배전용 폴리머 피뢰기의 고장원인 및 대책

김주용, 이재봉, 김동명, 장상옥, 황광수*
한국전력연구원, 한국전력공사

The Causes and Countermeasures for failures of Distribution Polymer Surge Arresters

Ju-Yong Kim, Jae-bong Lee, Dong-Myung Kim, Sang-Ok Jang, Gwang-Soo Hwang*

Abstract

Recently we suffered lot of failures of polymer surge arresters made by same manufacture after one year field operation. In order to set up countermeasures we investigated the causes of failures.
We extracted faulted arresters and sound ones which were installed in same pole with faulted ones for the electrical test and dissection. 44 arresters were removed from 8 branch offices. Almost all of faulted arresters hadtracking damage on the interface between inner module and housing and the surface of inner module was very rough and irregular. It was possible to occur moisture ingress into the interface between inner module and housing due to the void of the interface and non tight sealing caps. Lots of sound arresters were failed during the moisture ingress test. This result must relate with tracking damage of faulted arresters.

Therefore we can say that arresters had poor interface and sealing system. But we could not found aging and defects of ZnO elements because the electrical performance except moisture ingress test of arresters showed good.

Key Words : 폴리머피뢰기, 누설전류, 트래킹, 흡습, 열화

1. 서 론

최근 전력설비용 절연물로 폴리머재료가 급속히 보급됨에 따라 배전계통에서도 애자류에 대해 폴리머 재료가 확대적용되고 있는 추세에 있다. 이상전압으로부터 배전선로 및 기기를 보호하기위해 사용되는 피뢰기는 현재까지 세라믹 애관 내부에 ZnO 특성소자를 내장하는 구조를 사용하고 있지만 취급, 설치의 용이성 및 애관 비산방지 효과로 인해 애관 재질이 폴리머재질로 변경되었고 방전내량도 2.5kA에서 5kA 증대된 피뢰기가 개발되어 배전선로에서 시범사용을 마친 후 확대 적용되면서 세라믹 피뢰기를 대체하고 있는 실정이다.

하지만 다른 배전용 설비류와 마찬가지로 피뢰기 제조업체의 난립과 영세성으로 인해 품질의 균일성이 확보되지 못하고 있으며 제조환경도 열악한 상태이다. 최근에는 특정제조업체에서 제작된 제품이 설치 후 1년 정도에 전국에서 동시 다발적으로 고장을 일으킴에 따라 이에 대한 원인을 파악하고 대책을 수립할 필요가 있게 되었다.

2. 시 료

2.1 폴리머피뢰기의 구조

폴리머피뢰기는 그림 1과 같이 애관을 고분자 재질의 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)이 주로 사용되고 있고 향후 실리콘 재질의 적용이 시도될 것으로 보인다.

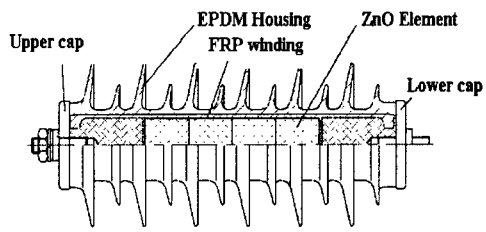

그림 1. 폴리머피뢰기의 구조.

또 기존의 세라믹피뢰기는 애관과 피뢰기 소자 사이에 공간이 존재하였으나 폴리머피뢰기는 ZnO (Zinc Oxide)소자 외부를 FRP 와인딩 처리하여 애관과 거의 밀착하는 구조를 채택함으로서 수분침투로 인한 내부고장을 방지하고자 하였다.

세라믹 피뢰기에서 가장 큰 고장원인은 흡습이다. 피뢰기 내부로 수분이 침투할 경우 수분은 피뢰기 소자에 직접 침투하게 되고 인해 소자의 특성이 급격히 저하되고 피뢰기 폭발의 원인이 되었다.

세라믹 애관은 내부소자 파손으로 인한 폭발시 애관이 비산하여 주위 행인이나 시설물에 피해를 입힐 가능성이 큰 반면 폴리머 피뢰기의 경우는 내부소자가 직접 수분과 접할 가능성도 낮고 내량 이상의 서지 유입으로 인한 폭발시에도 애관의 비산이 발생하지 않기 때문에 현장에서 큰 호응을 얻고 있다.

2.2 시료준비

고장 원인분석을 위해 고장피뢰기 및 고장품과 동일선로에서 운전중이던 피뢰기를 선로에서 발취하여 특성시험 및 해체분석을 수행하였다.

표 1. 시험용 시료 현황

지점	시료수	전기적시험 시료	해체분석 시료
A	6	5(A1-A5)	1
B	14	8(B1-B8)	6
C	6	5(C1-C5)	1
D	8	7(D1-D7)	1
E	3	2(E1-E2)	1
F	3	2(F1-F2)	1
G	2	2(G1-G2)	-
H	2	2(H1-H2)	-
Total	44	33	11

발취된 시료는 표 1과 같이 비슷한 시기에 제작된 고장피뢰기를 8개 지점에서 44개 발취하였으며 시료의 상태는 표 2와 같다. 이러한 특정시기 제품의 집중적인 고장은 품질관리 미흡으로 인한 가능성이 높다. 먼저 파손상태가 심해 전기적 특성평가 시험이 곤란한 시료를 해체하여 내부의 고장경로를 분석하였다.

표 2. 시료의 상태 및 구분

상태	정상	캡용융	애관소손
시료	A2, A3, A4, A5 B5, B7 C1, C2, C3, C5 D2, D3 E1, E2 F2 G1, H2	B1, B2, B3, B4 B6, B8 D1, D4 D5, D6 F1 G2	A1 B8 C4 D4, D6, D7 H1

3. 실험 결과

3.1 고장품의 해체분석

고장품을 해체하여 분석한 결과 대부분의 고장품은 그림 1과 같이 폴리머 하우징과 FRP 와인딩 사이의 계면을 통한 트래킹 경로를 가지고 있었으며, 그림 2와 같이 FRP 와인딩 표면이 거칠고 두께가 불균일하게 제작되어 있음을 확인할 수 있었다.

FRP 와인딩 표면과 애관내부의 트래킹 흔적으로 볼 때 이들간의 계면이 완전히 밀착되지 않았음을 알 수 있으며, 피뢰기 상하부 캡의 기밀이 완벽하지 않아 피뢰기 내부로 수분 및 오손물이 침투했을 가능성 있는 것으로 나타났다.

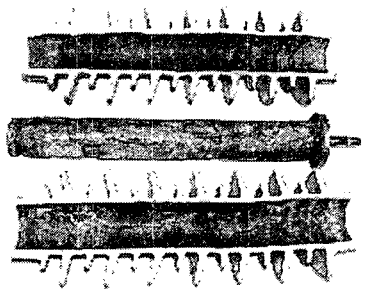

그림 1. 고장품 내부의 트래킹 흔적.

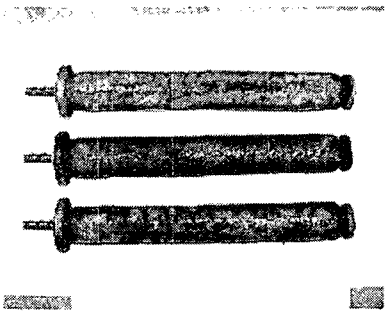

그림 2. 내부모듈 표면상태.

3.2 전기적 특성시험

피뢰기의 절연저항을 1000V 메가로 측정한 결과 일부시료가 외관상 양호한 상태인데도 불구하고 기준값인 1000MΩ 에 미치지 않는 것으로 나타났다.

절연저항이 불량인 시료를 제외한 후, 피뢰기 소자의 동작특성을 파악하기 위해 직류전압을 인가하여 피뢰기에 1mA의 전류가 흐를때 전압이 DC 22.9kV 이상인가를 시험한 결과 양호한 특성을 보였다. 또 열화상태를 평가하기 위해 정격전압(18kV)의 100%, 60%, 40% 전압에서 누설전류 측정한 결과 표 3과 같이 나타나 열화 현상은 없는것으로 생각된다.

표 3. 누설전류 측정결과.

시료	인가전압		
	18kV	10.8kV	7.2kV
A1-A5	240-260	140-150	95-98
B1-B7	218-270	120-155	80-103
C1-C4	210-260	120-150	80-103
D1-D3	205-220	120-125	78-80
E1-E2	240-320	140-180	95-120
F1-F2	215-240	120-140	80-95
G1-G2	220-245	125-143	80-98
H1-H2	243-350	135-198	90-130

피뢰기 내부결함검출을 위해 실시한 부분방전시험에서는 일부시료가 표 4와 같이 기준값인 50pC을 초과하는 것으로 나타났으며, 피뢰기 보호특성 평가를 위한 뇌충격제한전압시험(8/20us 파형을 가지는 5kA 전류가 흐를때 피뢰기 양단전압 측정)에서는 대부분의 시료가 기준값인 66kV 이하로 나타났다. 한편 피뢰기의 기밀 및 열화 특성 평가를 위해 70℃로 14일간 예열한후 60℃ 온수조에서 1시간, 4℃ 냉수조에서 2시간 주기를 10회 반복하여, 시험전후의 RIV(Radio Influence Voltage), 저항분 누설전류, 전력손실 변화를 측정하였다. 시험결과 대부분의 시료가 시험후에 저항분 누설전류와 전력손실이 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 절연저항 및 동작개시전압도 규격에 미달하는 것으로 나타나 시험에 사용된 피뢰기의 기밀에 문제가 있음을 확인할 수 있었다.

표 4. 부분방전 불량시료.

시료	인가전압(kV)	요구조건	부분방전(pC)
A1	6	50 pC 이하	400
B5	16		측정불가
C4	13		400
D3	16		측정불가
E1	16		100
A1, C5, E1은 고장으로 애관이 손상된 시료임			

표 5. 내열화성 시험결과.

온도조건		침수조건				
온도.	시간	온수		냉수		시험 주기
		온도	시간	온도	시간	
70± 3℃	14일	60±3 ℃	1 시간	4±3 ℃	2 시간	10 주기

시료	RIV (18 kV a.c. 인가)		저항분 누설전류 (25.45 kV d.c. 인가)	
	시험전(μV)	시험후(μA)	시험전(μV)	시험후(μA)
A3	1	3.2	1.6	불가능
B2		5.0	27.0	2.0 mA
B3		2.0	0.8	3.7 mA
B4		1	8.0	250
B7		6.3	1.5	3.3 mA
C1		1	2.6	4.3
C3		2.8	1.3	1.8 mA
D2		4.0	15.0	2.8 mA
D3		398	17.0	2.8 mA
E2		2.0	0.7	불가능
F1		2.5	24.0	1.7 mA
G1		7.9	29.0	불가능
G2		2.2	19.0	1.8 mA
H2		불가능	28.0	불가능

3.3 제조공정 분석

특정시기에 제작된 제품에서 고장이 집중되는 점으로 볼때 제작공정상에서 품질관리가 미흡한 부분이 있을것으로 보고 피뢰기 제작공정중 불량원인이 될 가능성이 있는 공정을 분석하였다.

피뢰기 제작공정의 첫 번째는 원재료의 검사 공정이다. 이때 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자, Epoxy, Glass Fiber, 하우징 원료인 Rubber, 금구류, 그리스 등이 검사되며 검사후 금구류 세척 및 건조공정

을 실시한다.

그 다음은 ZnO 소자 와인딩 공정으로서 한 개의 피뢰기에 사용될 소자를 일렬로 배열하기 위해 테이핑 처리하는데 선반에서 ZnO소자를 와인eld 작업하기 전 폴리에스터 테이프로 테이핑시 수작업에 의한 압력으로 ZnO소자가 파손(미세크랙, 균열현상)된 상태로 다음 제조공정으로 진행될 가능성이 있다. 또 Winding 작업시 공정 작업표에 의한 Glass Fiber함량, Epoxy와 경화제 배합의 불균일에 의해 와인딩두께, 경화조건이 일치하지 않는 제품이 같은 시간동안 경화처리 됨으로서 제품의 불균일 현상이 일어날 수 있다.

와인딩이 완료된 후에는 애관을 성형하고 제작된 와인딩 표면에 그리스를 처리한 후 애관내로 삽입한후 상하부 금구류를 부착하게 되는데 와인딩의 표면이 거칠고 두께가 불균일함에 따라 애관과 와인딩 사이에 공간이 존재할 수 있다.

4. 결 론

현장에서 발취한 피뢰기의 전기적특성을 평가한 결과 내열화성시험에서 많은 시료가 불량한 특성을 나타냈다. 이는 고장피뢰기에서 발견되는 트래킹 흔적과 관련이 있는 것으로서 피뢰기의 기밀 및 계면특성이 불량하기 때문인 것으로 판단된다.

내열화성 시험을 제외한 시험에서 대체로 양호한 특성을 보이고 있어 소자의 열화나 결함은 없는 것으로 판단되며 이러한 계면특성불량은 다음과 같은 제조공정상의 문제에 의한 것으로 추정할 수 있다.

○ 와인딩 작업공정 결함
- 와인딩 작업시 Glass Fiber함량, Epoxy와 경화제 배합이 다른 제품이 동일한 경화처리 시간으로 처리함으로서 비정상적인 전계분포가 형성하여 사고가 발생하는 원인이 될 수 있다.
- 와인딩 두께는 피뢰기 조립공정에 영향을 미칠 뿐만 아니라 하우징보다 두께가 적다면 피뢰기 내부의 공기층이 존재하게 되어 내부 섬락원인이 발생될 뿐만 아니라 습기가 침투할 수 있다

○ 그리스 도포작업 미숙
- 그리스 도포작업이 불량할 경우 내부로 수분이동이 가능해짐으로서 내부 섬락이 발생할 수 있다

○ 완제품 조립 공정
- 상, 하부 Cap부분과 하우징 부분에 밀봉처리 공정이 미흡하여 수분이 침투할 가능성 있다

이상과 같은 제조상의 결함을 방지하기 위해서는 와인딩 처리공정을 개선하여 균일한 제품을 제작하여야하며, 그리스도포 및 밀봉처리를 확실히 하여 하우징과 FRP 계면에 공극이 존재하지 않토록 함으로서 수분이 침투를 방지하여야 한다.

참고 문헌

[1] Jeffrey, "Multistress aging tests of polymer housed surge arrester", *IEEE Trans. Power Delivery vol.13 No27*, IEEE, 1998

[2] E. Colombo, "Failure mode tests for distribution type metal-oxide surge arresters with polymeric housing", *IEEE Trans. Power Delivery vol.11, No.1*, IEEE, 1996

[3] Fabrice Perrot, "Multifactor pollution testing to assess the long term performance of composite surge arresters and insulation"

[4] K. Naito, "Test methods and results for recent outdoor insulation in Japan", *IEEE Trans. On dielectrics and electrical insulation Vol. 6, No 5*, IEEE, 1999

[5] T. Taniguchi, "The Hints in Organisinga Good Conference", *CRIEPI report*, CRIEPI, 1997

[6] T. Taniguchi, "Application of polymer insulating materials for surge arrester housing", *CRIEPI report*, CRIEPI, 1989

[7] K Lahti, "The durability and performance of polymer housed metal oxide surge arresters under impulse current stresses", *CIRED2001*, IEE, 2001