

## ZnO 피뢰기의 Pressure relief 기술 분석

김인성\*, 한세원\*, 조한구\*, 윤형준\*\*, 김홍순\*\*, 박승운\*\*\*  
한국전기연구소\*, (주)원다\*\*, 제용산업(주)\*\*\*

### The Analysis of Pressure Relief Technology for ZnO Arrester

I. S. Kim, S. W. Han, H. G. Cho, H. Y. Yoo, H. S. Kim, S. Y. Park  
KERI, WONDER CO., LTD, CHERYONG Industrial CO., LTD

**Abstract** - The chief advantage of polymer arrester, from a handling viewpoint, design of pressure relief, anti-contamination, electrical failurer was reduced by polymer arrester.

The life expectancy of polymer arrester depend on a number of design factor. This paper introduced and study : new material housing (silicone composite, EPDM, EPA ...), cap type sealing structure, knuckle type electrode, stress relief housing, supporting insulator and sub parts, of polymer arrester.

런 고장 전류에 대해 피해를 최소화하기 위하여 폭발에 의한 파편의 비산 형태와 거리를 시험 조건으로 사전에 제한 하지만 고분자 피뢰기의 경우 초기 설계시 방압 핀홀(pin hole)과 방압 개소를 두어 제어를 함으로 사전에 위험 요소를 해결한다. 그림 1은 고장전류에 대한 방압시험을 나타내고 있는 것으로 중간에 설치된 시험용 피뢰기에서 일정거리를 두고 시험편의 형태와 비산거리를 제한하고 있다.

## 1. 서 론

전기기기 및 송·배전계통에서 자기 애관에 비직선성이 우수한 산화아연(ZnO) 소자를 직렬로 적층한 무공극 방식(gapless type)의 피뢰기가 사용되고 있다. 기존의 자기 애관을 사용한 피뢰기의 하우징(housing)과 전극부분은 열팽창계수 차이를 가지고 있고 반복적인 온도 변화와 기계적 피로에 의해서 계면 균열과 표면 방편이 발생한다. 그러므로 이를 방지하기 위해서 애관 상, 하부 전극 사이의 기밀을 유지하기 위한 고무 가스켓을 실링용으로 사용하고있지만 압축응력과 열에 의한 변화로 탄성을 저하를 가져와 기밀성능을 떨어지게 함으로 흡습 열화가 발생하여 수분과 습기가 유입되고 시간이 지남에 따라 응축되어 피뢰기 내부에서 섬락이나 절연파괴가 일어난다.

낙뢰에 의한 아크 방전으로 폭발이 유도되어 자기 하우징이 파괴되어 파편이 비산하면 주변에물적 인적 피해를 일으킬 수 있다. 그러나 폴리머하우징을 적용한 피뢰기는 내부 섬락 및 절연파괴시 방폭 성능을 향상시킬 수 있고 외부 형상의 설계에 있어서 누설거리의 증가나 사고의 주 원인인 흡습에 대한 완벽한 기밀구조와 내오손 성능을 향상시킬 수 있는 등의 여러가지 장점을 가지고 있다. 폴리머 피뢰기의 설계 기술은 절연설계와 피뢰기의 기능을 확보하기 위한 구조설계, 고장전류에 대한 방폭설계, 계면/접착 설계로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 ZnO 폴리머 피뢰기의 폭발 압력완화 (pressure relief) 기술 분석에서는 설계 요소중 기밀 성능을 위한 전극과 고장전류와 밀접한 방압설계와 특성에 대하여 고찰하였다.

## 2. 압력완화 특성

### 2.1. 내부 절연관의 압력완화 설계

피뢰기가 갖는 작동 특성으로 볼 때 뇌나 이상 전압과 같은 서어지(surge)가 갑자기 회로로 유입되는 것을 순간적으로 흡수 하지만 정격 이상의 고장전류일 경우 급격한 에너지의 변화에 대해 피뢰기는 폭발하게 된다. 이

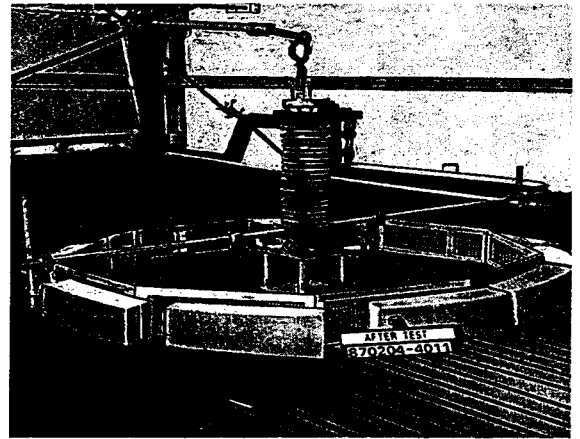


그림 1. Pressure relief 실험 장면

### 2.2 압력완화를 위한 구조

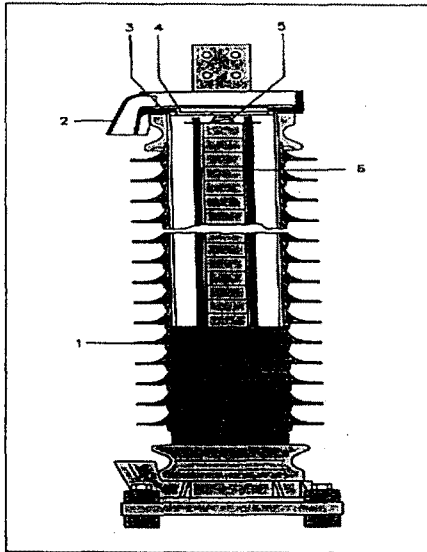
고장 전류와 뇌 썩지를 흡수한 피뢰기는 내부 ZnO 소자에서 전기에너지는 열에너지로 바뀌면서 급격한 압력의 변화를 일으키게 되고, 이러한 압력 변화는 용기를 팽창 시키지만 ZnO 소자를 수납하고 있는 내부 용기는 일정한 공간으로 밀봉되어 있기 때문에 내부압력에 밀도는 증가하여 방출하려는 에너지로 나타나는 것이다. 이 방출 에너지는 자기 용기를 파손시키고 압력이 떨어지는 형태로 안정화 되지만 파손된 자기 용기의 파편의 형태로 비산한다. 이런 에너지 변화로 생기는 폭발을 미연에 방지하기 위하여 압력 완화용 출구가 열리면서 팽창된 가스는 외부로 방출되고 내부압력이 낮아지면서 다시 Vent는 닫히는 압력완화 시스템이 같이 설계된다. 다음 그림 2는 원통형 절연물(hollow insulator) post station 피뢰기 단면을 나타낸 것이며, 그림 3은 압력완화 시스템의 또다른 형태로 내부 하우징에 취약한 부위를 두어 폭발을 취약 부위로 유도하여 파편 비산 및 피뢰기 손상을 극한하는 압력완화형 폴리머피뢰기로서 취약 부위가 상·하 수직 방향으로 120°의 각도를 두면서 피뢰기 내부하우징의 벽면에 설계되어있는 것을 나타내고 있다. 그림의 좌측은 수직의 구성된 단면이고 오른쪽은 방압개소의 단면이다.

### 3. 기밀구조

#### 3.1. 너클(knuckle) 구조의 전극

폴리머 피뢰기의 전극 기밀구조를 위한 너클(knuckle) 형상 설계와 FRP 절연관을 접합시킬 때 기계적으로 충분한 강도를 유지하도록 하는 것은 1차적으로 외부와의 기밀에 우선이 된다. 필라멘트 와인딩(filament winding)시 상·하부 전극의 너클 각도는 와인딩 패턴을 결정하고 방압 및 열팽창율에 큰 영향을 미치므로 충분히 고려할 필요가 있다. 이와 같은 특성은 피뢰기의 수명과 폭발에 따른 위험 요소를 결정하는 중요한 사항이다. 특히 전극의 너클 형상은 기밀 특성을 향상시키는 방향으로 설계되어야 하며, 너클 구조의 각도는 와인딩 작업성 및 기밀구조를 유지하기 위해 45°가 적당한 것으로 알려져 있다. 이것은 와인딩의 작업공정과 너링(knurling)문제점을 해결하는데 영향을 미칠 뿐만 아니라 와인딩시 전극 끝의 테두리 와인딩(hoop winding) 부분과 면적 또한 너링 상태로 될 가능성을 제거하는데 목적이 있다. 상·하부 전극은 와인딩(winding) 공정에서 전극 부분의 흡습 및 기밀 구조를 유지하기 위하여 상·하부전극의 외부 표면에 너링을 부여하여 와인딩에 의한 접착을 용이하게 한다. 그림 4는 너클 형상의 전극 구조를 나타낸 것이다. 합침 수지는 와인딩용 수지의 경화온도와 발열온도의 내열성과 소자의 적층에 대한 내부 섬락의 절연성을 고려한다. 보강재로 사용한 유리섬유(glass mat)는 기계적 특성과 절연성이 고려된 E-glass fiber(유리사)를 사용하는 것이 보편적이다.

예폭시 수지를 함침시킨 프리프레그(prepreg)의 두께는 0.1 mm에서 3~4 플라이(ply)로 겹치게 0.5~0.6 mm의 절연관(cylinder)을 제조한다. 프리프레그의 유리섬유 함유량(glass content)은 일반적으로 50% 이상을 권하고 있다. 열팽창 계수는 와인딩되는 주위의 디스크, 셸링, 전극 등의 사용한 재료의 열팽창계수와



1. NCI Hollow insulstor
2. 방압개소(vent)
3. 실링 부위
4. 압력완화 개소
5. ZnO Varister

그림 2. Hollow형 폴리머피뢰기 단면

비슷하게 맞추기 위하여 수지의 함량과 무기물로 첨가된 유리섬유 강화제의 량과 선택 소재의 특성을 가지고 계수를 조절할 수 있다. 유리섬유와 수지의 비를 잘못 조절하면 작업성이 떨어질뿐만 아니라 기포가 수지 내부에서 방출되지 못하고 유리섬유와 수지속에서 같이 경화되어

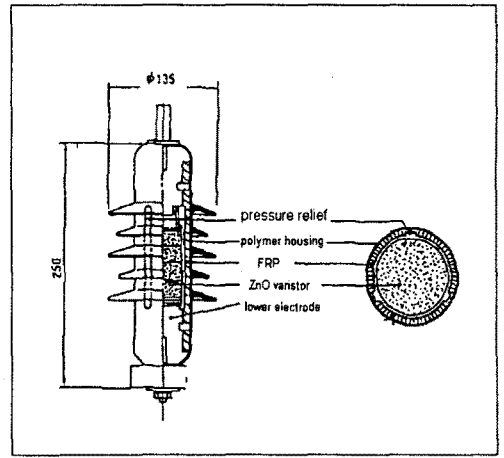


그림 3. Pressure relief형 폴리머피뢰기

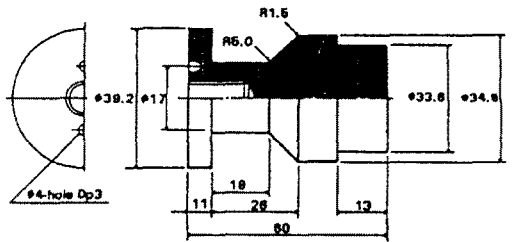


그림 4. 너클(knuckle)형 전극

표 1. 압력완화 형태 및 장·단점

종류 특징	폴리머 피뢰기	자기형 피뢰기
방압	- 내부 하우징에 원이나 타원의 개소 설치	- 상부에 디바이스(device)설치
압력완화	- 방압개소로 작동	- 내부 하우징에 압력완화 공간 마련
고장전류 작동	- 스틸 및 원으로 파괴 시작	- 디바이스 vent 로 압력 토출
중 량	- 기존 자기 제품에 비해 가볍다	- 무겁다 (작업 어려움)
고장시 안정성	- 이상전압이나 낙뢰에 의해 고장시 폭발에 의한 비산 가능성 없음	- 폭발에 의한 파편 비산 가능성으로 주변 손상 및 위험 요소를 내포
성 능	- 완벽한 밀봉 구조로 수분 흡습 가능성 회박	- 수분 흡습 가능성 내포

서 방출되지 못하고 유리섬과 수지속에서 같이 경화되어 기공률(void content)이 증가하여 절연관 표면 기공이나 작은 미세 구멍(pin hole)이 발생할 수 있기 때문에 피뢰기의 구조, 와인딩 작업, 구성 부품 등에 따라 신중히 고려되어야 한다. 그림 5은 위와 같은 공정과 설계를 거쳐 본 연구실에서 개발한 시제품의 형태이며 압력완화에 대한 특별한 기능은 부여하지 않았다.

#### 4. 자기형과 폴리머 피뢰기의 비교

그동안 주로 사용해온 자기형 피뢰기의 경우는 대부분의 옥외 절연물이 자기로 이루어졌다는 점을 감안해서 절연성에 근거를 하였다. 그러나 요즘은 일부 절연물이 옥외용으로 많이 사용됨에 따라 피뢰기까지 확대되고 있는 실정이다.

압력완화의 구조적인 측면에서 자기형인 경우 내부에서 증가된 폭발압력은 그림 2의 2번 의해 일정압력 이상되면 vent가 열리면서 토출되지만 폴리머 피뢰기의 경우는 일부 원통형(hollow)하우징을 사용한 지지(station)형인 경우를 제외하고는 내부 하우징 벽면을 파괴하고 가스는 방출된다. 자기형에서는 설계된 장치(device)가 피뢰기의 상부에 설치되어 작동하는 것이고 폴리머 피뢰기에서는 피뢰기 자체의 하우징이 파괴된다. 이때 벽면에는 초기 설계시 원형이나 타원으로 스텔이 주어지고 다른 부위에 비해서 두께가 얇은 형태로 취약 부위를 형성한다. 표 1에 압력완화와 하우징의 측면에서 각각의 장단점을 비교하여 설명하였다.

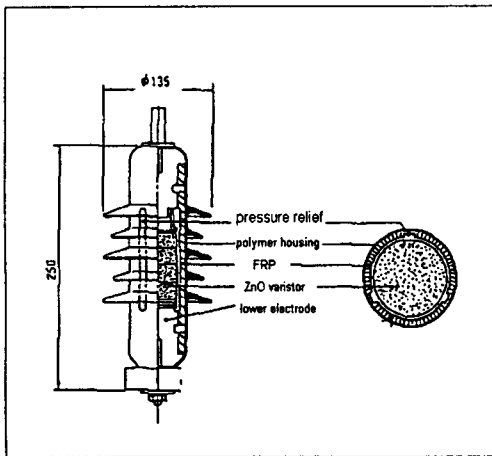


그림 5. Pressure relief형 폴리머피뢰기

#### 4. 결 론

옥외용 신소재의 개발로 인하여 하우징이 자기형에서 폴리머로 개발되면서 폴리머 피뢰기가 등장되었다. 자기애관형 피뢰기는 절연관의 끝부분과 전극부분이 차이가 큰 열팽창계수로 인하여 반복적인 냉열과 아크열에 의한 기계적 스트레스 받아 균열이 발생한다고 보고됨에 따라 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 것이 이중재질의 계면 실링으로 나타나고 있다.

이상전압과 낙뢰에 의한 파워 아크(power arc) 형성시 폭발에 의한 파편이 비산하면 주변 전력기기의 손상 및 인명피해를 일으킬 수 있는 요소를 갖는다. 그러나, 폴리머 피뢰기는 내용으로부터 소자의 연면방전을 제거할 수 있고, 소형, 경량화뿐만 아니라 낙뢰에 대해 파워 아크형성시 기존 자기소재에서 발생하는 폭발에 의한 파편 비산 가능성으로부터 주변 전력기기 및 인적사고의

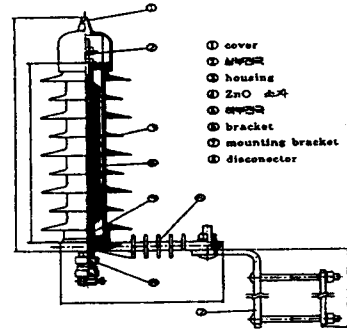


그림 5. 폴리머 피뢰기의 시제품

위험 요소를 제거할 수 있는 것으로 알려지고 있다. 초기 설계에 있어도 압력 완화에 대한 방압 개소와 방압 요소를 쉽게 설정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 미루어 요즘은 배전용뿐만 아니라 송전용, 기타 여러 분야의 전력기기용으로 많은 관심을 가지고 개발중이다.

#### [참고문헌]

- [1] Masataka Kimata, Kimiharu Watabiki, Takahi Sasaki, Hiroshi Oka, "Gapless Surge Arresters for Rolling Stock", TOSIBA Review, 39(8), 1984.
- [2] Albert Mayer, "Overvoltage protection for AC traction power supplies and vehicles", ABB Review 3, 1994.
- [3] 日本電氣學會技術報告, "酸化亞鉛素子の 新適用技術動向", 579호, 1996(2).
- [4] Hirokazu Teraszka, Koichi Arai, Soji Kojima, Mizuho Yamashita, Takashi Sasaki, Takatugu Yamaya, "Gapless Surge Arresters for Shinkansen Electric Coaches of Japanese National Railways", TOSIBA Review, 34(2), 1979.
- [5] R. S. Gorur, "Electrical Performance of Polymer Housed Zinc Oxide Arrester unnder Contaminated Conditions", IEEE PWRD, 1990.
- [6] Stanislaw M. Gubanski, "Wettability of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators", IEEE PWRD, July, 1990.
- [7] B. F. Hampton "Flashover Mechanism of Pollute Insulation", Proc. IEE, Vol. 111, No. 5, May, p. 985-998, 1964.
- [8] Kazuyuki Kusumoto, Hirokazu Teraszka, Minoru Murano, Munetsugu Kojima, "Gapless Surge Arresters for Electric Power Systems", TOSIBA Review,