

# 직렬 갭 피뢰기의 흡습시 전극표면의 변화 및 특성

조한구, 김향숙  
한국전기연구원

## Characteristics and Change of Electrode Surface in Moisture Absorption on the Series Gap Surge Arrester

Han-Gu Cho, Hyang-Suk Kim  
KERI

### Abstract

The characteristics and change of electrode surface about Gap type surge arrester for protect DC subway rail were investigated with moisture absorption. Compared that tested about DC/AC discharge commencement voltage, residual voltage, Impulse, square wave impulse for DC rail surge arrester about Gap type surge arrester of moisture absorption state. The AC discharge commencement voltage acted greatly effect of moisture absorption than the DC discharge commencement voltage test.

**Key Words** : Gap type surge arrester, moisture aborption, DC/AC discharge commencement voltage, residual voltage

### 1. 서 론

산화아연 바리스터는 높은 비직선성 및 우수한 에너지 흡수 능력으로 전기·전자 시스템, 송·배전 등의 전력 설비 및 전철차량 시스템을 뇌써지 등의 과도이상전압으로부터 보호하는 피뢰기의 핵심소자로 널리 응용되고 있으며[1], 이러한 피뢰기는 전류-전압의 대칭적 특성으로 직·교류 모두에 사용이 가능하다[1-5].

한편, 오늘날 도심의 교통수단으로 지하철 및 전철은 대단히 중요한 부분을 차지하고 있다. 이러한 지하철 및 전철의 원활한 운영을 위하여 각종 써지로부터 시스템을 보호할 수 있는 피뢰기의 개발은 매우 중요하다. 그러나 국내의 지하철 및 전철 선로용 피뢰기는 지난 30여년 동안 일본으로부터의 수입에 의존하고 있으며, 이 또한 자기질 애관 피뢰기로 무거우며, 사고시 소자 파괴는 물론 외부 자기질의 폭발 비산으로 인한 2차적인 사고도 유발할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 직류 전차용의 특성상 산화아연형 소자에 대한 스트레스 경감과 누설전류를 최소화 하기 위해 Gap Type을 적용하였으며 [6], 자기재보다 발전적인 형태인 폴리머 피뢰기로

개발하기 위한 기초자료로서 산화아연 소자의 흡습시와 건전시에 따른 피뢰기의 전기적 특성시험과 전극 표면의 변화를 관찰하였다.

### 2. 실험 방법

흡습 및 전기적 특성을 평가하기 위하여 그림 1 처럼 직류 전차용 산화아연 소자를 정격 용량이 5 kA, 직경 및 높이를 각각 32 mm로 제작하였다.

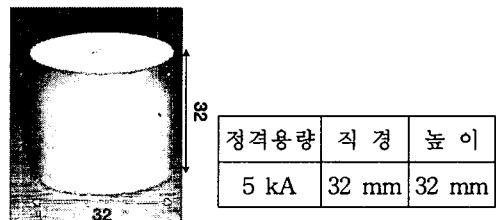


그림 1. 직류전차선로용 산화아연형 소자.

제작한 소자를 이용하여 흡습 및 건전상태의 소자를 이용하여 직류 전차용 Gap Type 피뢰기를 제작한 후 전기적 특성시험을 행하였다. 또한 실험이 끝난 피뢰기 시료는 해체하여 방전 전극의 형

태 및 열화정도를 전자현미경으로 관찰하였다.

흡습시험은 2개의 산화아연 소자에 행하였으며, 증류수에 담근 후 대기압 상태에서 총 307시간 동안 흡습시킨 후, 다시 대기중에서 48시간 자연 건조를 시켰다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 흡습 시험

흡습 시험한 2개 소자에 대한 흡습 전·후의 중량 변화를 표 1에 나타내었다. 흡습에 따른 중량은 흡습 후 2개의 소자 모두 0.01 g 정도의 미세한 증가를 보였다.

또한 흡습에 따른 산화아연 소자의 전압-전류(V-I) 특성 변화를 표 2에 나타내었다. 전류가 100  $\mu\text{A}$  ~ 3 mA 범위에서는 흡습 전·후의 전압차가 200~350 V 정도로 작으나, 미세 전류영역인 1~10  $\mu\text{A}$ 에서는 최대 1600 V로 변화 폭이 컸다 [7].

표 1. 흡습 전·후의 산화아연 소자의 중량변화.

소자 번호	흡습 전	흡습 후
sample 1	140.53 g	140.54 g
sample 2	140.59 g	140.60 g

표 2. 흡습 소자에 대한 V-I 특성 변화.

전류	sample 1		sample 2	
	흡습 전 (kV)	흡습 후 (kV)	흡습 전 (kV)	흡습 후 (kV)
1 $\mu\text{A}$	3.6	2.0	3.25	2.4
10 $\mu\text{A}$	5.25	4.5	5.2	4.8
100 $\mu\text{A}$	5.45	5.1	5.4	5.2
1 mA	5.6	5.4	5.5	5.4
2 mA	5.7	5.5	5.6	5.5
3 mA	5.7	5.5	5.63	5.5

#### 3.2 특성 시험

현재 Gap Type 피뢰기에 대한 특성평가 방법이 국내 규정으로 전무한 상태이므로, 본 논문에서는 표 3에 나타낸 바와 같이 외국 제조사의 자체 시험과정이나 소수의 참고자료를 토대로 특성 평가를 하였다[8].

표 3과 같이 뇌임펄스 대전류 시험과 방형파 임펄스 전류시험을 수행한 전·후의 제한전압, DC

방전개시전압 및 AC 방전개시전압의 변화를 관측하였다.

제한전압시험은 뇌임펄스 대전류 및 방형파 임펄스 전류시험 전·후에 파두치가 각각 3 kA, 5 kA의 방전파형인 8/20  $\mu\text{s}$  파형을 이용하여 실시하였다. 뇌임펄스 대전류 및 방형파 임펄스 전류시험 측정 전·후의 제한전압 값의 변동폭이 10% 이내이어야 한다. 시험 결과 sample 1, 3은 제한전압 변동폭이 10% 미만이지만, sample 2, 4는 10% 이상의 변화를 나타내었으며, 보다 상세한 값을 표 4에 나타내었다.

표 3. 시험 항목 및 순서.

순서	시험 항목	측정 방법
1	DC 방전개시전압	3회, 1분간격
2	AC 방전개시전압 (rms)	5회, 2분간격
3	제한전압	3kA, 8/20 $\mu\text{s}$
		5kA, 8/20 $\mu\text{s}$
4	뇌임펄스 대전류	30kA, 4/10 $\mu\text{s}$
	방형파 임펄스 전류	100A, 1ms
5	AC 방전개시전압 (rms)	5회, 2분간격
6	제한전압	3kA, 8/20 $\mu\text{s}$
		5kA, 8/20 $\mu\text{s}$
7	DC 방전개시전압	3회, 1분간격

표 4. 제한전압 시험 결과.

		제한전압			
		3 kA		5kA	
sample 1	before	9.2 kV	9.3 kV	9.9 kV	9.9 kV
	after	9.4 kV	9.4 kV	10 kV	10 kV
	variation rate	2.2%	1.1%	1.0%	1.0%
sample 2	before	8.7 kV	8.7 kV	8.9 kV	8.8 kV
	after	9.2 kV	9.2 kV	9.8 kV	9.9 kV
	variation rate(%)	5.4%	5.4%	10.11%	10.1%
sample 3	before	9.2 kV	9.3 kV	9.8 kV	9.8 kV
	after	9.3 kV	9.3 kV	9.9 kV	9.9 kV
	variation rate(%)	1.1%	0%	1.0%	1.0%
sample 4	before	8.6 kV	8.5 kV	8.8 kV	8.7 kV
	after	9.3 kV	9.3 kV	9.9 kV	9.9 kV
	variation rate(%)	8.1%	9.4%	12.5%	13.8%

- sample 1, 2 : 흡습 소자 피뢰기
- sample 3, 4 : 건전 소자 피뢰기

DC 방전개시전압 시험은 방형파 임펄스 전류시

험을 기준으로 하여 수행하였으며, 너임펄스 대전류 및 방형과 임펄스 전류시험 측정 전·후의 변동폭이 10% 이내이어야 하며, 시험 결과를 그림 2에 나타내었다. 흡습 및 건전 피뢰기 sample 모두 시험 전보다는 DC 방전개시전압이 다소 변하였지만, 변동폭이 모두 10% 이내로 적합함에 따라, 흡습이 DC 방전개시전압에는 큰 영향을 미치는 않는 것으로 생각된다.

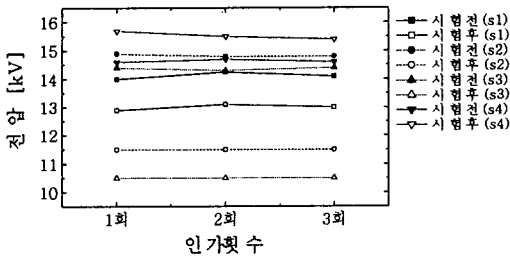


그림 2. DC 방전개시전압 변화.

AC 방전개시전압도 DC 방전개시전압과 동일하게 실시하였으며, 본 논문에서 적용한 규격에 의하면 그 값이 9 kV(rms) 이상이어야 하고, 임펄스 시험 수행 전·후에 측정된 값의 변동폭이 10% 이내여야 한다. 그림 3에 나타난 것처럼 시험 전 측정값은 적용 규격에 모두 적합하였으나, 시험 후 측정된 값은 흡습 소자 피뢰기인 sample 1, 2가 9 kV 이하여 값을 가졌으며, 시험 전·후의 변동폭 또한 10%를 초과하여 규격에 적합하지 않는 것으로 나타났다.

모든 시험 과정을 끝낸 피뢰기를 소자를 해체한 후 각각의 방전 전극을 그림 4와 같이 구분한 뒤 SEM을 이용하여 표면을 관찰하였다[9].

방전 전극은 두께가 1 mm, 외부 직경이 32 mm, 내부 직경이 11 mm인 황동재질로서 가장 일반적인 형태이다.

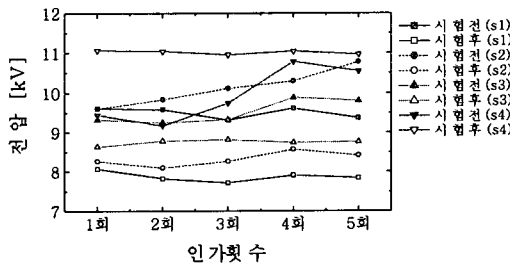


그림 3. AC 방전개시전압 변화.

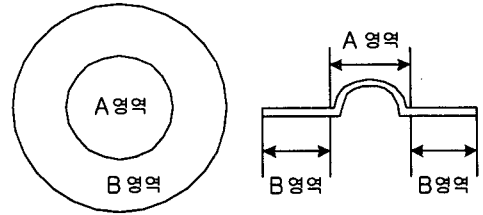


그림 4. 방전 전극의 영역.

사진 1은 임펄스 시험 전의 방전 전극과 해체한 흡습 소자(sample 2)와 건전 소자(sample 3)를 사용한 피뢰기의 방전 전극 표면을 관찰한 SEM 사진이다. 시험 후 표면은 여러번의 방전으로 인해 A, B 영역 모두 초기 상태의 표면((a), (b))보다 상당히 거칠어 진 것을 알 수 있으며, 직접적으로 방전이 일어나는 A영역이 B영역보다 더욱 거칠게 변화하였다. 또한 흡습 소자를 사용한 피뢰기의 방전 전극 (c), (d)가 건전 소자를 사용한 피뢰기의 방전 전극 (e), (f) 보다 각각의 영역에서 더욱 열화 된 것을 볼 수 있다. 따라서 흡습이 방전 전극의 표면 열화에 큰 영향을 미친다는 것으로 알 수 있다.

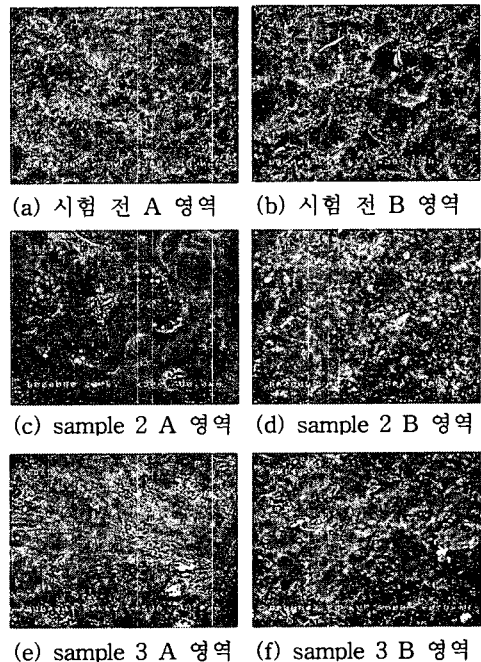


사진 1. 방전 전극의 SEM 사진.

사진 2는 시험 후 방전에 의한 탄화 자국이 있는 흡습 시료의 Gap 전극 사진이다. 탄화 자국에 대한 정량분석을 위하여 해체된 흡습 피뢰기의 (-) 측 Gap 전극에 대해 XRD를 실시하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)에서 보듯이 탄화 흔적이 없는 영역은 주로 Cu, Zn으로 구성되어 있지만, 탄화 흔적이 있는 영역은 (b)에서 처럼 주성분 Cu, Zn 뿐만 아니라, Ta, K, Cl 등의 성분들이 첨가되었다. 이는 방전 현상중에 공기 또는 support 등에서의 성분들이 흡착되어 나타난 것으로 사료된다.

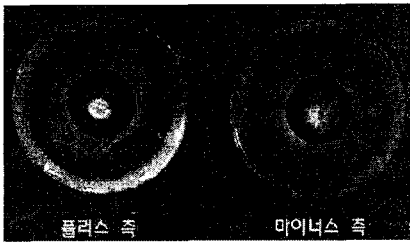


사진 2. 흡습 시료의 Gap 전극 사진.

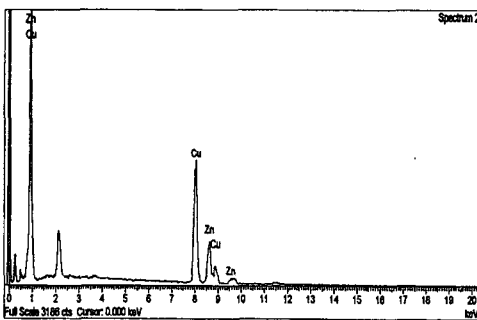
#### 4. 결론

산화아연 소자를 흡습시킨 후 Gap type 피뢰기를 제작하여 이에 따른 전기적 특성 및 Gap 전극 표면 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다.

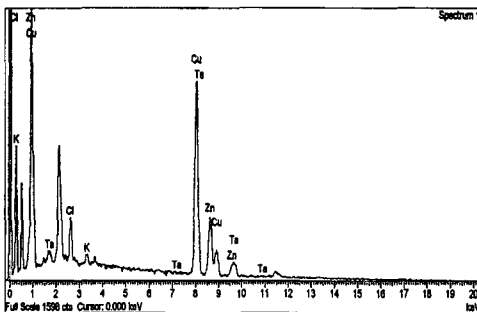
1. 산화아연 소자가 흡습되었을 때 V-I 특성 변화가 나타났으며, 특히 미세 전류영역( $1 \mu A \sim 10 \mu A$ )에서 현저하였다.
2. 산화아연 소자를 이용하여 제작한 Gap type 피뢰기에 대해 제한전압과 DC/AC 방전개시전압을 시험한 결과 DC 방전개시전압보다 AC 방전개시전압에서 특성변화가 뚜렷하였으며, 특히 흡습 소자를 이용한 피뢰기의 변화가 컸다.
3. 시험 후 방전 전극은 진전·흡습 소자 모두 여러번의 Gap 방전에 의해 초기 표면보다 열화되었으며, 흡습 소자의 경우 그 정도가 더욱 심한 것으로 나타났다.
4. Gap 전극 표면에 탄화 흔적 영역의 XRD 분석 결과, 주성분 Cu와 Zn 뿐만 아니라, Ta, K, Cl 등의 여러 금속 성분들이 함유되어 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] 電氣學會, “酸化亞鉛避雷器の特性と評價試験法”, 電氣學會技術報告, 第474号, 1993.
- [2] M. Matsuoka, “Nonohmic Properties of Zinc Oxide Ceramics”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 10, pp. 736-746, 1971.
- [3] L. M. Levinson and H. R. Philipp, “The Physics of Metal Oxide Varistors”, J. App. Phys., Vol. 46, pp. 1332-1341, 1975.
- [4] L. M. Levinson and H. R. Philipp, “Zinc Oxide Varistors-A Review”, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, pp. 639-646, 1986.
- [5] T. K. Gupta, “Application of Zinc Oxide Varistors”, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, pp. 1817-1840, 1990.
- [6] Masahisa Otsubo et al, “Change of Performance Characteristics of Gap Type Arresters for Distribution System by Repetitive Operations”, T. IEEE Japan, Vol. 113-B, No. 4, 1993.
- [7] 電力中央研究所, “酸化亞鉛形避雷器素子の吸水時における諸特性”, 電力中央研究所報告, 1989.
- [8] Otowa, “直流電車線路用オトワGLアレスタ”, 1997.
- [9] 大坪昌久 外 4人, “配電用直列ギャップ付避雷器の繰返し動作による特性變化”, T.IEE Japan, Vol. 113-B, No. 4, 1993



(a) 탄화 흔적이 없는 영역



(b) 탄화 흔적이 있는 영역

그림 5. XRD 분석.