

몰드형 계기용 변압기의 소손원인 해석에 관한 연구

최충석*, 김혁수*, 송길목*, 김형래*, 이덕철**
 *전기안전시험연구원, **인하대학교 전기공학과

A Study on the Deteriorated Cause Analysis of Mold Type Potential Transformer

Chung-Seog Choi* · Hyug-Soo Kim* · Kil-Mok Shong* · Hyung-Rae Kim* · Duck-Chool Lee**
 *KESCO ESLRI, **Inha University

Abstract - In this paper, we intend to establish the judgement of electrical fire through analysis of PT(Potential Transformer) using the power installation. The columnar structure and the void generated by abrupt heat grew at the center of boundary-face on the metallurgical microscope analysis. The detection of OK lines was confirmed by EDX(Energy Dispersive X-ray spectroscopy) as melting and recombination due to the layer-short of the wiring. We found that the thermal-weight decrease occurred at 300°C in case of being the thermal-deterioration on the base of the result that analyzed the insulated-materials by using TGA, and the thermal reaction limited-value of PT insulator was about 300°C on the DSC curve. As this analysis, we confirmed what the layer-short appeared in the wiring of PT.

여 성분분포의 경향을 분석하였다. 절연재료의 경우 열처리과정을 통해 얻은 자료를 이용하여 열분석기(TA ins., USA)를 이용한 열중량과 열량분석을 통해 실제 사고현장에서 수거한 계기용변압기의 소손원인을 비교·분석하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 계기용 변압기의 소손추정

계기용 변압기의 외형은 그림 1의 (a)에서와 같이 일반적으로 각 수변전설비에 설치되어 있는 것을 알 수 있다. 계기용 변압기는 과부하나 단락의 내부적 요소나 외부의 기계적 충격요소에 의해 파괴되면 (b)와 같은 형태가 된다. 외형구조의 열화상태를 보면 몰드된 절연재료는 크랙(crack)이 가고 내부의 급격한 열 영향으로 인해 국부적으로 검게 그을리거나 하얗게 탈색되어 있고 권선부분의 도전재료는 국부적으로 급격하게 소손된 형태로 나타났다. 계기용 변압기의 소손된 외형에서도 알 수 있듯이 용융망울이 국부적인 열에 의해 소손되어 있고 절연재 역시 열이 전체적으로 퍼져 있기 보다는 심하게 균열이 간 부분에서 검게 그을린 부분이 있는 것으로 보아 내부적인 요소에 의한 급격한 열 영향이라고 추정된다.

따라서 본 실험은 단락에 의한 전선의 비교와 열영화에 의한 절연재의 소손정도를 비교할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

현재 산업시설의 확충과 대용량화로 전기의 사용은 중요한 역할을 담당하며 급속한 발달을 보이고 있다. 이러한 발달로 산업시설이 양적 질적으로 성장하고 있지만 전기로 인한 재해도 대형화되어 가고 있는 실정이다.

'98년 전기재해를 분석해 보면 전기설비사고의 경우 사고설비조사대상 4,632건 중 고압설비사고가 1,507건으로 컷아웃스위치(COS)가 24.2%로 가장 많이 차지하고 다음으로 수배전용 개폐기, 변압기, 계기용 변성기함 등으로 나타났다. 또한 계기용 변압기의 사고는 9건이 발생하여 0.6%의 사고발생률을 보였다. 설비사고의 원인을 보면 자연열화가 30.4%로 가장 높고 다음으로 습기, 과부하, 보수불완전 등으로 나타났다.

전기설비사고의 많은 비율은 차지하고 있지는 않지만 사고의 파급효과가 크고 대형화재로 야기될 수 있는 몰드형의 계기용 변압기(22.9/√3kV / 190/√3V, 200VA)의 소손원인을 분석하고자 하였다. 일반적으로 계기용 변압기는 제작불량으로 인한 중간단락이나 절연파괴와 사용할 때 시공자가 계기용 변압기의 작동이외에 규비클의 전등이나 발열선의 전원 공급, 환풍시설의 운영 등에 연결하여 과부하에 의한 과전류가 발생하여 사고로 이어지는 요인이 되고 있다. 그리고 절연파괴에 의한 요인으로 몰드형 절연재 내부의 충격이나 환경열화요인에 의해 금이 생겨 기중절연파괴로 이어지는 경우가 있다. 이러한 요인에 의해 사고가 발생하는 경우 첫 번째와 둘째는 좀더 세심한 주의에 의해 사고를 방지할 수 있다. 마지막의 경우에도 수시로 점검관리를 통해 이상유이나 유관상 금이 보인 경우 교체를 통해 파괴되는 사고를 예방할 수 있다.

따라서 본 논문은 계기용 변압기의 권선부분과 성형물드된 절연재료부분으로 나누어 재료특성에 따라 주사전자현미경(JEOL, Japan)에 의한 조적을 분석하고 권선부분을 채취한 후 EDX(Oxford, England)를 이용하



(a) 수변전설비에 설치되어 있는 계기용 변압기



(b) 소손된 계기용 변압기의 실제사진

그림 1 계기용 변압기의 외형
 Fig. 1 External form of PT

2.2 도전재료

계기용 변압기(22.9/√3kV / 190/√3V, 200VA)의 재료를 분석하기 위해 권선의 한 가닥 직경 0.18mm의 전선을 단락시켜 SEM과 EDX를 중심으로 각각 외형구조와 성분비의 변화를 찾아내고자 하였다. 그림 2는 단락실험을 하기 위한 장치의 회로의 개략도를 나타낸 것이다.

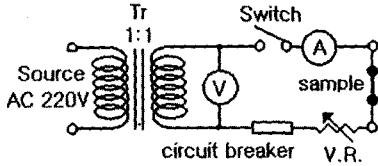


그림 2 계기용 변압기 권선의 단락실험을 위한 개략도
Fig. 2 The schematic for layer short-circuit of PT

2.3 절연재료

물드린 유기절연재료의 열화는 경년에 따라 다르므로 열적인 요소만을 가속화하여 그 특성을 찾아내고자 하였다. 따라서 물드성형된 부분을 일정크기로 절단하고 세척하여 상온에서 건조시킨 후 전기로(Electric Muffle Furnace)를 이용하여 실험적으로 온도는 각각 100℃, 300℃, 350, 400℃, 500℃으로 일정하게 설정한 다음 건전시료를 열처리하였다. 그림 2는 절연재료의 열처리 과정을 온도곡선으로 나타낸 것이다.

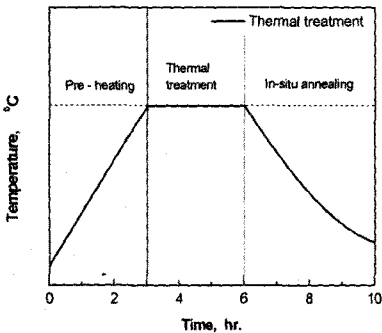


그림 3 계기용 변압기 몰딩재료의 열열화과정
Fig. 3 Thermal deteriorated process for molding materials of PT

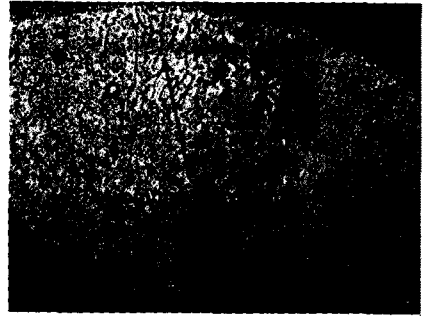
3. 결과 및 고찰

3.1 표면구조분석

일반적으로 건전시료에서 보이는 구조는 연신되었을 때의 원형을 보전하고 있는 형태를 가지고 있지만 금속현미경에 의해 단면을 확대하면 그림 4의 (a)에서 층간 단락된 용융부분이 급격한 열영향에 의해 발생될 수 있는 추상조직(columnar structure)과 보이드(void)가 경계면을 중심으로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 단락실험에 의해 재현된 용융부분은 (b)에서와 같이 경계면을 중심으로 추상조직과 보이드가 생성되었다.



(a) 소손시료



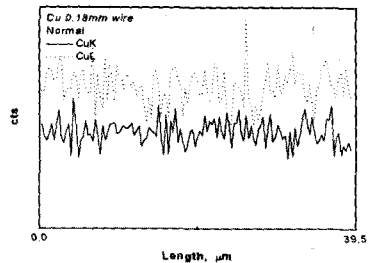
(b) 재현시료

그림 4 계기용 변압기 권선의 금속현미경 사진
(mag. × 200)

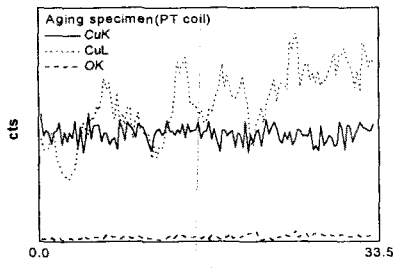
Fig. 4 Metallograph of PT layered-wire (mag. × 200)

3.2 성분분석(EDX)

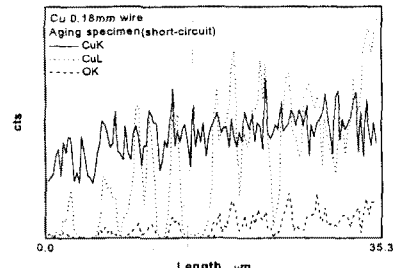
건전시료를 선주사(linescan)에 의해 성분분포의 경향을 보면 그림 5의 (a)와 같이 연신된 형태를 감안할 때 CuL과 CuK는 거의 일정한 분포를 이루고 있음을 보여준다. (b)는 기포가 발생하고 표면의 구조가 열화된 권선부분으로 CuK는 일정비를 유지하고 있지만 CuL의 경우 매우 불규칙하게 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 또한, 전체적으로 소량의 OK가 검출되었다. (c)는 단락실험에 의해 재현한 것으로 CuK, CuL, OK가 나타나 (b)와 유사한 경향의 분포를 나타냈다. 특히 표면구조의 에너지변화가 생기면 발생하는 CuL의 변화가 불규칙하게 나타나고 있음이 확인되었다.



(a) 건전시료



(b) 소손시료



(c) 채현시료

그림 5 EDX를 이용한 권선의 spectra
Fig. 5 Spectra of winding-wire by using EDX

3.3 열중량분석(TGA)

건전시료를 열화시료와 비교한 결과 이미 탈황된 열화시료의 열중량은 그림 6에서와 같이 고온으로 열처리할수록 열중량변화가 적어지는 경향을 보였다. 정상시료인 경우 61.72%의 중량감소가 발생하였지만 500℃에서 열처리한 경우 일차 중량감소는 약 3.53%로 감소했음을 할 수 있다. 소손된 시료는 700℃ 전후에서 약 7.72%의 열중량 감소가 있었다. 열처리한 시료와 비교한 결과 그림에서 알 수 있듯이 약 370℃ 근처에서 일차하고 있음을 보여준다.

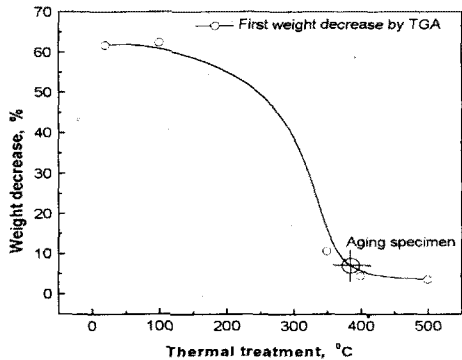


그림 6 계기용 변압기 절연재의 TGA 분석
Fig. 6 TGA graph of PT insulated materials

3.4 시차주사열량분석(DSC)

건전시료부터 300℃까지 열처리한 시료에서는 250~450℃의 범위에서 시차주사에 의한 열량 특성피크가 나타났다. 300℃이후 고온에서 열처리한 시료는 열처리시 이미 소모되어 열량이 나타나지 않았다. 따라서 열량분포의 경향으로 보아 열화된 시료는 정상시료에서 나타나는 열량을 갖고 있지 않음이 확인되었다.

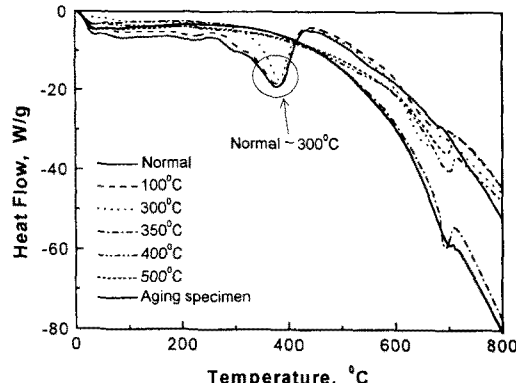


그림 7 DSC에 의한 특성비교 곡선
Fig. 7 Curve of characteristic comparison by DSC

4. 결 론

소손된 계기용 변압기의 재료분석에 의한 원인을 해석하면, 금속현미경에 의해 권선은 건전시료와 달리 소손된 시료는 급격한 열영향에 의해 발생하는 주상조직과 보이드가 경계면을 중심으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 성분분포의 경향을 보면 건전시료에서 CuL과 CuK는 일정한 형태를 나타냈지만 소손된 시료는 표면구조가 소손되어 변형되었을 때 보이는 CuL의 성분비가 불규칙적으로 나타났다. 또한, 열화된 시료에서 열에 의해 소량의 OK가 결합한 형태를 보였다. 위의 형태변화는 열 영향이 급격하게 나타난 것으로 일반적으로는 층간단락에 의해 열이 진행된 형태를 보여준다.

절연재의 열화에서도 급격히 열을 받아 국부가 손상된 형태를 보였으며, 열중량 감소에 의한 특성변화를 비교·분석하면 소손된 시료의 열중량 감소경향이 350~400℃ 사이의 열처리한 시료의 경향과 거의 일치하고 있음을 확인하였다. 시차주사열량(DSC)에 의해 열처리되지 않은 시료부터 300℃까지 열처리한 시료의 250~450℃범위에서 시차주사에 의한 열량이 발생하였다. 300℃ 이후 열처리한 시료는 열량이 나타나지 않았다. 열량분포의 경향으로 보아 열화된 시료는 정상시료에서 나타나는 열량을 갖고 있지 않음이 확인되었다.

따라서 계기용 변압기의 사고는 과부하나 내부의 결합에 의해 권선이 급격한 열영향을 받아 열이 방사되지 못하고 축적되면서 절연재료가 탈색과 균열이 발생하고 층간단락으로 이어지는 과정을 거쳐 사고로 과급되었음을 입증할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

[1] 韓國電氣安全公社, 電氣火災 統計分析, 1999, pp.51-56
 [2] 최충석 외 3명, "低壓用 HIV의 熱劣化에 따른 組成變化 分析, 대한전기학회 춘계학술대회는문집, pp.8-11, 1999
 [3] KS C 1706, 1707, 계기용 변성기, 한국표준협회, 1992
 [4] Tryon, G., "Fire Protection", NFPA, pp.19-21
 [5] 최충석 외 5명, "전기화재공학", 東和技術, pp.98-105, 165-212, 1999