

에폭시 몰드형 PT의 절연특성 개선

Improvement on Property of Insulation in PT of Epoxy Mold Type

송 재주*, 김 성홍*, 최 명호**, 이 계***, 임 성훈***, 한 병성***

(Jae-Joo Song, Sung-Hong Kim, Jae Lee, Sung-Hun Lim, Byung-Sung Han)

Abstract

PT of epoxy mold type have tendency to occur dielectric breakdown in high voltage system. These are using for measurement of voltage or protection of system and application voltage is 25.8kV. Therefore, for improving a lots of problems like as partial discharge, we had analyze on the destroyed Epoxy molded type PT and processing of production. As a results, we concluded that the reason of dielectric breakdown was defect of processing and degradation of insulation by electrical stress. In this work, We presented a method of solution in processing of production, which is reduction of the PD which was occurred at the insulation material. so we must many try to remove faults, these problems are mainly to winding methods of 1st coil. the other side, Reformation of 1st coil improved property of PD and we could prove it with experiments.

Key words: PD(Partial Discharge), MCSG(Metal Clad Switch Gear)

PT(Potential Transformer), 1st coil(1st coil winding of PT for high voltage)

1. 서 론

변전소의 MCSG(Metal Clad Switch Gear)에 설치하여 운용하는 전력설비 중에는 변류기(CT), 변류기 내장형 붓싱(BCT), 계기용 변압기(PT)등이 옥내용으로 에폭시 몰드형으로 많이 사용되고 있다. 이러한 절연기기 중에서 PT는 이상전압과 절연열화에 따른 절연파괴 사고가 일어나곤 하였다. 특히 최고 회로전압 25.8kV에 적용되는 특고압용 PT의 경우, 한면의 좁은 공간에 3상의 GPT가 설치되어 있다. 그러나 주기적인 청결작업 소홀로 인해 유극성 먼지와 분진들이 PT표면에 흡착되어 누설전류를 증대시켜 상대지간에 섬락을 유발하거나, 절연물 내부의 절연열화에 따른 1차 권선이 절연 파괴되어 생긴 가스압에 의해 절연물 표면이 갈라짐에 따라 절연파괴가 일어나게 되어, PT 상호간에 영향을 주어 또 다른 사고원인을 제공하기도 한다.

따라서 본 연구에서는 에폭시 몰드형 PT의 절연열화나 절연파괴와 관련이 많은 부분방전 특성⁽¹⁾과 발생원인 연구, 누설전류 감쇠를 위한 표면의 절연거리 증가, 코아 및 반도체성 카본을 도포하여 전계의 불평등분포를 개선하는 등 주요공정의 변화를 시도하였다. 한편, PT의 주요공정과 사고 원인을 분석한 결과를 토대로 시료를 제작하여 시험을 수행하였는데, 그 결과 부분방전 요소를 많이 제거시킬 수 있었고, 절연특성이 많이 개선된 양호한 데이터를 얻을 수 있었다.

2. 실험

2.1 시료 제작

시료제작은 기존의 모델에서 사고 유형을 분석한 결과를 토대로 보완점을 찾아 설계하였다. 에폭시 수지는 CIBA-GEIGY의 LSH-A(bisphenol)계로 붉은 색을 띄며 점도는 80℃에서 5000~7000 mpas 정도로 높고, 경화제는 LSH-B로 25℃에서 150~250 mpas 정도의 점도를 갖는 무수물이다. 한편, 배합비가 100 : 20[pbw]일 때 혼합된 에폭시 수지의 주요 특성은 표 1과 같다. 표 2는 시료 PT 제작 시에 기존의 PT 제작공정에서 적용 개소별로 나타난 문제점들을 개선한 값을 나타내었다.

* 順天靑巖大學 컴퓨터 情報科學部/ 電氣 通信科
(全南 順天市 德月洞 224-9번지)
FAX: 061-740-7312

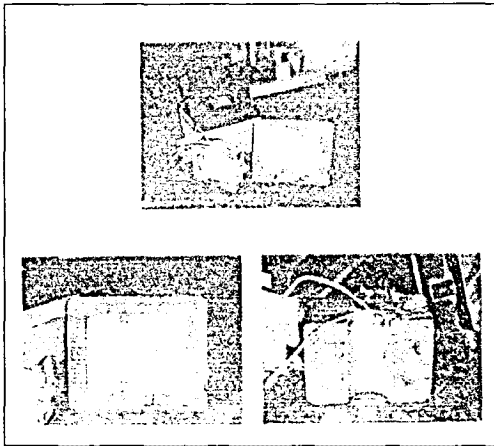
E-mail: jjsong@scjc.ac.kr

** 光州保健大學 醫療情報工學科

*** 全北 大學校 電子情報 工學部/ 電氣工學科

표 1. 혼합된 에폭시 수지의 물리적 특성
Table 1. Physical properties of mixed epoxy resin

Tensile strength	60~80	[N/mm ²]
Flexural strength	110~130	[N/mm ²]
Deflection	2~3	[mm]
Impact strength	12~15	[KJ/m ²]
Heat distortion temperature	70~80	[°C]
Water absorption 10 days at 23[°C]	0.1~0.2	[%]
Flash point	168	[°C]
Electrical strength	17~20	[kV/mm]
Arc resistance	4	grade
Tracking resistance	KA 2	grade
Electrolytic corrosion	A-1	grade
Viscosity of mix(80°C)	300~600	[mpas]



.그림1. 에폭시 몰드형 PT의 절개된 모습
Fig1. Figure of incised PT of epoxy molded type

한편, 그림 1은 PT의 외형과 내부의 1, 2차 코일 권선 형태, 사다리꼴 형태의 1차(고압측) 코일단의 권선층 간 및 코일사이의 합침 정도와 절연물내의 보이드를 관측하기 위해 절개한 모습으로 양호한 상태이다.

표 2. 절연특성 개선을 위한 공정변화 데이터
Table 2. Data of processing changing for improvement of insulation property

Application point	old model	Modified new model	
Appearance	distance of insulation	215[mm]	245[mm]
	creepage distance	248[mm]	290[mm]
	core material	RG-9 /EI core	Z-8H/U type cut core
Internal	1,2nd bobbin	paper	epoxy
	turn voltage	0.8(v/t)	0.7(V/t)
	1st coil form	connection of 4 disk type / dispersion of voltage	trapezoid of 1 disk type
	1st coil voltage	disk-disk: 3.5[kV]	grade-grade: 0~0.5[kv]
	material of peneration	varnish	epoxy
	cast of 1st & 2nd coil	seperation type	one body type
	insulation material	paper	paper of coating film

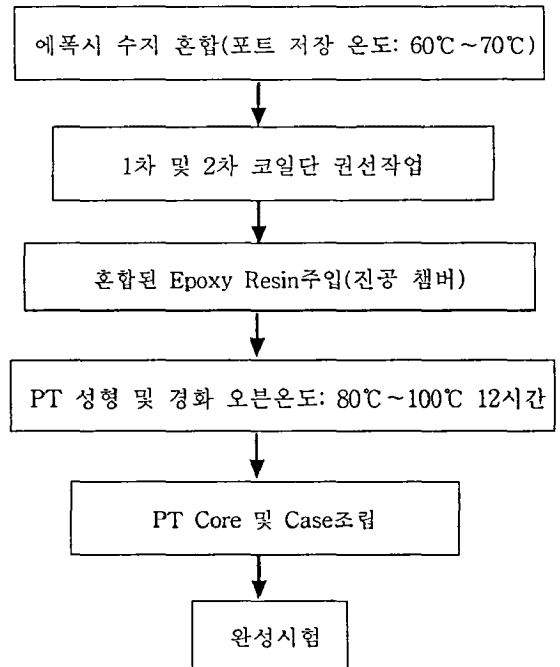


그림 2. 공정 흐름도
Fig 2. Block diagram of processing

그림 2는 PT 제작과정의 공정흐름을 알기 쉽게 나타내었다. 특이한 점은 고압(1차)측 코일단을 1차로 성형한 후에 표면을 샌딩하여 2차 성형시에는 저압(2차)측 코일단과 완전한 접합이 이루어질 수 있도록 해야하며 성형한 후에는 높은 온도에서부터 서서히 자연냉각을 시켜 에폭시 고유의 절연능력을 갖도록 한다. 또한, PT의 밑바닥 배면에는 반도체성 카본을 도포하여 전계 분포를 평등하게 하여야 하며, U 자형 컷트 코아를 조립할 때는 외함과 코아와 카본이 도포된 면을 완전히 밀착시켜 접지처리 하여야 표면의 방전발생이 적어진다

2.2 측정 회로 구성

시료 PT에 고전압을 인가하면 내부의 보이드나 외부의 부분방전 발생 개소에는 미소한 펄스성 전압변화가 일어나게 되는데, 이것을 전기적인 회로에서 검출^[3]하기 위하여 그림 3과 같이 측정회로 구성^[2]을 하였다.

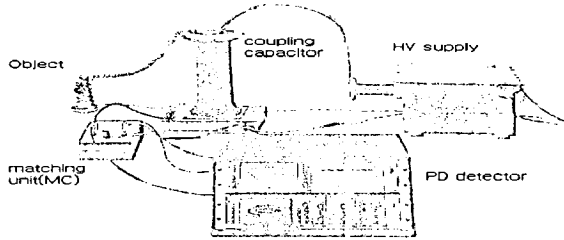


그림 3. 부분방전 시험을 위한 측정회로
Fig. 3. The circuit of Partial Discharge test

전원이나 접지를 통한 외부의 노이즈를 차단하기 위해 실드 룸 내에서 시험을 수행하였으며, 설비와 접지단자를 연결하는 도선은 굵은 편조선이나 넓은 금속판을 사용하고, 특고압 연결부위는 주름이 있어 구부러지기 쉬운 원형의 알루미늄 도체를 사용하였다. 외부잡음을 제거하기 위해 전원 측에는 스크린을 설치한 절연변압기를 사용하고, 특별 고압용 변압기 전원 측에도 필터를 사용하여 노이즈 침입을 막았다. 한편, 시험장비는 TETTEX Instruments 9120 Series이고, 구성은 Z_d (detection impedance), C_k (Coupling capacitor), dd (discharge detector) MC(Matching Unit) 등이다.

2.3 부분방전 시험

시험 적용기준은 IEC 270 또는 JEC 1201규격에 따르며 적용될 계통의 최고 회로 전압이 25.8[kV]급 접지형이다. 부분방전 시험은 1, 2차 권선의 단자는 개방하고 1차 권선의 입력단자에 최고전압의 1.2배

전압 17.9 [kV]에서 10초간 유지한 다음 서서히 내려 최고 회로 전압의 $1.1 U_m/\sqrt{3}$ 배인 전압 16.4[kV]에서 1분 이상 유지한후 측정하며, 부분방전 기준값은 50[pC] 이내로 규정에 따라 제한하였다. 그림 4에 시료를 제작하여 LOT별로 시험한 데이터를 표시하였다. 시험방법은 1 LOT별 5개의 시료로 기존의 PT모델(LOT 1), 내부 구성형태를 개선한 시료(LOT 2), 외부 형태를 개선한 시료(LOT 3), Table 2의 내, 외부 모두에 적용하여 개선한 시료(LOT 4)를 사용하였다. 한편, LOT 4 시료에 대해서는 부분방전 개시전압과 소멸전압을 측정된 결과를 그림 5에 나타내었는데, 시료 모두 양호한 특성으로 거의 비슷한 값을 나타내었다.

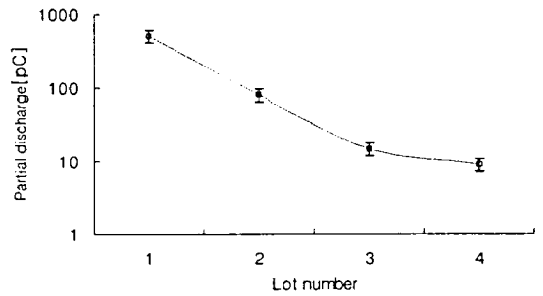


그림 4. 각 LOT별 부분방전 시험 결과
Fig 4. Results of PD Test with each LOT

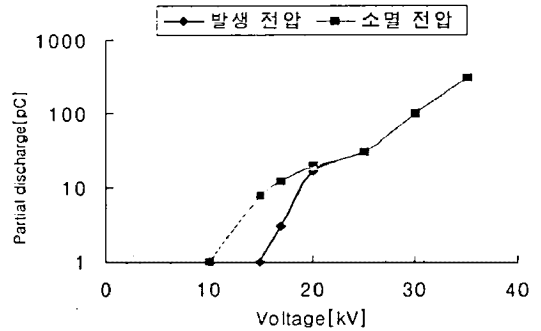


그림 5. 부분방전의 소멸과 개시 전압
Fig 5. Generation & Extinction Voltage of PD

그림 6은 청각에 의한 부분방전의 음향적 방출^[3]을 감지하기 위한 실험으로서 사용 중에 발생될 수 있는 절연열화 여부에 대한 예측 진단이 가능한 것으로 많이 이용되고 있다. 가칭 코로나 발생 시험은 불을 끈 후 전압을 최고 28.4kV까지 높여 10초간 유지한 다음 서서히 전압을 낮추면서 약 2[m] 떨어진 곳에서 코로나 음을 가청할 수 없는 전압을 나타냈었다.

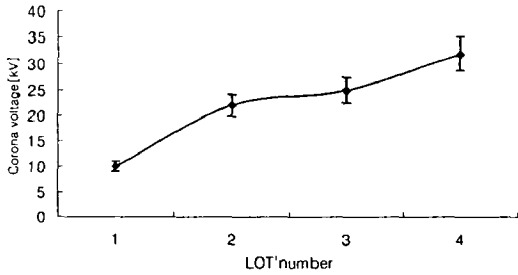


그림 6. PT에서 발생된 가청 코로나 시험
 Fig 6. A hearing test of corona sound generated in PT

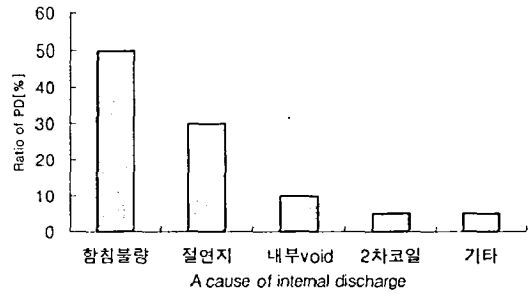


그림 8. 내부 방전의 원인
 Fig 8. A cause of internal discharge

3. 결과 분석

1) 부분방전의 결과에 따른 분석

PT의 부분방전 발생에 대해 실험한 결과를 분석해보면 원인들을 그림 7과 같이 구별할 수 있다. 절연물 내 1차 및 2차 권선의 층간 절연지의 불완전한 함침이나 보이드에 의한 내부 방전의 형태와, 유전체의 표면이나 코아 접촉부위 또는 외함의 접지, 전극의 끝이나, 전계 불평등에 의한 표면방전, 내 외부의 잡음 등으로 나눌 수 있었다.

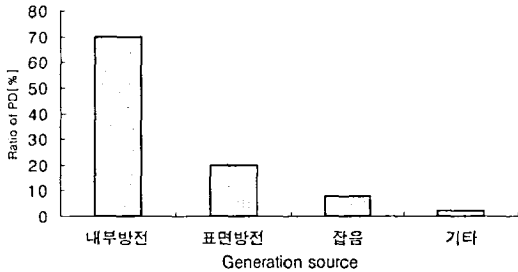


그림 7. 발생원인에 따른 부분방전의 분류
 Fig 7. Classified PD According to the Source of Generation

한편, 부분방전이 많이 나타난 시료들은 구조적으로는 여러 가지 요인이 함께 중복되어 나타났다. 특히 PT절연물 내부 1차 코일단에서 PD의 발생 원인이 가장 많은데, 이것은 내부방전으로 PD 소멸전압이 발생 전압보다 약간 적게 나타나는 이유이기도 하다. 그림 8은 내부방전의 원인을 밝혀주는 것으로서 PT의 절연특성을 결정하는 중요한 요인이며, 1차 코일단의 권선 방법과 층간절연, 1차 성형시의 함침 방법 및 탈포의 중요성을 보여 주고 있다. 절연물 내의 보이드에 의한 원인이나, 2차코일 및 혼합 불량은 1차 코일단에 비하면 아주 미비하였다.

2) 시료 조사에 의한 원인분석

불량이 심한 시료 PT를 절개하여 1차 코일단을 확인한 결과, 1차 코일단 내부 깊은 곳에는 에폭시 수지가 완전하게 함침되지 않아 있었으며, 권선된 코일은 고정되지 못하고 움직임이 있었다. 또한, 사용 중 일어난 기존 PT의 경우는 권선 층간에는 바니쉬 함침이 완벽히 이루어지지 않아 코일이 많이 움직였으며, 절연지에 탄흔이 존재하거나 층간단락이 발생한 것을 볼 수 있었다. 이는 PT의 부분방전 발생원인이 거의 내부방전이며, 1차 코일을 구성하고 있는 코일단 구성에서 기인하였음을 보여 주는 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 에폭시 몰드형 PT의 절연능력 저하를 수반하고 절연파괴의 직접적인 원인이 되는 부분방전 현상이 사용 중에 지속적으로 발생하는 문제점을 개선하기 위해 각 시료들에 대한 실험 데이터를 분석하여 이를 표 1과 같이 제작공정에 적용시켜 보았다. 주변환경의 영향이나 이상전압에서도 절연열화가 급속히 진행되지 못하게 하며, PT의 부분방전 저감을 통한 절연특성 개선 방법을 실험 결과에 따라 다음과 같이 제시할 수 있었다.

- 1차 코일단의 층간 절연능력을 배가하기 위해 에폭시 함침이 잘되는 절연지를 사용한다.
- 표면오손에 따른 누설전류를 제한하기 위해 IEC-185에서 제시한 보통의 오염도에 따라 연면 거리는 20(mm/kV)이상 확보하였다.
- 표면방전 원인인 코아와 외부 함 및 PT배면의 접지처리가 필요하다.

따라서 에폭시 수지를 이용한 건식 몰드형 PT는 전기적인 스트레스로 인하여 사용중 전기적 트리 발

생으로 인한 절연열화^[4]나 절연과피와 같은 사고를 방지하기 위해 일정전압에서 부분 방전이 발생하지 않도록 제작공정에서 세심한 주의를 기해야 할 것이다. 또, 에폭시 수지의 사용용도에 따른 경화제 선택 및 충전제의 사용이 절연의 열화정도를 감소시킬 수 있으므로 적당한 배합비에 따라 잘 혼합하여 에폭시의 유전율과 유전 정접값을 낮게 하는 것도 부분방전 발생을 억제하는 방법^[5]이다.

REFERENCE

- (1) G.C Stone, "Practical Techniques for Measuring Partial Discharges in Operating Equipment", Processing of the 3rd International Conferences on Properties and Applications of Dielectric Materials pp,12~17. July. 1991
- (2) J.J.Song, et.al "A Study on the Prevention of Crack Generated in Interface Cu and Epoxy with Painting of Carbon" KIEEME, vol.14, No 7, pp578~583. 2001
- (3) 김성홍, "컴퓨터 감지 시스템을 이용한 절연열화의 수명예측"논문 6. 1997
- (4) G.C Stone, S.A Boggs, "Wide band Measurement of the 1982, IEEE, Symposium on Electrical Insulation Philadelphia, 1982, pp 137~140
- (5) 한병성 외 2인, "에폭시 수지의 절연열화현상에 관한 연구" 전북대 공업연구 제15집, p157-164,