

특성분석 기법을 이용한 배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가

한재홍, 이병성, 한응희
한전 전력연구원

Reliability Assessment of Polymer Insulators for Power Distribution System using Characterization Techniques

Jae Hong Han, Byung Sung Lee, Yong Heui Han
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract - This study describes the reliability assessment of 3 years-aged polymer insulators using polymer characterization techniques such as SEM, contact angle, DSC, FTIR. Two kinds of polymer insulators were dismantled from 5 fields. All polymer insulators showed the micro-cracks and the reduction of characteristic peaks on the shed surface. Contact angle was increased with time. Although some superficial changes have occurred, there are no significant changes in various properties. Comparison of dismantled insulators to new ones revealed that the field-aged insulators are reliable for the present.

1. 서 론

배전기재의 소형화·경량화 추세와 설치공간 확보의 어려움 등으로 인해 배전계통에서 대부분을 차지하던 자기 절연물이 점차 폴리머 절연물로 대체되고 있으며, 그 중에서도 폴리머애자가 주요 관심대상으로 부상하고 있다. 폴리머애자는 기존의 자기애자에 비교하여 여러 가지 장점이 있기 때문에 전세계적으로 사용량이 증가하고 있으며, 특히 경량이면서도 오손특성 등의 내환경성이 우수하여 자기애자의 대안으로 제시되고 있다.

국내의 경우 한국전력공사가 90년대 중반부터 매년 수 만개의 폴리머애자를 외국으로부터 수입하여 실선로에서 시사용 중에 있으며, 국내에서 개발된 제품도 최근에 시사용하고 있다 [1]. 향후 폴리머애자의 장기신뢰성이 입증된다면 적용 추세는 급속히 확대될 것으로 보여진다.

일반적으로 폴리머애자의 특성을 평가하기 위해서 누설전류나 섭락전압의 측정 같은 다양한 전기적 방법을 사용하고 있으며, 이러한 전기적 방법이 폴리머애자의 특성 평가에 유용한 것도 사실이다. 하지만 최근에는 폴리머 특성분석 방법을 이용한 절연재료 평가가 많이 시도되고 있다. 이 방법은 외국의 경우 약 10년 이전부터 사용하고 있는 방법으로서, 이 방법은 모든 외적요인은 재료의 구조변화를 유발하고 이 구조변화가 결국 특성변화와 직결되어 있기 때문에 결국 구조변화를 측정하여 특성변화의 정도를 예측해내는 방법이다 [2]. 물론 폴리머애자 특성분석은 자체로도 물론 중요하지만, 분석된 특성과 전기적 성질과의 연관성을 찾는 것이 매우 중요하다. 그러나 이러한 연관성을 찾는 것은 매우 어려운 작업이며, 또한 전기적인 방법이 아닌 화학적 방법을 이용한다는 점에서 일반 전기공학자들에게는 생소한 방법이기 때문에 선뜻 접근하기 어렵다는 단점도 있다.

본 연구에서는 폴리머 특성분석 기법을 이용하여 현장에서 3년간 운전중인 폴리머애자의 신뢰성을 평가하였다. 2종류의 외산 폴리머애자를 대상으로 하였으며, 표면 미세구조, 접촉각, 열 특성, 화학구조 및 조성변화 분석 등을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 시료발취

국내 배전선로에서 3년간 시사용중인 외산 2종류 (A사 및 B사)를 5개 지역 (거제, 목포, 제주, 포항, 서울)에서 발취하였다. A사 폴리머애자는 5개 지역 모두에서 발취가 가능하였지만, B사의 경우에는 목포, 거제 및 제주지역에서만 발취할 수 있었다.

2.2 시험방법

표면의 미세구조 분석에서는 Jeol사 (모델명: JSM-840A)의 SEM (scanning electron microscope)을 사용하였으며, 시료표면에 금을 증착하여 관찰하였다.

표면 발수성의 측정에는 Kyowa Interface Science사 (모델명: CA-V)의 접촉각 측정기를 사용하였으며, 이때 시료표면에 떨어뜨린 증류수 체적은 13 μ l 이다. 시료는 세척하지 않았으며, 10회 측정하여 평균값을 취하였다.

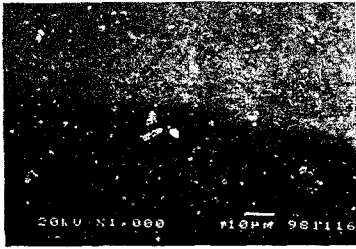
시차주사열량기 (differential scanning calorimeter: DSC)를 이용하여 폴리머애자 표면의 산화유도시간 (oxidation induction time; OIT)을 측정하였다. 산화유도시간은 ASTM에 나와 있는 측정조건에 따라 먼저 시료의 온도를 질소분위기에서 10°C/min의 속도로 200°C까지 승온한 다음 이 온도에서 5분간 유지한 후 산소분위기로 바꾼 상태에서 발열반응인 산화반응이 나타나는 시간을 측정하였다 [3]. 이때 질소와 산소의 유량은 50 ml/min이며, 시료량은 약 10 mg이었다. 측정에는 알루미늄팬을 사용하였으며 측정 전에 인듐을 이용하여 측정 온도범위를 보정하였다.

폴리머애자 갓 표면의 화학구조 변화는 시료가 불투명하므로 얇게 절단하여 적외선분광기-전반사 (Fourier transform infrared spectrometer-attenuated total reflection: FTIR-ATR) 기법으로 분석을 실시하였는데, Perkin-Elmer사 (모델명: Paragon 1000)의 FTIR을 사용하였다. 시료 표면은 별도로 세척하지 않았다.

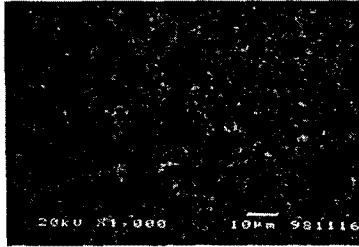
2.3 표면 미세구조 분석

그림 1은 A사 폴리머애자의 표면 미세구조를 1000배로 확대하여 측정한 결과이다. 경년에 따라 서울을 제외한 모든 지역의 애자 표면에서 일부 크랙이 발견되었으며, 충전제의 노출 (chalking)도 관찰되었다. 거제와 제주지역의 애자가 표면 미세구조에서 변화가 크게 나타났다. 제주지역 애자는 일부 침식도 관찰되었다. 서울 지역 애자의 경우에는 신폴과 유사한 결과를 나타내었는데, 이러한 결과는 염해지역에서 운전되지 않았기 때문인 것으로 보인다.

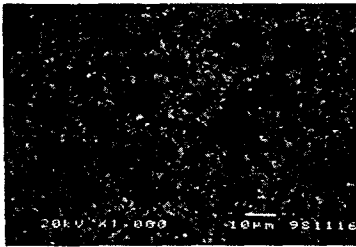
그림 2는 B사 폴리머애자의 표면 미세구조이며, 역시 경년에 따라 모든 애자의 표면에서 일부 크랙이 발견되었다. 특히 목포지역의 애자에서 표면 미세구조의 변화가 크게 나타났다.



(a) 신품

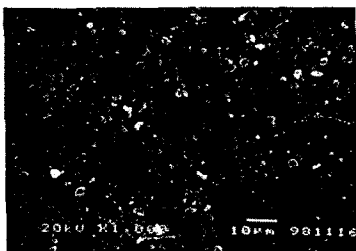


(b) 거제지역

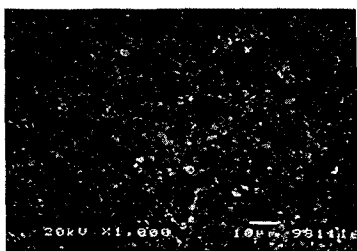


(c) 제주지사

그림 1 A사 폴리머애자의 표면 미세구조



(a) 신품



(b) 목포지점

그림 2 A사 폴리머애자의 표면 미세구조

2.4 접촉각 분석

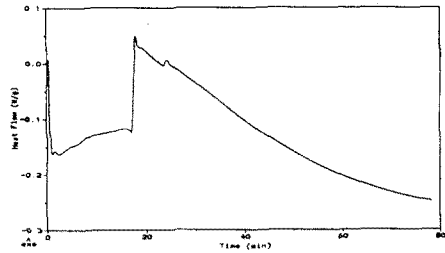
접촉각 측정기를 이용해 측정한 접촉각 변화의 결과가 표 1에 나와 있다. 분석결과, 전체적으로 경년품이 신품에 비하여 접촉각이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 컴파운드 가공시 첨가하는 저분자량의 오일성분이 내부로부터 표면으로 확산되기 때문인 것으로 알려져 있다[4]. 단, A사 서울지역 애자에서 약간의 접촉각 감소가 나타났는데, 이는 다른 지점의 운전환경과 다소 다르기 때문인 것으로 생각된다.

표 1. 현장발매 폴리머애자의 접촉각 변화

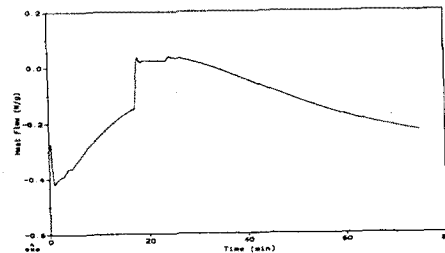
시 료		접촉각 (°)
		10회 평균
A사	신 품	90.1
	거제지역	98.4
	목포지역	106.8
	제주지역	109.1
	포항지역	112.6
B사	서울지역	82.3
	신 품	89.1
	거제지역	100.5
	목포지역	95.4
	제주지역	96.9

2.5 산화유도시간 분석

그림 3과 4는 A사 및 B사 경년품의 산화유도시간을 나타내는 DSC thermogram이다. A사 제품은 신품과 경년품 모두에서 산화반응에 의한 발열피크가 관찰되지 않았다. 산화유도시간은 매우 짧은 경우만 문제가 되기 때문에 20분 이상을 초과하는 경우에는 실험을 중단하였다. 반면 B사 제품의 경우에는 신품은 약 20분 정도로 나타났으며, 경년품은 지역에 따라 2.3~9분 정도의 산화유도시간을 보였다. 목포지역의 폴리머애자가 2.3분으로 가장 짧게 나타났으며, 거제지역의 애자가 9분으로 가장 길게 측정되었다. 이와 같이 두 제품 사이에서 큰 차이를 보이는 이유는 제품의 내열성과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되며, B사 제품의 경우에는 경년에 따라 산화방지능력이 다소 저하된 것으로 보여진다.

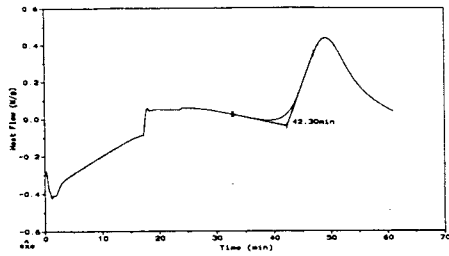


(a) 신품

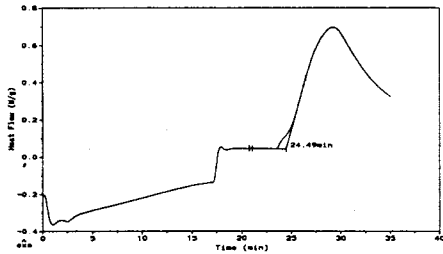


(b) 경년품 (제주)

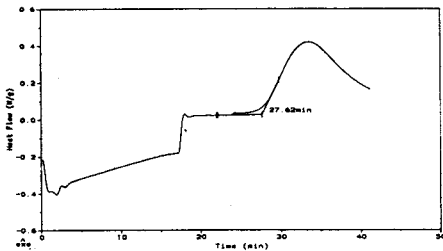
그림 3 A사 폴리머애자의 산화유도시간



(a) 신품



(b) 경년품 (목포)



(c) 경년품 (거제)

그림 4 B사 폴리머애자의 산화유도시간

2.6 화학구조 분석

전체적으로 경년품의 경우는 그림 5와 같이 내부에서는 신품과 거의 유사하나, 표면에서는 2950 cm^{-1} 과 1460 cm^{-1} 피크가 크게 감소되었다. 피크의 크기는 내부 > 표면 건전부 > 표면 오염부의 순으로 나타났으며, 경년품에서 피크 감소는 표면 열화 및 chalking 현상에 의한 것으로 판단된다. 한편, 서울지역 애자의 경우에는 신품과 거의 동일한 화학구조를 보였다. 이는 운전환경 차이에 의하여 표면에서 chalking 현상이 일어나지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 참고적으로 신품의 경우 표면과 내부의 화학구조가 거의 동일하였다.

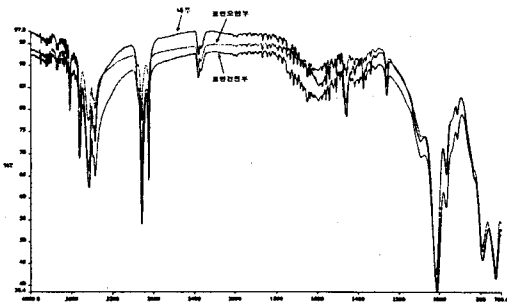


그림 5 A사 경년품의 화학구조

B사 제품은 그림 6에 보여지는 것처럼 표면에서는 2950 cm^{-1} 과 1460 cm^{-1} 피크가 크게 감소되었다. 이러한 결과는 A사와 마찬가지로이며, 피크의 크기도 내부 > 표면 건전부 > 표면 오염부의 순으로 크게 나타났다. 결국 피크의 크기는 오염과 열화 정도에 크게 의존하는 것으로 보인다.

화학구조의 분석결과에서 애자의 내부에서는 신품과 경년품의 화학구조가 거의 동일하게 나타나 열화가 표면에서만 진행중인 것으로 판단된다.

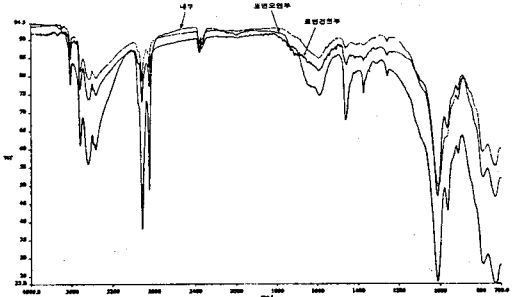


그림 6 B사 경년품의 화학구조

3. 결론

본 연구에서는 폴리머 특성분석 기법을 이용하여 현장에서 3년간 운전중인 폴리머애자의 신뢰성을 평가하였다. 2종류의 외산 폴리머애자를 현장에서 발취하여 표면 미세구조, 접촉각, 열 특성, 화학구조 분석 등을 실시하였다.

실험결과 경년에 따라 모든 제품의 표면에서 약간의 갈라짐 현상이 보였고, 화학구조에서 특성피크의 감소가 나타났으며, 접촉각은 오히려 증가하는 경향이 나타났다. 또한 제품에 따라 산화방지능력에서 다소 차이가 보였다. 제품 내부에 대한 분석결과로부터 열화는 표면에만 국한된 것으로 밝혀졌으며, 표면에서의 변화도 크지 않아서 현재로서는 폴리머애자가 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

(참고문헌)

- (1) 배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가 및 운용기준 제정, KEPRI Report, TM.98PS07.M1999.185, 1999.
- (2) Diagnostic Techniques for Cable Characterization, EPRI Report, EL-6207, 1989.
- (3) Oxidative Induction Time of Polyolefins by Thermal Analysis, ASTM Standard D-3895-80.
- (4) M. Zinbo, L. M. Skewes and A. N. Theodore, "The Surface Migration of Extender Oil in EPDM Vulcanizates", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 41, pp. 835-843, 1990.