

전력용 피뢰기의 열안정화 특성

한세원, 조한구

한국전기연구원 신소재응용연구그룹

Study on Thermal Stability Characteristics of Surge Arrester for High Power

Han Se-Won, Cho Han-Goo,

Advanced Electrical Materials Group, KERI

Abstract

ZnO surge arresters continuously endure the operating voltages during the operation course, and in the mean time, which need to withstand occasionally transient voltages of lightning and switching overvoltages. Under these voltages, the ZnO varistors inside arresters would have aging phenomena, one important result of aging phenomena is the increasing of resistive currents of varistors, which leads to the increasing of power losses of varistors. And the operating voltage is continuously applied on the ZnO varistors, there is a degradation phenomenon existing in ZnO varistors. When the degradation reaches a certain degree, then the arrester must stop operation. The degradation is related to the applied voltage ratio, the applied voltage ratio is high, the degradation is quickly. When the power loss is higher than the thermal dispersion ability of house of arrester, then the arrester will thermally breakdown. In this study the thermal stability characteristics of surge arresters for high power wil be discussed on the view point of watt losses and thermal breakdown.

Key Words : Thermal Stability, Surge Arrester, ZnO Varistor, I-V Curve, Watt Loss, Thermal Breakdown

1. 서 론

전력용 피뢰기에서 산화 아연 소자의 장기 신뢰성에 영향을 미치는 인자는 1) 상시 전압 스트레스(온도, 분위기, 부분 방전등의 영향), 2) 각종 서지에 의한 열화 또는 서지의 이력에 따른 수명 단축을 들 수 있다. 기밀 불량이나 수분 침투 열화는 피뢰기 고유의 구조적 요인이며 산화 아연 소자는 통상 상용 조건으로 전기적 스트레스를 받으며 동작 책무 이상의 책무가 가해지면 주로 위의 2가지 요인에서 열화에 이른다. 피뢰기가 열화되는 경우 소자의 저항 온도 계수가 부정적이기 때문에 열화에 의한 전류의 증가가 지속되면 소자의 발열량이 증가하여 피뢰기의 방열 능력을 넘어 열 균형이 깨어지면서 피뢰기 열 폭주에 이르게 된다. 본 연구에서는 전력용 피뢰기의 열화에 따른 열안정화 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 ZnO 바리스터 시편은 일반적으로 알려진 제조공정을 이용하여 제조하였다. 미세 조직의 균일화를 실현하기 위해 공정의 분쇄 과정에 미분 공정을 추가하여 보다 균일화된 입자를 얻고자 하였다. 제조된 제품의 방전 전류 용량은 10kA, IEC 선로 방전 3등급에 해당하는 썬지 에너지 흡수 능력을 갖도록 제조되었다. 준비된 시료를 Current-Voltage Source/Measuring Tester (Keithly, Model 237, USA)와 방전전류 내량 시험기 (50kA/220V, USA)를 이용하여 기본적 I-V 특성을 시험하였다. 이때 비선형 계수(nonlinear coefficient, α)는 측정된 전류-전압 곡선에 대한 다음과 같은 관계식을 가지고 계산하였다.

$$\alpha = d(\ln I)/d(\ln V)$$

바리스터 전압은 1 mA/cm²의 전류가 흐를 때의 전압

($V_{1kV/m}$)으로 설정하였다. 누설 전류 밀도(leakage current density)는 바리스터 전압의 80%에 해당하는 전압의 전류치를 기준으로 하여 검토하였다.

써지 에너지 내량 특성 평가를 위한 제한 전압 특성 시험 및 동작 개시 전압 그리고 방전 내량 시험은 최대 100kVA 용량의 대전류 임펄스 발생기를 이용하여 시험하였다. 이때 적용되는 임펄스 파형은 IEC 및 ANSI 규격에서 제시하는 8/20 μ s, 4/10 μ s 및 급준파 시험 범위에서 특성 시험 평가하였다. 그림 1은 써지 임펄스 특성 시험에 사용된 측정 시스템 회로도이다.

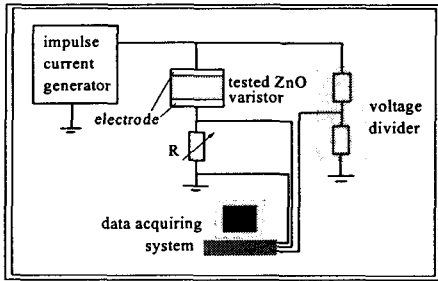


그림 1. 임펄스 특성 시험 시스템 회로도.

3. 결과 및 고찰

산화 아연 피뢰기는 평상시 소자에 사용 전압이 인가되어 있으므로 이 전압 스트레스에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하다. 또한 뇌 써지 등에 의한 에너지를 흡수한 후 연속 사용 전압에서 열폭주가 발생하지 않도록 정상 온도(상온)으로의 안정한 특성 복귀가 요구된다. 특히 실제 필드에서 장기 과전, 각종 써지 스트레스를 고려한 안정성을 확보하기 위해서는 피뢰기 용기의 열방산 능력이 중요한 요인으로 알려져 있어 규격에 이를 반영하고 있다. 산화 아연 소자는 저전류 영역 $I-V$ 특성에서 온도가 상승하면 저항값이 감소하는 부극성 온도 특성을 갖는다. 이때 사용 전압에 대한 누설 전류가 증가하고 이 영향으로 소자의 온도가 상승하게 된다. 이러한 사이클이 반복되면 피뢰기는 열폭주에 이를 수 있다. 피뢰기의 안정성에 관한 문제점 다음의 3가지 요인이다.

- A) 과전 수명 열화 : 상시 사용 전압에 의한 피뢰기 소자 특성 열화에 의한 열폭주.
- B) 써지 열화 : 각종 써지 전압을 흡수한 후 소자 특성 열화에 의한 열폭주.
- C) 열 안정성 : 피뢰기 발열, 방열특성에 의한 것으로

써지전압 등의 열 충격을 받은 후 사용 전압에서의 열폭주

이와 같이 최종적으로 열폭주에 이르게 되는데 A)는 소전류 영역의 $I-V$ 특성과 수명 특성에 의존하는 열화, B)는 소자의 써지 열화에 의한 소전류 영역의 $I-V$ 특성의 변화에 의존하는 열화, C)는 피뢰기의 발열, 방열 특성과 각종 충격에 의존하여 열 안정성에 영향을 미친다.

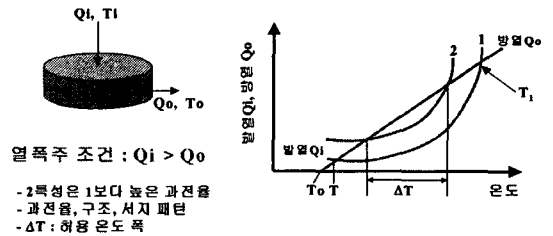


그림 2. 피뢰기 열 밸런스 특성.

그림 2와 같이 정상 상태의 피뢰기는 소자에서 발생하는 열량(Q_i)이 발산되는 열량(Q_o)과 열적 평형 상태를 이룬다. 이 경우 소자 온도 T 는 주변 온도 T_0 보다 높고 온도차($T-T_0$)에 대응하는 열량 Q_o 가 방산된다. 그러나 과전, 뇌 또는 개폐 써지 등의 원인으로 인해 소자 온도 T 가 소정의 온도(T_1)를 초과하면 $Q_i > Q_o$ 의 관계가 되면 열이 소자 내부에 축적되어 열폭주에 이른다. 한편 피뢰기의 열안정 특성은 피뢰기의 과전율, 구조, 열 인가 방식 등과 밀접한 관계를 갖는다. 발열 곡선 2는 곡선 1에 비해 높은 과전율에서 사용되는 경우의 특성을 나타낸 것으로 열 인가에 의한 온도 상승(ΔT)의 허용 폭이 좁아진다. 이러한 신뢰성을 시험하는 방법으로 IEC 60099-4와 ANSI C62.11에서는 대전류 임펄스 동작 책무시험 및 개폐 써지 동작책무시험으로 규정하고 있으며 JEC 217의 경우 안정성평가시험 항목을 따로 규정하여 시험한다. 이때 차이점은 동일한 소자를 가지고 가속 과전 시험을 포함한 써지 열화시험을 일련으로 이어 실시하는 것이다.

각 규격의 판정기준으로는 1)물리적 상흔, 2) 시험 전후의 제한전압 변화 허용치, 3) 열적 안정성 검증의 방법을 적용한다. 열적 안정성 검증은 그림 3에서의 곡선 1에 해당하는 경우 안정한 제품으로 판정한다. 이때 곡선 4, 5의 경우는 연속 사용 전압에서 누설전류가 증가하여 열폭주에 이르기 때문에 불합격에 해당한다.

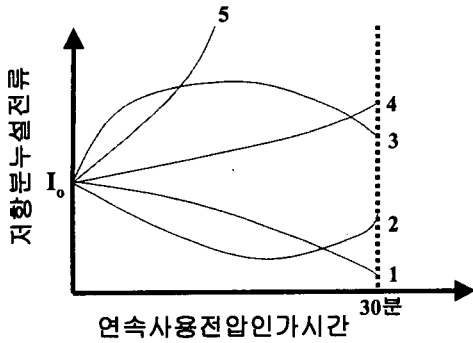


그림 3. 피뢰기 열 안정성 특성 곡선.

그림 4는 준비된 피뢰기 소자에 대하여 과전율을 달리하면서 전력 손실에 미치는 온도 특성(P-T곡선)을 측정된 결과이다. 온도가 증가할 수록 손실도 증가하는데 이것은 $P=a \cdot \exp(bT)$ 의 전형적인 온도-손실 특성 관계를 보여준다. 여기서 a, b는 과전율 q와 관련된 상수이다.

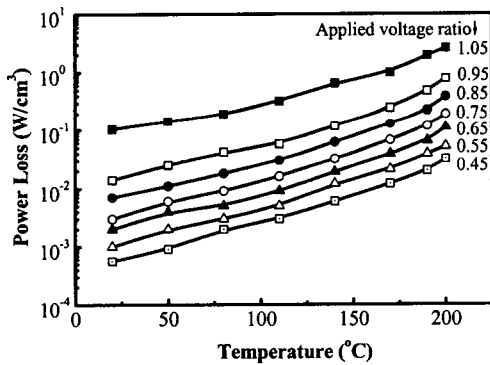


그림 4. P-T 특성 곡선.

한편 그림 5와 같이 과전율이 증가하면 손실도 증가한다. 여기서 측정된 P-q 특성 곡선은 과전율이 약 0.85를 전환점으로 하여 전력 손실의 증가가 가속화됨을 보여준다. 이것은 과전율 설계를 0.85이하로 하는 것이 열안정성을 확보할 수 있음을 잘 나타낸다.

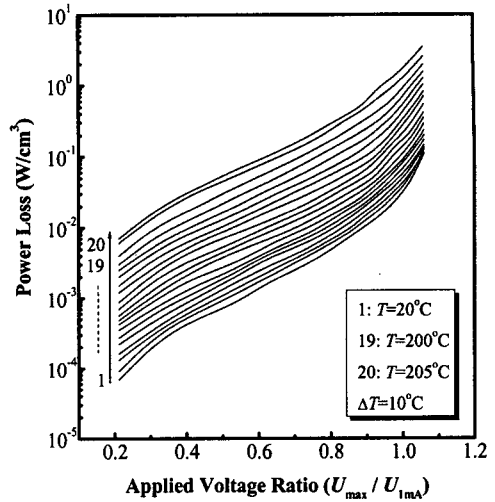


그림 5. P-q 특성 곡선.

피뢰기 소자는 상시 사용 전압이 인가되기 때문에 장시간 사용하는 경우 이 전압에 의한 소자 특성의 변화가 발생할 수 있다. 가속 수명 시험은 이러한 특성 변화를 검토하는 것이 목적으로 실시한다. 일반적인 피뢰기 소자의 과전 열화 특성 경시 특성은 단조롭게 증가하지 않고 감소 후 증가하는 것이 일반적이다. 그림 6은 상시 과전율에 따른 열폭주 수명을 실험한 결과이다. 과전율이 높아 지면 빠르게 열폭주에 이르게 됨을 알 수 있다.

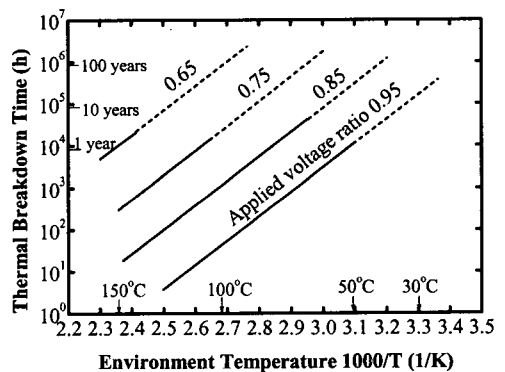


그림 6. 과전율에 따른 열폭주 수명 특성.

상시 과전으로 발생하는 온도 상승은 그림 7과 같이 I-V 특성 곡선의 저전류 영역에서 저항분 전류에 의한 열화 현상이 발생한다. 그림 8은 ZnO 시편에서

나타나는 저전류 영역에서의 열화 특성이다. 온도가 높아지면 동작 전압을 유지하기 위한 전류가 커져 손실에 의한 열화가 가속화 됨을 알 수 있다.

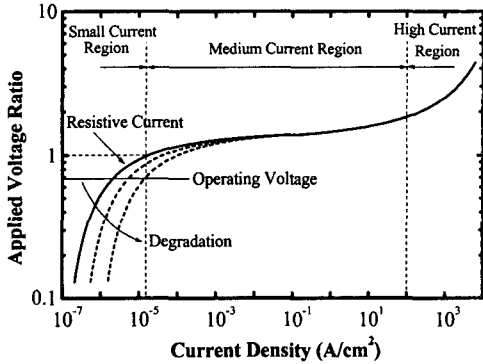


그림 7. 전형적인 I-V 열화 특성 곡선.

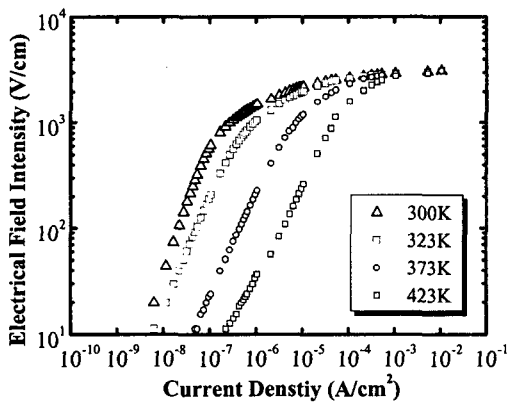


그림 8. ZnO 시편의 저전류 영역 I-V 열화 특성.

4. 결론

본 연구에서는 전력용 피뢰기의 열화에 따른 열안정화 특성을 검토하였다. 산화 아연 피뢰기는 정상 시 소자에 사용 전압이 인가되어 있으므로 이 전압 스트레스에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하다. 또한 뇌 썬지 등에 의한 에너지를 흡수한 후 연속 사용 전압에서 열폭주가 발생하지 않도록 정상 온도(상온)으로의 안정한 특성 복귀가 요구된다. 과전율이 약 0.85를 전환점으로 하여 전력 손실의 증가가 가속화됨을 보여준다. 이것은 과전율 설계를 0.85이하로 하는 것이 열안정성을 확보할 수 있는 것을 나타냈다. 상시 과전율에 따른 열폭주 수명을 실험한 결과는, 과전율이 높아 지면 빠르게 열폭주에 이르

게 됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] IEC 60099-4, "Surge Arresters, Part 4 : Metal Oxide Surge Arresters without Gaps for AC System", 1991.
- [2] ANSI C62.11, "IEEE Standard for Metal Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits", 1987
- [3] KS C 4609, "산화 아연 캡리스 피뢰기", 1987
- [4] JEC-217, "산화 아연형 피뢰기", 1984.
- [5] M. Darveniza, D.R. Mercer, "Laboratory Studies of the Effects of Multi-pulse Lightning Currents on Distribution Surge Arrester", IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 8, pp. 1035-1044, 1998.
- [6] CAN/CSA C233.1-87, "Gapless Metal Oxide Surge Arresters for Alternating Current System", 1987.
- [7] M. V. Lat and J. Kortschinski, "Distribution Arrester Research", IEEE PAS, Vol.100, No.7, 1981.
- [8] S. W. Han and H. B. Kang, "Effects of Al₂O₃ as dopants on the complex impedance and J-E behavior of ZnO-Bi₂O₃ varistors", KIEE, 46(10) pp1502-08, 1997.
- [9] J. L. He, S. W. Han, H. G. Cho and H. B. Kang, "Impulse Destruction Mechanism of ZnO Varistors, " Ungyong Mulli, 11(4), 47-52, 1998.