

침수시험에 의한 배전용 폴리머피뢰기의 특성연구

김주용, 권태호, 송일근, 이재봉, 김동명, 정영호  
한전전력연구원

A Study on the Submergence Test of the Distribution Polymer Surge Arrester

Ju-Yong Kim, Tae-Ho Kwon, Il-Keun Song, Jae-Bong Lee, Dong-Myung Kim, Yeong-Ho Jeong  
KEPRI, KEPCO

**Abstract** - 본 논문은 이상전압으로부터 배전선로 및 전력기기를 보호하기 위해 사용되는 폴리머피뢰기에 대해 침수 시험을 실시하여 침수 전후 폴리머피뢰기의 특성변화를 평가하였다. 침수 시험은 수온 95[°C]에서 20일 동안 실시하였다. 침수 시험 전후 폴리머피뢰기의 특성 분석은 푸리에변환 적외선분광기(FTIR : fourier transform infrared spectrophotometer), 유전열분석(DETA : dielectric thermal analyzer), 발수성 측정, 절연저항 측정, 누설전류 측정, 동작개시전압 측정 등으로 연구하였다. 이를 통해 침수시험의 열화 효과에 대해 검토하였다.

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 유해한 이상 전압을 흡수해 전력기기의 절연파괴 사고를 미연에 방지하는 중요한 보호 장치이다. 피뢰기는 정상전압에서는 전류가 흐르지 않으나 뇌 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.

기존에 사용되어 온 배전용 피뢰기에는 저항형, 방출형, 밸브형 등이 있으며 보호 장치로써 방전 갭과 각각의 종류에 따라 형식은 다르나 속류 차단용의 특성소자로 구성된다. 1980년 이후부터 비선형성이 우수한 산화아연(ZnO)형 피뢰기가 널리 사용되고 있는데 이것은 특성소자에 산화아연을 주성분으로 하는 소결체를 사용한 것이며 방전전압-시간특성(V-t)이 우수하며 단위 체적당 처리 에너지량이 크다는 특징을 가지고 있다.

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. 수분이 침투하면 특성소자의 절연특성이 급격히 저하된다. 따라서 침수 시험을 통해 피뢰기 하우징, 및 단로기의 특성 변화 분석과 전기적 특성 변화를 연구 하였으며 피뢰기 열화 평가를 위한 데이터를 확보하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 실험 방법

침수 시험을 위하여 정격이 18[kV], 5[kA]인 3개사(S사, B사, V사)의 신품 폴리머피뢰기(이하 시료)를 각각 2개씩 준비하여 실험을 하였다.

표 1. 침수시험 신품 시료

시료번호	1	2	3
제원	S사(2003)	B사(2003)	V사(2003)

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 20일간 시험하였다. 전기적 특성 분석은 각 시료마다 누설전류 측정, 동작개시전압 측정, 절연저항 측정, 단로기의 저항 측정을 통해 분석하였다. 침수 후 시료의 하우징에 대한 분석은 적외선분광기(FTIR), 유전열분석(DETA), 발수성 측정으로 분석하였다.

피뢰기의 구조는 그림 1과 같다.

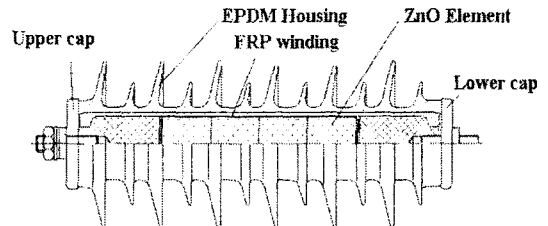


그림 1. 폴리머피뢰기 구조

3. 실험 결과

3.1 폴리머피뢰기 하우징 분석

3.1.1 FTIR 분석

침수시킨 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.

분석한 결과 3개사 모두 유사한 패턴으로 나타났으며, 그림 2는 시료 1의 침수 전후의 표면 화학구조 변화를 보여준다. 그림 2에서는 신품에서 나타나는 재료의 특성 피크치 감소를 가져왔다. 이는 시료의 표면이 침수시험에 의해 변화된 것으로 판단된다.

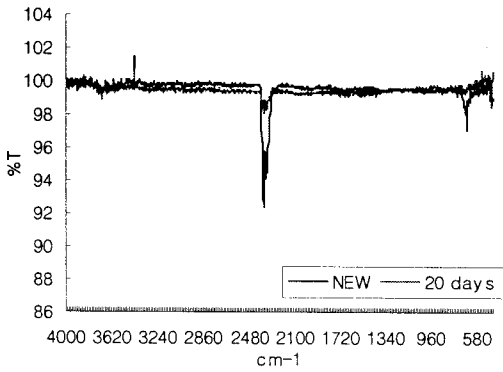


그림 2. 시료 1 FTIR 분석결과

### 3.1.2 Win DETA 분석

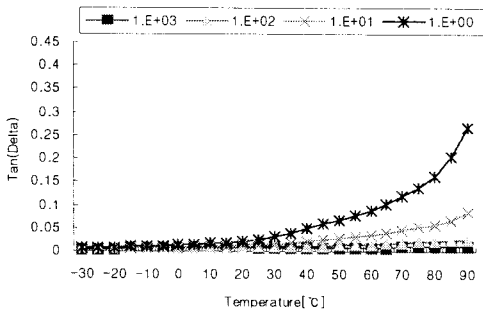


그림 3. 시료 1 침수 전 tan δ

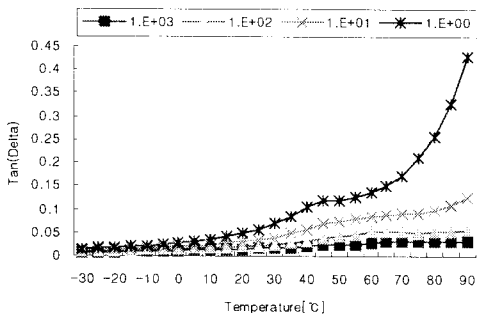


그림 4. 시료 1 침수 후 tan δ

유전열 분석기를 이용한  $\tan \delta$  측정에서는 그림 3, 4와 같이 침수 후 손실이 증가하는 경향을 보이고 있다. 또 높은 주파수보다는 낮은 주파수에서  $\tan \delta$ 가 커지는 경향을 보이는데 이는 주파수가 매우 높으면 폴리머 사슬이 전기장에 따라 분자배향이 평형을 얻지 못하기 때문에 손실이 작아진다.

침수 시간이 길어짐에 따라 유전율은 증가하는 경향을 보였으며 고유저항 값은 감소하는 경향을 나타내었다.

### 3.1.3 접촉각 측정

시료 하우징 표면의 접촉각 측정은 시료의 일부분을 샘플링하여 수평으로 설치한 다음 접촉각 측정기를 이용하여 접촉각을 측정하였다. 접촉각은 약 10[ $^\circ$ ]의 증류수 물방울을 표면에 떨어뜨려 측정하였으며 시료 면에 대해 고르게 10회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 측정 시 환경은 온도는 21[ $^\circ$ C], 습도는 34[%]이었다. 일

반적으로 폴리머 재료는 낮은 표면 에너지를 갖고 있기 때문에 초기에는 우수한 발수성을 보이지만 열화가 진행되면 표면에너지가 증가하여 접촉각이 저하된다. 이러한 발수성은 갓 표면에서 일어나는 누설전류의 거동과 밀접한 관련이 있으며 발수성을 상실하였을 경우에는 섬락이 발생하게 된다. 측정된 결과, 각 회사 피뢰기 간에 접촉각 차이가 있었으며, 표 2에서 알 수 있는 것처럼 접촉각이 신제품보다 침수 후 시료가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 컴파운드 가공시 첨가한 저분자량 오일 성분이 갓 표면으로 확산되어 나타난 것으로 보인다.

표 2. 접촉각 측정

시료	1	2	3
시험기간			
신제품	127.1 $^\circ$	101.3 $^\circ$	105.5 $^\circ$
침수 10일	130 $^\circ$	103.6 $^\circ$	121.8 $^\circ$
침수 20일	134.8 $^\circ$	104.3 $^\circ$	126.4 $^\circ$

## 3.2 전기적 특성분석

### 3.2.1 누설전류측정

본 연구에 사용된 누설전류 측정장치는 시료에 0 ~ 13.2[kV]까지 전압을 변화시켜가며 인가된 전압에 따른 누설전류를 측정하는 것이다. 누설전류 측정부에서는 피뢰기 열화인자 중 가장 중요한 전체 누설전류 및 저항분 누설전류 측정을 위해 시료의 접지선에 누설전류 측정용 저항을 연결하여 누설전류의 파형을 관찰할 수 있도록 하였다. 또한 시료의 저항분 누설전류의 정밀한 측정을 위하여 Nihon Keisokuki Seizosho Co.의 CT와 누설전류 검출기(Leakage Current Detector - 4)를 사용하여 시료의 접지측에 구성되었다.

시료 1의 침수 전후 누설전류 측정값을 표 1에 나타냈으며  $I_{Total}$ 는 전체누설전류 그리고  $I_R$ 는 저항분 누설전류이다. 모든 시료에서 누설전류는 신제품과 거의 유사하게 측정되었다.

표 3. 시료 1 누설전류측정결과

시험 전압 [kV]	누설전류			
	$I_{Total}$ [ $\mu$ A]		$I_R$ [ $\mu$ A]	
	신제품	침수 20일	신제품	침수 20일
3	50	40	6	6
5	70	80	8	9
8	115	120	13	12
10	140	140	16	16
13	180	180	22.5	23

### 3.2.2 동작개시전압측정

교류 전압 인가시, 특성 소자에 흐르는 저항분 전류 파고치가 1[mA]일 때의 정격전압의 90[%] 이상 인지를 확인하는 시험으로 3사의 시료 모두 신제품 및 침수 시험 후 측정시 안정된 특성을 보여주었다. 표 4는 각 시료의 동작개시전압을 나타내었다.

표 4. 시료의 동작개시전압

시료	1[kV]	2[kV]	3[kV]
신제품	30.5	30.5	30.5
침수 20일	29.7	29.5	29

### 3.2.3 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 1000[V] 메가로 1000[ $\Omega$ ] 이상이여야 한다.

표 5. 시료의 절연저항

시료 \	1[G $\Omega$ ]	2[G $\Omega$ ]	3[G $\Omega$ ]
신품	$\infty$	80	70
침수 20일	60	60	40

표 5에 나타난 결과 값은 1000[V]에서 모든 시료가 절연저항 값이  $\infty$ 로 측정되어 10[kV]를 인가 시 절연저항을 나타내었다. 3사의 시료에서 매우 양호한 절연저항값을 얻을 수 있었다.

### 3.2.4 단로기 저항측정

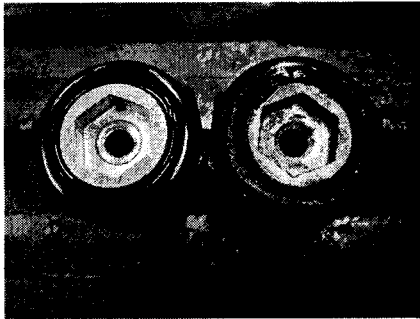


사진 1. 시료 2 단로기 수분침투

단로기의 침수 시험 조건은 다른 시료와 동일한 조건에서 실시하였다. 사진 1은 침수 10일 후에 확인 시 시료 2에 설치되어 있던 단로기(우측)로서 신품(좌측) 단로기와 비교해 볼 때 수분 침투가 되었다는 것을 육안으로 확인 가능하였으며 20일 후에는 시료 1과 3 모두 수분 침투 되었다. 표 6은 침수 기간에 따른 시료의 저항값을 나타낸 것이다.

표 6. 단로기 저항 변화

시료 \	1[ $\Omega$ ]	2[ $\Omega$ ]	3[ $\Omega$ ]
신품	99.18	99.63	100.55
침수 10일	99	5.5	100.3
침수 20일	18	-	60

시료 2에 설치되어 있던 단로기를 분해 건조 후 재 측정 시 절연 저항이 신품과 동일한 값으로 회복되었다.

## 4. 결 론

침수에 따른 폴리머피뢰기의 특성을 분석하기 위하여 전기적 시험, 하우징 표면 특성분석 및 성능확인시험을 실시하였다. 표면 특성분석에서 약간의 표면 열화는 관찰되었지만 전체적으로 매우 양호한 특성을 보였다.

- FTIR 분석결과 모든 시료의 특성피크가 표면열화에 의해 감쇄되었다.
- 침수시간에 따라 유전율과  $\tan \delta$  값은 증가하는 경향을 보였으며 고유저항 값은 감소하는 경향을 보이

고 있다.

- 접촉각은 침수시간에 따라 오히려 증가하는 경향을 보였는데, 이는 표면으로 저분자량 확산과 관련이 있는 것으로 사료되며, 침수 시험이 계속되면 접촉각은 감소할 것이라고 예상된다.
- 누설전류, 동작개시전압, 절연저항 측정은 신품과 침수 후 측정값의 차이가 거의 없었다. 따라서 아직 시료 내부로 수분의 침투가 없었다는 것을 알 수 있었다.
- 단로기에서는 3개사 모두 수분 침투가 있었으며 앞으로 개선이 필요하다.

침수 시험의 초기 단계로서 폴리머피뢰기의 전기적 특성분석에는 크게 이상이 없지만 폴리머피뢰기의 하우징 표면에서 열화의 조짐을 발견할 수 있었다. 앞으로도 침수 시험은 계속 할 것이며 그것에 대한 특성 분석 데이터는 폴리머피뢰기의 수분에 의한 열화평가에 많은 도움이 될 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 송일근, 김찬영, 김주용, 한재홍, 이병성, "배전기자재의 수명 예측 기준제정(최종보고서)", 전력연구원, 2000
- [2] JEC-217 "산화아연형 피뢰기", 전기학회, 1984
- [3] 하복남, 황수천, "배전용 폴리머 피뢰기 개발(최종 보고서)", 전력연구원, 1996