

경년에 따른 배전용 피뢰기의 열화특성

조성수*, 김주용*, 김찬영*, 송일근*, 박중신**
 *한국전력공사 전력연구원, **한국전력공사 중앙교육원

Characteristics analysis of field aged distribution surge arresters

Seong Soo Cho*, Ju Yong Kim*, Chan Young Kim*, Il Keun Song*, Jung Shin Park**
 *KEPCO Korea Electric Power Research Institute, **KEPCO Central Training Institute

Abstract - This paper presents characteristics of the aged and new 18kV surge arresters. In order to investigate aging characteristics, we measured total leakage current and resistive leakage current using specially made leakage current measurement system and also investigated $\tan \delta$ of the arresters and microstructure of the elements. Through the investigation we found that all of the arresters does not aged for 2 years field operation.

1. 서 론

현재 국내 배전선로에는 6개 회사의 피뢰기가 설치되어 운용중이며, 이 피뢰기에 사용되는 소자는 한 개 회사를 제외하고 모두 수입소자를 사용하고 있다. 피뢰기의 동작 및 수명에 가장 중요한 것은 소자 자체이지만, 피뢰기 조립시의 환경 및 밀봉처리 등에 의해 수명은 크게 달라질 수 있으며 현장에서의 설치조건 또한 수명에 큰 영향을 미친다. 최근에 특정 제조업체의 특정년도 피뢰기 고장이 빈발함에 따라 설비고장은 물론 안정적인 전력공급에 큰 지장을 초래하였다.

피뢰기 고장은 피뢰기 소손으로 인한 손실뿐만 아니라 보호대상 설비의 소손, 피뢰기 폭발시 발생하는 애관 비산으로 인한 인명피해의 우려가 가장 큰 문제이다. 최근에 피뢰기 애관 비산에 따른 고장을 방지하고 설치의 용이성을 보장하는 고분자 애관의 피뢰기가 개발되어 현장 시험 중이므로 향후 피뢰기 고장으로 인한 인명피해는 줄어들 전망이다.

한편, 피뢰기의 열화요인은 상시과전, 서지흡수, 흡습 및 오손의 4가지로 나눌 수 있다. 이런 요인에 의해 소자가 열화되면 피뢰기의 누설전류는 증가하게 된다. 피뢰기의 누설전류는 소자자체의 용량성분에 의한 용량분 전류와 열화에 의한 저항분전류의 합성전류이다. 저항분 전류의 증가로 소자의 온도는 상승하고, 결합 및 열화부분을 중심으로 열집중이 되면서 열폭주 고장을 일으키게 된다. 따라서 본 논문에서는 향후 운전이력이 증가함에 따라 열화가 예상되는 '96년, '97년 피뢰기에 대한 열화 정도를 제조업체별로 파악하여 고장을 미연에 방지하고자 하였다.

본 논문에서는 제조회사별 연도별 신제품 및 경년품에 대해 완품상태에서의 동작개시전압, 누설전류, 절연저항을 측정했다. 특히 피뢰기의 열화평가 요소 중 가장 중요한 저항분 누설전류 측정을 위해 저항분 누설전류 측정 시스템을 구성하였고, 완품 시험 후 소자 각각에 대한 누설전류, $\tan \delta$ 를 측정하여 소자의 열화 정도를 평가했다.

2. 본 론

2.1 시료

국내 배전선로에서 사용되는 피뢰기중 점유율이 높은

3개 회사의 제품 중 '96년, '97년 제품을 각각 3개씩 발채하고 제조회사별 각 1개의 신제품을 시료로 사용했다. 시료 A0, B0, C0는 각 제조회사의 신제품이다.

2.2 실험방법

피뢰기는 열화됨에 따라 누설전류가 증가하고 동작개시전압이 저하된다. 규격에 의거하여 피뢰기의 누설전류는 건조 및 침수상태에서 정격전압의 40%, 60%, 100%에서 측정하고, 교류전압을 인가하여 저항분 전류가 1mA일때의 전압인 동작개시전압을 측정하였다.

이상의 규격시험과는 별도로 본 논문에서는 피뢰기 완품의 전 누설전류를 측정하고, 이로부터 용량분 전류를 제거하여 저항분전류를 측정할 수 있도록 장치를 구성하여 실험했으며, 소자 각각의 V-I 특성을 분석하기 위해 TETTEX사의 Capacitance and Dissipation Factor Test Set를 사용했다.

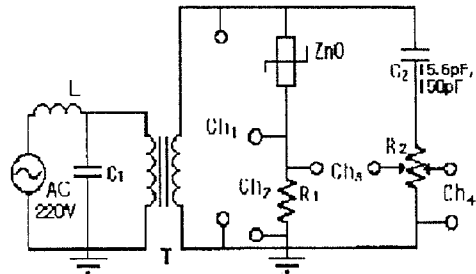


그림 1. 저항분 누설전류 측정시스템

그림 1은 피뢰기 저항분 누설전류 측정시스템을 나타내는 것으로 피뢰기와 병렬로 capacitor와 저항을 연결하여 피뢰기의 용량분 전류와 동상인 성분을 만들어 용량분전류를 제거하는 방법으로 저항분 전류를 측정했다.

2.3 실험결과

현장에서 발채한 시료 및 신제품에 대해 규격시험인 동작개시전압, 누설전류, 절연저항을 측정하였다. 운전이력이 2-3년 정도밖에 되지 않아 규격시험에는 표 1에서와 같이 이상이 없는 것으로 나타났다. 그리고 제조회사별로도 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 절연저항은 보다 정확한 측정을 위해 10kV 메가를 사용해서 측정했다.

규격시험 후, 제작된 저항분 누설전류 측정시스템을 이용하여 피뢰기 완품의 전 누설전류 및 저항분 누설전류를 측정했다. 그림 2, 그림 3과 같이 경년품의 누설전류와 신제품의 누설전류가 거의 차이가 없는 것으로 나타나 2년 정도의 현장사용으로 인한 열화는 거의 없는 것으로 판단된다.

표 1. 규격시험 결과

시험 시료	방전개시 전압 (kV)	건조누설전류 (mA)			절연저항
		40%	60%	100%	
A0(98)	24.5	0.09	0.14	0.22	∞
A1(96)	24.5	0.09	0.14	0.22	∞
A2(97)	23.8	0.10	0.15	0.23	∞
B0(98)	24.5	0.12	0.18	0.29	∞
B1(96)	25.1	0.12	0.16	0.26	∞
B2(97)	24.0	0.12	0.19	0.29	∞
C0(98)	22.8	0.11	0.15	0.24	60G Ω
C1(96)	24.3	0.10	0.14	0.23	20G Ω
C2(97)	23.0	0.09	0.13	0.22	50G Ω

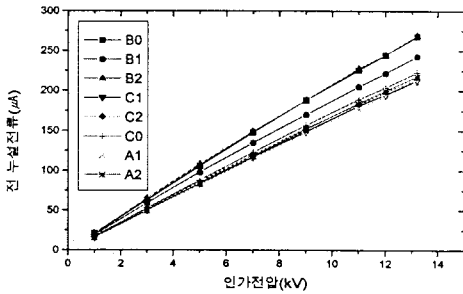


그림 2. 시료별 전 누설전류

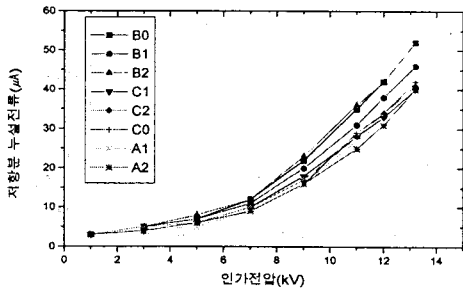


그림 3. 시료별 저항분 누설전류

한편 각 피뢰기 내부의 소자 특성과 소자별 열화상태 판정을 위해 저항분 누설전류와 $\tan \delta$ 를 측정했다.

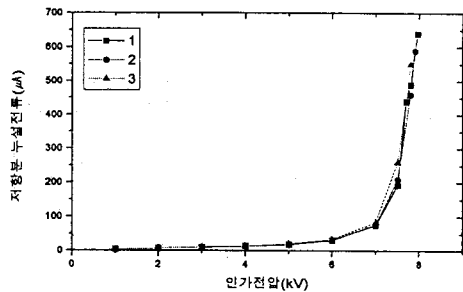


그림 4. A2 시료의 저항분 누설전류

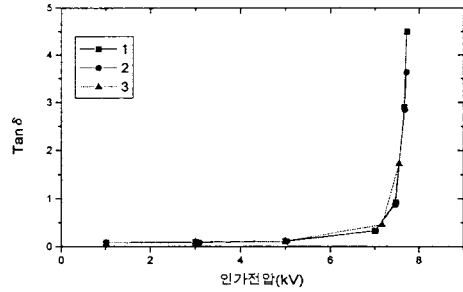


그림 5. A2 시료의 $\tan \delta$

그림 4와 그림 5에서와 같이 시료 A2는 각 소자의 동작특성이 매우 양호한 것으로 나타났으며, $\tan \delta$ 도 신제품과 같은 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 또 A2 피뢰기에 사용된 소자들은 특성차이가 거의 없이 매우 균일한 특성을 가짐을 알 수 있었다.

시료 B2도 그림 6과 그림 7에서와 같이 신제품과 경년품을 비교하여 보면, 특별한 소자의 열화현상은 발견되지 않았다. 하지만 A사에 비해 소자 각각의 특성차이가 다소 있음을 알 수 있다.

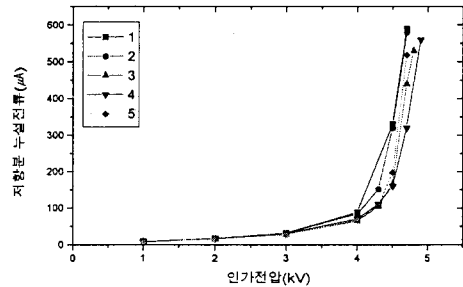


그림 6. B2 시료의 저항분 누설전류

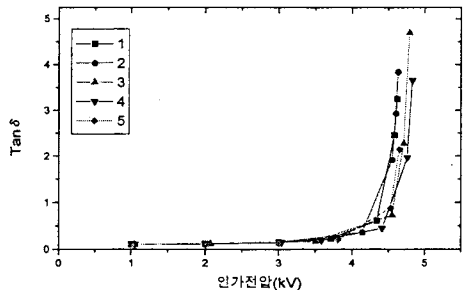


그림 7. B2 시료의 $\tan \delta$

그러나 시료 C2는 소자 중 하나가 열화가 진행중인 것으로 나타났다. 그림 8과 그림 9를 보면, 2번 소자의 저항분 누설전류와 $\tan \delta$ 가 다른 소자보다 크게 나타나고 있으며, 소자특성도 신제품에 비해 차이가 크게 나고 있다. 그림 8과 같이 소자 각각의 특성차이가 심해지면 정상운전전압(13.2kV)에서 각 소자의 분담전압이 달라지게 되고 이로 인한 국부적인 전계집중이 발생하여 열화가 가속될 수 있다. 하나의 피뢰기에 사용된 소자 중 특정 소자가 열화되는 것은 초기 조립시에 특성차이가 있

는 소자가 사용되었거나 소자자체의 결합이 있었을 가능성이 있다.

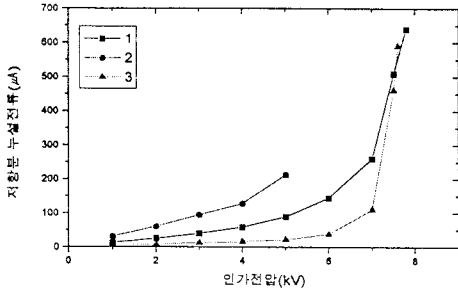


그림 8. C2 시료의 저항분 누설전류

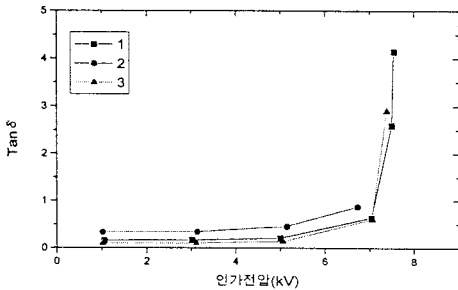


그림 9. C2 시료의 tan δ

소자 자체의 결합을 확인하기 위해 신제품소자와 시료 C2의 2번 소자의 미세구조를 SEM을 이용하여 관찰하였다.

소자의 미세구조 관찰을 위해 0.25 μm의 다이아몬드 현탁액으로 30분간 연마하고, HCl 5%와 HF 1%의 수용액으로 3초간 에칭 하였다.

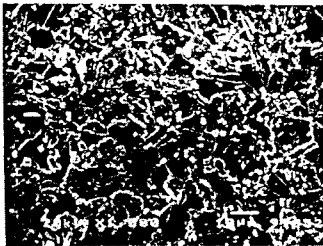


그림 10. C2 시료의 미세구조

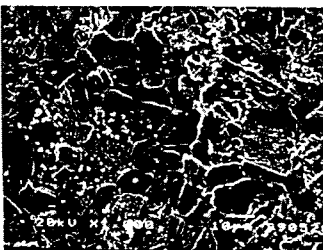


그림 11. 신제품 시료의 미세구조

그림 10과 그림 11에서 보는 바와 같이, 두 소자의 미세구조에서 특이점을 발견할 수는 없었다. 단 경년품

의 경우, 작지만 다수의 기공이 관찰되었다. 이러한 기공에서는 열전도가 ZnO 입자보다 떨어지므로 피뢰기 동작시 발생하는 열이 집중 될 수 있다. 그러므로 다른 부분보다 기공 인접부분에서의 열화현상이 빨리 나타날 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 최근 피뢰기 고장이 증가하여 배전계통의 신뢰도가 크게 저하됨은 물론, 피뢰기 폭발로 인한 인명 및 재산피해가 발생함에 따라, 현재 배전계통에 가장 많이 설치된 '96년 '97년 피뢰기의 특성을 파악하여 고장의 발생 가능성이 있는지를 파악하였다.

국내 배전용 피뢰기 중 점유율이 가장 높은 3개 회사의 피뢰기에 대해 신제품과 경년품의 규격시험 일부와 내부 소자 각각의 특성을 분석한 결과, 대부분의 피뢰기가 정상적인 상태로 나타났다.

그러나 1개 회사의 경년 피뢰기 중 완품상태에서의 동작특성은 양호한 것으로 나타났으나, 내부소자 중 1개의 소자가 열화된 것으로 나타나, 이 소자의 미세구조를 분석하였다. 하지만 신제품과 큰 차이는 발견되지 않았다.

단, 다수의 기공이 관찰됨에 따라 피뢰기 동작시 기공에서의 열전도 부족으로 기공부근의 소자가 국부적으로 열화되고 있는 것으로 판단되었다.

또 이러한 소자의 국부적인 열화로 인해 하나의 피뢰기에 사용된 소자간의 열화정도가 차이가 나게되고, 정상운전전압에서 피뢰기 내부의 각 소자가 분담하는 전압이 차이가 나게 되어 불균일한 전계가 형성되고 피뢰기 소자의 열화가 더욱 가속될 수 있을 것으로 사료된다.

(참고문헌)

- [1] 송일근외, "배전기자체의 수명예측 기준제정", 전력연구원 중간보고서, 1998.11
- [2] 김찬영외, "피뢰기 소자의 열화원인 분석", 전기전자재료 학회지 11권 7호, 1998.7
- [3] 田中一夫, "配電用避雷器のラトニングパフォーマンスおよび焼損事故防止策に関する研究", CRIEPI, 1997.12
- [4] M.V.Lat and J. Kortschin-ski, "Distribution Arrester Research", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.7, pp.3496-3504, 1981