

폴리머 피뢰기의 모듈 설계 및 성능에 관한 연구

조한구 · 천종욱 · 강영길*
한국전기연구원 · 피코산업*

A Study on Module Design and Performance of Polymer Arrester

Cho Han-Goo · Chun Jong-Uk · Kang Yeong-Kil*
Korea Electrotechnology Research Institute · Pico co.,Ltd*

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 : Filament Winding, Pressure Relief, Air-tight, Winding Pattern, Polymer Arrester, Module, Fault Current, Gapless Type

1. 서론

국내에서 연구, 개발, 적용되고 있는 신소재 배전용 폴리머 절연물은 크게 애자류와 피뢰기로 분류할 수 있으며, 피뢰기가 사용된 이래 지금까지 자기 애관형 피뢰기를 사용하고 있다. 그러나, 이와 같은 피뢰기는 구조적으로 습기 침투에 의해 산화아연소자(ZnO 소자)가 열화될 우려뿐 만 아니라 고장전류에 의해 내부압력이 상승한 경우 파괴되어 폭발 비산할 수 있는 위험한 요소를 내포하고 있다. 즉, 자기 피뢰기는 상, 하부 캡에 가스켓 고무를 삽입하고 기계적 압착에 의해 하우징과 캡을 부착하는 공정으로 제조하고 있다. 또한, 이와 같은 피뢰기는 자기의 특성, 기계적인 압착의 부적절한 상태와 압착시 기밀을 위해 사용하는 가스켓 고무의 탄성력 저하로 수분 흡수에 의한 기밀 불량에 산화아연소자의 열화를 가져와 사고로 이어지는 문제점이 지적되어 왔다[1].

그러나, 이와 같은 문제점을 보완한 폴리머 피뢰기는 뇌썩지(lightning surge) 및 고장전류(fault current)에 의해 내부압력이 상승한 경우에도 국부적으로 파괴되므로 피뢰기 내부의 산화아연소자 및 부품들이 폭발로 인하여 비산하지 않는다. 또한, 습기 침투에 의한 열화를 방지하기 위하여 전극을 너클(knuckle)형태로 설계하므로서 기밀성능을 향상시킬 수 있다[2, 3].

따라서, 본 연구에서는 고장전류 유입시의 아크 열과 기계적인 힘을 와인딩 패턴으로 제어하여 폭발 비산이 없는 폴리머 피뢰기 모듈(module)을 설계하고 다축 필라멘트 와인딩 설비에 의해 제작하였다.

또한 제작한 피뢰기의 성능을 확인하기 위하여 고장전류내력시험을 거쳐 상용화, 양산화가 가능한 제품을 제작하였다.

2. 폴리머 피뢰기의 특성 및 모델링

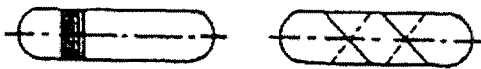
표 1. 폴리머/자기 피뢰기의 특성

| | 폴리머 | 자기 |
|------------|--|--|
| 기계적 특성/작업성 | - 유연성과 내충격성 특성 - 운반, 작업중에 발생할 수 있는 충격에 의해서도 안정함 | - 자기 제품 몸체의 제한성과 충격에 약함 |
| 중 량 | - 기존 자기 제품에 비해 약 1/3의 중량으로 제조 가능 | - 고무 제품에 비해 중량감이 있기 때문에 작업에 불편함. |
| 성 능 | - 낙뢰에 대해 파워 아크 형성 시 폭발에 의한 파편 비산 가능성은 전무 - 고강도 표현이 가능하고 자기 소재로서의 문제점인 내부로의 수분 흡수에 대한 가능성에 대해서 보다 안정 | - 낙뢰에 대해 파워 아크 형성시 폭발에 의한 파편 비산 가능성으로 주변품 손상 및 기타 위험 요소를 내포 - 내부로의 수분 흡수 가능성 내포 |

폴리머 피뢰기는 고장전류 및 낙뢰에 의한 아크 형성

시 기존 자기 에관형에서 발생하는 폭발에 의한 파편의 비산 가능성으로부터 주변 전력기기 및 인적사고의 위험요소를 제거할 수 있다. 그리고, 소형, 경량화 뿐만 아니라, 설치작업이 편리하고 취급이 용이하다. 또한 피뢰기의 신뢰성 측면에서 중요한 흡습에 대한 기밀구조 설계가 가능하고, 하우징의 형상 설계의 가변성이 용이하기 때문에 내오손성능을 향상시킬 수 있으며, 표 1은 폴리머 및 자기 에관형 피뢰기의 특성을 나타내었다.

필라멘트 와인딩(filament winding) 성형은 섬유를 감는 패턴에 따라 패러렐(parallel), 헬리칼(helical), 폴라(polar), 레벨(level) 등이 있으며, 피뢰기 모듈의 와인딩에는 그림 1과 같은 와인딩 패턴을 이용하였다. 여기서 피뢰기 모듈은 헬리칼 와인딩과 패러렐 와인딩에 의해 제조하였으며, 헬리칼 와인딩은 피뢰기 모듈이 계속 회전하고 캐리지가 왕복운동을 하면서 와인딩하는 방법으로 피뢰기 모듈의 회전속도와 캐리지의 이동속도 비율에 따라 와인딩 각도가 결정된다.



(a) Parallel (b) Helical
그림 1. 필라멘트 와인딩 패턴 형상

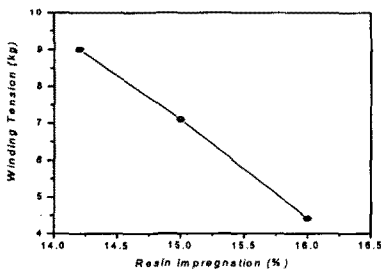


그림 2. 와인딩 장력과 수지 함량과의 관계

그림 2는 와인딩 장력에 따른 와인딩 수지 함량과의 관계를 나타낸 것으로 와인딩 장력이 증가하면 유리섬유(glass fiber)의 함량이 증가한다. 이때 축 방향의 인장강도를 측정한 결과를 보면 와인딩 장력(winding tension)이 증가하면 축 방향의 인장강도는 감소함을 알 수 있으며 그림 3에 나타내었다. 이 결과로부터 와인딩 장력이 증가하면 유리섬유의 함량은 증가하지만 축 방향 인장강도는 감소한다는 사실을 확인할 수 있다.

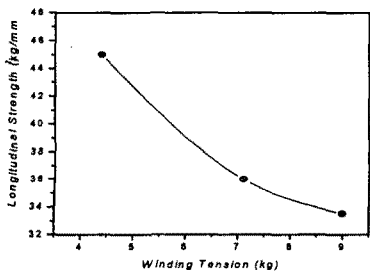


그림 3. 와인딩 장력과 축방향 인장강도의 관계

와인딩은 적절한 장력을 유지하면서 와인딩하여야 하며 개발하고자 하는 폴리머 피뢰기 모듈은 패턴이 일정해야 함은 물론 패러렐 부분의 열팽창계수는 어느 온도영역에서 전극으로 사용된 금속과 같은 것이 좋다.

3. 폴리머 피뢰기의 모듈 설계 및 제조

3.1. 모듈 설계

뇌 및 고장전류에 의하여 파워 아크 형성시 써지(surge)를 흡수한 피뢰기는 내부에서 전기에너지가 열에너지로 바뀌면서 급격한 압력의 변화를 일으키게 되고, 압력 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.

따라서 이와 같은 모듈을 제조하기 위하여 와인딩 작업시 컴퓨터에 의한 상정된 패턴별 형상을 구현한 40, 75°의 피뢰기 모듈 패턴을 그림 4에 나타내었다.



(a) 40°일때의 모듈



(b) 75°일때의 모듈

그림 4. 와인딩 모듈 패턴

3.2 폴리머 피뢰기 모듈 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.

피뢰기 모듈은 너클 전극과 산화아연소자, 그리고 각각의 부품으로 이루어져 와인딩된다. 이때 너클의 끝부분은 기계적으로 견고한 이중 접합을 이루게 되며 피뢰기에 취약한 부위로 자주 나타나는 흡습에 대해서도 완벽한 기밀구조를 갖게 된다. 그림 5는 너클 형상의 전극, 와인딩된 부분과 하우징의 단면을 나타낸 것이다 [4].

그리고, 써지에 의한 열팽창에 의해 피뢰기 모듈이 수축과 팽창을 갖도록 corned disk를 가압하기 위한 load cell을 부착하여 자동으로 가압 후 와인딩하였다. 그림 6은 다축 와인딩에 의한 피뢰기의 모듈 제조 설비를 나타내었다.

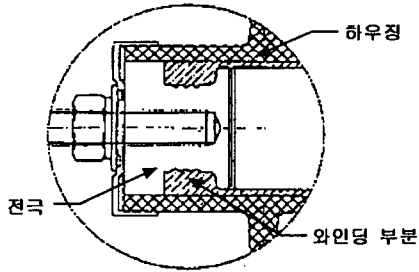


그림 5. 전극, 와인딩 부분, 하우징의 단면도

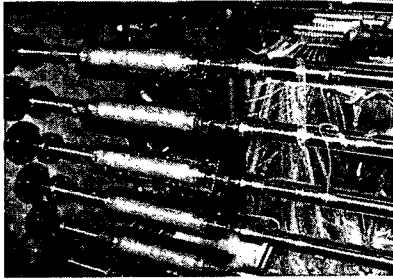


그림 6. 와인딩에 피뢰기의 모듈 제조

수지가 밑으로 흘러내려 균일한 수지의 함량을 얻을 수 없기 때문에 본 연구에서는 와인딩 후 필름으로 감아 경화하여서 경화하므로써 피뢰기 모듈을 회전시킬 필요성이 없고, 작업 후 수십개의 피뢰기 모듈을 간편하게 경화할 수 있으므로 양산화가 가능하게 되었다. 경화는 120℃에서 2시간 유지시킨 후 30분 걸쳐 150℃로 승온시켜 2시간 경화하였다. 표 2는 수지조건과 모듈의 제조조건을 나타내었다.

표 2. 수지조건과 모듈의 제조조건

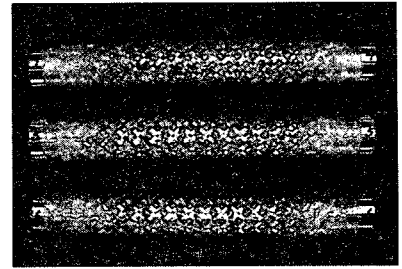
| | | |
|---|------------------------|---------------------------|
| 1 | Glass Fiber | E-Glass(1150 Tex) Owens |
| 2 | Resin/Agent | Epoxy(YD-115/KBH-1089) |
| 3 | R/C Ratio | 30%이내 |
| 4 | Winding Pattern Angle | 40도, 75도 |
| 5 | Pattern Layer | 6 layer(0.12*2*6) = 1.4 t |
| 6 | Fiber Band & Cell Size | 2*2mm, 4*4mm |

그림 7은 와인딩 두께에 따른 피뢰기 모듈을 나타내었으며, 와인딩 모듈의 Fiber Band & Cell Size는 (a) 2*2, (b) 4*4 이다.

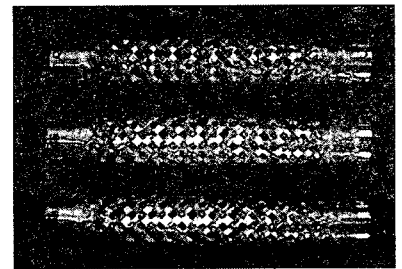
4. 폴리머 피뢰기의 고장전류시험

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.



(a) 2*2



(b) 4*4

그림 7. 폴리머 피뢰기의 모듈

피뢰기에 흐르는 전류는 시험전압의 과고치 근처에서 인가되어야 하며, 시험전류의 최소지속시간은 0.1초 이내이며, 고장전류의 크기 및 지속시간은 10kA, 10cycle로 한다.

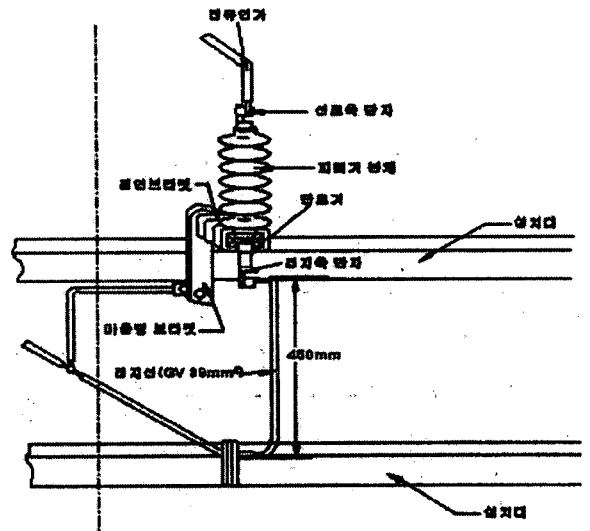


그림 8. 고장전류내력시험의 설치도

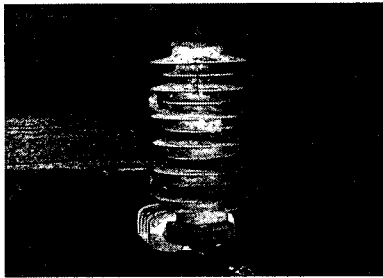
시험시료의 부착은 그림 8과 같이 지름이 1.8m, 높이가 450mm인 원형의 울타리 위 중앙에 설치하며 울타리 상부로부터 최소 1.2m위에 설치하여야 한다. 표 3은 폴

리머 피뢰기의 고장전류내력시험의 시험전압 및 전류를 나타내었다.

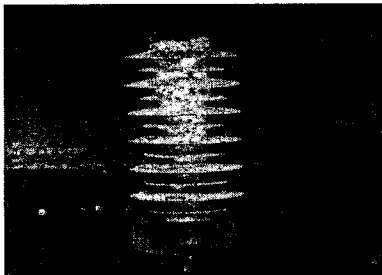
그림 9의 (a), (b)는 시험 후의 시료 상태를 나타내었다. 시료에 따라 약간의 서로 다른 파괴 양상을 나타내었지만 이는 와인딩 두께에 의한 차이라고 생각된다. 그림 10은 각각 고장전류내력시험의 회로도를 나타내었다.

표 3. 폴리머 피뢰기의 고장전류시험 결과

| 시료 | 시험전압 (60Hz, kV) | 시험전류 (kA) | 지속시간 (Cycles) |
|----|--------------------|--------------|------------------|
| 1 | 16.0 | 10.2 | 10.6 |
| 10 | 16.0 | 10.2 | 10.6 |



(a)



(b)

그림 9. 고장전류내력시험후의 시료

이와 같은 규정에 의하면 폭발에 의한 산화아연소자 및 하우징 파편은 울타리안에 존재하여야 한다. 이와 같은 결과를 종합한 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4. 폴리머 피뢰기의 고장전류시험 결과

| Cell Size | 폭발 형태 | 그림 |
|-----------|-------|---------|
| 2*2mm | 파편없음 | 그림 9(a) |
| 4*4mm | 파편없음 | 그림 9(a) |

본 연구에서의 개발품은 비산이 없는 상태로 부러짐이 없이 단지 하우징이 미소하게 파열되어 찢어짐만이 존재하고 있었다.

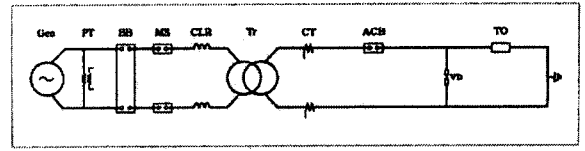


Fig. HP01 - 고장전류 내력시험 회로도

Gen Generator
 PT Potential transformer
 BB Back up breaker
 MS Making switch
 CLR Current limiting reactor
 Tr Transformer bank
 CT Current transformer
 VD Voltage divider
 TO Apparatus under test

그림 10 고장전류내력시험 회로도

5. 결론

본 연구는 필라멘트 와인딩 공법에 의한 피뢰기의 모듈 설계와 성능 평가에 관하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기밀, 흡습에 대한 영향을 최소화하기 위한 너클(knuckle) 전극을 설계하고 이에 필라멘트 와인딩함에 따라 폴리머 피뢰기의 모듈을 제조할 수 있었다.
2. 뇌 썬지 및 고장전류에 의한 열폭주에 대비하기 위하여 내부 부품의 요소로 corned disk를 설치하여 열팽창에 의한 접촉저항을 영향을 제거하였다.
3. 고장전류내력시험 결과 폭발 비산이 없는 상태로 부러짐이 없이, 하우징이 미소하게 파열되어 찢어짐만이 있는 양호한 성능을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [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] H. G Cho, "The Performance of Tracking and Surface in Polymer Insulator", International Conference on Electrical Engineering, Vol. 2, pp. 1924-1927, 2002.
- [3] H. G Cho, "The Performance and Pressure Relisf design Test of Polymeric Surge Arrester for Loading in Railway Rolling Stock", International Conference on Electrical Engineering, Vol. 2, pp. 1298-1300, 2001.
- [4] H.G Cho et al, "Protective Effects to Lightning Overvoltages of Polymeric Arresters for AC Railroad Vehicles", ICEE 98', Vol. 1, pp. 808, 1998.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구
(2000-1-30200-011-3) 지원으로 수행되었음.