

폴리머 housing형 피뢰기의 개발과 특성 평가

• 조 한 구 • 김 인 성
한국전기연구소 애자·피뢰기기술연구팀

Development and Characteristics Evaluation of Polymer Housing Type Arrester

• Han Goo, Cho • In Sung, Kim
Insulator and Arrester Technology Team, KERI

Abstract

This paper describes the development of new type arrester for 22.9kV class distribution lines, with polymer insulating materials applied to their housings. The new arrester employs silicone insulating material for its housing, instead of the conventional porcelain housing, aiming at reduction in size and weight and explosion proof against internal short circuit failure. And, since the design of sheds is not restricted, it is possible to provide a long surface leakage distance per strike length and improve anti-contamination performance.

1. 서 론

계통 전압의 송암에 의한 초고압화로 송. 배전계통이 복잡하게 됨에 따라 각종 선로에서 발생되는 이상 과전압(transient voltage surge)에 대한 억제 대책은 대단히 중요하다. 전력계통에 이상과전압이 유기되면 결과적으로 송. 배전선로의 전력기기에 절연파괴를 일으키게 되고, 전력 수용가에 고전압이 침입하여 전기.전자기기의 파괴 및 수명 단축을 가져오게 된다. 따라서, 배전선로에는 자기애관에 비직선성이 우수한 산화아연 소자를 적용한 무공극 방식(gapless type)의 피뢰기가 사용되고 있다.

기존 피뢰기의 자기와 전극부분은 약 2배정도의 열팽창계수 차이를 가지고 있을뿐만 아니라 반복적인 냉열과 아크열에 의한 기계력에 의해서 균열이 발생한다. 그리고, 애관 상.하부 전극사이의 기밀을 유지하기 위한 고무 가스켓(gasket, O ring)의 경년적인 압축응력과 열에 의한 변화로 탄성저하를 가져와 기밀성능이 저하됨에 따른 흡습열화로 아크가 발생하여 파괴되고, 수분의 유입으로 습기가 축적(accumulation), 응축(condensation)되어 내부단락을 일으킬 수 있으며, 낙뢰에 의한 power arc 형성이나 2상 또는 3상단락의 경우에는 대전류가 피뢰기 내부에 흐르게 되어 자기애관은 폭발되어 파편이 비산하면 주변 전력기기의 손상 및 인명피해를 일으킬 수 있는 요소를 갖는다.

그러나, 폴리머 하우징(housing)을 적용한 피뢰기는 소형, 경량화뿐만 아니라 피뢰기 내부 단락시 방폭 성능을 향상시킬 수 있다. 그리고, 자기 애관형 피뢰기는 외부 형상의 설계에 있어서 제조상의 제약이 있어 누설거리를 늘리는 것 등 설계상에 많은 어려움이 있

는 반면 폴리머 피뢰기는 사고의 주원인인 흡습에 대한 완벽한 기밀구조와 하우징 설계의 자유도가 크기 때문에 내오손성능을 향상시킬 수 있는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 폴리머 housing형 피뢰기의 개발과 특성 평가를 근간으로 개발 폴리머 피뢰기의 구조 및 기밀성능을 위한 전극 및 부품설계와 이를 일체화하는 필라멘트 와인딩(filament winding)기술 및 특성 평가에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 개발 피뢰기의 사양

개발 피뢰기는 22.9kV 배전선용으로 교류 전력계통에서 뇌 또는 회로 개폐에 의한 과전압을 제한하며 속류를 차단하는 보호장치로서 폴리머 재질의 하우징(housing)내에 직렬간극이 없는 비직선형 금속 산화물(ZnO) 피뢰기이다. Table 1은 개발 피뢰기의 사양과 정격을 나타내었으며 기본적으로 규격에 의한 근거를 기준으로 하였다.

Table 1. Parameters of arrester.

정격전압	18 kV	공칭방전전류	5000A
제한전압	60kV	최대연속운전전압	15.3kV
내오손도	0.5mg/cm ²	상용주파전압(건조)	42kV

3. 구 성

3.1. 와인딩 구조

폴리머형 피뢰기의 구조는 산화아연소자를 FRP 실린더에 직렬로 적층한 후 필라멘트 와인딩 한 구조로 일체형으로 가공이 이루어지며 그의 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

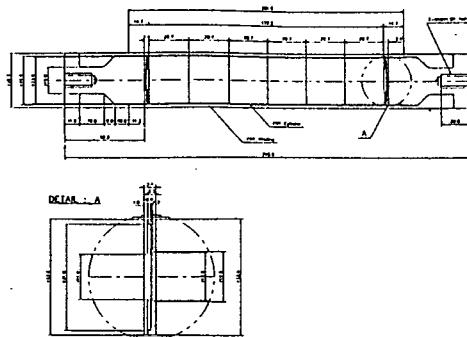
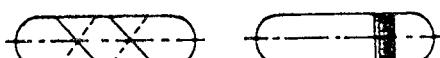


Fig. 1. Design diagram and dimension of arrester units.

필라멘트 와인딩 성형은 섬유를 감는 패턴에 따라 Fig. 2(a)와 같이 심축이 계속 회전하고 캐리지가 왕복운동을 하면서 와인딩하는 헬리칼 와인딩(helical winding)과 Fig. 2(b)의 패러렐 와인딩(parallel winding)의 공정이며, 헬리칼 와인딩 심축의 회전속도와 캐리지 이동속도의 비율에 따라 와인딩 각도가 결정된다.



(a) Helical winding (b) Parallel winding
Fig. 2. Types of filament winding pattern.

헬리칼 와인딩은 상, 하부전극의 골(knuckle) 부분을 1 layer 와인딩하여 요구하는 두께를 얻었으며, 패러렐 와인딩은 상, 하부 전극의 knuckle 부분을 헬리칼 와인딩 높이 만큼 와인딩 하였다. 이 때 실린더는 전극의 축방향으로 $35\sim55^\circ$ 의 각도를 유지하며 와인딩된다. 와인딩 수치로는 전기적 및 접착 특성을 고려하여 에폭시수지를 사용하였으며 배합조성은 Table 2에 나타내었으며, 경화조건은 2h, 120°C 와 4h 150°C 이다.

Table 2. Composition of resin for FRP winding.

Type	Composition(pbwt)
Epoxy resin(LY 558)	100
Hardener(HY 906)	90~100
Accelerator(DY 063)	1~4

전극부분 와인딩의 열팽창계수는 와인딩 장력을 증가시켜 유리섬유 함량을 조절하여 전극과 동일한 값을 갖도록 하였다. 그러나 유리섬유 함량을 증가시키기 위해 와인딩 장력을 증가시키면 축방향에 대한 면압강도는 저하한다.

필라멘트 와인딩용 유리섬유는 연속된 필라멘트의 중간이 끊어져 있으면 안되므로 일정한 장력을 유지해야 하며, 보풀 및 잔털이 없어야 한다. 또한 수지함침이 좋도록 유리섬유 자체에 에폭시 표면처리가 요구된다. 상온에서 수지의 점도는 5~25(cps)로서 와인딩 중 점도가 너무 낮으면 수지가 흘려내려 수지 부족현상이 일어나 핀홀(pinhole)이 발생할 수 있으며 와인딩 성형은 Fig. 3과 같은 공정으로 행해진다.

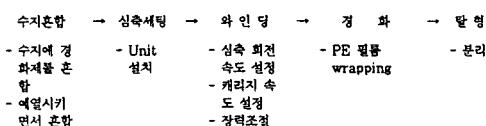


Fig. 3. Flow chart of filament winding.

Fig. 4는 와인딩 및 housing이 이루어진 피뢰기의 단면 형상을 나타내었다.

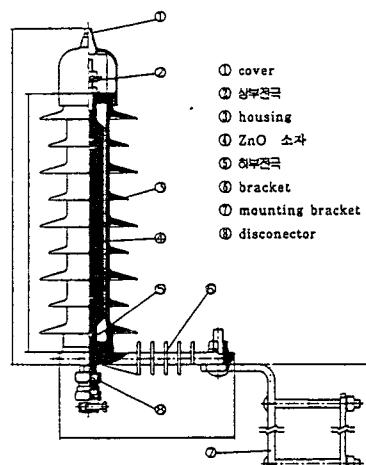


Fig. 4. Cross-section of polymer surge arrester

3.2. 단위 구조

상, 하부전극의 knuckle 각은 와인딩 작업성 및 기밀구조(airtight structure)를 유지하기 위해 45° 로 설계하였다. 이 부분은 와인딩 공정과 knurling 문제점을 개선하는데 중요하며, 상, 하부전극의 외부 표면에 거친 knurling($m=2$)을 부여함으로써 접착을

용이하게 하여 와인딩시 미끄러짐(slip) 현상을 방지하였다. Fig. 5는 전극부분의 knuckle구조를 나타낸 것으로 일점사선(- - -)은 와인딩 부분이고 외부(xxx)는 housing 부분이다. 이 때 끌 부분은 기계적으로 견고한 이종접합을 이루게 되며 흡습에 대해서도 완벽한 기밀구조를 갖게 된다.

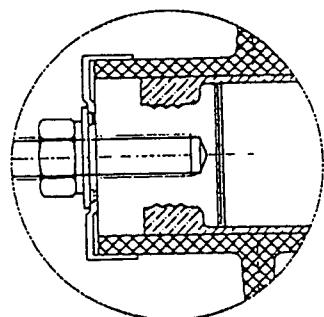


Fig. 5. Knuckle structure of FRP filament winding part.

써어지에 의해 발생하는 온도 변화에 따라 팽창 및 수축될 때 전기적인 접촉을 유지하여 접촉저항을 낮개하기 위하여 사용되는 것으로 그의 사양을 Table 3에, 그의 구조를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 7은 하중측정기(FMC-A50 DK, Seiki, Japan)를 사용하여 30~200kgf까지 하중과 변위($\Delta mm = 0.813$)를 측정한 결과로 $\Delta_{mm} = 800\mu m$ 의 변위에 대하여 하중은 115kgf 정도가 작용하므로 구조상 두 개를 사용하여 1.6mm 정도의 변위를 갖도록 하였다.

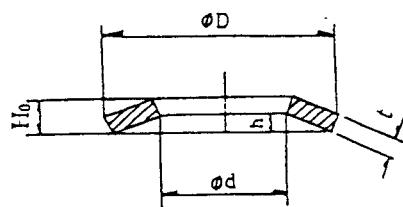


Fig. 6. Configuration and dimension of conred disk.

Table 3. The specification of conred disk for polymer arrester.

Spec.	Inner diameter(d)	Outer diameter(D)	Thickness (t)	Height (Hs)
No	기준치	허용차	기준치	허용차
14	4.2	+0.2	28	-0.25
			1	± 0.04
			1.8	± 0.15

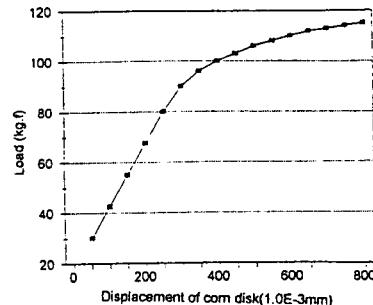


Fig. 7. The Relationship between displacement, load and load length of corned disk.

4. 성능 평가

개발한 폴리머 피뢰기는 종래의 자기애관형 피뢰기와는 구조 및 재질이 전혀 다르므로 여러가지 열화조건에서의 특성을 평가하는 것은 중요하지만 본 보고에서는 하우징 부분에 대한 결과에 대해서만 고찰한다.

4.1. 내오손시험

자기애관형 피뢰기는 염분부착밀도 0.03mg/cm^2 에서 폴리머 피뢰기는 0.5mg/cm^2 에서 내오손시험을 한다. 이 시험은 환경인자로 인해 오손되었을 때 하우징 표면으로 방전이 가속되면서 절연파괴되어 섬락으로 이어지는 가능성을 단시간에 평가한다. 폴리머 피뢰기는 표면의 발수성이 우수하므로 내오손시험을 하는 경우 발수성의 정도에 따라 일정한 인공오손을 할 수 있으며, 내전압을 구하기 어렵다. 따라서 표면의 발수성을 제거할 목적으로 표면활성제나 카울린(kaoline)을 오손액에 혼합한다. 이 혼합된 오손액에 피뢰기를 넣었다 꺼내 일정한 시간 경과(3분) 후 전압을 인가한다. 오손액은 물 1ℓ에 카울린 40g, NaCl 220g을 혼합한 인공오손액을 제조한다. Fig. 8은 전압을 인가하는 방법을 나타내었다. 1 cycle은 오손된 상태에서 규정전압 E_1 즉, 15kV의 전압을 1분간 유지 시킨 후 전압 E_2 인 16 kV까지 빠른 속도로 상승시켜 3초간 유지한 후 다시 전압 E_1 으로 저하시켜 1분간 유지시킨다. 이 주기를 연속으로 8주기 반복한 것을 1회 시험으로 하며 1사이클마다 동일조건으로 오손시켜서 4회 반복실험을 하였다. 즉 피뢰기는 전압 E_2 를 32회 인가하여 섬락 또는 시료의 파괴가 나타나지 않아야 하며, 단 시험중 표면섬락이 1회만 발생한 경우 다시 모든 시험을 실시하여 방전 또는 섬락되지 않으면 된다.

본 시험에서 시험 피뢰기는 상·하부 cap과 단자가 체결된 완제품 상태이며.. 절연 행거(hanger)는 부착하지 않았다. 시험결과는 양호하였지만 3회 1cycle에서 섬락된 경우도 발생하였다. 그러나, 섬락된 시료의

표면 상태는 양호하였다.

Table 4에 제시된 내오손시험 조건에서 알 수 있듯이 본 시험조건의 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 의 NaCl은 거의 포화에 가까운 양이며, 이때 $0.05\Omega \cdot \text{cm}$ 는 가혹한 조건으로 IEEE의 피뢰기 오손시험시험 범위를 벗어난 상태로 생각된다.

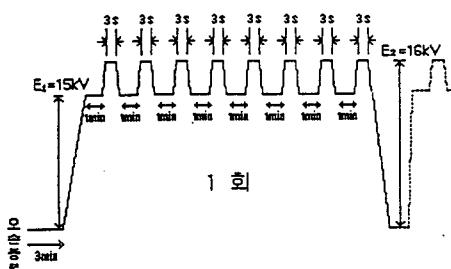


Fig. 8. Cycle condition of voltage method for pollution test.

Table 4. The various condition of artificial pollution test.

Properties Standard	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)	SDD (mg/cm^2)	NaCl (g/liter)	기타
IEEE H.V. (Std.4-1995)	6.25	0.4	171	- IEEE Std.에서 최고값 - 시험방법이 시험조건과 가장 유사함
IEEE arrester (IEEE C 62-11)	400~500	0.1 ↓	45 ↓	- 선형오손으로 복합시험조건
시험조건	0.05	0.5	225	- 중오손 조건 이상

4.2 상용주파건조, 주수내전압시험

폴리머 피뢰기 housing의 내전압 시험은 건조와 주수상태로 나누어 실시하며, ZnO소자를 수납하는 housing에 대하여 평상시 또는 동작시에 전압이 인가되는 부분을 대상으로 한다. 건조내전압은 42kV를 인가하여 1분간 견디면서 섬락 또는 파괴되지 않아야 한다. 주수내전압은 36kV를 인가하여 10초간 유지해야 하며 역시 섬락 또는 파괴되지 않아야 한다. 각각의 시험결과로 건조섬락전압은 88~90 kV, 주수섬락전압은 78~79 kV의 범위에 있었다.

4.3. 내후성 시험

폴리머 피뢰기 housing은 가속열화에 따른 특성을 평가하는 것도 중요하므로 Table 5의 열화장치를 이용하여 열화시간에 따라 표면 열화를 평가하였다. 이의 평가는 IEEE Std. 1024에 weather-ometer 1000시간에서 침식깊이 0.1mm 이상의 균열이 발생하지 않으면 내후성이 우수하다고 판정하며, 열화시험 시 반드시 주수를 요구하고 있다.

Table 5. Operating conditions of accelerated exposure UV-CON.

Type	Fluorescent UV condensation weathering device
Lamp	40W fluorescent lamp×8
Condition of water spray	Nozzle diameter : 1.2mm×6 Spray pressure : 30psi Specimen spray : 7L/min.
Cycle of water spray	240min dry/120 min condensation (10min water spray)
Temperature	65±3°C(UV), 60±3°C(condensation)
Peak emission(irradiance)	313nm (0.8W/m ²)
Low cut off	280nm

가속열화로 인한 표면 조직의 변화를 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 열화시간에 따른 무기물의 노출은 표면의 열화가 진행되고 있음을 나타내고 있다. 즉 초기 시료는 제조 공정에 있어서 시료 표면에 미소한 손상이 존재하고 있는 정도이나 가속열화 시간에 따라 열화가 진행되어 표면층이 분해되므로 표면에 무기물이 노출되는 형상을 보이고 있다.

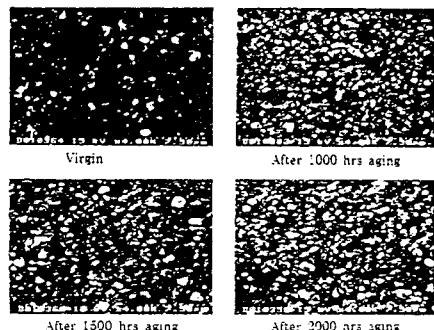


Fig. 9. SEM photographs of surface before and after in UV-CON.

5. 결 론

각각의 특성인 동작개시전압, 제한전압, 방전내량의 전기적 성능도 만족할 만한 값을 나타내었으며, 규격에 의한 여러 가지 시험결과도 양호하였다. 그러나, 개발 폴리머 피뢰기는 기존의 자기애관형 피뢰기에 비해 내부구조 및 하우징 재질이 전혀 다르므로 향후 장기 신뢰성을 검증하는 여러가지 복합시험과 계통에 적용하는 시험등이 요구된다.

Reference

- [1] R. S. Gorur, "Electrical Performance of Polymer Housed Zinc Oxide Arrester Under Contaminated Conditions", IEEE PWRD, 1990.