

누설전류분석에 의한 가공배전선로용 피뢰기의 성능진단

추철민*, 박철배*, 이병성* 김기홍*
한국전력공사 전력연구원*

Aging Detection of Distribution Lightning Arresters by Analysis of Leakage Current

Chul-Min Chu*, Chul-Bae Park*, Byung-Sung Lee*, Gi-Hong Kim*
KEPRI KEPCO*

Abstract - 본 논문에서는 가공 배전선로에 사용되고 있는 피뢰기의 상태 진단을 위한 누설전류 분석기법에 대해 기술하였다. 현장에서 다양한 환경 스트레스를 받고 있는 피뢰기는 점차 열화가 진행되어 선로 고장의 원인이 되므로 이를 사전에 검출하여 고장을 예방하는 것이 중요하다. 피뢰기 이상을 효과적으로 검출하는 방법의 하나로 사용되고 있는 누설전류 측정방법에 대해 평가 하였다. 피뢰기 누설전류는 측정 환경에 영향을 받을 수 있기 때문에 현장 측정된 결과와 실험실에서 측정된 결과를 비교하여 분석하여 환경영향을 보정하여 판단하는 방법을 고려했다. 또한 온도에 따른 누설전류 값의 변화를 분석하여 누설전류에 의한 피뢰기 상태 판단 근거를 마련하였다. 이를 위해 현장에서 설치 운용되고 있는 피뢰기를 지역별로 고르게 발취하여 측정 분석하였다.

1. 서 론

전력수요는 지속적으로 증가하고 있으며, 사용자는 고품질의 안정적인 전력서비스를 요구하고 있다. 전력 서비스 공급 중에 의도하지 않은 이상전압 유입되어 전력설비가 손상을 받았을 때 경제적 손실 비용이 증가하고 있다. 안정적인 전력공급을 위해 설비의 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 피뢰기는 전력계통의 외부 혹은 내부에서 발생하는 뇌서지, 개폐서지, 일시적인 과전압 등의 순시적으로 증가한 전기에너지를 대지로 방출하여 계통을 보호하는 역할을 한다.

비선형 특성을 갖는 산화아연소자가 적층된 피뢰기는 계통운전 전압에서 상시 미세한 누설전류가 흐르고 있다. 이 누설전류는 용량성분과 저항성분 전류의 합성된 형태로 나타난다. 용량성분에 비해 상대적으로 미소한 저항성분 누설전류는 피뢰기 소자 또는 절연체 열화에 따라 점차 증가하게 된다. 저항분 누설전류를 정확하게 검출할 경우 열화상태를 쉽게 판단할 수 있지만, 현장에서는 선로전압 파형을 얻는 것이 용이하지 않기 때문에 저항분 전류가 포함된 전체 누설전류 크기와 3고조파 전류로 판단한다. 이들 누설전류는 사용 환경에서 수분, 온도, 전기적 노이즈가 작용하여 실제값과 상이하게 계측되는 경우가 있다. 따라서 피뢰기 열화를 정확히 판단하기 위해서는 주변 환경이 주는 영향을 분석하여 고려해 주어야 한다.

본 논문에서는 다양한 지역에서 사용되고 있는 피뢰기를 선택하여 현장에서 누설전류를 측정하고, 이들을 절거하여 실험실 환경에서 누설전류를 분석하여 환경에 따른 누설전류 변화량을 고찰하고 적절한 판단 기준치를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 가공 배전선로용 피뢰기의 누설전류 측정 방법

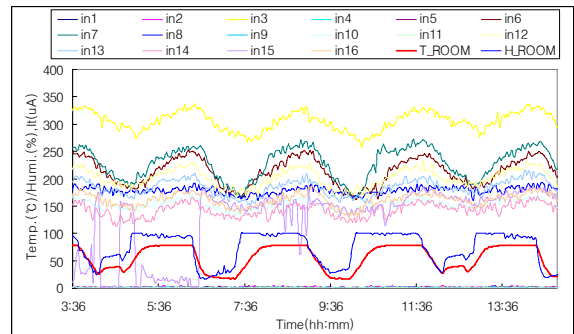
본 연구에는 현장에서 누설전류를 측정한 후, 발취한 110개 피뢰기를 사용하였으며, 정격용량은 18 kV, 2.5 kA이다. 누설전류는 피뢰기 접지측 선로에 차폐용 케이스가 구비된 클램프형 CT를 갖는 누설전류 측정기(LCD-2000, Hanbit)를 연결하여 계측하였다. 발취한 피뢰기는 실험실에서 1차측에 상용주파수 계통전압(13.2 kV)을 인가하여 측정하였다. 사용한 누설전류 측정기는 100 μ A 범위에서 $\pm 5 \mu$ A의 오차를 갖는 것이다. 또한 피뢰기 소자 특성은 온도에 영향을 받기 때문에 챔버를 이용하여 온도/습도 변화와 함께 누설전류 변화를 측정하였다.

2.1.1 온도 및 습도에 따른 누설전류 변화

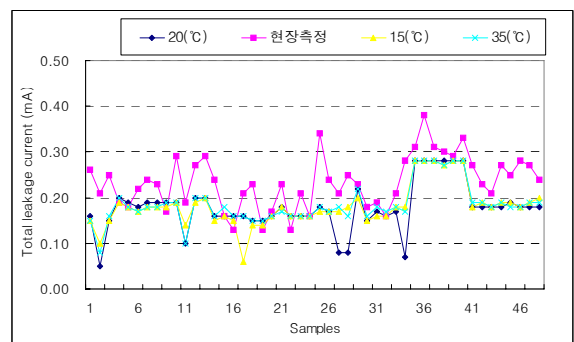
피뢰기의 고유 누설전류 값은 제조사에 따라 차이가 있으며, 본 연구에서 실측한 결과에 따르면 약 170 μ A에서 240 μ A의 값을 보였다. 온도에 따른 누설전류 변화를 분석하기 위해 챔버 내에 16개 시료를 설치하고 온도를 15 $^{\circ}$ C에서 80 $^{\circ}$ C로 변화시키면서 측정하였다. 피뢰기 누설전류 값은 온도에 따라 그림 1과 같이 변화하였으며, 온도 증가에 따라 누설전류가 증가하는 특성을 보였으며, 피뢰기의 상태에 따라 누설전류 크기가 다르게 나타났다.

2.1.2 누설전류 비교

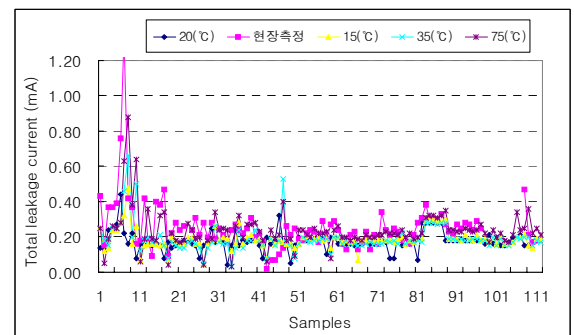
현장에서 측정된 값과 절거 후 실험실에서 측정된 누설전류 값은 그림 2와 같이 상당한 차이를 보였다. 현장 온도와 유사한 조건에서 측정하기 위해 실험실 측정 환경 온도를 15 $^{\circ}$ C, 20 $^{\circ}$ C, 35 $^{\circ}$ C로 하여 비교하였다. 정상 피뢰기의 경우 전체 누설전류값이 0.20 mA 근처의 값을 나타내고 있으며, 대체로 현장에서 측정된 값이 높게 나타났다. 내부 흡습 등으로 인해 현장 측정시 큰 누설전류를 보인 시료는 실험실 조건에서 다소 낮은 값을 보였다. 실험실 조건에서 내부에 존재한 수분이 증발되어 전기적 특성에 영향을 준 것으로 판단된다. 다양한 환경에서 반복 측정결과 환경조건이 측정값에 영향을 주는 것으로 나타났으며 이를 정량화하는 것이 필요하였다.



〈그림 1〉 온도 습도 주기에 따른 전체누설전류 값의 변화



〈그림 2〉 누설전류 비교



〈그림 3〉 온도변화에 따른 발취시료의 누설전류측정 비교

2.2 누설전류에 따른 열화 판단기법

피뢰기는 소자의 특성이 비선형이고 피뢰기의 제조사별로 고유한 누설전류가 다르기 때문에 공통된 하나의 양부판단기준 결정이 어렵다. 또한 현장의 동일한 환경이라도 시간에 따라 누설전류 크기가 변하는 특성이 있으며 또한 하우징 표면 누설전류가 반영될 수 있고 주위환경 및 기상에 따른 이들의 변화가 크기 때문에 정량화가 쉽지 않다. 본 연구에서는 피뢰기 소자에 따른 고유 누설전류값과 현장 측정결과, 실험실 측정값 등을 상호 비교하고, 환경적 요인에 따른 보상분을 반영하여 열화를 판단하는 방법을 정립하였다.

2.2.1 전체 누설전류 기준값

실험실에 측정된 피뢰기 고유 누설전류값을 측정하여 표 1에 나타내었다. 상온(20℃)에서 정격전압을 인가하여 측정된 전체 누설전류를 측정하였다. 이를 상용전압인 13.2 kV로 환산하여 표에 함께 나타내었다.

〈표 1〉 피뢰기 전체누설전류 측정값

전체 누설전류(mA)			Imax에 대한 상전압 환산값
Min	Mean	Max	
0.17~0.20	0.20~0.21	0.22~0.24	0.17~0.18

일반적으로 제조사는 피뢰기 누설전류가 초기측정값에 대해 1.5배 이상 증가하였을 경우 수명이 다한 것으로 관리하여야 한다고 권장하고 있다. 발취시료의 실험실 측정결과(상온(20℃), 13.2 kV), 정상 피뢰기의 고유 누설전류값은 0.15~0.28 (mA) 정도로 다소 넓은 범위로 측정되었으며 평균값은 0.18 mA로 측정되었다.

2.2.2 현장에서 실측한 누설전류값 분석

실제 현장에 설치된 피뢰기 1118개의 전체 누설전류를 측정된 평균값과 표준편차는 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉 현장 측정결과

	전체누설전류(mA)		합계
	평균	표준편차	
현장측정값	0.21	0.08	0.29

표의 측정 데이터는 기온/습도, 표면누설전류, 주변 노이즈에 의한 누설전류 증가분이 반영된 값이다. 하지만 모든 측정은 하우징 표면이 건조된 상태에서 이루어진 것으로 하우징 표면 누설전류의 영향은 아주 미소한 것으로 판단된다.

피뢰기가 부착된 선로의 부하전류가 측정에 주는 영향을 통계적으로 분석한 결과 계통 최대 부하일 때 약 0.02 mA 정도 영향을 주는 것으로 나타났다.

2.2.3 실험실에서 측정된 누설전류값 분석

동일한 전압(13.2 kV)을 인가하고 누설전류 측정 환경의 온도를 변화시키면서 측정하였다. 온도 변화에 따른 피뢰기 누설전류를 측정된 결과를 표 3에 나타내었다. 사용 환경 온도를 고려하여 -5℃에서 80℃로 변화하면서 피뢰기 내부 온도가 완전히 포화된 상태에서 측정하였다. 고온인 80℃ 환경에서 측정된 것은 피뢰기 동작 후 온도가 높게 상승하기 때문에 이를 고려하여 높은 온도에서도 검토하였다. 측정결과에서 겨울철과 여름철의 누설전류값은 약 0.06mA정도 차이가 있는 것을 알 수 있다.

〈표 3〉 온도 조건 변화에 따른 누설전류 변화

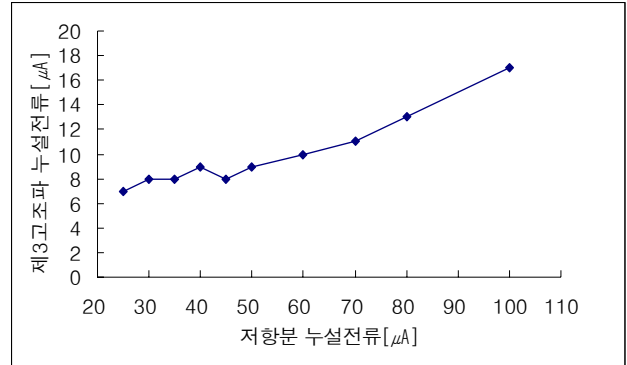
	측정온도			
	-5℃	20℃	40℃	80℃
전체누설전류 평균(mA)	0.18	0.19	0.22	0.24
전체누설전류 표준편차(mA)	0.05	0.06	0.07	0.05
평균+표준편차 전류 (mA)	0.23	0.25	0.29	0.29

2.2.4 고조파 누설전류에 의한 판정기준

피뢰기의 저항분 누설전류는 제 3고조파와 상관성을 가지고 있다. 그림 4와 같이 저항분 누설전류의 증가에 따라 제 3고조파 누설전류값이 비례하여 증가하며 증가 폭은 시료에 따라 다소 차이가 있다, 따라서 전

체 누설전류를 측정하여 3고조파 성분을 분리하여 분석할 경우 저항분 누설전류의 추정하는 논리도 가능하다.

그러나 다양한 조건에서 측정된 결과에 따르면 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 증가 메커니즘이 다소 상이하였으며, 피뢰기에 이상이 있을 경우 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류가 동시에 증가한다고 단정할 수 없었다. 저항분 누설전류 증가분에 비해 제 3고조파 누설전류 증가분이 상대적으로 적어 열화를 판단하는 절대적인 기준이 될 수 없으나, 판단에 도움은 될 수 있을 것이다. 전체 누설전류값과 함께 분석하고 현장 경험으로 판단기법을 조정하는 것이 적절할 것이다. 본 논문에서는 측정된 결과 정상 피뢰기의 제 3고조파 누설전류는 모두 0.05mA이하 이므로 이를 기준으로 하는 것이 타당하다.



〈그림 4〉 제 3고조파와 저항분 누설전류의 관계

2.3 피뢰기의 누설전류에 의한 적정 열화 판정 기준 제시

실험실 및 현장 측정결과를 바탕으로 피뢰기의 누설전류에 의한 열화 판단은 아래와 3가지로 설정할 수 있다.

- (1) 피뢰기의 한계수명과 측정선로 부하에 따른 전체누설전류의 증가분 및 오손지역의 표면누설전류에 의한 증가분을 고려할 경우 최대 0.53 mA (rms)로 제안할 수 있다.
- (2) 현장측정 최대 유효누설전류(평균+표준편차=0.29(mA)), 측정 선로 부하에 따른 전체누설전류 평균 증가분 및 표면 누설전류에 의한 증가분을 고려해할 경우 0.46 mA(rms)로 제안할 수 있다.
- (3) 또한 평균전류와 표준편차전류, 측정 선로 부하에 따른 전체누설전류 평균 증가분 및 표면 누설전류에 의한 증가분을 고려하면 0.46 mA(rms)로 제안할 수 있다.

상기의 분석 결과를 기준으로 하고 현장여건과 경제적 파급 영향 등을 고려하여 열화 판정기준을 결정하여 운용하는 것이 절절하다.

3. 결 론

본 논문에서는 현장에서 사용되고 있는 가공배전선로용 피뢰기의 상태를 판단하기 위한 누설전류 측정방법에 있어서 적정 기준값 결정을 위한 실험적 연구를 수행한 것이다. 누설전류에 의한 열화 판정은 전체 누설전류값을 기준으로 하고 고조파 분석을 통해 제 3고조파 성분의 크기를 보조 자료로 하는 것이 적절하였다. 현장에서 누설전류 측정값에 영향을 주는 인자는 온도, 습도, 선로전류와 같은 환경 노이즈 이었다.

피뢰기 상태를 판단하기 위해 고유 누설전류값에 이들 환경요인에 따라 나타나는 누설전류 증가분을 고려하여 판단하는 방법을 제안하였다. 실험실에서 측정된 누설전류 결과를 근거로 개별적으로 판단하는 것이 타당하며 각각 설치된 지역적 기후적 환경요인을 고려하여 성능기준을 결정하는 것이 필요할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 이복희, "산화하연 피뢰기소자에 흐르는 저항분 누설전류의 검출기법", 한국조명·전기설비학회논문지, Vol 15, 7page, 2001
- [2] 권태호, "배전용 폴리머 피뢰기의 전기적 특성시험", 한국조명·전기설비학회 2004춘계학술대회 논문집, 4page, 2004