

배전용 폴리머 피뢰기의 전기적 특성시험

(Electrical Characteristics Test of Distribution Polymer Lightning Arresters)

권태호* · 이병성 · 송일근 · 김동명 · 윤태상 · 정상봉

(Tae-Ho Kwon* · Byung-Sung Lee · Il-Keun Song · Dong-Myung Kim · Tae-Sang Yoon · Sang-Bong Jung)

Abstract

This paper describes the electrical characteristics of the polymer lightning arresters(L.As) used to protect distribution lines and power facilities from surge. For the relative comparison, the characteristics assessment was done for 2 states of L.As before and after water immersion treatment. The L.As for the comparative test were immersed with water of 95[°C] considered a severe condition.

After the immersion treatment, the assessment was carried out for material analyses in chemical structure(FTIR : fourier transform infrared spectrophotometer). Electrical performance measured insulation resistance measurement, leakage current measurement, critical operation voltage measurement etc..

In addition to, the results were compared with those for the L.As deteriorated in the field. Thus, the accelerative deterioration degree of polymer materials by immersion treatment was evaluated, by which the structural defects of the polymer L.As could be inferred.

1. 서 론

전력계통에서 발생하는 여러 가지 이상전압(뇌서지, 개폐서지) 등으로 인하여 변압기, 개폐기, 절연지지물 등 전력기기의 절연에 피해를 주는 일이 자주 발생하고 있다.

피뢰기는 이런 이상 전압을 흡수해 전력기기의 절연파괴 사고를 미연에 방지하는 중요한 보호 장치이다. 피뢰기는 정상전압에서는 전류가 흐르지 않으나 뇌서어지 등이 침입하였을 경우에는 도전성 전로가 되어 고전압을 저하시키는 기능이 있어야 한다. 또한 고전압 침입이 끝났을 때는 다시 전류가 흐르지 않는 성질로 돌아가는 기능도 아울러 갖추어야 한다.

피뢰기의 구성을 보면 크게 애관과 특성소자로 구성되며, 현재까지 피뢰기 열화에 대한 평가를 위한 방법으로 특성소자 평가를 주로 하고 있다. 그러나 피뢰기 고장의 유형을 살펴보면 피뢰기에 특성소자 자체의 열화 이외에 하우징 열화 및 제작 불량으로 인한 수분 침투가 또 하나의 큰 고장 원인이다[1].

국내에서 사용되는 피뢰기는 그림 1과 같이 특

성 소자를 FRP 와인딩 처리한 후 미리 제작된 애관에 삽입하는 형태이므로 상하부 기밀 불량이나 애관 재질이 불량할 경우 내부로 수분이 침투하여 FRP 와인딩과 하우징 사이의 계면에서 트래킹을 유발하고 결국에는 섬락 고장으로 진전될 수 있다 [2][3].

최근 국내에서 이러한 형태의 고장이 다수 발생함에 따라 본 논문에서는 국내 배전선로에 대표적으로 사용되는 폴리머 피뢰기의 침수특성시험을 통해 수분침투에 대한 저항성 및 재질특성 변화를 분석하고자 하였다.

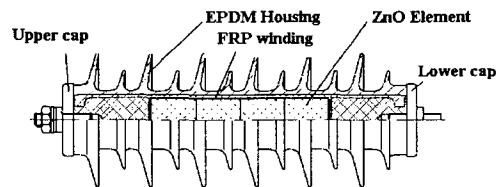


그림 1. 폴리머 피뢰기의 구조
Fig. 1. Structure of polymer lightning arrester

2. 실험방법

침수 시험을 위하여 정격이 18[kV], 5[kA]인 3개사의 신품 피뢰기(이하 시료)를 각각 2개씩 준비하여 실험을 하였다.

침수 시험용 수조의 크기는 30[cm]×50[cm]×15[cm]이며, 상온에서 130[°C]까지 온도 조절이 가능한 것이다.

침수 조건은 수온 95[°C]에서 80일간 시험하였다. 전기적인 특성분석은 각 시료마다 누설전류, 동작개시전압, 절연저항, 단로기 저항 측정을 통해 분석하였다. 한편 고온 침수 시험 후 하우징의 특성변화에 대해 적외선분광기(FTIR), 유전열분석기(DETA), 발수성 측정기 등을 사용하여 분석하였다.

3. 전기적인 특성분석

3.1 동작개시전압측정

교류 전압 인가 시, 특성 소자에 흐르는 저항분 전류 파고치가 1[mA]일 때의 전압이 정격전압의 90[%]이상 인지 확인하는 시험이다. 시료 3은 침수 80일후 0.2[kV] 정도의 매우 낮은 동작개시전압을 나타내었다. 이는 피뢰기 내부의 하우징과 FRP 와인딩 사이의 계면으로 수분이 침투하였기 때문이다. 이러한 수분침투의 원인은 상하부 캡의 기밀불량과 하우징을 통한 수분확산에 의한 것으로 판단된다. 표 1은 각 시료의 동작개시전압을 나타내었다.

표 1. 동작개시전압
Table 1. Critical operation voltage

시료 기간	1[kV]	2[kV]	3[kV]
신 품	30.5	30.5	30.5
침수 20일	29.7	29.5	29
침수 80일	29.7	29.1	0.2

3.2 절연저항측정

절연저항 측정은 피뢰기의 보수 점검에서 가장 널리 실시되고 있는 방법이다. 피뢰기의 절연저항은 양 단자 간 및 피뢰기를 분해하지 않고 측정할 수 있는 범위 내에서 측정하여야 하며 1[kV] 메가로 1000[MΩ]이상이어야 한다.

표 2에 나타난 결과 값은 1[kV]에서 모든 시료가 절연저항 값이 무한대로 측정되어 10[kV]를 인가 시 절연 저항을 나타내었다. 세 개의 시료가 침수 20일까지는 매우 양호한 절연저항 값을 나타냈

으나 침수 80일에는 시료 2, 시료 3이 낮은 절연저항 값을 나타냈다.

표 2. 시료의 절연저항
Table 2. Insulation Resistance

시료 기간	1[GΩ]	2[GΩ]	3[GΩ]
신 품	∞	80	70
침수 20일	60	60	40
침수 80일	60	6	0.12

3.3 누설전류측정

본 연구에 사용된 누설전류측정 장치는 시료에 5~13.2[kV]까지 전압을 변화시켜가며 인가된 전압에 따른 누설전류를 측정하는 것이다. 또한 시료의 저항분 누설전류의 정밀한 측정을 위하여 Nihon Keisokuki Seizosho Co.의 CT와 누설전류 검출기(Leakage Current Detector - 4)를 사용하였다.

시료 2의 침수 전후 누설전류 측정값을 표 3에 나타냈으며 I_{Total} 은 전체누설전류 그리고 I_R 은 저항분 누설전류이다. 표 3에 나타나 있듯이 전체누설전류와 저항분 누설전류 모두가 증가하였다.

표 3. 누설전류측정(시료 2)
Table 3. Leakage current(specimen 2)

누설 전류 시험 전압[kV]	$I_{Total}[\mu A]$			$I_R[\mu A]$		
	신품	침수 20일	침수 80일	신품	침수 20일	침수 80일
5	65	80	80	9.7	20	23
8	98	120	120	14.8	31	35
10	120	140	160	19	41	45
13.2	155	180	200	28.5	58	82

3.4 단로기 저항측정

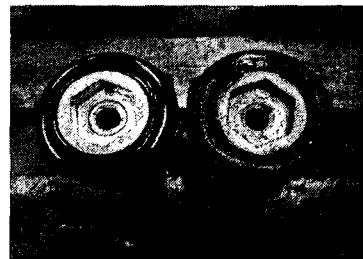


그림 2. 단로기의 수분침투(시료 2)
Fig. 2. Water permeation in disconnector

단로기의 침수 시험 조건은 다른 시료와 동일한 조건에서 실시하였다. 그림 2은 침수 10일 후 시료 2에 부착되어 있던 단로기이다. 신품(좌측) 단로기와 비교해 볼 때 수분 침투가 되었다는 것을 육안으로 확인 가능하였으며, 20일 후에는 시료 1과 3의 단로기 모두에 수분이 침투한 것으로 나타났다. 표 4는 침수 시험동안 단로기의 저항 값 변화를 나타낸 것이다.

표 4. 단로기의 저항변화
Table 4. Change of disconnecter resistance

시료 기간	1[k Ω]	2[k Ω]	3[k Ω]
신 품	99.18	99.63	100.55
침수 10일	99	505	100.3
침수 20일	18	.	60

단로기 내부로의 수분침투를 확인하기 위해 시료 2에 설치되어 있던 단로기를 분해하여 건조한 후 저항을 재 측정한 결과 신품과 동일한 값으로 회복되는 것을 확인하였다.

4. 폴리머 하우징 분석

4.1 FTIR 분석

침수 시킨 시료의 표면 화학구조 변화를 분석하기 위하여 FTIR을 사용하였다. 시료가 불투명하여 적외선 투과가 어렵기 때문에 전반사(ATR: attenuated total reflection) 기법을 사용하여 분석하였으며, 시료의 표면은 별도로 세척하지 않았다. 적외선 분광기를 사용하여 폴리머 피뢰기 갓 표면의 화학구조를 분석한 결과가 그림 3에 나타나 있다. 분석한 시료가 모두 유사한 특성을 나타내어 시료 1의 결과만을 대표적으로 나타내었다. 그림 3을 보면 침수 기간이 증가함에 따라 분자 내 C-H 운동과 관련이 있는 2960 cm^{-1} 과 1460 cm^{-1} 의 파수에서 피크가 크게 감소하였다. 이는 침수로 갓 표면으로 충전제가 노출되는 chalking 현상에 의해 피크가 차폐되었기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 표면 미세구조 분석

침수 시험에 따른 표면 미세 구조 변화를 SEM을 사용해 분석하였다. 그림 4와 그림 5는 200배로 확대한 시료 1의 침수 전후 표면 미세구조이다. 침수 시간이 길어짐에 따라 시료 1의 표면에 chalking에 의한 충전제 노출현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

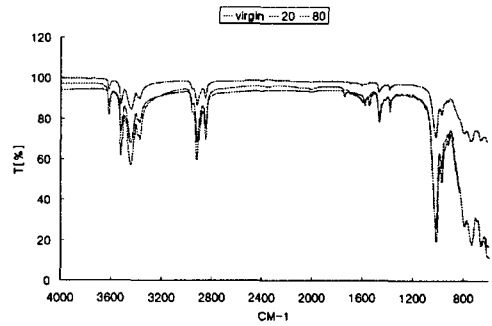


그림 3 FTIR 분석파형(시료 1)
Fig. 3. FTIR(specimen 1)

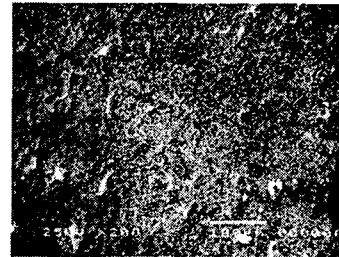


그림 4. SEM(신품)
Fig. 4. SEM(unaged)

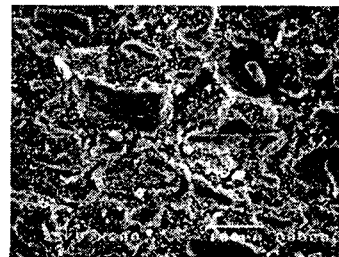


그림 5. SEM (80일 침수시험 후)
Fig. 5. SEM(aged)

4.3 발수성 측정

일반적으로 폴리머 재료는 낮은 표면 에너지를 갖고 있기 때문에 초기에는 우수한 발수성을 보이지만 열화가 진행되면 표면에너지가 증가하여 접착각이 저하된다. 이러한 발수성은 갓 표면에서 일어나는 누설전류의 거동과 밀접한 관련이 있으며 발수성을 상실하였을 경우에는 섬락이 발생하게 된다

발수성을 측정된 결과, 각 회사 피뢰기 간에 접착각 차이가 있었다. 각 시료에 대한 접착각을 표 5에 나타내었다. 표 5에서 알 수 있는 것처럼 시료 2, 3은 접착각이 처음에는 신품보다 침수 후 시료

가 증가하다가 침수가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 컴파운드 가공시 첨가한 저분자량 오일 성분이 갓 표면으로 확산되어 나타난 것으로 보인다. 그림 6과 그림 7은 시료 2의 침수 전과 후의 시료를 STRI CIS 가이드에 따라 발수성을 시험한 것으로 침수 시험 후 발수성이 떨어짐을 육안으로 확인 할 수 있었다.

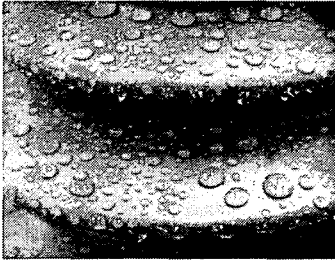


그림 6. 발수성(신품)
Fig. 6. Hydrophobicity(unaged)



그림 7. 발수성(침수 80일 후)
Fig. 7. Hydrophobicity(aged)

표 5. 접촉각
Table 5. Contact angle

시간 \ 시료	1	2	3
신 품	127.1°	101.3°	105.5°
침수 10일	134.8°	104.3°	126.4°
침수 20일	136.3°	84.1°	109.4°

5. 결 론

침수에 따른 폴리머 피뢰기의 특성을 분석하기 위하여 전기적 시험, 하우징 표면 특성분석 및 성능확인시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 누설전류는 침수 시간에 따라 증가하였다.
- 동작개시전압, 절연저항 측정은 신품과 침수

시험 후 측정 값의 차이가 컸으며 이것으로 피뢰기의 수분 침투 여부를 확인할 수 있었다.

- 단로기는 시료 모두가 수분 침투가 있었으며 기밀유지에 개선이 필요하다.
- 모든 시료의 하우징 특성피크가 표면열화에 의해 감쇄되었다
- 접촉각은 침수 시간에 따라 초기는 증가하는 경향을 보였는데, 이는 표면으로 저분자량 확산과 관련이 있는 것으로 사료되며, 침수 시험이 계속되면서 시료 2와 시료 3의 발수성은 급격히 감소하였다.

이상과 같이 소자를 포함하는 FRP 와인딩을 애관에 삽입하는 폴리머 피뢰기의 수분침투 저항성이 약한 것으로 나타남으로서 구조개선이 필요하며, 단로기 또한 수분억제 능력이 취약한 것으로 나타났다. 이처럼 단로기 내부로 수분이 침투하면 고장 피뢰기를 선로에서 분리하는 능력이 상실되기 때문에 폴리머 피뢰기 폭발고장의 원인이 될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 송일근, 김찬영, 김주용, 한재홍, 이병성, "배전기자재의 수명예측 기준제정(최종보고서)", 전력연구원, p.88~103, 2000.
- [2] RMatsuoka, "Effect of test parameters on deterioration of polymer insulator housing materials by accelerated aging tests", High Voltage Engineering symposium, IEE, 1999.
- [3] Jeffrey, "Multistress aging tests of polymer housed surge arrester", IEEE Trans. Power Delivery vol.13, No 27, 1998.