송전급 피뢰기의 구조와 성능평가

Contruction and Performance Evaluation of the Surge Arrester for Transmission Class

김석수, 최익순 , 조한구
(S. S. Kim, I. S. Choi, H. G. Cho)

Abstract

Since 1970s, varistors using metal-oxide resistors have been applied to Gapless surge arresters for power system. In the paper, the structure of metal-oxide surge arresters without gaps for 362kV GIS which is developed the first in korea has been introduced. And the main evaluation items for the metal-oxide resistors which are reference voltage test, residual voltage test, long duration current impulse withstand test and operating duty test is tested and evaluated.

Key Words : GIS, Shield, Temporary-overvoltage, Gapless, ZnO element, Line discharge, Long-duration, High current, Pressure relief

1. 서 론[1]

1970년 전자회로의 과전압 보호용으로 개발된 산화아연을 주원료로 한 바리스터를 전력용 피뢰기에 적용하기위한 연구가 활발히 진행되어 현재는 대부분의 전력계통에 산화아연형 Gapless 피뢰기가 널리 사용되고 있으며, 특히 Gap이 없으므로 그 구조가 간단하며 보호특성이 우수하고, 소형경량으로 배전선로에서부터 발변전소용까지 폭넓게 사용되며 그 적용개소 또한 다변화되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 처음으로 개발하는 362kV 계통의 GIS용 피뢰기의 구조와 핵심부품인 산화아연소자에 대한 성능평가를 실시하여 그 적합여부를 검토하였으며, 국제규격인 IEC 60099-4의 평가항목중 주요항목인 동작개시전압측정, 제한전압측정, 장시간방전내량특성, 동작책무성능에 대하여 검토하였다.

* 한국전기연구원
(경남 창원시 성주동 28-1 고전압실)
Fax: 0551-280-1512
E-mail: sskim@keri.re.kr

2. GIS용 피뢰기의 구조와 정격

2.1 구조

GIS용 피뢰기는 접지된 금속용기에 수납된 피뢰기로 탱크 내부의 절연매체는 SF6 가스가 주로 사용되고, 산화아연소자를 적층하여 쌓아 올리au 절연지지봉과 지지판으로 unit화해서 제작하며 unit의 상부에는 전위분포를 균등하게 하기 위하여 균압쉴드가 취부되고 하부에는 베이스가 설치된다. 균압쉴드나 베이스의 재료는 주로 알루미늄합금을 사용하며 그 구조는 그림 1과 같다.

2.2 정격

362kV GIS용 피뢰기의 정격전압은 288 kV로 유효접지계통의 안전율 1.3과 여유율 1.06의 Factor를 적용한 값이며 계산식은 아래와 같다.

$$362/\sqrt{3}\times 1.3\times 1.06=288\ \text{kV}$$

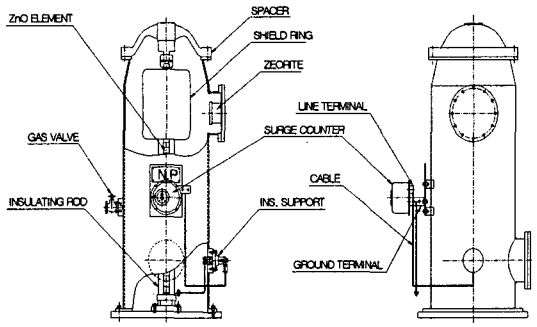

그림 1. GIS용 피뢰기의 외형도

피뢰기의 공칭방전류는 10,000A로 선로방전등급은 Class3이며, 정격 가스압력은 5.0 kgf/㎠ · G이고 피뢰기에 사용되는 산화아연소자 한 개의 정격전압은 5.15kV로 56개를 적층하여 완성품 피뢰기로 구성하게 된다.

3. 성능평가

3.1 시료의 준비

본 성능평가에 사용된 시료 수는 동작개시전압 측정항목을 제외한 모든 항목은 3개의 시료로 실시하였으며 동작책무의 Aging시험은 산화아연소자의 표면온도를 측정할 수 있도록 온도센서를 구비한 치구를 SF6 가스를 봉입할 수 있도록 특수 제작된 용기에 넣어 시험하였다. 그 외 시험은 산화아연소자를 상온에서 시험 평가하였다.

평가에 사용된 산화아연소자의 치수는 직경(74±1 mm), 두께(22.8±0.5mm)이며 그 구조는 사진 1과 같다.

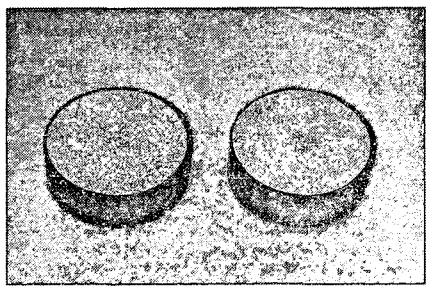

사진 1. 산화아연소자 sample

3.2 평가방법 및 기준

동작개시전압은 교류전압을 인가시 산화아연소자를 통해 흐르는 저항분전류 파고치가 3 mA일때의 전압을 측정하며 요구되는 동작개시전압치는 260 kV 이상이다. 제한전압특성에는 급준파, 개폐충격 및 뇌충격제한전압특성 등이 있으나 본 평가에서는 뇌충격제한전압특성만을 평가하였으며 시험전류는 공칭방전전류의 0.01배, 0.25배, 0.5배, 1배 및 2배의 전류에서 제한전압을 측정하였고 제한전압의 기준은 1배의 전류에서 690 kVp 이하이어야 한다. 장시간 방전내량특성의 검증은 분포정수형 발생기로 3회씩 6그룹으로 18회 인가하였으며 회간의 간격은 60초, 그룹간의 간격은 20분으로 하여 실시하고 요구되는 기준은 시험전·후로 측정한 제한전압값의 변화율이 5%이상 변화하지 않고 산화아연소자에 크랙, Flashover 또는 관통파괴 등의 손상이 없어야 한다. 동작책무성능의 평가는 계통의 실사용 상태를 모의하는 시험으로 우선 보정 정격전압(U^*r)과 보정 연속운전전압(U^*c)을 결정하기 위하여 가속열화시험을 실시한다.시험조건은 115 ℃±4℃에서 5.06 kV의 전압 스트레스를 가한 상태로 1000시간 운전하며 초기에 측정한 산화아연소자의 전력손실이 1000시간 후 측정시 그 값이 감소하면 보정없이 적용하고 증가한다면 IEC의 규정에서 정한 별도의 시료로 보정절차를 거쳐 각각의 보정전압을 결정한 후 새로운 시료에 최대연속운전전압의 1.2배인 4.93 kV의 상용주파전압이 가압된 상태에서 공칭방전전류인 8/20 ㎲, 10 kA의 충격전류를 5회씩 4그룹으로 20회 인가하고 상온으로 냉각시킨 후 4/10 ㎲ 대전류 100 kA 2회를 인가하는 conditioning test를 하고 시료를 60 ℃±3℃로 예열시키고 장시간 방전내량(개폐서어지)을 2회 인가한다. 2회째 인가 후 100 ms 이내에 상용주파전압 U^*r을 10초간, U^*c를 30분간 인가하여 산화아연소자의 열적안정성을 검증하였다. 평가기준은 시험전·후로 측정한 제한전압값의 변화율이 5%이상 변화하지 않고 산화아연소자에 크랙, Flashover 또는 관통파괴 등의 손상이 없어야 한다.

3.3 결과 및 고찰

측정된 동작개시전압은 3mA에서 304 kV로 기준치 이상이었으며 측정파형을 그림 2에 나타내었다.

산화아연소자 1개에 대한 뇌충격제한전압의 측정은 파두장 : 7~9 ㎲, 파미장 : 18~22 ㎲의 파형으로 1 kA, 2.5 kA, 5 kA, 10 kA, 20 kA에서 측정하여 표 1에 나타내었고 완성품 피뢰기의 최대제한전압으로 환산한 값은 표 2에 기술하였다. 환산한 최대제한전압 값이 690 kVp이하로 양호하였다. 그림 3은 각 전류에서의 제한전압을 Curve로 작성하였다. 장시간 방전내량성능은 시료의 선로방전등급이 Class3 으로 송전선로 특성이 선로길이 360 km, 선로써지임피던스가 350Ω, 과전압 계수가 2.6 P.U이며평가에 적용될 파라미터는 표 3과 같으며 시료에 인가되는 에너

지(W)의 계산식은 다음과 같다.

$$W=U_{res}\cdot(U_L-U_{res})\cdot 1/Z\cdot T$$

표 1. 제한전압 측정치

시료번호	충격전류(kA)	제한전압(kV)
1	1.00	10.2
2	1.02	10.2
3	1.04	10.2
1	2.51	10.8
2	2.54	10.8
3	2.52	10.8
1	5.05	11.3
2	5.07	11.2
3	5.01	11.3
1	10.10	11.9
2	10.00	11.9
3	10.10	12.0
1	20.20	12.8
2	20.00	12.8
3	20.00	12.9

표 2. 환산 제한전압치

충격전류 (kA)	측정 최대 제한전압 (1 disc) (kV)	완성품 피뢰기 제한전압 (56 discs) (kV)	허용 최대 제한전압 (kV)
10.10	12.0	672	690

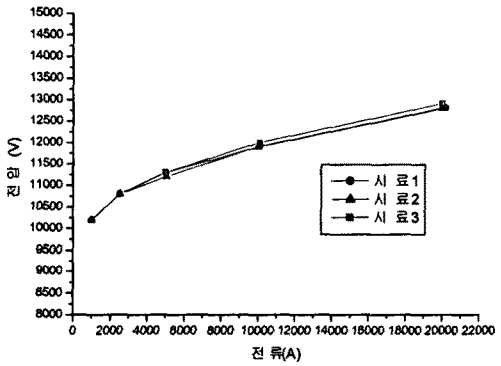

그림 2. 제한전압특성 Curve

여기서 U_{res}는 낮은전류(250 A)에서 측정한 개폐충격제한전압 측정치중 가장 낮은 값으로 하며 측정된 개폐충격제한치는 9.45 kV이다.

표 3. 선로방전시험의 파라미터

써지 임피던스 Z(Ω)	전류 지속시간 T(μs)	충전전압 U_L(kV d.c.)
1.3 Ur	2,400	2.8 Ur

시료에 인가되어야 할 에너지는 16.9 kJ 이상이며 계산 내역은 다음과 같다.

$W=9.45\times(14.42-9.45)\times 1/6.69\times 2{,}400=16.9$ kJ

$U_L(2.8\,U_r)=14.42$ kV, $Z(1.3\,U_r)=6.69\ \Omega$, $T=2{,}400\ \mu s$

18회 시험한 결과를 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 4. 장시간 방전내량 결과

시료번호	측정 회	충격전류 (A)	제한전압 (kV)	방전 에너지(kJ)
4	1 회	680	9.35	18.6
	18회	619	9.66	17.7
5	1 회	667	9.44	18.5
	18 회	616	9.66	17.6
6	1 회	653	9.44	18.1
	18 회	619	9.66	17.7

표 5. 시험전·후 뇌충격제한전압 측정 결과

시료번호	시험 전	시험 후	변화율 (%)
	제한전압(kV)	제한전압(kV)	
4	11.8	11.7	-0.8
5	11.8	11.8	0
6	11.7	11.7	0

인가된 에너지가 모두 16.9 kJ 이상이며 제한전압 변화율이 -0.8%로 양호하며 산화아연소자의 육안검사에서도 크랙 및 관통파괴 등의 손상이 없었다.

동작책무성능 중 가속열화시험은 산화아연소자를 사진 2와 같이 조립한 후 가스기밀이 유지되는 특수용기에 수납하여 항온챔버에 넣고 시험한 결과 표 6과 같이 전력손실이 시간이 지남에 따라 안정됨을 알수 있다. 따라서 열적안정을 검증하기 위해 인가하는 상용주파전압은 보정없이 정격전압과 연속운전전압을 가하였다. 만약 초기치 보다 급상승하는 경우에는 방열량보다 발열량이 더커지게 되고 소자의 온도가 더욱 상승하게되어 열폭주에 이르게 된다. 그림 3은 표 6의 열적 안정성 추이를 나타내었다.

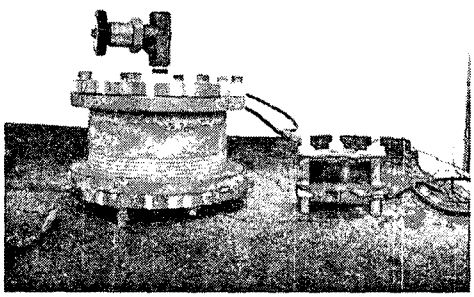

사진 2. 조립된 산화아연소자와 수납용기

표 6. 시험전 · 후 뇌충격제한전압 측정 결과

측정시간 (h)	전력손실(W)		
	시료 7	시료 8	시료 9
1.2	6.60	6.45	6.45
18	6.60	6.45	6.45
47	6.30	6.00	6.30
133	6.00	5.85	6.30
278	5.85	5.55	5.70
358	5.55	5.40	5.55
551	5.40	5.25	5.40
710	5.40	5.25	5.40
854	5.40	5.10	5.25
1,006	5.25	5.10	5.25

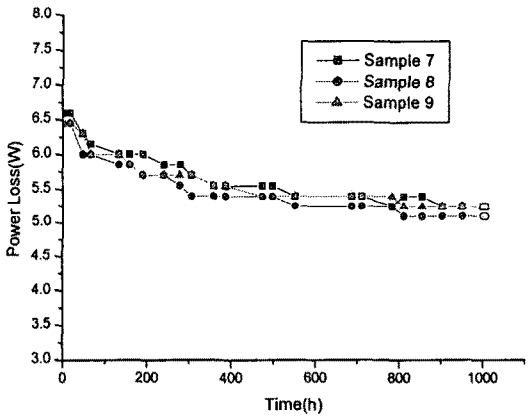

그림 3. 가속열화시험 curve

Aging이 끝난 후 새로운 3개의 시료에 상용주파 전압 4.93 kV가 가압된 상태에서 8/20㎲ 10 kA의 충격전류를 5회씩 4그룹 20회를 인가하였으며 대전류 방전내량은 표 7과 같이 4/10㎲의 100kA의 충격전류를 2회 인가하였다.

표 7. 대전류 충격전류의 인가

시료번호	측정 회	충격전류(kA)
10	1 회	100.2
	2 회	100.7
11	1 회	100.0
	2 회	100.5
12	1 회	100.2
	2 회	100.5

개폐써지 동작책무의 장시간 충격전류 인가는 모두 16.9 kJ 이상으로 표 8과 같으며 시험전 · 후의 제한전압 측정 결과는 표 9에 나타내었다.

표 8. 장시간 충격전류의 인가

시료번호		충격전류 (A)	제한전압 (kV)	방전에너지 (kJ)
10	1 회	658	9.07	17.5
	2 회	653	9.29	17.8
11	1 회	659	9.13	17.7
	2 회	659	9.33	18.2
12	1 회	658	9.31	18.0
	2 회	638	9.46	17.8

표 9. 시험전 · 후 뇌충격제한전압 측정 결과

시료번호	시험 전	시험 후	변화율 (%)
	제한전압(kV)	제한전압(kV)	
10	11.7	11.7	0
11	11.7	11.7	0
12	11.8	11.8	0

제한전압 변화율이 0%로 양호하며 산화아연소자의 육안검사에서도 크랙 및 관통파괴 등의 손상이 없는 우수한 산화아연소자의 특성을 지녔다.

5. 결 론

본 논문에서는 시료로 사용된 산화아연소자를 사용한 GIS용 피뢰기에 대하여 동작개시전압, 제한전압, 가속열화시험, 동작책무성능을 평가하였다.

그 결과 우리나라의 362 kV 전력계통에서 요구되는 보호특성을 만족하며 가속열화시험에서도 열적 안정성이 보장되고 장시간 및 대전류방전내량 특성 또한 우수하므로 288 kV 10 kA Class3의 피뢰기로 적합하다고 판단되나. 추후 일시과전압에 대한 성능과 산화아연소자의 V-I특성 및 피뢰기 수납 탱크에 가스가 고압으로 봉입되므로 탱크에 대한 안정성 평가및 가스의 누기에 대한 평가가 추가로 실시되어야 할 것으로 사료되며 이에 대한 시험방법과 시험압력 등에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

[1] 한국전력공사, "전력용 피뢰기," ES-153-261-283, 2001.

[2] 한국전력공사 구매시방서 362 kV용 GIS용 피뢰기

[3] 電氣學會規格, "酸化亞鉛形 避雷器," JEC-217, 1884.

[4] 최근 피뢰기기술동향 - Meidensha 시보.

[5] 대한전기학회 하계학술대회논문집, "전력용 피뢰기의 성능평가시험과 평가분석, 1999. 7.

[6] Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, IEC 60099-4, 1998. 8.