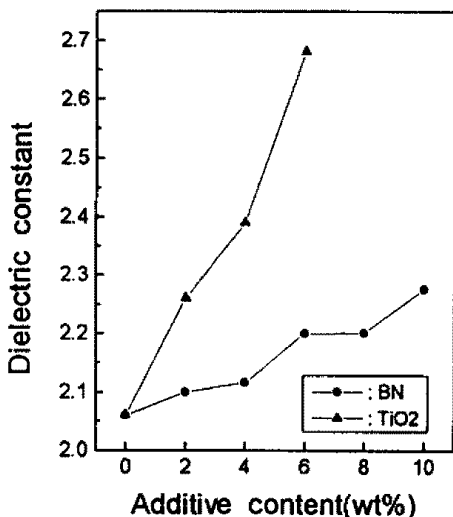


그림 1. 첨가제 종류와 양에 따른 유전율

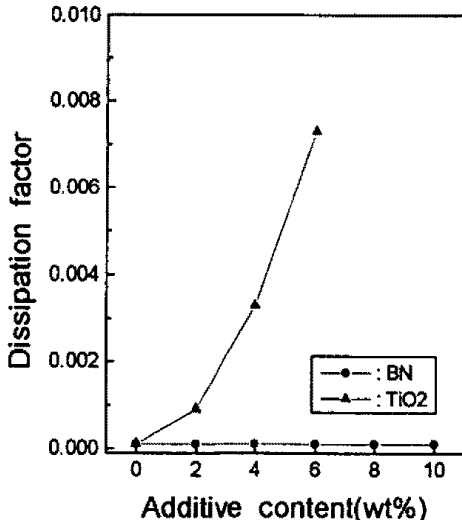


그림 2. 첨가제 종류와 양에 따른 손실율

표 1. 혼합보강재의 첨가에 따른 유전율과  $\tan \delta$

조성	유전율	$\tan \delta$
BN 4% $\text{TiO}_2$ 4%	2.450	0.00350
BN 2% $\text{TiO}_2$ 2% $\text{Al}_2\text{O}_3$ 3%	2.260	0.00490
BN 5% $\text{Al}_2\text{O}_3$ 5%	2.220	0.00040

BN을 첨가함에 따라서 유전율은 약간씩 증가하였고,  $\text{TiO}_2$ 를 첨가함에 따라서는 유전율이 BN의 경우보다 매우 크게 증가하였다. BN의 첨가에 따른 손실율의 변화는 거의 없었지만  $\text{TiO}_2$ 의 첨가에 따른 손실율은 급격히 증가함을 알 수 있었다. 보강재를 혼합하여 첨가하였을 경우도  $\text{TiO}_2$ 가 첨가된 시편에 대해서 유전율과 손실율이 크게 나타났는데 이것은 BN이나  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에 비하여  $\text{TiO}_2$ 의 유전율이나  $\tan \delta$ 이 높은 것에 기인된다.

BN과  $\text{TiO}_2$  및 혼합보강재의 첨가에 따른 불소수지의 절연파괴전압을 표 2에 나타내었다.

표 2. PTFE복합재료의 절연파괴전압

시 편 구 분	절연파괴전압 (kV/mm)
pure PTFE	24
Filled PTFE	
BN 2%	23
BN 4%	26
BN 10%	26
$\text{TiO}_2$ 2%	23
$\text{TiO}_2$ 4%	23
$\text{TiO}_2$ 6%	21
BN 4% $\text{TiO}_2$ 4%	25
BN 2% $\text{TiO}_2$ 2% $\text{Al}_2\text{O}_3$ 4%	26

측정시편의 두께 : 1.86 ~ 2.11 mm

보강재의 종류와 양에 따라 절연파괴전압의 값

은 큰 차이가 없었다.

초고압 대전류의 환경에서 발생하는 아크에너지는 결국 복사의 형태로 재료에 열전달이 일어나므로 재료의 광반사율은 매우 중요한 요소이다. 순수한 불소수지의 경우 단파장에서의 광반사율은 매우 높으므로 매우 적합한 재료이지만 초고압 대전류의 아크에 의하여 온도가 상승하게 되면 불소수지는 용융되어(326℃) 매우 투명하게 되며 광반사율은 현저하게 떨어지게 된다. 이 때에는 아크광을 반사하는 능력이 떨어져서 재질내부로 에너지가 유입되어 내부온도 상승의 원인이 되며 그것이 또한 재질용삭의 원인이 된다. 따라서 불소수지만으로는 고전압 대전류의 아크환경에서 내구성에 문제가 있으므로 파장이 짧은 자외선에 대한 광반사율이 높은 BN, TiO<sub>2</sub> 등의 무기충진재를 불소수지에 첨가하여 광반사율을 측정하였다.

순수불소수지에 BN 10%, TiO<sub>2</sub> 6%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10%의 첨가에 따른 광반사율을 파장 250-2500nm의 범위에서의 측정결과를 그림 3, 4, 5에 나타내었다.

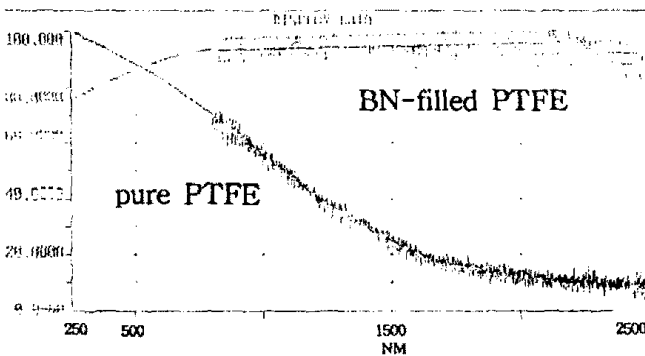


그림 3. 순수PTFE와 BN이 10% 함유된 PTFE의 광반사율

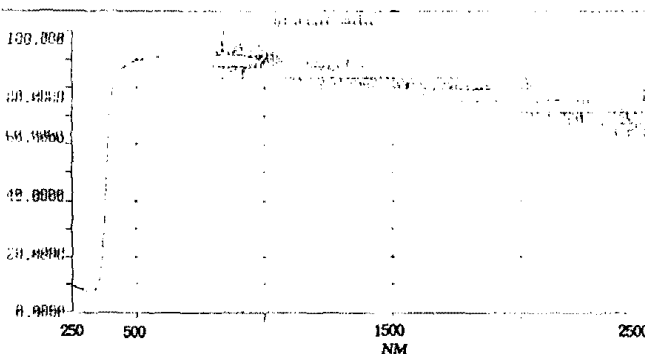


그림 4. TiO<sub>2</sub>가 6% 함유된 PTFE의 광반사율

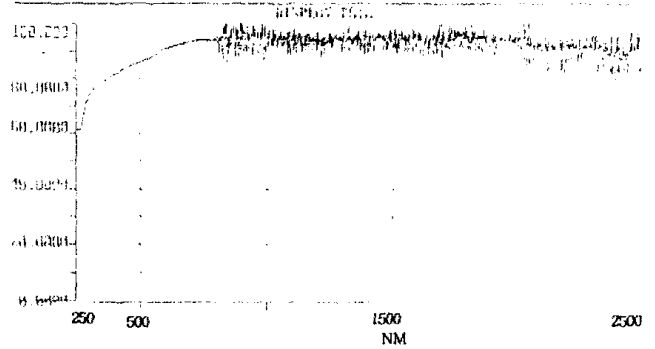


그림 5. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 10% 함유된 PTFE의 광반사율

측정결과 순수불소수지는 단파장 영역에서의 광반사율이 매우 높은 반면에 장파장 영역에서는 매우 낮음을 알 수 있고, 보강재를 첨가한 불소수지의 경우 보강재를 첨가하지 않은 순수불소수지에 비하여 전파장영역에서 파장에 따른 광반사율의 변화가 거의 없이 매우 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 단파장에서의 광반사율은 보강재의 종류에 따라서 다소의 차이는 있는데 TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BN의 순서로 높게 나타났다. 이러한 결과는 실온에서의 측정결과로서 실제로 고전압 아크의 환경에서 재료표면의 온도가 용점 326℃ 이상까지 상승할 경우 순수불소수지는 투명해지므로 아크에 대한 반사율이 매우 떨어질 것으로 보인다. 보강재를 첨가한 경우에는 보강재 자체의 용점이 매우 높으므로 불소수지가 용융되더라도 미립자의 보강재 계면에서 난반사가 일어남으로써 광반사율이 매우 높을 것으로 생각된다.

아크방전에 의한 무게감소를 그림 6, 7, 8에 나타내었다.

측정결과 BN, TiO<sub>2</sub> 및 혼합보강재를 첨가하였을 경우 첨가량이 증가함에 따라서 아크에 의한 용삭량이 감소되어 내용삭성이 증가됨을 알 수 있고, 보강재의 종류에 따라서 내용삭성은 상당한 차이가 있었는데 BN이 가장 우수한 보강재로서의 특성을 나타내었다.

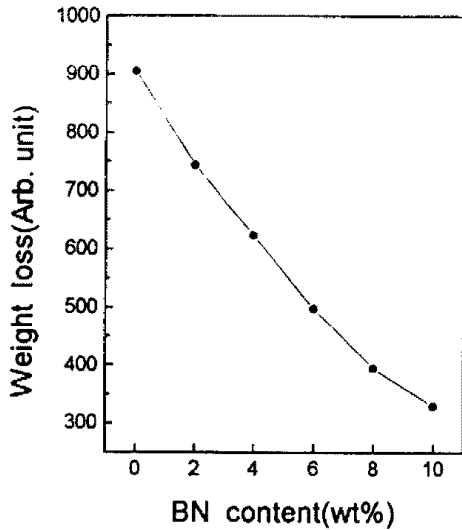


그림 6. BN-filled PTFE의 내아크성

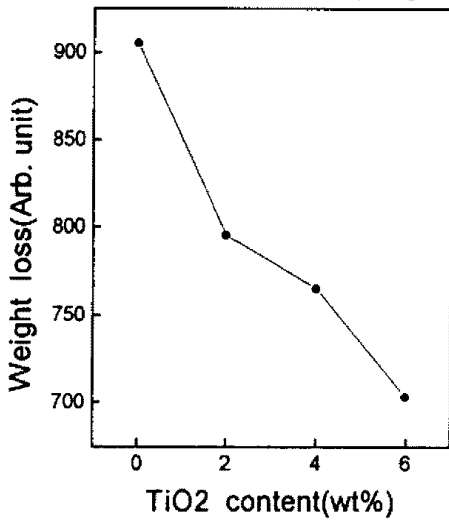


그림 7. TiO<sub>2</sub>-filled PTFE의 내아크성

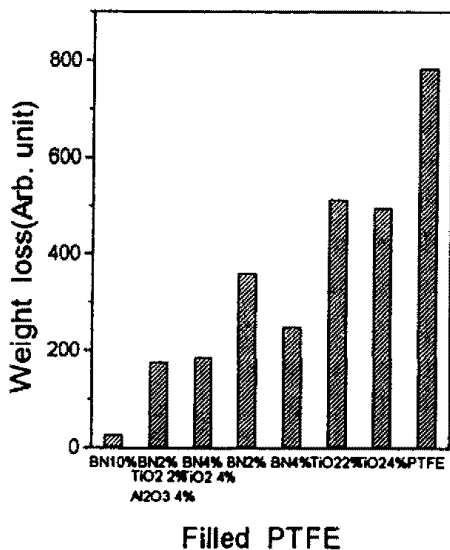


그림 8. filled PTFE composite의 내아크성

#### 4. 결론

- 1) 유전율과  $\tan \delta$ 의 경우 BN의 첨가에 의해서 큰 변화가 없었지만 TiO<sub>2</sub> 및 혼합보강재의 첨가에 따라서 약간씩 증가하였다.
- 2) 광반사율의 경우 보강재를 첨가함에 따라 크게 증가하였으며, BN 첨가시 광반사율이 가장 높게 나타났다.
- 3) 보강재의 첨가량이 많아짐에 따라서 내용삭성이 증가되었으며 BN 첨가시에 가장 우수하게 나타났다.
- 4) 광반사율이 높을수록 내아크특성이 우수하였다.

#### 참고문헌

1. K. Ibuki, "Key Technologies for Developing a 400kV, 50kA GCB, IEEE Tran. on Power Delivery", Vol.4, No.3, 1989
2. "Encyclopedia of polymer science and engineering", 2nd edition, Vol.16
3. V. R. Weidner and J. J. Hsia, "Reflection Properties of Pressed PTFE Powder", J. of Opt. Soc. Am, Vol.71, No.7, 1981
4. "Engineering Property Data on Selected Ceramics, volume 1. Nitrides", March, 1976 Metals and Ceramics Information Center, Battelle, Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201, A department of Defense Information Analysis Center
5. J. E. Fredrickson and W. H. Redanz, "Boron Nitride for Aerospace Applications", American Society for Metals, Orlando, Florida (April 1964)