

변압기 열열화 모의 고장에 대한 유증가스 분포연구

선종호, 이상화, 김광화
한국전기연구원

A study on gas dissolved distribution in oil for simulated transformer thermal faults

J. H. Sun, S. H. Yi, K. H. Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper describes a study on gas dissolved distribution in oil for simulated transformer thermal faults. Experimental chamber was setup for simulation of transformer thermal faults or discharge in oil with or without insulation paper. The experimental results showed that dissolved gases in oil excluding the paper did not evolved upto 150°C. Hereafter the planned gas dissolved analysis will be continuously carried out for transformer fault conditions with or without insulation paper related to water absorption, arc and partial discharge.

2. 유증가스발생

유입식변압기의 절연물은 크게 광유를 사용하는 절연유와 셀룰로즈를 사용하는 고체절연지로 분류할 수 있다. 절연유와 셀룰로즈는 분자구조식이 다르고 열분해특성이 다르기 때문에 분해가스종류도 다른 특성을 보인다. 일반적으로 유증가스분석으로부터 측정되는 가스종류는 CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, H₂, CO₂, CO, N₂, O₂ 등이며 앞의 4가지 CH계 가스는 주로 절연유인 광유의 분해가스이며, CO계 가스는 셀룰로즈, H₂가스는 공통적으로 발생하는 가스이고 N₂와 O₂는 분해가스가 아닌 변압기내에 일반적으로 존재하는 가스이다. 다음은 두가지 절연물의 분해특성을 보이고 있다.

1. 서 론

전력설비중에서 중요한 역할을 담당하고 있는 유입식 변압기의 내부에 국부과열, 부분방전, 아크방전과 같은 이상이 발생하면 변압기는 최종적으로 절연파괴된다. 절연파괴시 유입식변압기의 특성상 폭발 및 보수기간의 장기화 등으로 다른 전력기기의 고장에 비해서 큰 손실을 초래하게 된다. 유입식변압기가 절연파괴와 같은 큰 고장에 도달하기 전에 고장을 발견하고 보수하기 위한 진단법에 대한 연구가 많이 수행되어 왔지만 그 중 유증가스분석법이 현재에도 가장 신뢰성있고 일반적으로 사용되고 있다.

2.1 절연유의 분해가스

절연유내에서 발생하는 유증가스의 발생원인은 크게 부분방전이나 코로나, 열분해 혹은 과열, 아크의 3가지로 분류할 수 있으며, 각각의 에너지 차에 의해서 발생하는 가스의 종류도 달라지게 된다. 이상원인에 따라 절연유에서 발생하는 대표적인 분해가스를 도식적으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 코로나나 부분방전에 의해서 나타나는 주도가스는 H₂이며, 스파킹은 CH₄와 C₂H₆, 과열은 C₂H₄, 아크는 C₂H₂가 된다. 이와 같이 이상원인에 따라 나타나는 주도가스는 key가스에 의한 진단방법으로 사용된다.

유입식변압기의 주절연물로서 사용되고 있는 절연유와 셀룰로즈 절연지는 다양한 탄화수소(hydrocarbon)화합물로 구성되어 있다. 이러한 화합물에 어느정도 이상의 온도나 혹은 부분방전, 아크방전 등이 일어나면 이 때 가해진 에너지와 화합물을 구성하고 있는 각 분자들의 결합에너지 혹은 분해에너지 등에 따라서 여러 가지 가스들이 형성된다. 이 때 질량분석기나 가스크로마토그래피를 이용하여 형성된 가스의 종류나 구성비 등을 측정하면 고장의 원인을 밝힐 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 Dornenburg, Rogers, Duval 등은 유증가스분석을 통하여 변압기의 초기이상을 진단하기 위한 가스비분석법을 발표한바 있고, IEEE나 IEC 등에서도 가스비분석법을 이용한 유증가스진단법을 채택하여 사용하고 있다. 그러나 이러한 진단법 들은 절연유에만 관련되는 진단법들로서 절연지가 고장에 개입되거나 두가지 이상의 고장이 동시에 복합적으로 일어날 때, 또는 수분과 같은 주위 운전환경이 작용할때에 대해서는 판정이 불가능하거나 잘못 판정내릴 수 있게 된다.

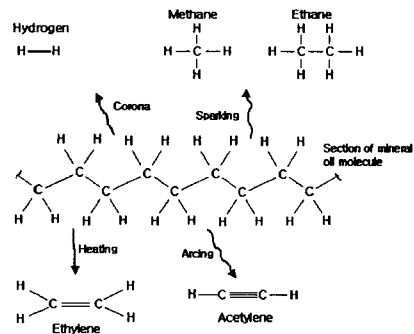


그림 1 절연유의 분해가스

본 연구에서는 이와 같은 현재 사용되고 있는 진단법에서 판정이 어려운 경우에 대한 유증가스 분포를 실험을 통하여 고찰하였다. 열화실험을 하기위한 챔버를 제작하였으며, 챔버내에서 순수한 절연유만에 대한 열열화 실험과 같은 조건으로 절연지를 개입하여 열열화 실험과 부분방전실험을 하여 절연지유무에 대한 가스분포차를 고찰하였다. 또한 두 가지 이상의 고장이 복합적으로 일어날 때에 대한 가스분포를 고찰하기 위하여 열열화와 아크가 동시에 발생할 때에 대한 실험도 실시하였다.

2.2 셀룰로즈의 분해가스

고체 셀룰로즈는 그림 2에서와 같이 an hydro glucose ring과 C-O 분자결합으로 되어 있고 절연유온도보다 훨씬 낮은 온도에서 열적분해가 시작되어 정상적인 운전 온도에서도 분해가스성분이 발견되며, 105°C 이상의 온

도에서 큰 고분자 절단율을 보이며, 300°C 이상에서 완전한 분해와 탄화가 발생한다. 분해가스양은 온도에 지수함수적으로 비례하는 특성을 보이며, 분해가스종류로서는 작은 량의 탄화수소 가스, furan 성분과 함께 동일 온도에서 절연유의 산화에 의한 것보다 훨씬 많은 양으로 수분은 물론 CO와 CO₂가 생성된다. CO와 CO₂는 절연지의 흡습량, 절연유의 산소량, 온도와 함께 증가하며 CO는 상대적으로 더욱 크게 증가한다. 이와 같은 특성 때문에 일반적으로 셀룰로오지의 열화특성을 진단하는 데 CO와 CO₂가스를 사용하고 있다.

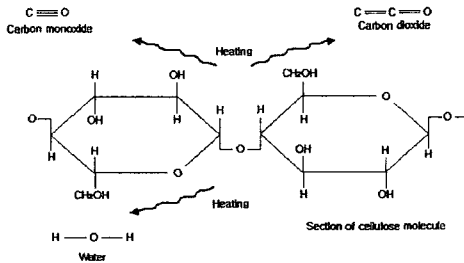


그림 2 셀룰로오지의 분해가스

3. 실험

3.1 실험용 챔버제작

변압기의 어떤 한 부분에서 비정상적으로 높은 에너지 소비가 일어날 때 가스가 발생한다. 이것은 절연체의 화학적 열화에 의해서 나타나기 때문에 발생하는 가스의 종류는 저분자량 CH계분자의 결합 혹은 해리에너지에 따라서 결정된다. 2항에서 언급하였듯이 유증가스종류는 대략 10가지 이내로 정해져 있으며, 이것은 변압기의 고장종류가 국부과열, 부분방전, 아크 등으로 분류되고 있다. 따라서 실험용 챔버도 이와 같은 고장을 모의할 수 있도록 설계 제작되었다. 그림 3은 실험용 챔버의 내부구조도를 보여주고 있다.

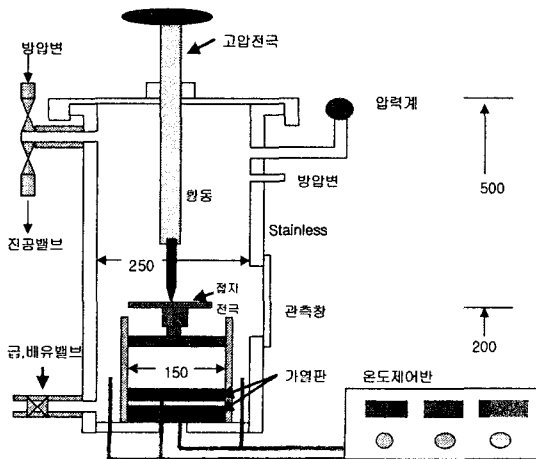


그림 3 유증가스 실험 챔버

그림 1에서와 같이 절연유를 가열하는 가열판이 2개가 설치되어 있고, 절연지는 두 가열판 사이에 삽입되어 가열된다. 가열판의 온도조정범위는 상온에서 400°C까지 가능하다. 부분방전이나 아크같은 방전은 가열판 위에 설치되어 있는 접지전극과 고압전극사이에서 발생시킬 수 있으며, 갭간 거리조정이 가능하도록 하였다. 절연유의 끓는 점 이상의 온도에서 가열하면 증기가 발생하여 내부 압력이 상승할 것으로 생각되어 5kgf/cm²까지 진공을 동시에 관측할 수 있는 압력계를 설치하였고 지나친 내부압력상승을 방지하기 위하여 배전용 변압기의 방압변을 설치하였다. 절연유를 주입하기 전에 챔버내 공기를 제거하기 위하여 진공펌프를 연결할 수 있는 진공밸브를 설치하였고 급유 및 배유밸브를 설치하였다.

3.2 실험방법

유증가스분석 실험은 기존의 진단법으로는 잘 판정되지 않는 절연유(열열화, 부분방전), 절연유+절연지(열열화, 부분방전)에 대하여 실시하였다. 절연유는 기존의 문헌에 의해서도 그 유증가스특성이 잘 알려져 있지만 유증가스량은 가스추출방법, 가스크로마토그래피에 따라서 차이가 나기 때문에 절연지가 개입됐을 때의 특성과의 비교를 위하여 절연유만의 유증가스 특성에 대해서도 실험을 실시하였다. 그림 4는 실험장면을 보여주고 있다. 그림 1의 챔버는 진공이 유지되는 것으로 확인되었다.



그림 4 유증가스분석 실험장면

실험방법은 실험조건이 달라질 때마다 챔버내부의 절연유를 제거한 후 진공청소기로서 먼지 등을 닦아내고 진공을 유지한다. 진공상태에서 가열판과 전극이 잠길 때까지 절연유를 급유밸브를 통해서 주입한다. 주입이 끝난 후 약 10분동안 진공을 유지한 다음 진공밸브를 닫는다. 각 조건에서 가열온도는 80°C, 150°C, 220°C, 290°C로 하였고 가열판 내부에 삽입되어 있는 온도센서로서 온도를 측정하였으며, 가열시간은 약 60시간으로 하였다. 열열화후 배유밸브를 통해서 IEC 567에 따라 절연유가 채취되었다. 채취된 절연유는 유증가스 전문분석기관으로 옮겨져 채취후 24시간 이내에 유증가스가 분석되었다. 가스추출방식은 토폴러 진공방식을 사용하였고, 가스 크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 또한 참고적으로 채취된 절연유의 수분량과 절연파고전압이 구해졌다.

절연지는 두께 0.08mm의 Weidman사 Dennon paper를 사용하였으며, 절연지가 삽입되는 그림 6의 가열판 크기를 고려하여 재단하였다. 수분제거를 위하여 재단된 절연지를 약 90°C에서 5시간 정도 건조하였다. 건조된 절연지를 절연유가 들어있는 항온조내에서 충분히 함침시킨 후 그림 3의 상하 가열판 사이에 절연지를 10장 겹쳐 삽입하였다. 그 다음부터는 절연유에 대한 열열화 실험방법과 같다.

4. 실험결과

그림 5는 절연유에 대하여 80°C, 150°C, 220°C에서 분석된 각 가스량을 보여주고 있다. 그림 5에서처럼 아세

틸렌가스는 실험온도에서 발생하지 않고 있으며, 수소가스와 에틸렌가스는 증가경향이 보이긴 하지만 현저한 증가경향은 보이지 않았다. 가장 많이 증가한 것은 메탄가스와 일산화탄소 가스, 에탄가스로 나타나고 있다. 이와 같이 일부 가스가 220℃에서 크게 증가한 것은 그림 6의 온도에 따른 절연유 색에서도 알 수 있듯이 80℃와 150℃의 절연유 색에서 탄화의 흔적이 거의 보이지 않지만 220℃의 절연유는 많이 탄화된 흔적을 보이고 있다. 그림 7은 220℃에서 측정된 유증가스분석결과를 보여주고 있다.

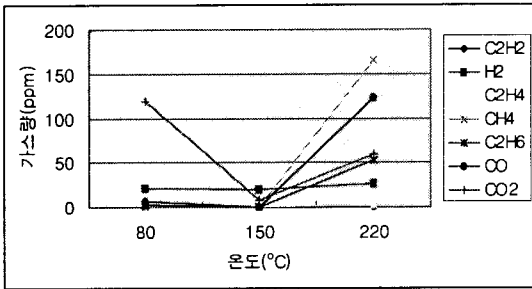


그림 5 절연유의 가열온도에 따른 가스량변화

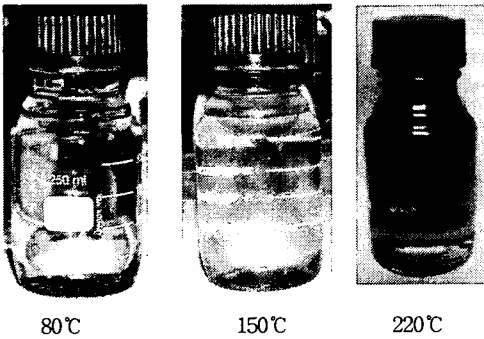


그림 6 온도에 따른 절연유의 색

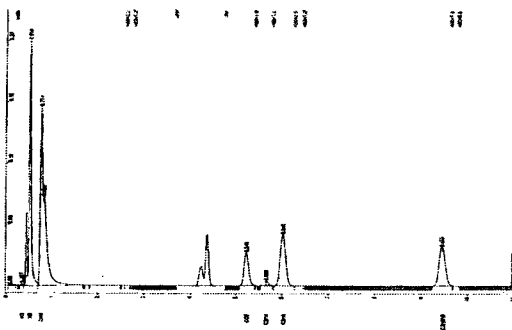


그림 7 220℃에서의 절연유 유증가스분석결과

그림 8은 가열온도에 따른 절연유의 수분량과 절연파괴전압(6번의 파괴전압의 평균치)의 관계를 보여주고 있다. 그림 7에서와 같이 절연파괴전압과 수분량은 무관한 특성을 나타내고 있으며, 수분량과 절연파괴전압은 같은 변화경향을 보이고 있다.

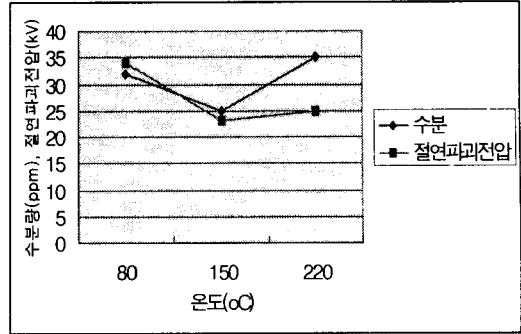


그림 8 온도-수분량, 절연파괴전압 관계

향 후 본 연구에서는 본 논문의 실험방법에서 계획하고 있는 각 실험조건에 대한 유증가스 분석실험을 계속 수행할 예정이다.

4. 결 론

기존의 유증가스 진단법에서 명확히 밝혀지지 않고 있는 유입식 변압기의 고장을 모의한 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 220℃까지의 절연유에 대한 유증가스분석결과로부터 가열온도가 증가할 수록 메탄과 에탄, 일산화탄소 가스가 크게 증가하는 경향을 보였으며 이는 온도에 따른 절연유의 변색특성에서도 나타났다.
- 수분량과 절연파괴전압은 온도와는 무관한 특성을 보였으며, 두 가지 특성치는 서로 같은 경향을 보였다.
- 향 후 본 연구에서는 계속적으로 계획되어 있는 유증가스분석실험을 실시할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- E. Dornenburg et al., "Monitoring oil-cooled transformers by gas analysis", Brown-Boveri Rev. 61, p.238-247, May 1974
- ANSI/IEEE C57.104-1978, "Guide for the detection and determination of generated gases in oil-immersed transformer and their relation to the serviceability of the equipment"
- IEC Publication 567, Guide for the sampling of gases and of oil from oil filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases, Second Edition, 1992
- Paul J. Griffin, "Criteria for the interpretation of data for dissolved gases in oil from transformer", Electrical Insulating Oil, STP 998, ASTM, pp. 89-106, 1988
- W. D. Halstead, "A thermodynamic assessment of the formation of gaseous hydrocarbons in faulty transformers", J. Inst. Petroleum 59 (Sept. 1973) 569 pp 239-241.