

플리머 피뢰기의 고장전류에 대한 방압 설계기술에 관한 연구

김인성, 박효열, 조한구
한국전기연구소 전기재료연구부 절연·피뢰기기술연구팀

Study on the relief design for the fault current of polymer arrester

In-Sung Kim, Hoy-Yul Park, Han-Goo Cho
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The chief advantage of polymer arrester, from design of pressure relief, anti-contamination, electrical failure was reduced by outdoor polymer housing. In the first for development of pressure relief design for polymer arrester, fault current and surge were studied through experiments of electrical. Designed the FRP inner tube and unit modules for pressure relief housing. Tested the performance of unit modules for pressure relief of polymer arrester, and the result was successful. The pressure relief of polymer arrester depend on design pattern of diamond shape and ellipse.

Study on the pressure relief of FRP inner tube for outdoor polymer arrester. Designed and manufactured FRP inner tube of polymer arrester. Tested the fault current of polymer arrester per 10 kA, 10 cycle.

을 유도하여 설계된 플리머 피뢰기의 성능 확인 시험을 거쳐 수정 완료하므로 신뢰성을 드높인다.

1.2 고장전류와 방압 특성

피뢰기에 고장전류가 발생할 경우 애관의 내부에서는 ZnO 소자의 파손 및 절연과괴로 인하여 열이 발생되고 압력이 증가하게 되어 피뢰기가 폭발하는데 이때 적정의 압력에 이르면 압력완화 시스템 (pressure relief device)이 작동된다. 고장 전류가 발생시 유도되는 압력의 순간 모멘트와 방전전류의 크기의 관계를 그림 1에 나타내었다. 방전전류가 커짐에 따라 압력완화 장치의 순간 작동은 수십 ms에서 약 1ms까지 떨어짐을 나타내고 있다. 물론 피뢰기의 정격전압에 따라 약간은 다르지만 거의 선형적인 작동 감소를 보인다. 이때의 압력 에너지 분포와 아크의 관계에서는 선형적인 감소를 나타내지 않으나 단위 면적에서 받는 아크 에너지는 일정한 분포로 나타내는 것으로 알려져 있다.

1. 서 론

1.1 피뢰기의 방압형태

송배전용 피뢰기는 독립 지지형(station)과 선로에 직접 사용되는 현수형이 있으며 현재는 대부분 자기형 애관을 주로 사용하고 있다. 자기형은 피뢰기의 상단에 압력완화 토출구 (pressure relief device)를 두고 있으면 피뢰기 내부에서 압력이 상승하면 이 토출구를 통하여 열에 의해 팽창된 기체가 방출되면서 압력이 낮아져 안정한 상태로 회복되어 진다. 다음은 플리머 피뢰기의 방압에 관련한 간단한 정의 및 설계 필요성을 나타낸 것이다.

가. 방압개소

플리머 피뢰기 내부에 전기적인 썬지 신호가 열팽창으로 인하여 압력상승으로 작용되어 피뢰기의 파손과 폭발을 동반한다. 이때 기기와 주변의 안전성을 고려하여 취약 개소를 만들어 이를 유도한다.

나. 압력완화 (pressure relief) 효과

전기적인 썬지 신호가 압력팽창으로 작용되면 피뢰기의 내부에서 일정한 압력 상승을 완화하여 피뢰기의 폭발을 방지함으로써 압력 증가의 일계치를 확대시킨다.

다. FRP inner tube의 방압설계

방압개소를 피뢰기 내부관(inner tube)에 설치하여 압력완화 특성을 유지할 수 있도록 하는 설계를 유도하여 플리머 피뢰기의 안정성을 높인다.

라. 고장전류에 대한 FRP 내부관의 방압 특성 고장전류가 플리머 피뢰기 내부로 침투했을 때 하우징과 FRP 내부관은 적절히 수축과 팽창을 반복하여 그 에너지 변화를 흡수하고 임계치 이상이 되면 취약 개소를 통하여 열과 압력이 방출되는 구조로 설계된다.

마. 플리머 피뢰기의 고장전류(fault current) 실험 방압개소, 압력완화, FRP 내부관 등으로 에너지의 흐름

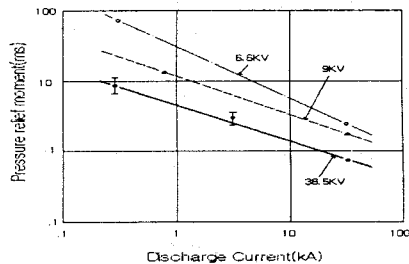


그림 1 방전전류와 압력완화 시스템 작동 시간

2. 본 론

2.1 방압설계 및 시료 제조

고장전류 실험용 시료는 금형의 제작 관계로 외부 하우징이 없이 FRP 내부관에 ZnO 바리스터와 상하부 전극, 알루미늄 디스크, 소자 접촉용 스프링이 직렬로 연결되고 내부에는 가이드 램핑 후에 FW와 CPW 방법으로 방법으로 제조된 기본 단위형 피뢰기 시료를 제조하였다.

2.1.1 FRP Inner tube의 제조

직경이 70mm인 rod와 그와 단면적이 동일한 tube에 대하여 관성모멘트를 계산하는 경우 FRP tube의 관성모멘트는 식 ①과 같고 FRP tube와 rod의 관성모멘트의 비를 나타내면 그림 2와 같다

$$I_z = I_{z0} - I_{zi} \quad \text{--- ①}$$

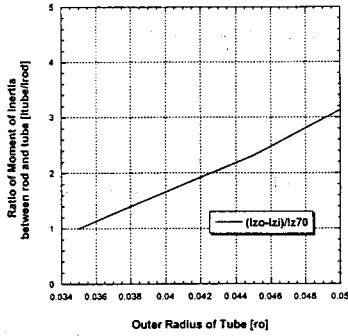


그림 2. 외경변화에 따른 rod와 tube의 모멘트 비율

같은 단면적의 rod에서 tube로 바뀌면서 형상에 관련되는 관성모멘트의 크기가 크게 변한다. 따라서 이에 따른 강도의 크기가 변하므로 강도의 크기가 rod와 tube에 따라서 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다.

폴리머 피뢰기의 내부 FRP 내부관을 성형 제조하기 위하여 먼저 ZnO 불럭을 폴리스티렌 필름으로 감싸고 양쪽의 전극이 연결된 상태에서 기계적으로 지지 가능한 축을 잡아준 다음 외부에서 서서히 그라스화이버(glass fiber)에 에폭시 수지가 함침된 실을 와인딩하여 나간다. 크로스파워 와인딩(cross power winding)에 의한 FRP Inner tube 제조 순서는 아래와 같다.

예열→수지혼합→시료설치→와인딩→경화→탈형 CPW(cross power winding)는 고압 호스를 제조할 때 사용하는 직조 방법으로서 짝수 가닥의 안(yarn)을 교직으로 피직조물인 봉의 외형을 둘러싸는 방법이다. 주로 한가닥의 실을 사용하는 필라멘트와인딩(filament winding) 방법과 비교하여 직조기 구조면에서 많은 차이점을 갖고 있으나 피직조물은 안의 교직된 상태가 필라멘트와인딩과 거의 유사하여 동일한 효과를 거둘수 있고 차후에 개발시 생산성의 증대가 가능하다.

그림 4은 CPW 방법중 와인딩하는 순서를 나타낸 것이며 그림 3은 와인딩으로 제조한 결과 직조된 형태를 나타내고 있다.

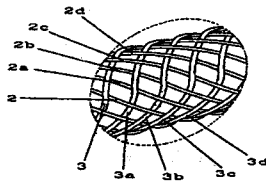
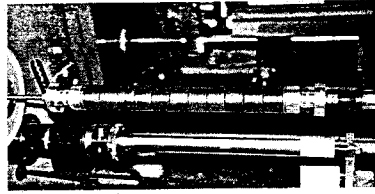


그림 3 CPW 방법으로 제조된 직조형태

2.1.2 고장전류에 대한 방압 설계

전력의 공급선으로 부터 고장 전류와 뇌 썬지를 흡수한 피뢰기는 내부 ZnO 소자에서 전기에너지가 열에너지로 바뀌면서 급격한 압력의 변화를 일으키게 되고, 압력 변화는 용기를 팽창시키지만 ZnO 소자를 수납하고 있는 내부 용기는 일정한 공간으로 기밀 유지를 위해 밀봉되어 있기 때문에 내부 압력의 밀도는 증가하여 방출하려는 에너지로 나타난다. 방출 에너지는 피뢰기의 하우징을 파손시키고 압력이 떨어지는 형태로 안정화되지만 파손된 하우징은 파편의 형태로 비산한다. 그림 5는 본 연구에서 설계한 FRP 내부관의 압력완화 부위를 나타내며 (a)는 압력이 작용하는 부분의 단면이다. 제일 취약개소의 두께는 0.5mm이며 사다리꼴 모양을 하므로 5 mm에 작용하는 압력이 0.5mm로 모아지게 된다. 그림 (b)는 크기와 층을 나타내고 있다.

변화로 생기는 폭발을 미연에 방지하기 위하여 압력 완화용 출구가 열리면서 팽창된 가스는 외부로 방출되고 내부압력이 낮아지면서 다시 토출(venting)되는 닫히는 압력완화 시스템이 같이 설계된다. (그림 5)



(a) 소자 및 상·하부전극의 정렬

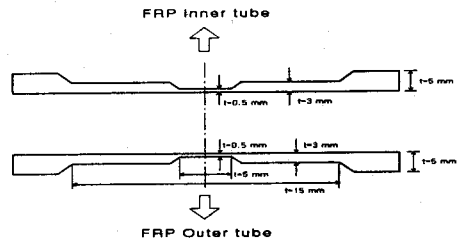


(b) 전처리 tape wrapping 과정

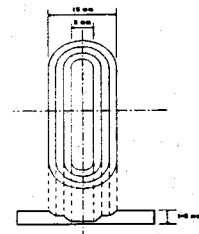


(c) CPW(cross power winding) 제조

그림 4. CPW 방법에 의한 unit module의 제조



(a) 압력 완화 부위의 형태



(b) 압력이 집중 작용하는 층의 형태

그림 5 FRP 내부관의 압력완화 부위 형태(내·외부)

2.2 폴리머 피뢰기의 특성 시험

2.2.1 FRP 내부관의 기밀 특성

현재 사용중인 피뢰기의 대부분 사고는 외부로부터 수분이 침투하여 ZnO 소자가 열화되면서 일어나는 것으로 보고되고 있다. 이렇게 흡습에 의한 고장 사고는 금속/고무, 금속/FRP 내부관 계면에서 시작하는 경우가 대부분인데 상·하부 전극의 밀폐(sealing) 부위에서 제조 공정상의 결함이나 잘못된 설계에 의하여 발생하는 게 대부분이다. 실제 제조된 FRP 내부관의 관련된 사양 시험 방법은 IEC 99-1의 피뢰기 시험 방법에 따라 그림 6과 같이 한쪽의 끝에 기압계를 설치하고 감압한 다음 밸브를 닫아 압력이 떨어지지 않는 방법으로 기밀과 수압 실험을 실시하였다.

기밀과 수압실험 결과 CPW 방법으로 제조된 5 mm FRP container의 외관에서는 기준치인 -760 mmHg, 2 kg/cm², 98 h의 범위에서 누설이 검출되지 않았으나 전극과 FRP container의 계면에서 기포가 발생하여 수분 침투의 가능성이 나타났고, 전극의 폴(hoop) 부분이 취약하여 부분적으로 다시 설계가 요구되었다.

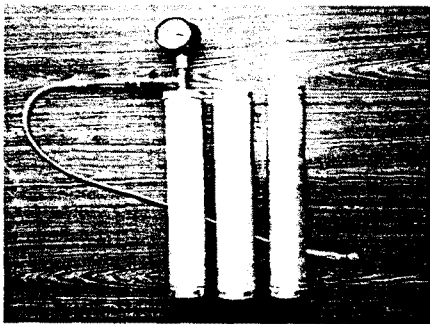


그림 6 압력 충전에 의한 기밀 실험

2.2.2 고장전류 내력 실험

가. 정의(ANSI/IEEE 62.11)

피뢰기가 연결되어있는 전력선으로부터의 단락 전류가 유입될 때의 피뢰기의 전기적, 기계적인 내력, 압력완화 실험(pressure relief tests)의 경우는 압력완화 장치 및 개소가 작동하는지 여부가 실험의 주목적이므로 고장전류 내력 실험과 구분됨을 실험하며 절대적인 피뢰기의 안정성 문제를 다룬다.

나. 적용

겔레스형으로 station, intermediate형에 적용시키며, 액체에 함침된 피뢰기는 예외로 한다.

다. 실험방법 IEEE 62.11

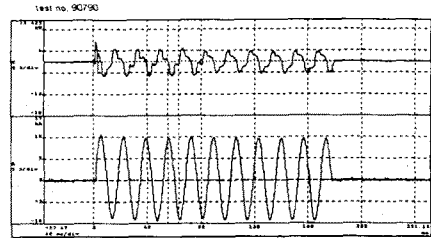
① 목적: 전력선으로부터의 고장전류가 피뢰기로 유입되어 피뢰기가 파손될 때 피뢰기하우징 파편이 분산하여 인명이나 재산상의 손해를 유발함으로써 이를 제한하는데 목적이 있다.

② 시료: 피뢰기 시료는 실제 사용상태와 동일하게 구성되어야 하며 ZnO 블록 적층면의 최단거리에 통전이 가능한 휴즈 와이어를 설치한다. 이때 휴즈 와이어는 전기각(electrical degrees) 30°에서 용단되는 것으로 선택한다. 상전압 및 뇌씨지에 의하여 압력완화 개소가 작동하는 과정을 설명한 것이며 본 연구에서는 ANSI/IEEE의 실험 방법에 의해 폴리머피뢰기 unit module 시료에 대해 고장전류 실험을 하였다.

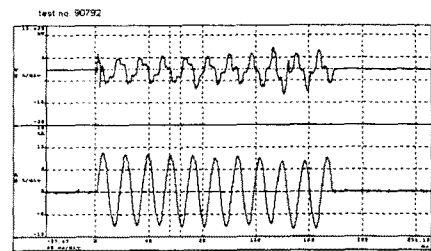
2.2.3 실험 결과

제조된 시료를 규격에 따라 고장전류 특성 시험을 한 결과 그림 7의 (a)는 10 kA · 10 cycle 피뢰기를 모의한 방압 특성 확인용 ZnO 블록 11개 내장시킨 것이며,

그림 7 (b)는 동일하게 10 kA · 10 cycle 피뢰기 unit module 이지만 고장전류 시험용으로 ZnO 대신 PTFE 블록을 11개 삽입시킨 것이다. 실험 결과 PTFE의 경우는 울타리 외부로 일부 파편이 비산하였지만, ZnO 소자인 경우 압력완화 특성 우수하게 나타나 파편이 비산하지 않았다. 실험 결과 세부적인 시료인 전극과 수직 한 타원형 부위로 임의 설계된 압력완화개소에서 집중 파열이 일어남으로 폴리머피뢰기의 폭발된 파편이 분산되지 않았다.



(a) 방압 특성 확인용 ZnO 블록 11개



(b) ZnO 대신 PTFE 블록 11개 내장

그림 7 10kA · 10cycle unit module 고장전류 실험

3. 결 론

폴리머피뢰기의 고장전류에 대한 방압설계 기술에 관한 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

가. 폴리머피뢰기의 unit module 시료를 고장전류에 의한 압력상승 완화구조로 설계하였다.

나. 내부 FRP Tube는 폴리머피뢰기의 상·하부 Al 전극 방향에 대한 직각방향과 수평방향으로 다이아몬드형과 타원형으로 제조 후에 가공을 하였으며 압력완화 시료는 FW와 CPW 방법으로 시료를 제조하였다.

다. 제조 방법을 달리한 폴리머피뢰기의 시료에 대하여 기밀 실험을 한 결과 CPW으로 제조한 시료는 기밀특성 면에서 FW로 제조한 것보다 우수하지 못 하였다.

라. 고장전류 실험을 한 결과 압력완화 개소가 다이아몬드형 보다 타원형의 형태가 방압 특성이 더 양호하였으며 타원에서도 상·하부 전극과 직각 방향으로 되어 있는 형태가 더 양호한 특성을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kazuyuki Kuxumotom Hirokazu Teraszka, Minoru Murano, Munetsugu Kjima, "Gapless Surge Arresters for Electric Power Systems", TOXIBA Review, 34(2), 1979.
- [2] Hirokazu Teraszka, Kilchi Arai, Soji Kijima, Mizuho Yamashita, Takashi Sasaki, Takatugu Yamaua, "Gapless Surge Arresters for Shinkansen Electric Coaches of Japanese National Railways", TOSIBA Riview, 34(2), 1979.
- [3] 日本電氣學會技術報告, "交流電氣鐵道, 保護技術", 610호,