

25.8 kV용 PT에서 발생하는 부분방전 저감에 관한 연구

A study on the reduction of PD generated in the PT for 25.8 kV

송재주*, 이중근**, 김성홍*, 서용균**, 나도간***, 한병성****

(Jae-Joo Song, Jung-Kun Lee, Sung-Hong Kim, Yong-Kyun Seo, Do-Gan Na, Byoung-Sung Han)

Abstract

Recently, the epoxy molded type PT for indoor and applied 25.8kV was often destroyed by degradation of insulation that effected many electric stress and defect of manufactured goods. therefore In this work, We can present a method of solution in the process of produce the PT through analysis of experiments. In order to reduce the PD (Partial Discharge) which was occurred at the insulation material of epoxy resin, we has many tried to remove faults in the process of the products,

Key words : PD (Partial Discharge), PT (Potential Transformer)

1. 서 론

최근의 전기시설물을 설치 운용은 옥외설치 방식에서 옥내방식으로 점차 바뀌고 전력 시설물들이 차지하던 넓은 소내면적을 보다 더 적은 건축물의 면적을 가지고 효율적인 운영을 하고 있으며 전기 기기들의 크기를 줄이고, 절연방식도 유입식에서 gas 주입식 과 건식 모듈드형등으로 절연방법이 바뀌어 배전판넬인 MCSG (Metal Closed Switch Gear)내에 설치되어 사용되고 있으며, 화재의 위험성도 줄이고 있다. 특히, CT와 PT, Mold Bushing, Insulator등은 에폭시 수지와 같은 절연재를 이용한 건식형으로 소형화되고 한면의 좁은공간에 집중설치하여 사용되고 있다.그러나 이런 전력시설물의 옥내화, 소형화, 배전함 속으로의 집중설치등은 절연물질의 열화와 주기

유극성 먼지와 분진들이 기기에 흡착되게 함으로써 누설전류의 증대와 전계집중에 의한 부분방전의 발생으로 국부적인 절연파괴가 일어나며 더 나아가 상과 대지간에 섬락과 같은 치명적인 사고를 일으켜 배전판넬 내부 전체로 파급되는등 많은 문제점들이 나타나게 되었다. 따라서 본 논문에서는 전력계통의 최고회로 전압 25.8 kV급의 에폭시 모듈드형 계기용 PT 및 보호계전기용 GPT의 절연열화와 직접 관련이 많은 부분방전(Partial Discharge) 현상에 대한 메카니즘을 분석하기 위해 제품의 제작과정에서 부터 모든 공정을 분석하고 이렇게 연구분석한 결과를 토대로 모든 공정에서 PD의 주 요인으로 작용하는 원인을 제거하여 시료 PT를 만들어 부분방전 시험을 실시하고 아울러 부분 방전량이 많은 피시폼은 제품 절개를 통하여 PD발생의 저감방법을 적용하였다. 한편, PT제작시 일반적으로 고려되어야 할 공정은 다음과 같다.

* 순천청암대학 전임강사

** 한국전력(주) 배전부장

*** 전북대 전기공학과

**** 전북대 전자정보공학부 교수

(E-mail : hbs@moak.chonbuk.ac.kr)

1). 진공상태에서 성형률속으로 에폭시 수지를 주입하고, 또 에폭시수지와 경화제를 잘 혼합하여 덩어리가 존재하지 않도록 한다.

2). 충분한 진공탈포를 행하여 공기를 완전 제거하여 공기나 수분에 의한 보이드가 발생하지 않게 한

다.

3). 가열용 오븐속에서 적당한 온도로 공정상 정해진 일정시간 동안 성형시킨다.

4). 1, 2차 코일단의 코일 권선작업에 따른 층간 절연은 절연능력이 충분한 절연지 사용한다.

5). 1차 코일단을 에폭시 수지를 사용하여 1차 성형한후 2차 성형시 완전한 결합을 위해 매끄러운 표면을 샌딩가공 처리한다.

6). 반도체성 화합물질인 카본블랙을 코아와 접촉하는 PT의 표면에 도포시 흡착이 잘되도록 하여 떨어지지 않도록 한다.

7). 접지단자 및 PT 고정을 위한 내부너트(insert metal)등은 각진부분이 없도록 등글게 가공처리한다.

8). 에폭시로 쓰리본드 합침하여 만든 U자형 컷트 코아를 사용하여 P.T의 철심을 소형화하는데 이것은 적철코아와 같이 자로의 결합력이 떨어지거나 부담(Burden)이 과다하여 자화에 필요한 철심이 부족하여 나타나는 옹용거림등, 자로형성 이상으로 나타나는 소음과 진동을 방지할수 있다.

한편, 본 논문의 구성은 PT의 부분방전을 연구하게된 배경과 PT의 제작공정중 중요하게 고려하는 몇가지의 사항과 부분방전에 대한 이론적인 고찰을 통해 PT의 절연물 구성체인 에폭시의 절연열화 원인을 분석하였으며 실험용 PT를 제작하여 시험분석하고 부분방전 시험을 행하여 원인분석을 내분방전, 표면방전, 코로나 방전등으로 구분하여 실험결과를 얻어 분석하고 공정에도 적용하여 높은 전압에서도 부분방전 특성이 좋도록 하여 본 연구의 목적과 부합하도록 하였으며, 향후 에폭시를 이용하여 더높은 전압에도 적용되는 절연체의 개발에도 도움이될수 있도록 하였다.

2. 부분방전 현상

2-1. 부분방전

전극간에 전압을 인가하였을 때 그 사이의 고체 절연물에서 부분적으로 발생하는 방전으로서 절연물의 내부 열화정도가 심해지거나 표면 코팅부분이 갈라져 물결이 흘러간 자국과 같은 트랙(track)이 발생되어 있거나, 분진이 습기와 함께 표면에 흡착되어 있으면 누설전류가 증대하고 미세한 방전이 일어나 국부적인 절연파괴로 코로나가 발생하여 상·대지간 또는 선간에 섬락사고등으로 확대되어 진다.

이러한 원인중 부분방전은 통상 펄스형태의 외부입

력으로 사용중에 절연물에 나타나거나 제작과정중 작업자의 부주의나 공정에서, 또는 사용중 유지보수 사항의 인식부족으로 소홀히 취급함에 기인한다.

부분방전의 크기는 전하의 량 $Q[C]$ 로서 표현하며 일정크기 이상의 펄스가 단위시간당 평균갯수[개/초]가 발생빈도가 되어 주파수에 비례하여 나타나며 종류는 유전체의 공동이나 내부의 절연내력이 낮은 함유물에 의한 내부방전, 유전체의 표면이나 반도체성 혼합물질인 카본블랙을 도포한 코아와 외함접지 및 접촉부분에서 일어나는 표면방전, 전극의 끝이나 절연물 속에 삽입된 금속의 날카로운 부분의 전계의 불평등에 의한 코로나 방전등 복합적인 방전이 있다.

이러한 부분방전에 대해서 알기 위해 주어진 실험 조건하에서 인가전압을 서서히 상승 시켰을 때 일정 방전량을 넘는 전압을 부분방전 개시전압이라 하고, 시험전압을 인가한 상태에서 측정후 서서히 전압을 감소시킬 때 일정한 방전량 이하로 떨어질 때의 전압을 부분방전 소멸전압이라 하며 이러한 전압들은 절연물의 열화현상을 규명하는 자료로 이용하고 있다. 한편,

전극간의 절연물에 교류 고전압을 인가하면 절연물의 한 부분에 방전현상이 일어나는 것은 도체간에 직렬로 놓여진 2개 이상의 콘덴서와 같이 등가적으로 볼수 있으며 절연체에서 발생하는 부분방전량은 전극간의 전체 정전용량과 관계가 있고 방전에 따른 불꽃전압이 나타난 이후 부터는 인가전압을 서서히 감소시키면 증가 때와는 다르게 보다 낮은 전압에서도 부분방전이 없어지지 않고 있음을 볼수 있는데 이는 내부 커패시턴스 때문이다.

2-2. 측정 회로의 구성

시료 PT에 부분방전이 발생하게 되면 발생 개소에 는 미소한 pulse성 전압변화가 일어난다. 이것을 검출하기 위해서는 부분방전 측정회로는 다음의 조건을 구비해야 한다.

- (1) isolating transformer
- (2) detection Impedance
- (3) coupling Condense
- (4) matching transformer
- (5) test object
- (6) PD detector

PD측정을 위해 회로 구성시 노이즈에 의한 잡음을 제거하기 위하여 필터사용과 더불어 절연 변압기(isolating transformer)를 사용해야 하는데 절연 변압기는 두 개의 스크린으로 된 전자차폐막을 갖추고 2차측 권선은 완전히 밀폐시킨 형태로서, 1차측 권선의 접지는 전원측에 연결하고, 2차측 권선의 접지는 시험회로 측에 연결한다.

시료를 시험할 때 발생하는 유도성 결합에 의한 잡음은 시험회로의 설비들의 위치를 변경하거나, 시험회로의 페루우프 크기를 최소화 또는 시험회로를 완전히 차폐를 하여 저감할 수 있으며, 접지결합 잡음은 여러 곳에 연결된 접지단자로부터도 유입되며 대지속으로 흐르는 전류가 시험회로의 한 곳의 접지단자에 흘러 들어가 두 접지 단자사이에 전위차에 의해 잡음이 발생되므로 잡음을 저감하기 위해서는 시험회로에 대해 단독접지를 행하여야 한다.

시험회로의 접지는 저 임피던스인 것을 사용하여야만 되고 설비와 접지단자를 연결하는 도선은 굵은 편조선 또는 넓은 금속판, 원형의 도체를 사용하여야 한다. 또한, 외부적인 원인에 의한 잡음은 고전압 시험, 인접한 대전력 스위치의 개폐조작 또는 무선전파에 의한 송수신등 전자계 유도와 전자파의 방사등이 시험회로에 감지되어 방전펄스로 오인될 수 있다. 이러한 잡음의 원인을 제거할 수 없으면 시험회로를 차폐하는 것이 필요하며 이때는 잘 설계되어진 판상의 금속 또는 확장된 금속망에 의한 차폐실(Shield room)을 사용한다.

한편, 내부방전은 유전체 내부에 존재하는 금속과 유전체 사이의 공동(Cavity) 또는 기포(Void)에서 발생하는 방전형태이며 전압에 따른 변화는 부분방전 개시전압보다 높게 전압을 상승시키면 방전량은 조금 증가하고 소멸전압은 개시전압과 동일하거나 조금 낮으며 전압의 인가 시간과는 거의 관계가 없다.

또한 표면 방전은 시료의 절연거리중 사용환경이 열악한 조건에서도 누설전류로 인한 표면방전을 억제하기 위해 연면거리를 애자의 날개형태로 확보하는데 표면이 매끄러워야 하고 반도체성 카본블랙등 이물질이 표면에 흡착되지 말아야 한다.

3. 시료제작 및 실험

3-1. 시료 제작

최고 회로전압 25.8 kV에 적용되는 접지형 및 비접지형 옥내용 건식 에폭시 몰드형 PT는 고전압 충

전부인 전력계통에 직접 연결된 상태로 사용되기 때문에 계통의 사고나 개폐 이상전압에도 견딜 수 있도록 충분한 절연능력을 갖고 있어야 한다. 때문에 직접적인 절연거리인 PT의 고전압부 단자와 접지 및 외함까지의 직선거리 확보와 누설전류 영향을 받는 PT 표면의 연면거리(Creepage Distance)를 충분히 고려하여 제작하였다.

PT의 구조는 1차코일과 2차코일, 1, 2차 코일을 감싸 절연한 에폭시 모듈드, 코아 조립부 및 외함이며, 코아의 조립부는 적당한 사이즈로 슬레이팅된 코아를 소둔시켜 쓰리본드 합침한 하나의 덩어리 구조로 만든 U자 말굽형 코아(재질: Z-8H)를 밴드로 조이는 형태이다.

부하가 인가된 상태에서 떨리는 현상과 응용거리는 소음이 발생하지 않게 하여야 하는데 이러한 소리는 부하가 많거나 철심의 용량(Burden)이 부족하여 자화에 필요한 충분한 자속이 철심을 통해 흐르지 못하거나 코아의 결합이 잘못 이루어져 발생한다.

2차 코일단은 에폭시 보빈(bobbin)위에 코일을 1회당 약 0.7[V]내외의 정도로 하여 전압비를 고려하여 권선비(ratio)에 따라 권선하며 정확한 비오차는 1차 권선의 횟수로 맞추며 1차 코일단의 권선방법은 1개의 코일단 구조로 절연지로 권선층간을 절연시키고 고 고른 전압분포와 절연거리 확보위해 사다리꼴 형태로 권선한 후 절연하고 에폭시 수지에 경화제가 적당히 첨가되어 혼합된 에폭시 수지로 진공상태에서 1차 성형하고 이때 발생한 코팅화된 표면을 샌딩 가공하여 2차 성형에서는 한번에 성형한 것처럼 들뜨거나 공동이 생겨 보이드가 발생하지 않도록 하여야 한다.

2차 성형방법은 1차 권선을 성형한 1차 성형물과 2차 코일단을 성형틀 속에 넣어 움직이지 않도록 잘 고정하고 진공탱크 속에서 잘 혼합된 에폭시 수지를 주입하여 액체상태에서 적당한 진공상태로 하여 기포가 발생하지 않도록 완전하게 공기를 제거한 다음 적당한 온도와 일정한 시간동안 열처리로서 성형시키게 되는데 주의할 점은 정확한 시간업수와 코일단이 한쪽으로 치우치지 않도록 하여 정확한 절연거리를 확보하여야 하며 전체적으로 에폭시의 두께가 비슷해야만 교체화되는 과정에서 수지의 응집력으로 인해 한쪽으로 치우치지 않으며 응집력으로 인한 내부크랙이 발생하지 않는다.

이렇게 2차 성형된 시료는 철제 외함부분과 철심

이 접촉하는 표면에 2차 성형된 절연물속의 1차코일에서 생기는 전계를 등전위화 하기 위해 반도체성 혼합물질인 카본블랙을 이용해 표면에 골고루 도포하여 균등전계를 형성시켜 주므로써 어느 한 부분에서 전계의 집중현상으로 부분방전이 일어나지 않도록 한다. 한편, 코아는 접지 처리하고 외함 고정용 및 PT의 고정용 볼트와 너트도 고전압이 인가된 상태에서는 코로나방전 요인으로서 많은 영향을 주므로 등글게 가공처리 하여야 한다.

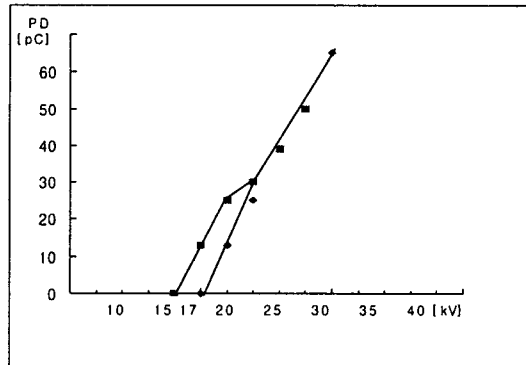


Fig 1: results of PD test

3-2. PT의 부분방전 시험

온도변화에 따른 영향을 줄이고 내부크랙이나 내부금속이 1차 성형물과 불완전결합 등에 의해 실제 사용중 부분방전 현상이 심화될수 있으므로 또 방전량 측정시 부정확성을 없애기 위해 일정한 온도로 주기적으로 반복하는 항온항습 시험을 실시하고 난 후 완전히 차폐된 쉴드룸 내에서 시료의 부분방전 시험을 실험을 하였다.

시험방법은 국제 표준규격 IEC-44.4에서 제한하는 규정 전압($1.1 U_m/\sqrt{3}$: U_m - 최고회로 전압)에서 측정하며 부분 방전량도 50(pC) 이하 값으로 한다. 접지형 PT의 경우에는 PT의 고압측 입력단자의 U에 전압을 인가하고 1차측 V와 저압측 단자 v는 접지하고 저압측 u는 개방하여 시험하며 비접지형의 경우 절연변압기에서 나오는 고전압을 양단자를 연결한 U-V에 인가하고 저압측 u-v는 연결하여 접지측 단자와 함께 잡음의 영향을 받지않게 하기 위해서 단독접지 처리한다. 한편,

제작된 시료에 대해서 부분방전시험을 행한 결과 (Fig 1참조) 대부분의 시료들은 부분방전 개시전압이 17kV정도이며, 부분방전 소멸전압은 약간 낮은 15kV 정도 였는데 이는 내부방전의 원인인 1차코일부의 잔류전압 때문이며 양호한 결과를 나타냈다.

한편, 가청코로나 측정결과 대부분의 시료는 26kV에서 발생하였으며 측정기로부터 약 3 (M)의 거리에서 코로나 발생음을 직접들을수 있는 전압으로서 절연의 좋고 나쁨을 알아보는데 많은 도움이 된다.

3-3. 실험 결과 및 분석

시료에 대한 실험분석한 결과 부분방전 발생에 따른 원인은 Fig 2와 같이 구별할수 있다.

대부분의 시료 PT에서 많은 부분 방전량을 나타내었는데, 이것은 구조적으로는 중복되어 여러가지 요인으로 작용하고 있으며, 특히 내부에서 많이 나타나 내부적으로 PD불량의 원인을 제거하는 것이 가장 큰 공정상의 문제점이다.

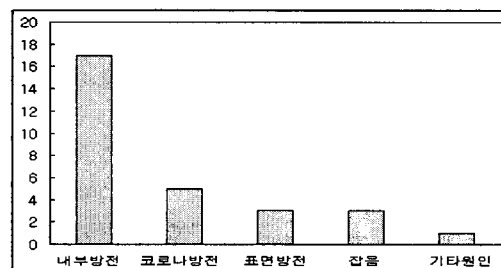


Fig 2: A classified PD according to the source

한편, Fig 3에서 알 수 있는 것은 PT의 부분방전 특성을 결정하는 주요인이 내부방전으로서 1차 코일 단을 어떤 절연지를 사용하여 1차코일의 움직임이 없도록 하기위해 충분히 예폭시 함침하여 권선 층간 절연을 어떻게 확보하느냐가 중요하였다.

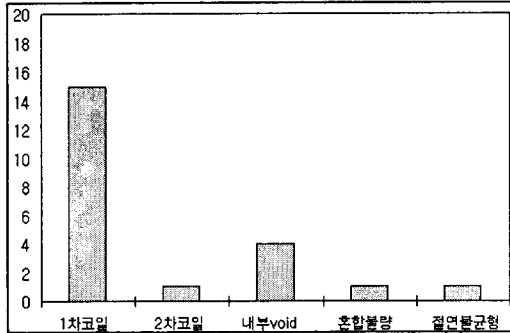


Fig 3: A source of internal discharge

부분방전 원인에 대해 정확한 진단을 하기 위해서 성형 공정에서 온도와 압력에 영향을 많이 받으므로 온도와 압력에 따른 변화 즉, 항온항습시험(Heat Cycle Test) 결과를 관찰하는 것도 진단의 방법이다. 가끔 방전특성은 생산된 후 갑자기 변하는 경우가 있다. 만약 절연체가 수분을 함유하고 있을 때에는 더욱 복잡한 특성이 유전체와 공극 사이의 수분의 이동 때문에 제조후의 시간과 시험 온도 주기에 따라서 달리 나타나기도 된다.

한편, PT의 부분방전 발생원인이 거의 내부방전이며, 1차 코일을 구성하고 있는 코일단 구성에서 기인 하였음을 알았다.

4. 결 론

본 연구에서는 최고회로 전압 25.8 kV급에 적용되는 계기용 PT 및 보호 계전기용 GPT가 에폭시 건식형으로서 옥내용으로 판넬 MCSG내에 설치되어 사용중 일어나는 파손이 가장 큰 문제점 이었다.

따라서, 에폭시 절연체의 절연열화로 인한 절연과피에 직접적인 원인인 부분 방전현상을 분석하여 저감방법을 제작공정에 적용시키므로서 방전량을 줄이고 높은 전압에서도 PD특성이 좋은 PT를 만들 수 있는 다음과 같은결론을 얻을 수 있었다.

- 1). 외부방전의 원인은 코아와 접지, 표면의 반도체성 물질의 고온도포를 하여야 하며, 표면방전은 적당한 성형온도로 깨끗하고 매끄러운 에폭시면을 형성한다.
- 2). 부분방전 원인의 대부분은 내부방전으로 1차 코일단의 층간 절연방식을 어떻게 하느냐가 내부의

정전용량을 줄이는 최선의 방법이다.

- 3). PT의 1차코일의 층간 절연지가 완전히 함침되어야한다.
- 4). 옥내용 건식형 PT등에는 1선 지락과 같은 사고시 최대 $\sqrt{3}$ 배 이상의 내외부 서지 전압에도 견딜수 있는 연면거리를 확보해야 한다.
- 5). 1차 코일단 내부의 층간절연을 위해 사다리꼴 형태로 권선한다
- 6). 옥내용 PT의 사용 최대전압은 주위 환경에서의 허용 전압보다 낮게 선정할 필요가 있다.
- 7). 에폭시의 유전율과 유전정접($\tan \delta$)값을 낮게하여 부분방전 발생을 억제한다.

한편, 향후에는 154kV등 초고압에서도 좋은 PD특성을 가지고 이상전압에서도 절연능력의 저하와 부식으로 인하여 절연과피 되지 않고 견딜 수 있도록 훌륭한 메카니즘을 가진 기기 즉, 가스주입식이나 에폭시를 이용한 우수한 절연재료가 개발되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] T.Okamoto and Tanak"Cycle-mean Φ -q Characteristics of Patial Discharges in Six Electrode System", JIEE Vol. 102 No.7, pp.7 ~14, 1982
- [2] T.W.Dakin et al, "Voltage Endurance of Epoxy Resins with Microcavity Type", IEEE. Inst, Conf. Elect Ins, pp. 291, 1976
- [3] Y.Kitamura, S.Hirabayshi, "Tree Inception Condition at a Pit Formed in the Vicinity of Electrode in Epoxy Resin",JIEE,Vol.106,No. 4, 1986
- [4] U.Bammert, et al" Patial Discharge Mesured with an Automated System in Epoxy Resin and P.E", IEEE Trans,Vol. 23, No.2, 1988
- [5] 김재환외 2인, "부분방전 전하와 음향방출 펄스의 동시 측정에 의한 트리잉 파피 진단", 한국전기전자 재료학회, Vol. 10, No.3, pp 247- 254, 1997
- [6] 김성홍, " 컴퓨터 감지 시스템을 이용한 절연열화의 수명예측"논문 6. 1997
- [7] 한병성 외 2인, "에폭시 수지의 절연열화현상에 관한 연구" 전북대 공업연구 제15집, p157-164, 1984