

전력용 변압기 열화특성에 따른 수소 가스 검출 센서의 응답 특성

이현동* 이도훈, 이용희, 박기훈, 류강열, 신양삼
LG산전 전력연구소

The Response Characteristic of Hydrogen Gas Detecting Sensor by Power Transformer deterioration

H.D Lee, D.H.Lee, Y.H. Lee, K.H. Park, K.Y. Ryu, Y.S. Sin, Y.K. Kim
LGIS ELECTROTECHNOLOGY R&D CENTER>

Abstract - 전력용 변압기에 아크나 코로나가 발생하여 국부가열이 존재하면 절연유나 절연지가 분해하여 저분자의 탄화수소, 수소, 탄화가스, 일산화탄소 등이 발생하여 절연유에 용해된다. 절연유에 용해된 가스를 실시간 분석하여 변압기의 이상을 조기에 발견하여 운전의 효율성을 높이고 고장을 사전에 예방하기 위한 기술이 전개되고 있다. 경제적인 측면에서 단일 수소가스 검출 센서가 널리 보급되어 실용화되고 있는 실정이다. 이 논문에서는 전력용 변압기의 국부적 고온인 경우의 가열온도, 가열시간 및 방전에 대하여 수소가스 주도형 센서의 응답특성에 관하여 고찰하였다.

1. 서 론

전력용 변압기의 대용량화에 따라 변압기에 사고가 발생되면 계통 혹은 사회에 미치는 영향은 크다. 그러므로 전력용 변압기는 고도의 신뢰성이 요구됨과 더불어 변압기 내부에 이상이 존재할 경우에는 가능한 조기에 발견하여 큰 사고로 이르는 것을 미연에 방지하여야 한다. 변압기의 예방진단 시스템에 적용되는 온라인 이상검출 기술로는 절연유의 가스분석 기술, 초음파 측정기술, 부분방전 측정기술 등으로 대표된다.

한편 변압기의 이상은 내부의 국부과열이나 부분방전에 의한 경우가 많다. 그 일례로 절연유가 분해하여 발생한 가스 성분이 절연유중에 용존 하게 된다. 그러므로 절연유중의 용존 가스를 추출, 분석하여 변압기의 진단에 이용하는 방법이 고려되고 있다. 최근 절연유중의 용존 가스의 추출, 분석기술이 진보하여 변압기 절연유중의 용존 가연성 가스량 혹은 그 가스성분 패턴으로부터 변압기의 정상적인 운전여부를 진단하고 있다. 이와 같이 절연유중의 가스 분석은 변압기의 진단기술의 가장 유효한 수단으로 널리 이용되고 있다. 그러나, 유증가스분석법은 일정 주기간격을 두고 시행되므로 실시간으로 변압기의 상태를 관찰할 수 없고, 주기간격 동안의 가스변화량이나 변압기의 사고에 대체능력이 떨어진다. 이를 보완하기 위하여 변압기 예방보존 시스템의 일환으로 경제적이면서 실용도가 높은 수소 단일 가스 검출센서를 적용하고 있다.

본 연구에서는 변압기를 모의한 장치를 고안하여 절연유에서의 열화원인인 부분방전과 국부적으로 가열한 경우의 가열온도, 가열시간에 대한 수소가스 검출센서의 응답 특성에 관하여 고찰하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

전력용 변압기에 사용되고 있는 유기 절연재료는 광유인 절연유와 절연지이다. 이들 재료는 변압기의 운전 온도에서도 서서히 열화하며, 변압기 내부의 국부적인 이상과열이나 코로나와 같은 부분방전 및 아크의 발생에 의

하여 수소(H₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 에틸렌(C₂H₄), 에탄(C₂H₆), 프로필렌(C₃H₆) 및 프로판(C₃H₈) 등의 가스를 발생시킨다. 이들 가스중 일산화탄소와 이산화탄소는 절연지에 의해 주로 생성되며, 다른 가스는 주로 절연유의 열화로 생성된다. 이와 같은 실제 변압기에서의 열화 양상을 고려하여 그림 1과 같은 유증가스 실험용 챔버를 제작하여 국부 가열 및 부분방전 모의와 복합 열화를 모의할 수 있도록 고려했다. 챔버의 내부에는 국부적인 가열을 모의할 수 있는 가열판이 설치되어 있다. 가열판의 온도 조절은 챔버의 측면에 부착되어 있는 온도 컨트롤러를 이용하여 상온에서부터 400[°C]까지 가능하도록 하였다. 또한 부분방전이나 아크등의 전기적 방전에 의한 열화를 모의할 수 있도록 전극계를 구성하였다. 수소가스 검출 센서는 GE Syprotec에서 제작된 Hydran201Ti를 이용하였다.

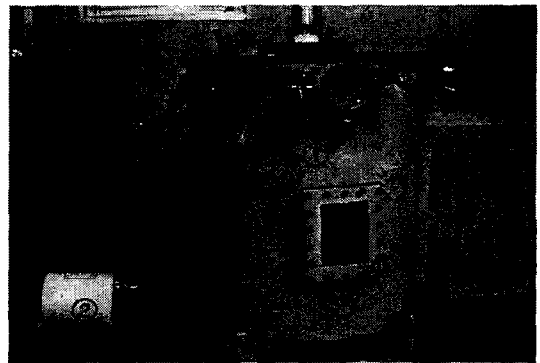


그림 1 유증가스 실험 챔버와 검출 센서

2.2 실험방법

전력용 변압기 내부의 이상조건을 모의하기 위하여 챔버 내부의 상태를 청결히 한 후 충분히 건조시켜 진공을 유지한 후 1종 4호의 절연유를 주입하였다.

절연유의 국부가열을 모의하기 위한 온도는 실제 변압기의 부하를 변동에 따른 부위별 온도를 고려하여 30~105℃범위에서의 설정과 국부가열 산정온도를 150℃로 설정하여 내부의 온도센서와 온도 컨트롤러를 이용하여 설정온도가 유지되도록 하였다.

또한 부분방전에 의한 열화는 부분방전 검출시스템(LDIC LD6 Model)에 의하여 그림 2와 같은 방전이 검출된 상태에서 장시간 전압을 인가하여 수소가스 검출 센서의 응답특성을 파악하였다.

상기의 실험들은 실험조건이 변경될 때마다 절연유를 교체하고 챔버의 상태를 청결히 하여 충분한 건조시간을 거친 후 제 실험을 하였다.

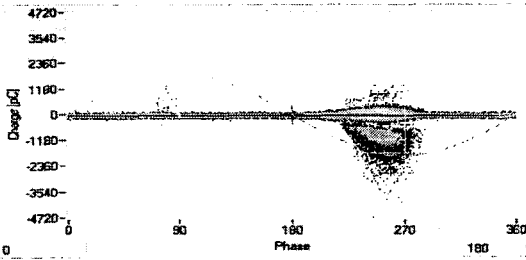


그림 2 부분방전 파형 일례

3. 실험 결과

변압기 모의 챔버내의 침대 평판전극을 이용하여, 임의의 방전전하량의 부분방전이 발생하였을 때 수소가스 검출 센서의 시간에 대한 응답특성을 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 인가전압의 증가에 따라 발생하는 방전전하량과 발생빈도가 높게 되어 분해가스가 많이 생성된다. 본 실험에서는 전극간 거리 및 인가전압의 조정이 없이 초기 burst상 코로나 영역에서의 인가시간에 대하여 수소가스 검출센서의 특성을 나타내었다. 절연유가 자기소호 능력을 가지고 있으나, 장시간의 전기적 스트레스의 영향으로 초기 burst상의 코로나가 국부적인 과열을 일으킨다. 단극간에서의 고전계로 인한 국부적인 과열로 절연유의 자기소호 능력이 상실되고 방전의 급진전으로 다량의 가스가 발생되었다.

평균 3500pC의 전하량으로 350시간 인가한 동안의 수소가스 농도는 150시간까지는 서서히 증가하였으며, 250시간까지 완만한 증가세를 보이다가 그 후 급증하였다. 관련 문헌에 스트리머상 부분방전에 있어서의 방전 펄스 1개당의 가스 발생량은 평균 방전 전하량 4×10^{-8} 쿨롱으로 $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-7} \ell$, 1×10^{-7} 쿨롱으로 $1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-7} \ell$ 정도의 가스 발생량을 보고하고 있다. 아크 방전에 의한 입력에너지와 가스 발생량, 발생 가스 성분과의 관계에 대해서는 H_2 및 C_2H_2 가 주요 성분으로 되어 있으며, 단위 에너지당의 가스 발생량은 50~100ml/kWs 정도로 보고하고 있다.

결과적으로 초기 고장 검출용으로 사용되는 수소가스 검출 센서를 활용하기에는 단순한 수소가스 농도에 의존한 추이보다는 시간별 일별 증가 추이를 가지고 모니터링 하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

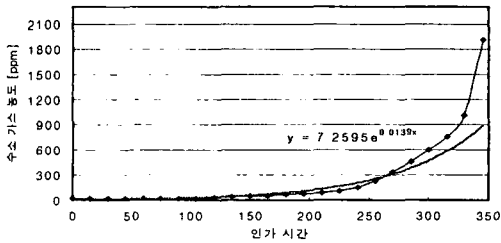


그림 3 부분방전에 의한 수소가스 발생 농도

변압기내의 절연유만이 국부적으로 열분해된 경우의 수소가스 검출센서의 응답특성을 알아보기 위하여 절연유를 국부적으로 150℃ 가열한 경우의 수소 가스 검출 센서의 응답특성을 그림 4에 나타내었다. 일반적으로 변압기내에서 국부적인 이상 과열이 일어난 경우의 발생 가스는 H_2 , C_1 , C_2 계열의 포화 및 불포화 탄화수소와 CO , CO_2 이다. 절연유만을 가열한 경우에서도 CO , CO_2 는 절연유 조성에 존재하는 미량의 산소에 의하여 약간 생성하지만 절연유의 열분해 가스의 거동에 미치는 영향을 무시할 수 있는 것으로 생각된다. 초기의 절연유에는 수소와 저분자 탄화수소가 상당히 용

존하고 있으므로 비교적 낮은 온도에서도 수소가스를 생성하지만, 지속적인 열원이 존재하지 않는 한 그 양은 제한적이다. 150℃로 국부적 가열한 경우 수소가스 검출 센서의 응답특성은 시간의 경과에 따라 완만하게 증가하므로 H_2 가 열분해 가스의 주성분임을 알 수 있다. 전 가스량을 대상으로 분석한 결과에서도 H_2 가 다른 성분들에 비하여 현저하게 많기 때문에 시간과 더불어 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있었다.

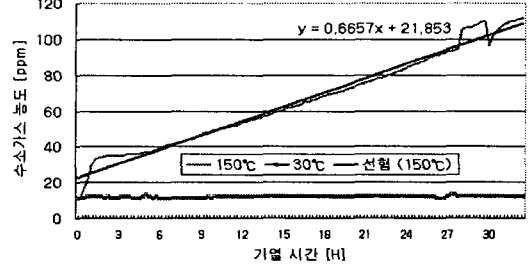


그림 4 국부가열에 의한 수소가스 발생 농도

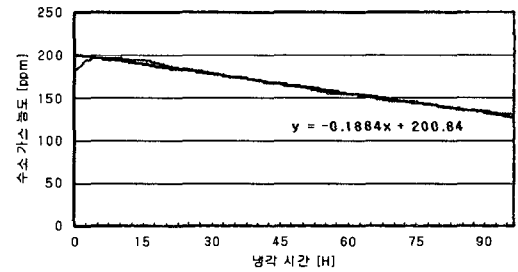


그림 5 국부가열 제거에 따른 수소가스 발생 농도

그림 5는 변압기 내부의 국부적 이상가열(150℃)의 요인을 제거한 후의 시간의 변화에 따른 수소가스 검출센서의 응답특성을 나타낸 것이다. 변압기의 국부적 이상가열에 따른 센서의 응답속도보다는 약 4배 정도의 차이로 느리게 반응한다. 일반적으로 국부적 이상 과열에 발생되는 수소 등의 주가스의 생성요인이 제거됨에 따라 절연유에 용존한 가스량이 줄어들어 기인한 것으로 사료된다.

3. 결 론

변압기의 내부이상을 모의하여 변압기의 예방진단 시스템에 채택되고 있는 수소 가스 검출 센서의 응답특성을 조사하였다. 부분방전의 모의에 따른 수소가스 검출 센서의 반응특성은 초기방전 양상에서는 직선적인 증가 경향을 보이는 방전양상의 변화를 포함하여 전체적으로는 지수 함수적 증가경향을 보였다. 열적인 과열에 의한 반응은 시간에 따라 직선적으로 비례하여 증가하였다.

향후 절연유 온도에 의존하여 부분방전 전하량에 따른 수소가스 검출센서의 응답특성과 그에 따른 가스분석 결과를 비교 검토할 예정이다. 또한 변압기의 부하율 변화에 의한 온도분포를 산정한 경우의 수소가스 검출 센서의 응답특성과 그에 따른 가스분석 결과를 비교 검토할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 月岡淑郎, 大江悦男 “絶縁油の局部加熱による分解ガスの挙動”, 電気学会論文誌A, 98巻7号, pp381~388, 昭53.7
- [2] Andreja Varl, "On-line Diagnostics of Oil-filled Transformer", ICDL 2002, pp.253~257.
- [3] 電気協同研究 第54巻 第5号