

배전선로용 폴리머 피뢰기의 모듈 설계/제조 및 성능

조한구*, 윤한수*, 장태봉**, 최인혁***

한국전기연구원*, 삼흥중전기공업(주)**, 전력연구원***

Relief Performance of Fault Current and Design/Manufacturing of Polymer Arresters for Power Distribution

Han-Goo Cho*, Han-Su Yun*, Tae-Bong Jang**, In-Hyuk Chie***

KERI*, SAMHYUNG CO. LTD.**, KEPRI***

Abstract

The main objective of this paper is to module design and pressure relief test a new type of polymer gapless surge arrester for power distribution line. Metal oxide surge arrester for most electric power system applications, power distribution line and electric train are now being used extensively to protect overvoltage due to lightning. Surge arresters with porcelain housing must not have explosive breakage of the housing to minimize damage to other equipment when subjected to internal high short circuit current.

When breakdown of gapless elements in a surge arrester occurs due to flashover, fault short current flows through the arrester and internal pressure of the arrester rises. The pressure rise can usually be limited by fitting a pressure relief diaphragm and transferring the arc from the inside to the outside of the housing. However, there is possibility of porcelain fragmentation caused by the thermal shock, pressure rise, etc. Non-fragmenting of the housing is the most desired way to prevent damage to other equipment. The pressure change which is occurred by flashover become discharge energy. This discharge energy raises to damage arrester housing and arrester housing is dispersed as small fragment. Therefore, the pressure relief design is requested to obstruct housing dispersion.

Key Words : Arrester, Polymeric, Pressure relief, Short current, Filament winding, Prepreg

1. 서론

국내에서 연구, 개발, 적용되고 있는 신소재 폴리머 절연물은 크게 애자, 피뢰기, 부상 등이며, 특히, 피뢰기의 경우 하우징 재질이 기존의 자기에서 폴리머로 교체되고 있다. 그러나 기존의 자기 애관형 피뢰기는 구조적으로 습기 침투에 의해 산화아연소자가 열화가 일어날 우려뿐만 아니라 고장전류에 의해 내부압력이 상승한 경우 파괴되어 폭발 비산할 수 있는 요소를 가지고 있다. 즉, 자기 피뢰기는 상, 하부 캡에 고무 가스켓링을 삽입하여 기계적 압착에 의해 하

우징과 캡을 부착하는 공정으로 제조하고 있다. 또한, 이와 같은 피뢰기는 자기의 물리적인 특성과 기계적인 압착의 부적절한 상태와 기밀을 위해 사용하는 고무 가스켓 링의 탄성력 저하로 인하여 수분 흡습 가능성을 의한 기밀 불량이나 산화아연소자의 열화를 가져와 사고로 이어지는 문제점이 항상 지적되어 왔다[1].

국내 배전선로의 사고 통계를 분석해 보면 개폐기 및 배전기기류들 중에서 피뢰기가 원인이 된 사고율은 표 1과 같은 비중을 차지하고 있다. 특히 피뢰기의 사고 원인 통계 중에서 외부적 접촉이나 자연의 영향으로 인한 사고보다 자

연열화로 인한 사고가 전체 피뢰기 사고의 50%가 넘는다는 것을 알 수 있다.

뇌써지 및 고장전류(fault current)에 의해 내부 압력이 상승한 경우에도 국부적으로 파괴되어 피뢰기의 ZnO 소자 및 각종 부품들이 폭발 비산되지 않도록 모듈(module)을 설계, 제작하여야 한다.

표 1. 배전선로의 주요사고 원인 통계
(단위 : 건)

구분	자연 열화	외물 접촉	자연 현상	제작 불량	일반인 과실	기타	합계
피뢰기	42	17	19	0	0	5	83
I/S	6	26	2	0	0	0	34
COS	9	14	4	1	1	1	30
G/S	7	8	6	11	0	1	33
R/C	5	4	4	1	5	0	19
기타	62	49	37	3	0	8	159
합계	131	118	72	16	6	15	358
점유율 (%)	36.6	33.0	20.1	4.5	1.6	4.2	100

따라서, 본 연구에서는 고장전류 유입시의 아크 열과 기계적인 힘을 유리섬유를 다이아몬드 패턴으로의 필라멘트 와인딩 공법과 다이아몬드(능직) 형태로 직조된 부직포에 에폭시 수지를 미리 함침시킨 프리프레그(prepreg) 공법으로 폭발 시에 비산이 없는 폴리머 피뢰기 모듈을 설계, 제작하여 성능을 확인하였다.

2. 실험

2.1 설계

폴리머 피뢰기는 고장전류 및 낙뢰에 의한 아크 형성시에 폭발에 의한 파편의 비산 가능성을 배제시켜 주변 전력기기 및 인적사고의 위험요소를 제거할 수 있다. 그리고 소형, 경량화와 더불어 설치 작업이 편리하고 취급이 용이하다. 또한 피뢰기의 신뢰성면에서 중요한 흡습에 대한 기밀구조 설계가 가능하고, 하우징의 형상 설계가 용이하기 때문에 오손성능을 향상시킬 수 있다.

뇌 및 고장전류에 의하여 파워 아크 형성할

경우 써지를 흡수한 피뢰기는 내부에서 전기에너지가 열에너지로 바뀌면서 급격한 압력의 변화를 일으키게 되고, 압력의 변화는 피뢰기 내부를 팽창시키게 된다. 즉, 내부 용기는 일정한 공간으로 기밀을 유지하기 위하여 밀봉되어 있기 때문에 내부압력의 밀도는 증가하여 방출하려는 에너지로 나타난다. 방출 에너지는 피뢰기의 하우징을 파손시키고 압력이 떨어지는 형태로 안정화되지만 파손된 하우징은 파편의 형태로 비산하게 된다. 그림 1은 이상전압 및 뇌써지에 의하여 압력완화 개소가 동작하는 과정을 나타내었다.

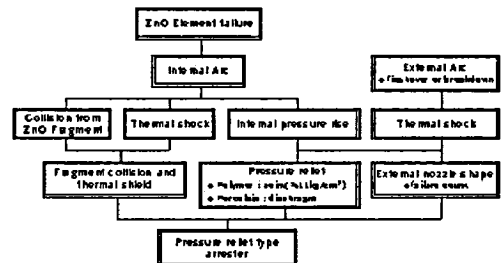


그림 1. 압력완화(pressure relief) 개소의 동작과정

따라서, 이와 같이 압력을 해소하고 폭발이 일어날 때 파편이 비산하지 않는 구조의 모듈을 제조하기 위해 여러 가지 형상의 피뢰기 모듈 패턴을 설계하여 패턴별 형상을 구현하였다. 그림 2 (a)는 필라멘트 와인딩 패턴에 의한 피뢰기 모듈이며, 그림 2 (b)는 프리프레그패턴에 의한 피뢰기 모듈 형상을 나타내었다. 그림 3은 다이아몬드 형태로된 고강도 보강섬유와 수지가 함침된 프리프레그(prepreg) 형태를 나타내었다.

2.1 제조

폴리머 피뢰기의 상부전극은 외부로부터 써지가 유도되며 하부전극은 접지와 피뢰기를 지지하는 기능을 한다. 모듈의 부품으로 사용되는 변위 완화용 corn disk는 써지에 의한 온도 상승에 의한 열적인 변화를 완화시켜 전기적으로 항상 낮은 접촉저항을 갖도록 함으로써 써지에 대한 피뢰기의 기능을 최적으로 유지시킨다.

프리프레그에 의한 피뢰기 모듈은 알루미늄 너클, 소자, 스프링 등을 직선 형태로 유지시킨 다음, 수지나 다른 이물질이 스며들지 않도록

하기 위하여 폴리프로필렌 필름을 랩핑 전용기를 이용하여 감는다. 그 다음, 양 끝단에 후크 처리를 위해 프리프레그(prepreg) 테이프를 적당하게 감는다. 여기서 후크(hook) 처리의 의미는 제품 완성 시에 있어서 양 끝단의 인장강도를 높여주기 위한 것이다.



(a) 필라멘트 와인딩 모드



(b) 프리프레그 모드

그림 2. 폴리머 피뢰기 모듈 패턴

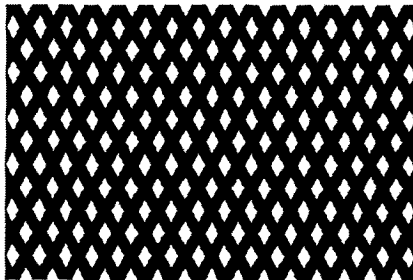


그림 3. 다이아몬드(능직) 형태의 프리프레그

필라멘트 와인딩에 의한 피뢰기 모듈은 너클 전극과 산화아연소자, 그리고 부품 등으로 이루어진다. 이때 너클의 끝 부분은 기계적으로 견고한 이중 접합을 이루게 되며 피뢰기에 취약한 부위로 자주 나타나는 흡습에 대해서도 완벽한 기밀구조를 갖게 된다.

에폭시 수지가 밀으로 흘러내려 균일한 수지의 함량을 얻을 수 없기 때문에 와인딩 후 필름으로 랩핑(wrapping)하여 경화하여 일반적인 회전식 경화과정을 탈피하였다. 이는 대량의 모듈을 한 공정으로 경화할 수 있으므로 양산화가 가능하다. 경화는 120℃에서 2시간 유지시킨 후 30분 걸쳐 150℃로 승온시켜 2시간 경화하였다. 표 2는 에폭시 수지의 조건과 피뢰기 모듈의 제조조건을, 그림 4는 필라멘트 와인딩에 의한 피

뢰기 모듈의 제조공정도를 나타내었다.

그림 5는 필라멘트 와인딩과 프리프레그에 의한 피뢰기 모듈의 패턴 형태와 모듈의 상태를 나타내었다. 패턴에 따른 Fiber Band & Cell Size는 4*4으로 설정하였다.

표 2. 수지와 모듈의 제조조건

Glass Fiber	E-Glass(1150 Tex) Owens
Resin/Agent	Epoxy(YD-115/KBH-1089)
R/C Ratio	30% 이내
Winding Pattern Angle	45도
Pattern Layer	6 layer(0.12 * 2 * 6) = 1.4 t
Fiber Band & Cell Size	4 * 4 mm

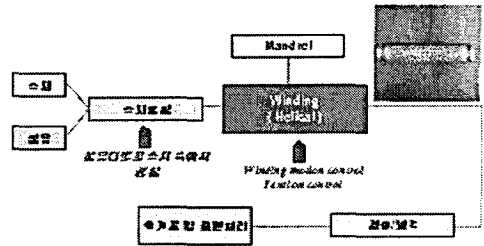
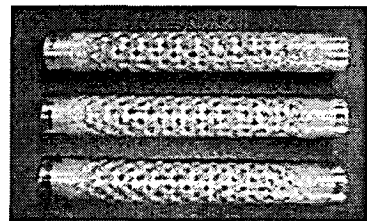


그림 4. 필라멘트 와인딩에 의한 모듈 제조공정도



(a) 필라멘트 와인딩에 의한 모듈



(b) 프리프레그에 의한 모듈

그림 5. 배전용 폴리머 피뢰기의 모듈

3. 성능 평가

피뢰기는 고장전류 및 이상 과전압에 의한 피뢰기의 내부 변화는 열과 압력으로 나타나며 그로 인해 파괴를 가져오게 된다. 압력과 열에 의한 폴리머 피뢰기의 파괴양상을 알기 위해 고장전류내력시험을 실시하였다. 시료는 단로기가 부착된 구조로 산화아연소자에 가장 가까운 위치에 fuse wire를 설치하여 산화아연소자 표면에서 fuse wire의 용단이 발생하도록 산화아연소자의 표면에 fuse wire를 밀착시켜 모듈을 제조하였다.

피뢰기에 흐르는 전류는 시험전압의 파고치 근처에서 인가되어야 하며, 시험전류의 최소 지속시간은 0.1초 이내이며, 고장전류의 크기 및 지속시간은 10kA, 10cycle로 하였다.

시험 시료의 부착은 그림 6과 같이 지름이 1.8m, 높이가 450mm인 원형의 울타리 위 중앙에 설치하며 울타리 상부로부터 최소 1.2m위에 설치하여야 한다. 표 3은 폴리머 피뢰기의 고장전류내력시험의 시험전압 및 전류를 나타내었다.

그림 7에 시험전의 시료와 그림 8(a), (b)는 각각 시험 후 시료의 파괴 상태를 나타내었다. 필라멘트 와인딩과 프리프레그에 따른 피뢰기 모듈의 고장전류내력시험의 파괴 양상은 서로 상이함을 알 수 있었으며, 이는 Fiber Band & Cell Size의 차이라고 생각된다.

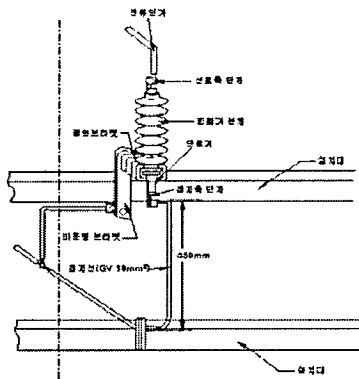


그림 6. 고장전류내력 시험 설치도

시료	시험전압 (60Hz, kV)	시험전류 (kA)	지속시간 (Cycles)
1	16.0	10.2	10.6
2	16.0	10.2	10.6

이와 같은 규정에 의하면 폭발에 의한 산화아연소자 및 실리콘 고무 재질의 하우징 파편은 울타리안에 존재하여야 한다. 이와 같은 결과를 종합하여 표 4에 나타내었다.

본 연구에서 설계 및 제작한 시료에서는 비산이 없는 상태로 부러짐이 없이 폭발이 일어났으며, 단지 하우징이 일부가 미소하게 파열되어 찢어짐만이 존재하고 있는 아주 양호한 상태의 방압 성능을 가지고 있었다.

기계적 강도는 시험조건은 2mm/min의 속도로 하중을 인가하여 파단이 일어날 때 까지 그림 9와 같이 시험하였으며, 표 5와 같은 기계적 성능을 나타내었다. 이는 일반적으로 100km/hrs까지의 강풍에서도 문제가 되지 않는 기계적 강도를 가지고 있음을 알 수 있다.

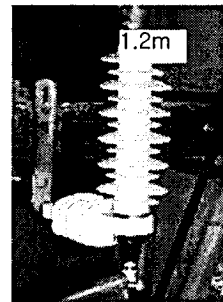
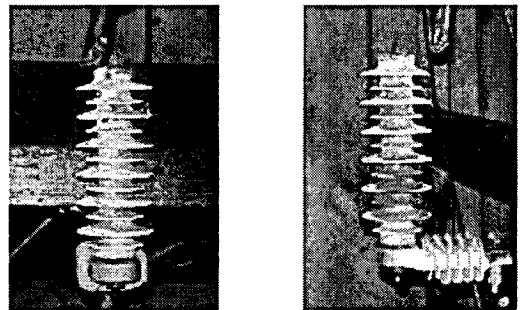


그림 7. 고장전류내력시험 전의 시료



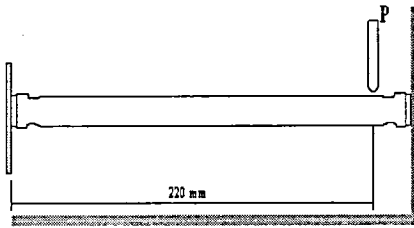
(a) 시험 후 시료 (b) 시험 후 시료

그림 8. 고장전류내력시험 후의 시료

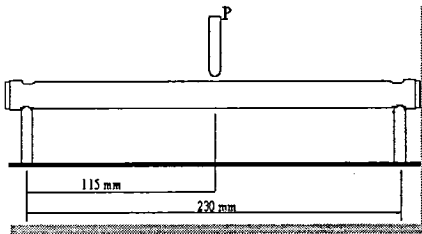
표 3. 폴리머 피뢰기의 고장전류시험 결과

표 4. 폴리머 피뢰기의 고장전류시험 결과

모듈 형태	폭발 형태	비고
필라멘트 와인딩	파편 없음	그림 7(a)
프리프레그	파편 없음	그림 7(b)



(a) Cantilever 강도 시험



(b) Bending 강도 시험

그림 9. 폴리머 피뢰기 모듈의 기계적 시험

표 5. 폴리머 피뢰기 모듈의 기계적 강도와 변위

	Failure load(N)	Displacement (mm)
Cantilever strength	1,400	37.0
Bending strength	8,963	34.0
Tension strength	3,228	7.50

4. 결론

본 연구는 폴리머 피뢰기 모듈 제조에 있어서 필라멘트 와인딩 공법과 다이아몬드(능직) 형태로 직조된 부직포에 에폭시 수지를 미리 함침시킨 프리프레그(prepreg) 공법으로 모듈을 제조하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기밀, 흡습에 대한 영향을 최소화하기 위한 너클 전극을 설계하고 이에 필라멘트 와인딩 및 프리프레그에 의해 피뢰기용 모듈을 제조할 수 있었다.

- 2) 고장전류내력시험 결과 비산이 없는 상태로 부러짐이 없고, 하우징만이 미소하게 파괴되는 형상과, 하우징의 조각이 비산하지 않는 양호한 방압 성능을 가진 모듈을 제조할 수 있었다.
- 3) 폭발 비산하지 않는 피뢰기 모듈은 Fiber Band & Cell Size 및 두께에 의존하는 것을 알 수 있었으며, layer 구성시 패턴이 일정한 구조를 갖는 형상을 유지하는 것이 중요함을 알 수 있었다.
- 4) 기계적 강도 특성 평가 결과 특히 강봉에 대한 기계적 강도를 의미하는 Cantilever 강도 시험에서도 기계적 강도를 가지고 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학연 컨소시엄 공동 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] K Lahti, "Behaviour of the DC Leakage Current of Polymeric Metal Oxide Surge Arresters in Water Penetration Tests. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, 1998.
- [2] Han-Goo Cho, "The Performance of Tracking and Surface in Polymer Insulator", International Conference on Electrical Engineering, Vol. 2, pp. 1924-1927, 2002.
- [3] Han-Goo Cho, "The Performance and Pressure Relief design Test of Polymeric Surge Arrester for Loading in Railway Rolling Stock", International Conference on Electrical Engineering, Vol. 2, pp. 1298-1300, 2001.