

## 전력용 피뢰기의 성능확인시험과 평가 분석

\*김석수\* · 김경운\* · 조한구\* · 박태곤  
한국전기연구소 전력시험실\* · 절연·피뢰기기술연구팀\* · 창원대학교 전기전자제어공학과

### Evaluation and Performance Test of Arresters for Electric Power Distribution

S.S. Kim\* · K.U. Kim\* · H.G. Cho\* · T.G. Park  
KERI\* · Changwon Uni.

**Abstract** - Metal oxide surge arrester were developed in the late 1970s, and were immediately adopted as significant breakthrough in over voltage protection of power system. Work was continued throughout the world on the design, development and application of metal oxide surge arrester. This paper describes the evaluating test and results of practical use for analyzing the performance of gapless metal oxide surge arresters under various type test.

2500A(gapless type)의 피뢰기이며 시험품수량 및 개발 시험 내역을 표 1에 나타내었다. 본 시험품은 실선로에 설치운전중이거나, 설치 대기중인 제품을 무작위 발체하여 경년변화에 따른 품질변화 유·무를 확인하기 위하여 제조업체별 사용기간에 따라 수량을 적절히 분배 발체하여 시험하였다.

### 1. 서 론

전력계통 전압의 승압에 의한 초고압화로 송·배전계통이 복잡하게 됨에 따라 각종 선로에서 발생하는 이상 과전압에 대한 억제 대책은 대단히 중요하다. 전력계통에 이상 과전압이 유기되면 결과적으로 송·배전선로의 전력기기에 절연파괴를 일으키게 되고, 전력 수용가에 고전압이 침입하여 전기·전자기기의 파괴 및 수명 단축을 가져오게 된다. 따라서, 현재 배전선로에는 자기(porcelain) 애관에 비직선성이 우수한 산화아연(ZnO) 소자를 적용한 무공극 방식(gapless type)의 피뢰기가 사용되고 있다.

그러나, 피뢰기의 애관 소재인 자기와 전극부분의 열팽창계수 차이와 애관의 냉열특성의 취약으로 반복적인 냉열과 아크열에 의한 기계력에 의해서 균열이 발생한다. 또한, 애관 상·하부 전극사이의 기밀을 유지하기 위한 고무 가스켓(gasket, O-ring)의 경년적인 압축응력과 열에 의한 변화로 탄성저하를 가져와 기밀능력이 저하됨에 따른 흡습열화로 아크(arc)가 발생하여 파괴되고, 수분의 유입으로 습기가 축적(accumulation), 응축(condensation)되어 피뢰기 내부에서 섬락(flashover)을 일으키며, 섬락에 의하여 관통파괴(puncture breakdown)도 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존에 사용되는 피뢰기를 수거하여 이에 대한 영향을 평가, 분석하고자 여러 가지 성능확인시험을 거쳐 피뢰기의 열화를 평가하고 이에 대한 내적 및 외적원인을 분석하고자 한다.

### 2. 성능확인시험

#### 2.1 시험품준비

본 시험에 있어서 사용한 시험품명 및 정격은 18kV,

표 1. 시험품 수량 및 개발시험 내역

업체명	사용 기간별 수량(개)						개발시험 내역	
	신품	1년이하	2년이하	2년초과	이상	계	소자제조	소자수량
A	10	10	12	10	0	42	A	3개
B	10	13	22	0	0	45	B	7개
							B	6개
C	10	10	10	10	0	40	C	5개
							A	3개
							C	3개
							D	3개
D	10	16	0	0	40	66	E	5개
E	10	10	10	10	0	40	A	5개
계	50	59	54	30	40	233		

#### 2.2 시험기준 및 시험항목

시험기준은 ES 153-261(1984)의 인정시험을 기준으로 하였으며, 한전규격(ES)에 없는 특수시험 항목은 IEC에 의거하여 시험하였다. 시험항목으로는 부분품 시험을 위하여 완제품을 해체시 시료(ZnO 소자)의 상태가 오손될 수 있으므로 완제품으로 실시하는 시험항목만 실시하고 부분품으로 실시하는 항목은 생략하였으며, 특수시험 항목으로는 규정전류치 이하에서의 단로기의 동작특성, 사용온도 범위에서 수분침투와 특성변화 유무, 부분방전시험의 필요성등을 확인하기 위하여 실시하였다.

#### 3. 시험방법 및 시험결과

##### 3.1 시험방법

절연저항 시험방법은 발체된 상태에서 애관 표면을 세정한 후 실시하였으며, 피뢰기 양단자간에 1000V Megger로 측정하여 1000MΩ 이상이어야 한다. 누설전류 시험방법은 피뢰기 정격전압의 100%인 상용주파 전압 18kV를 10초간 인가하여 안정된 상태에서 누설전류치를 측정하였으며 개발시험치이하이어야 한다. 동작개시전압 시험방법은 피뢰기에 흐르는 저항분 전류 파괴치가 1mA일때

의 피뢰기 양단자간의 전압을 측정하여 d.c. 22.9kV 이상이어야 한다. 뇌충격 제한전압 시험방법은  $8 \times 20\mu s$ , 2.5kA의 공칭방전전류를 인가하여 피뢰기 양단자간의 측정전압이 65kV 이하이어야 한다. 침수 시험방법은 0~20℃에서 2시간, 70℃차(70~90℃)에서 48시간 침수후 동작개시전압의 변화율 및 절연저항치를 확인하여 침수종료 후 절연저항치 1000MΩ 이상, 동작개시전압의 변화율 10% 이내이어야한다. 또한 추가침수 시험목적은 침수시험 규격 보완 필요성을 확인하기 위하여 침수시험 완료후 이상이 없는 제품에 대하여 추가로 실시하였는데 이 경우의 시험방법은 물의 온도를 동일하게 하였으며, 냉온 침수시간 각30분 씩을 1cycle로 하여 6cycle 실시하여 침수시험과 동일한 시험을 하였다.

수분침투확인시험 목적은 ES에 규정된 사용 주위온도 범위내에서 밀폐된 부위에 수분침투 가능성 유,무 확인을 위하여 참고시험으로 실시하였는데, 시험방법은 침수 시험을 실시한 시험품중에서 임의로 샘플링하여 물속에 넣은 상태 및 대기중 상태에서 10cycle 실시하여 애관의 균열(crack) 및 파손등의 손상이 없는지의 유무를 위한 외관검사와 절연저항, 동작개시전압 및 뇌충격 제한전압을 측정하였다.

단로기 동작 확인시험의 목적은 ES에서 규정하고 있는 시험전류 하한치인 20A이하의 전류에서 단로기의 동작 유,무를 확인하기 위하여 참고시험으로 실시하였는데 방법은 단로기에 시험전류를 통전하여 단로기가 동작할 때까지의 시간을 측정하였으며, 시험전류 통전후 5분이 경과하여도 동작하지 않는 경우는 동작하지 않는 것으로 간주하였다.

부분방전시험은 288kV이상에만 실시하도록 되어 있으나, IEC 99-4에서 시험항목으로 명시되어 있으므로 배전급 피뢰기에도 시험의 필요성 유,무를 확인하기 위하여 참고시험으로 실시하였으며, 시험방법은 정격전압까지 상승 후 시험전압을 연속사용 전압의 1.05배 전압까지 서서히 내린후 10초간 인가한 후 측정하여 IEC 99-4에서 규정하고 있는 50pc 이하로 하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

절연저항시험에서는 시험기준인 1000MΩ 이상에서는 시험품 전량 이상이 없었다.

누설전류시험에서는 2개사 제품에서 26개가 기준치를 초과하였으며 이의 측정결과 및 분포를 표 2 및 그림 2-1에 나타내었다. 결과를 분석하면 '87년, '88년 개발 시험을 실시한 4개업체 제품에서 측정된 값이 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 개발시험후 장기간 경과됨에 따라 제품의 특성이 변화된 것으로 볼 수 있다. 2개 제품의 시험에서 26개의 측정된 값이 기준치를 초과하였으나, 이후 실시한 동작개시전압 및 뇌충격 제한전압시험에서 이상이 없는 것으로 나타났으므로 불량제품이 아닌 것으로 판단된다.

동작개시전압시험에서는 표 3과 같이 시험결과 전량 시험기준을 만족하였으며, 이 시험의 측정 결과 분포는 그림 2-2에 나타내었다. 또한, 분석 결과 1 종류의 소자를

사용한 제품의 시험결과는 개발시험치의 10%이상을 벗어 나지 않았다.

표 2. 누설전류시험 결과치

제조업체	수량	누설전류치(μA)				기준치 초과수량(개)	개발 시험년도
		최고치	최저치	평균치	개발시험치		
A	42	250	210	228	490	0	1987
B	15	380	350	276	520	0	1988
	30	240	220		235	12	1994
C	39	260	215	235	(230), 234	14	('87), '93
	1	360	360		450	0	1994
D	65	395	220	309	470	0	1988
E	40	245	222	237	442	0	1987

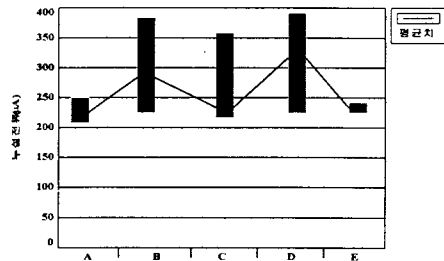


그림 2.1 누설전류시험 결과치 분포

표 3. 동작개시전압시험 결과치

제조업체	수량	동작개시전압치(kV)				기준치 이하 수량(개)	개발 시험년도
		최고치	최저치	평균치	개발 시험치		
A	42	32	28	30	31	0	1987
B	15	26	26	29	27	0	1988
	30	31	30		32	0	1994
C	39	32	28	29	(28), 29	0	('87), '93
	1	27	27		26	0	1994
D	65	30	25	28	30	0	1988
E	40	31	27	29	29	0	1987

뇌충격 제한전압시험에서는 시험결과 5개 제조회사 제품 231개 시험에서 2개 제조회사 제품중 4개만이 불량을 나타내었으며, 그의 측정결과 및 분포는 각각 표 4, 그림 2-3에 나타내었다. 이 시험에서 단로기 부착여부에 관계없이 제한전압치는 동일한 것이 정상이나 단로기가 코일 type으로 제작된 3개 제조회사 제품은 상당수가 다르게 나타나고 있었으며, 소자 소손 및 소자연면성락 제품은 신품 및 기간이상 제품에서 나타나고 있다.

침수시험의 시험결과는 5개 제조회사 제품 228개 시험에서 4개 제조회사 제품 9개가 불량을 나타내었으며, 그의 시험결과를 표 5에 나타내었다. 침수시험에서의 애관 균열(crack)은 외산 제품(총 시험품 228개중 133개 외국산)에서는 발생되지 않았으며, 내부흡습은 상,하부 O-ring 또는 packing에 의해 기밀된 부분에서 발생된 것으로 판단된다. 또한 침수시험후 피시험품 1개는 동작개시전압이 8.6% 변화하였으며 내부에 물이 침투하였음을 나타내고 있다.

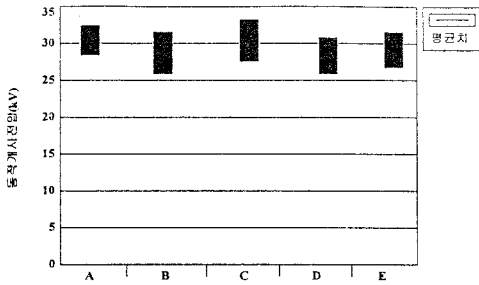


그림 2.2 동작개시전압시험 결과치 분포

표 4. 뇌충격 제한전압시험 결과치

제조업체	수량	뇌충격 제한전압치 (kV)				불량 수량(개)
		최고치	최저치	평균치	개발시험치	
A	42	53.5	47.7	50.1	48.0	0
B	15	44.8	43.0	49.7	47.6	0
	30	53.6	51.4		57.6	0
C	39	53.6	47.0	49.8	(51.0), 49.2	3
	1	44.8	44.8		45.6	0
D	65	53.6	46.2	49.4	55.5	1
E	39	52.1	46.2	49.0	50.1	0

\* 단로기 부착시 제한전압에 영향이 있는 제품은 단로기 미부착 상태에서의 제한전압을 기준을 하였음.

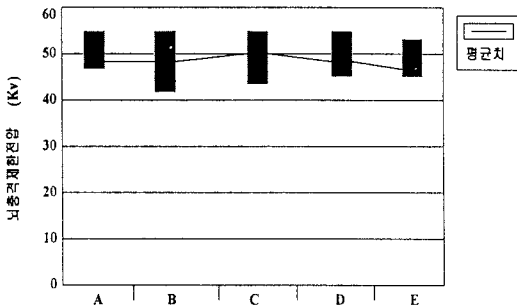


그림 2.3 뇌충격제한전압시험 결과치 분포

표 5. 침수 종료후 확인시험 결과

제조업체	수량	절연저항치(개)			동작개시전압의 변화율	
		1000MΩ 이상	1000MΩ 이하	10% 초과	10% 이하	10% 초과
A	42	37	5	37	5	애관 crack:4개 내부 흡습:1개
B	45	45	0	45	0	-
C	37	35	2	35	2	내부 흡습:1개 애관 crack:1개
D	64	64	0	64	0	-
E	40	39	1	39	1	애관 crack:1개

침수시험의 규격 보완 필요성 유,무 확인을 위하여 침수시험 완료후 이상이 없는 제품에 대하여 추가로 2개 제조 회사 제품에 추가침수시험을 실시한 결과를 표 6에 나타난 바와 같이 이상이 없었으므로 나머지 시험품에 대한 시험은 생략하였다.

표 6. 추가 침수종료후 확인시험 결과

제조업체	수량	절연저항(개)		동작개시전압의 변화율		
		1000MΩ 이상	1000MΩ 미만	10% 이하	10% 초과	10% 초과
A	37	37	0	37	0	-
B	44	44	0	44	0	-

### 5. 종합적인 결과 및 결론

이상과 같은 시험을 거쳐 피뢰기 시험품의 종합적인 결과를 나타내면 표 7과 같으며, 시험결과를 효율적으로 활용하기 위하여 경불량과 중불량으로 분리하여 나타낼 수 있다. 즉, 경불량은 고장을 직접 유발할 가능성이 낮은 불량이며, 중불량은 고장을 직접 유발할 가능성이 매우 높은 불량으로 간주할 수 있다.

표 7. 피뢰기 종합 시험 결과

시험 항목	경 불량			중 불량			합 계		
	시험 수량 (개)	불량 (개)	불량율 (%)	시험 수량 (개)	불량 (개)	불량율 (%)	시험 수량 (개)	불량 (개)	불량율 (%)
절연저항	233	0	0	-	-	-	233	0	0
누설전류	232	26	11.2	-	-	-	232	26	11.2
동작개시 전압	232	0	0	-	-	-	232	0	0
뇌충격제한 전압	-	-	-	231	4	1.7	231	4	1.7
침수	-	-	-	228	9	3.9	228	9	3.9
계	(233)	26	11.2	(231)	13	5.6	(233)	39	16.7

결론적으로

- 1) 시험결과 고장을 직접 유발할 가능성이 매우 높은 뇌충격 제한전압 및 침수시험에서의 불량률이 13개, 5.6%로 높은 편이라고 생각된다.
- 2) '87~'88년에 개발시험을 실시한 제품의 특성이 개발시험 당시와 변화된 것으로 나타났다. 즉, 누설전류 측정치가 4개업체 제품에서 개발시험치보다 매우 낮게 나타났으며, 뇌충격 제한전압치가 3개업체 제품에서 단로기 취부여부에 따라서 일정하지 못하고 다르게 나타났다.
- 3) 침수시험에서 애관 crack 으로 인한 불량율을 줄이기 위하여 애관은 반드시 전량 냉열시험을 실시하여 이상이 없는 것을 사용하도록 하는 방법을 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### [참고 문헌]

- [1] Jeffrey J. Kester et al. "Multistress Aging Tests of Polymer Housed Surge Arrester", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 13, No. 2, April 1998.
- [2] 한국전력공사, "전력용 피뢰기", ES-153-261-282, 1991.
- [3] 電氣學會規格, "酸化亞鉛形 避雷器", JEC-21, 1984.