

## 폴리머 피뢰기의 방압구조 및 특성

한동희, 조한구, 한세원

한국전기연구원 재료응용연구단

### Characteristics of polymer arrester with pressure relief structure

Dong-Hee Han, Han-Goo Cho, and Se-Won Han

KERI

#### Abstract

This study reports on the pressure relief design and braided composite of surge arrester. 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. As a solution, this study describes pressure relief design performance of arresters with braided composite module. In general, braided composite has potential for improved impact and delamination resistance. Manufacturing processes of the braided composite could also be automated and could potentially lead to lower costs. Therefore, in consideration of characteristics of pressure relief for polymer arrester, the fabric pattern of braided composite was decided. And polymer arrester module was manufactured with braid. The mechanisms of pressure occurrence and relief were investigated basically by analyzing arc energy and the correlation between thermal shock and indoor pressure in pressure relief test.

**Key Words** : arrester, pressure relief, braided composite, thermal shock

#### 1. 서 론

피뢰기에 뇌 또는 이상전압과 같은 정격이상의 고장전류가 유입되어 발생하게 되는 순간적인 열 충격과 내부압력상승은 폭탄이 내부에서 터지는 것과 같은 엄청난 양의 충격에너지를 낸다.

자기로 제작된 피뢰기는 압력완화용 출구가 별도로 부착되어 있어, 이를 통하여 피뢰기 내부에서 발생된 압력을 해소하는 역할을 수행하나, 열 충격에 취약한 자기질의 특성상 폭발을 완전히 방지할 수 있는 것은 아니다. 이러한 위험요소를 극복하고자 개발된 것이 폴리머 피뢰기이다. 폴리머 피뢰기는 압력해소를 위하여 다수의 방압 개소를 모듈에

일정간격으로 두게 되고, 이를 통해 압력 상승시 발생된 가스를 방출하여 피뢰기 자체는 파손되지 않고 그대로 보존된다.

브레이드 복합재료는 일체형으로 프리폼을 제작할 수 있고 층간분리가 방지될 뿐만 아니라 섬유 간의 상호교차에 의한 내부구조가 크랙의 진전을 막아주는 효과를 갖게 됨으로서 피뢰와 충격 등에 강하고 반복적 외력에 의한 저항이 종전의 복합재료보다 월등한 내구성을 가지고 있다. 이는 충격에 의한 구조의 내부손상이 한 부위에 국한되지 않고 전체적으로 확산됨으로서 응력집중의 현상이 나타나지 않기 때문이다. 이러한 장점을 가진 브레이드 복합재료를 이용하여 폴리머 피뢰기를 제조하게

되면 압력해소를 위한 부분을 일정간격으로 피뢰기 모듈에 연속적으로 배치가 가능하고 열충격에 대한 안정성을 확보할 수 있다.

본 연구의 목적은 폴리머 피뢰기에 대한 방압, 기밀 및 내부요소 설계기술을 개발하기 위하여 방압 메카니즘을 분석하고, 이를 바탕으로 기존의 폴리머 피뢰기에 적용된 복합재료보다 충격에너지를 흡수하는 구조물에 유리한 브레이드 복합재료를 피뢰기 모듈의 제조에 도입하여 방압설계 제조기술을 개발하고, 압력해소 및 기밀성능을 가진 피뢰기 모듈을 제작한 후 고장전류시험을 통하여 폴리머 피뢰기의 폭발·비산을 방지할 수 있는 압력해소 성능을 검증하는 것이다.

## 2. 실험

### 2.1 시편제조

섬유강화 복합재료에서 섬유는 가장 중요한 요소이고, 일반적으로 복합재료 부피 중 가장 많은 부분을 차지하며, 또한 가장 많은 하중을 전달한다. 따라서 섬유의 종류, 양 및 배향각도의 선정이 중요하게 된다. 본 연구에 사용된 유리섬유의 특성을 표 1에 나타내었다. 매트릭스 수지로는 사이클로알리파틱 및 비스페놀 A가 혼합된 에폭시계를 사용하였으며 점도는 5,000 cps이다. 경화제로는 전기적 성능이 우수하고 열변형 온도가 높으며 고온에서의 물리적 성질이 우수한 산무수물계를 사용하였다. 본 연구에서는 maypole braider를 이용하여 래굴러한 섬유패턴을 가지는 열경화성 브레이드 프리폼을 먼저 제작한 다음 이를 금형에 삽입한 후 RTM 공법을 이용하여 시편을 제작하였다.

표 1. 본 실험에 사용된 유리섬유의 특성.

섬유 종류	직경 ( $\mu\text{m}$ )	인장강성 (GPa)	인장강도 (GPa)	열팽창계수 ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	포아송 비
E	11	72.4	3.45	5	0.2

### 2.2 기밀성능시험

폴리머 피뢰기의 기밀성능을 확인하기 위하여 냉열시험을 행하였다. 시험방법은 폴리머 피뢰기를  $60\pm 3^\circ\text{C}$ 의 열탕에서 1시간 유지한 후  $4\pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에 넣고 2시간 이상 유지한다. 이때 고온에서 저

온으로의 이동시간이 5분을 초과하지 않아야 한다. 시험주기는 10회를 반복하여야 하며 수조는 시료 무게의 10배 이상이어야 한다. 시험을 하는 장면을 그림 1에 나타내었다.

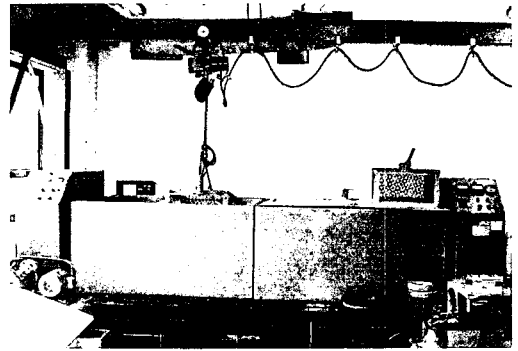


그림 1. 폴리머 피뢰기의 기밀성능시험.

### 2.3 고장전류시험

폴리머 피뢰기에 뇌 또는 이상전압과 같은 정격 이상의 고장전류가 유입되어 발생하게 되는 순간적인 열 충격과 내부압력상승에 대한 안정성을 확보하기 위한 모의시험으로서 고장전류시험에 대하여 그림 2에 나타내었다.

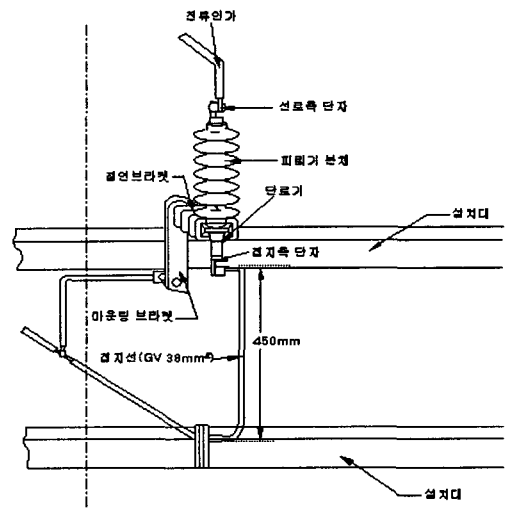


그림 2. 고장전류시험의 설치도.

## 3. 결과 및 고찰

유리섬유강화복합재료에 있어서 내부에 결함이 존재하거나 특정부위에 스트레스 가해질 경우 응

력집중을 완화시킬 수 있는 섬유패턴을 갖도록 하는 것이 폴리머 피뢰기의 모듈에 있어서도 중요한 요소가 된다. 이러한 응력집중을 나타내는 방법으로서 응력집중계수를 이용한다. 그림 3은 섬유가 이루는 각을  $\theta$ 라고 했을 때 응력집중계수(stress concentration factor,  $K_T$ )를 나타낸 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 본 폴리머 피뢰기 모듈에 있어서 섬유의 배향각을  $45^\circ$ 로 하였다.

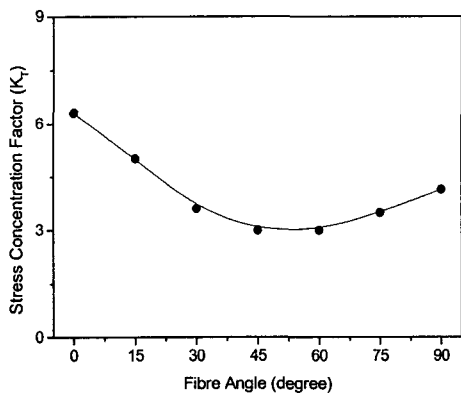
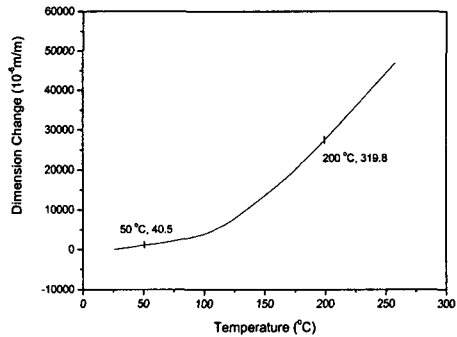


그림 3.  $K_T$  값의  $\theta$ 에 대한 변화.

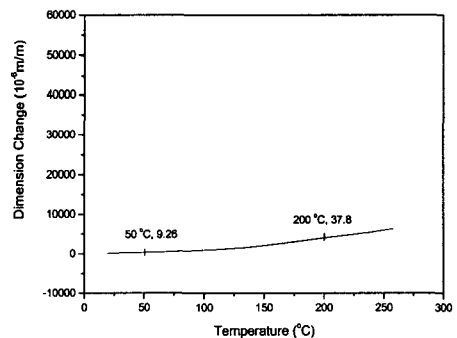
일반적으로 열응력의 발생은 미소역학적 기준에서 볼 때 복합재료 내의 강화섬유와 기지 사이에 완전한 결합이 이루어진 경우로 두 재료의 열팽창계수가 다르면, 온도변화에 의하여 복합재료 내부에서 열응력이 발생하게 되고, 복합재료를 제조하는 온도와 사용하는 온도가 서로 다른 경우에 열응력이 발생하게 된다. 또한 수분을 흡수하여 폴리머가 팽창할 경우 열응력이 발생하게 된다. 폴리머 피뢰기의 경우 앞에서 언급한 열응력 발생 외에도 뇌 또는 서지의 유입시 발생하는 급격한 온도에 의하여 엄청난 크기의 열응력이 발생하게 된다.

수지만으로 이루어진 방압개소의 열팽창계수가 상대적으로 유리섬유와 수지로 이루어진 부위보다 상당히 크므로 열적 스트레스는 방압개소에 집중된다. 또한 유리섬유와 수지로 이루어진 부위에 있어서 가로방향의 열팽창계수가 세로방향의 열팽창계수보다 상대적으로 크므로 열적 스트레스를 크게 받는 가로방향으로 압력이 집중되어 방압이 해

소되는 역할을 하며 세로방향으로는 상대적으로 열적 스트레스를 적게 받아 전극부분이 이탈되거나 하는 현상을 방지하는 역할을 하는 것으로 판단된다. (그림 4)



(a) 가로방향으로의 TMA thermogram



(b) 세로방향으로의 TMA thermogram

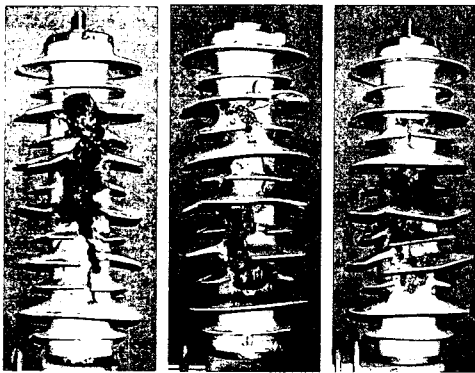
그림 4. 브레이드복합재료의 TMA thermogram.

표 2. 폴리머 피뢰기의 기밀성능시험.

항목	시험전			시험후		
	절연 저항 [MΩ]	동작개 시전압 [kV]	$I_r$ at 25.45kV [ $\mu A$ ]	절연 저항 [MΩ]	동작개 시전압 [kV]	$I_r$ at 25.45kV [ $\mu A$ ]
1	2000 ↑	27.5	90	2000 ↑	27.5	90
2	2000 ↑	27.5	90	2000 ↑	27.5	90
3	2000 ↑	27.8	75	2000 ↑	27.8	80

폴리머 피뢰기의 기밀성능에 관한 결과를 표 2에 나타내었으며 모두 양호함을 알 수 있었다.

그림 5는 폴리머 피뢰기의 방압성능을 확인하기 위한 고장전류시험에 있어서 브레이드 복합재료를 이용한 피뢰기 모듈의 셀 크기에 따른 시험 결과를 나타낸 것이다. 각 시료의 단위 셀의 크기에 따라 폭발 시에 내부 압력이 토출되는 양상이 조금씩 차이가 있음을 알 수 있고, 셀 크기 3.3과 4.8의 경우 비교적 양호한 성능을 보임을 알 수 있으며, 셀의 크기가 2.5 mm인 폴리머 피뢰기의 경우 실리콘 고무 하우징이 많이 손상된 것을 알 수 있었다. 또한 고장전류시험 후 피뢰기 모듈 자체는 구조적 지지물로서의 역할을 충분히 하고 있는 것으로 나타났다.



(a) 셀 2.5 (b) 셀 3.3 (c) 셀 4.8

그림 5. 셀 크기에 따른 고장전류시험 후의 폴리머 피뢰기.

#### 4. 결 론

[1] 폴리머 피뢰기 모듈용 브레이드 복합재료의 열적 특성을 살펴보았다. 수치만으로 이루어진 방압개소의 열팽창계수가 상대적으로 유리섬유와 수치로 이루어진 부위보다 상당히 크므로 열적 스트레스는 방압개소에 집중된다. 또한 유리섬유와 수치로 이루어진 부위에 있어서 가로방향의 열팽창계수가 세로방향의 열팽창계수보다 상대적으로 크므로 열적 스트레스를 크게 받는 가로방향으로 압력이 집중되어 방압이 해소되는 역할을 할 것으로 판단된다.

[2] 브레이드를 이용하여 제작된 폴리머 피뢰기의 동작개시전압, 절연저항시험, 누설전류시험 및 기밀성능시험에 있어서 전기적인 성능은 목표치를 만족하였다.

[3] 피뢰기 모듈의 고장전류시험에 있어서 각 시료

의 단위셀의 크기에 따라 폭발시에 내부 압력이 토출되는 양상이 조금씩 차이가 있음을 알 수 있었으며, 피뢰기 모듈 자체는 구조적 지지물로서의 역할은 충분히 하고 있는 것으로 판단되었다. 내부에서 발생하는 압력은 수치층으로만 이루어진 단위셀에 의하여 해소가 되는 것을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] Robert E. Koch, Senfor, and Herbert J. Songster, "Development of a Non-fragmenting Distribution Surge Arrester", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984.
- [2] R. D. Melchior, J. S. Williams and N. P. McQuin, "Fault Testing of Gapless Zinc Oxide Transmission Line Arresters Under Simulated Field Conditions", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10. No. 2, April, 1995.
- [3] J. Ozawa, A. Mizukoshi, S. Maruyama, K. Nakano, and K. Saito, "Pressure Relief Design and Performance of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. PWRD-1, No. 1, January 1986.
- [4] Dennis W. Lenk, and F. Richard Stockum, "A New Approach to Distribution Arrester Design", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [5] J. H. Byun, "The analytical characterization of 2-D braided textile composites" Composite Science and Technology, pp.705-716, 2000.
- [6] E. C. Skshaug, J. S. Kresge, S. A. Miske, Jr., "A New Concept in Station Arrester Design", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 96, p.647, March/April, 1977.