

국내 유입식변압기의 유증가스분포 특성

선종호, 김광화  
한국전기연구원

Characteristics of Distribution of Dissolved gases in oil for Domestic Oil Immersed Transformer

J.H.Sun, K.H.Kim  
\*KERI

**Abstract** - 본 연구는 국내에서 사용되고 있는 유입식 변압기의 유증가스분포 특성에 대해서 설명하고 있다. 정상적으로 국내에서 운전중에 있는 변전용 변압기와 발전기 송압용 변압기, 산업체에서 사용되고 있는 배전용 변압기의 유증가스분석결과로부터 데이터를 얻었다. 분석가스종류는 H2와 C2H2, C2H4, C2H6, CO, CO2, TCG 이며, 분포특성과 각 유증가스진단규격에서 제시하고 있는 진단기준치와의 비교 검토를 수행하였다.

1. 서 론

대부분의 전력용 변압기는 절연과 냉각을 위하여 광유를 사용한다. 전기적, 열적, 기계적, 환경적 스트레스 들은 변압기내에서 여러 가지 고장을 일으키게 되고 대표적으로 과열, 부분방전, 아크방전 형태로 나타나게 된다. 이러한 고장들은 절연유를 분해시키고 가스를 형성시킨다. 이러한 특성을 이용하여 변압기 진단에 유증가스분석법을 사용하고 있다.

유증가스에 의한 변압기의 고장원인의 진단은 주로 Doernenburg법, Rogers법, IEEE규격, IEC규격과 같은 가스비법이나 가스패턴법 등을 이용한다. 이러한 진단법은 가스조성비 조합과 같은 고장원인을 구분하는 규칙은 포함되어 있지만 그 이전에 관장되어야 하는 변압기의 이상유무를 결정하는 규칙이 포함되어 있지 않은 진단법이 있으며, 또한 있는 경우에도 국내변압기에 적합하지 않을 수 있다. 그렇기 때문에 이러한 진단법은 이상이 없는 경우에도 진단법을 적용할 경우 고장원인을 제시하게 되어 그에 따라 변압기 유지보수에 혼돈을 초래하게 된다.

본 연구에서는 현장에서 고장이 발생한 변압기와 정상적으로 운전되고 있는 변전용, 발전용 주변압기 및 산업체 배전용 변압기의 유증가스분석 데이터를 수집하였다. 그 데이터를 이용하여 고장이 발생한 변압기의 가스구성을 패턴과 정상적으로 운전되고 있는 국내 전력용 변압기의 유증가스분포특성을 고찰하기 위하여 7가지 가스 및 총가연성가스의 유증가스량분포 분석하였으며, 국내외적으로 사용되고 있는 규격치와의 비교 연구를 수행하였다.

2. 유증가스발생특성

2.1 변압기고장과 유증가스

변압기에서의 고장은 변압기내 철심이나, 권선, 부싱 등과 같은 여러 부위에서 발생하여 다양한 형태로 고장의 원인이나 양상을 보이면서 고장이 진전하여 최종적으로 절연과 고 등에 의한 변압기 정지로 이행한다. 이러한 흐름을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서와 같이 대부분의 고장은 열과 방전을 동반하게 되며 그에 따라 특징적인 가스를 발생하게 된다. 따라서 절연유속에 용해되어

있는 유증가스를 측정하여 분석하면 고장의 원인을 추정하는 것이 가능하다.

그림 1에서와 같이 변압기의 고장은 매우 다양하지만 고장부위와 고장원인은 대표적으로 절연유증과 고체절연체 및 과열, 부분방전, 아크방전 형태로 나타나게 되며, 이러한 고장들은 절연유를 분해시키고 가스를 형성시킨다. 각각의 고장원인은 온도차가 있으며 그에 따른 에너지 차에 의해서 발생하는 가스의 종류도 달라지게 된다. 이상원인에 따라 절연유증에서 발생하는 대표적인 분해 가스를 도식적으로 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에서와 같이 코로나 부분방전에 의해서 나타나는 주도가스는 H2이며, 스파킹은 CH4와 C2H6, 과열은 C2H4, 아크는 C2H2가 된다. 이와 같이 이상원인에 따라 나타나는 주도가스는 key가스에 의한 진단방법으로 사용된다

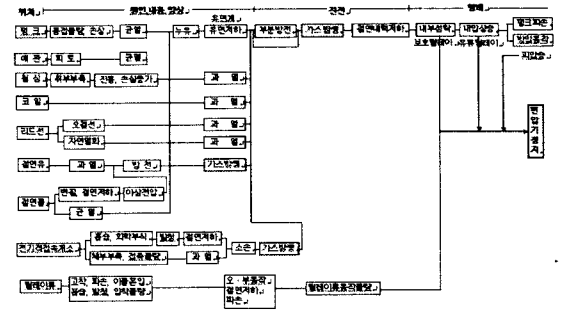


그림 1 변압기 고장의 흐름

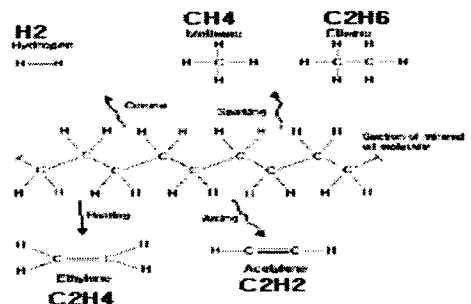


그림 2 절연유의 분해가스

고체 절연물인 셀룰로즈는 그림 2에서와 같이 an hydro glucose ring과 C-O 분자결합으로 되어 있고

절연유온도보다 훨씬 낮은 온도에서 열적분해가 시작되어 정상적인 운전온도에서도 분해가스성분이 발견되며, 105℃ 이상의 온도에서 큰 고분자 절단율을 보이며, 300℃ 이상에서 완전한 분해와 탄화가 발생한다. 분해가스량은 온도에 지수함수적으로 비례하는 특성을 보이며, 분해가스종류로서는 작은 양의 탄화수소 가스, furan 성분과 함께 동일 온도에서 절연유의 산화에 의한 것보다 훨씬 많은 양으로 수분은 물론 CO와 CO<sub>2</sub>가 생성된다. CO와 CO<sub>2</sub>는 절연지의 흡습량, 절연유의 산소량, 온도와 함께 증가하며 CO는 상대적으로 더욱 크게 증가한다. 이와 같은 특성 때문에 일반적으로 셀룰로즈의 열화특성을 진단하는 데 CO와 CO<sub>2</sub>가스를 사용하고 있다.

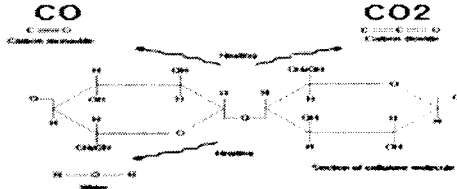


그림 3 셀룰로즈의 분해가스

## 2.2 정상상태에서의 유증가스발생 특성

앞의 '2항'에서와 같이 유입식변압기에서 유증가스는 과열이나 아크, 부분방전 등과 같이 국부적인 고장이 발생하였을 때 그 에너지에 따라 여러 가지 가스가 발생하고 절연유속에 용해되는 것으로 보고하고 있다. 그러나 정상적으로 운전하고 있는 변압기에서도 각종가스가 발생한다. 이러한 가스는 절연재료로부터 발생하고 있으며 H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 가스가 발생하여 아크시 발생하는 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>가스를 제외하고 고장시 발생하는 가스종류와 큰 차이가 없다. 이와 같이 정상상태에서 가스가 발생하는 원인으로서도 부하전류에 의한 온도상승이 원인이 될 수도 있고 또한 스테인레스강중에 흡착되어 있는 가스가 발생할 수도 있다. 또한 CO 가스는 폐놀수지가 경화되면서 발생할 수 있다. 이와 같이 고장시 발생하는 가스와 거의 같은 성분의 가스가 평상시 운전상태에서도 발생하고 있어 정확한 고장진단을 위하여 평상시 존재하는 가스가 어느정도로 분포하고 있는지를 규정하는 것은 유증가스에 의한 고장진단의 신뢰성을 향상시키는 데 매우 중요하다. 표 1은 현재 각 규격에서 사용하고 있는 정상 유증가스의 상한치를 보여주고 있다. 표 1에서와 같이 가스기준치는 각 규격별로 차이를 보이고 있으며 이는 이러한 기준치를 설정할 때 사용된 대상 변압기의 부하조건이나 절연유보존방식과 같이 운전환경에서 차이가 나기 때문인 것으로 알려져 있다.

표 1 각 규격의 정상치의 상한치

가스종류	IEC	IEEE	Donen-burg	일본전기 협동연구	한전
H <sub>2</sub>	60-150	100	200	400	400
CH <sub>4</sub>	40-110	120	50	100	250
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	50-90	65	15	150	250
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	60-280	50	60	10	300
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3-50	35	15	0.5	25, 20
CO	540-900	350	1000	300	400, 350
CO <sub>2</sub>	5100-13000	2500	11000	-	-
TDCG		720		500	1000

## 3. 유증가스분석데이터의 수집 및 분포

### 3.1 데이터의 수집

정상적으로 운전되고 있는 전력용변압기의 유증가스분포를 분석하기 위하여 154kV 급 이상의 발전용, 변전용 주변압기와 공장에서 사용되고 있는 22kV급 이하의 배전용변압기의 가스분석데이터를 수집하였다. 정상적으로 운전되고 있는 변압기의 수집데이터의 수는 발전용이 519건, 변전용이 520건, 배전용이 156건 이다. 이와 같이 변압기를 3가지로 구분한 것은 각 변압기별로 일반적으로 부하율이 차이가 나며 그에 따라 발생하는 변압기 온도차로 인한 가스분포차를 고려한 것이고, 또한 변전용이나 배전용 같은 초고압변압기의 절연유보존방식은 주로 밀폐형 콘서베이터나 질소가스불입형을 사용하지만 배전용은 개방형 콘서베이터나 호흡기를 이용한 절연유보존방식을 사용하기 때문에 공기나 습기의 침입에 의한 가스분포의 차를 고려하였다. 또한 고장이 발생한 변압기의 가스구성율에 대한 분포를 조사하기 위하여 고장가스테이터를 총 1112건 수집하였다.

본 연구에서 평상시 운전중 유증가스데이터 분석에 사용된 가스는 H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, TCG(총 가연성가스량)이다. 이러한 가스는 온도에 따라서 구성율에 대하여 어떤 특정한 패턴을 유지하고 있기 때문에 평상시에도 특별한 구성율을 보이는 지를 관찰하였고, 변압기 종류별로 각 가스에 대한 분포를 구하여 그 차이점을 분석하였다. 또한 각 가스에서 95%이내의 범위에 들어 있는 가스량중 최대값을 구하여 그 최대값을 기존의 각 규격에서 사용하고 있는 평상시 운전상태에서의 상한치 가스량과 비교 하였다.

### 3.2 정상변압기 종류별 가스량 분포

그림 3, 4, 5, 6은 총 8가지의 가스중 H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CO, TCG의 4가지 가스에 대한 변압기 종류별 유증가스분포를 보여주고 있다. 이 그림들로부터 알 수 있듯이 평상시 운전 중인 변압기의 종류별 가스크기의 차는 보이지 않고 있으며, 그 크기 또한 각 가스마다 크기는 다르지만 어떤 범위내에 가스량이 밀집되어 있음을 알 수 있다. 예를 들어 그림 6과 같은 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>가스에 대한 각 변압기별 가스량범위에 대한 구성율에서 알 수 있듯이 변전용(SUB.), 발전용(GEN.), 배전용(I.D.) 변압기의 가스량에 따른 구성율의 차이가 보이지 않고 있으며, 90%가 200ppm 이하에 밀집되어 있음을 알 수 있다.

이와 같이 평상시 운전되고 있는 변압기의 각 가연성 가스는 일정범위에 분포되어 있음을 알 수 있으며, 조사된 국내 변압기의 가스는 95% 이내에서 어떠한 값으로 분포되어 있는 지를 표 2에서 보여주고 있다.

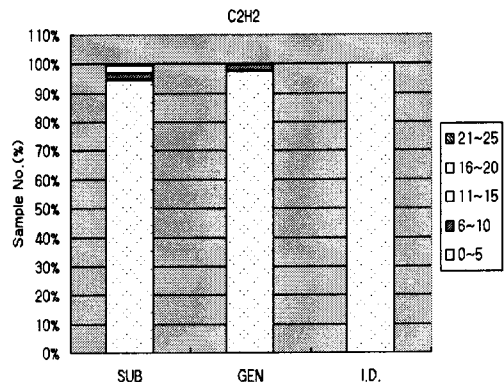


그림 4 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>가스의 가스량에 따른 구성율

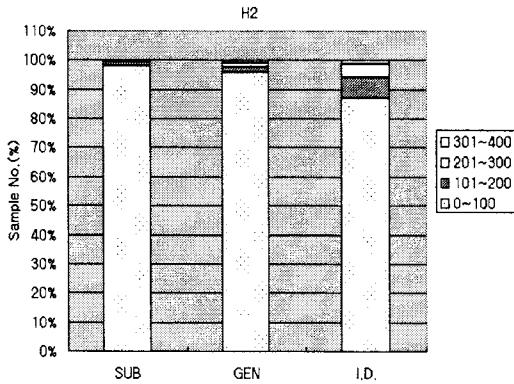


그림 5 H2가스의 가스량에 따른 구성율

표 2에서 알 수 있듯이 변압기별로 95% 범위내의 각 가스량 분포는 큰 차를 보이지 않고 있으며, 이 가스량은 본 논문에서는 설명되어 있지 않지만 고장인 경우에서의 각 가스의 가스량과 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타

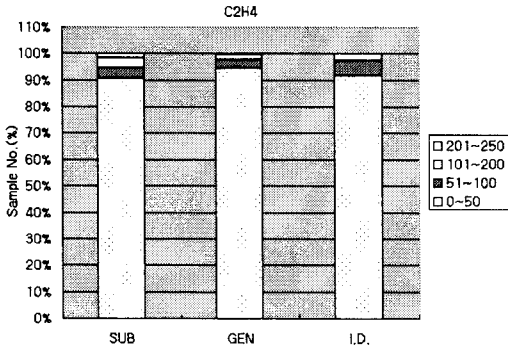


그림 6 C2H4가스의 가스량에 따른 구성율

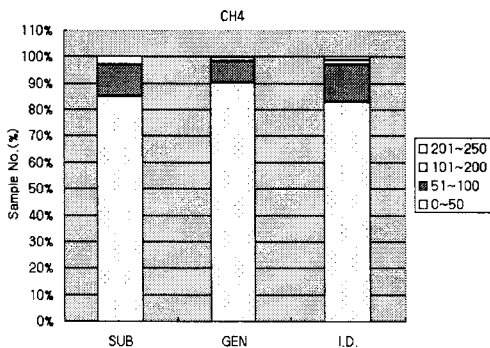


그림 7 CH4가스의 가스량에 따른 구성율

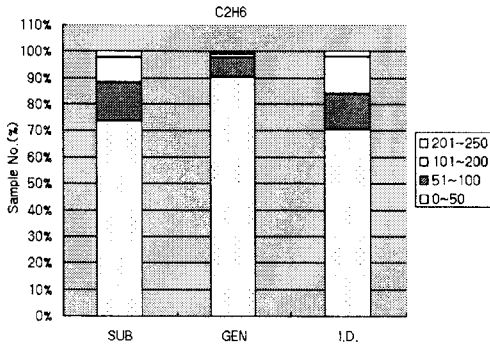


그림 8 C2H6가스의 가스량에 따른 구성율

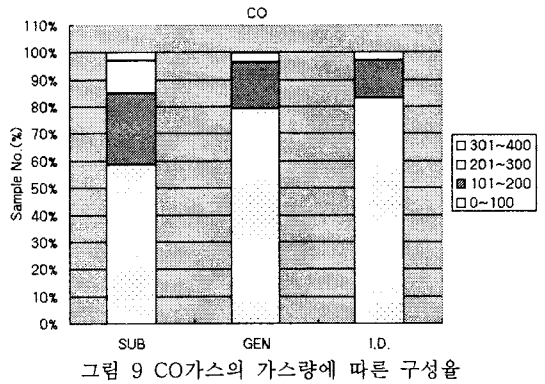


그림 9 CO가스의 가스량에 따른 구성율

나서 고장유무를 판정하기 위해서는 가스량을 사용하는 것이 합리적인 것으로 생각된다. 또한 표 1의 각 규격에

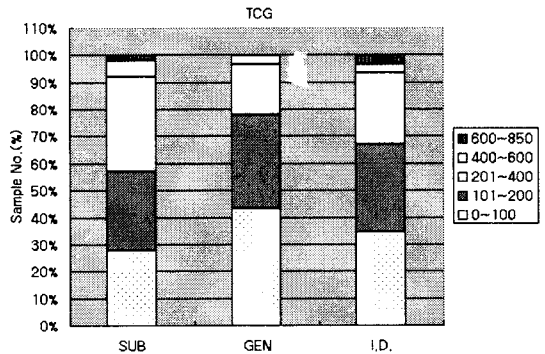


그림 10 TCG가스의 가스량에 따른 구성율

서의 정상치의 상한치와 표 2의 값을 비교할 때 표 2의 값은 CO를 제외하고 IEC에서 사용하고 있는 값들과 유사한 크기를 보이고 있으며, 한편의 기준치와 비교할 때 CO를 제외하고 전반적으로 한편의 기준치가 정상시 가스량보다 높은 것으로 나타났다.

표 2 95%에서의 각 가연성 가스량의 분포

유증가스	변전용	발전용	배전용
H2	30	60	80
C2H2	5	1	1
C2H4	90	50	40
CH4	70	70	70
C2H6	150	70	140
CO	260	200	150
TCG	450	370	380

### 3.3 고장원인별 유증가스분포

수집된 총 112건의 데이터중 고체절연물 고장을 제외한 325개의 고장데이터에 대한 유증가스비율의 특성을 고장원인별로 분류하였다. 그림 11은 그 결과를 보여주고 있으며, 사용된 가스의 종류는 고체절연물을 제외하였기 때문에 C2H2, H2, C2H4, CH4, C2H6의 5가지 가스이며, 분류된 고장원인은 아크가 2가지 과열이 4가지, 부분방전이 1가지인 것으로 나타났다. 그림 11에서 알 수 있듯이 고장원인별로 가스분포패턴이 서로 상이하기 때문에 패턴인식이 가능하면 고장원인의 추정이 가능할 것으로 생각된다.

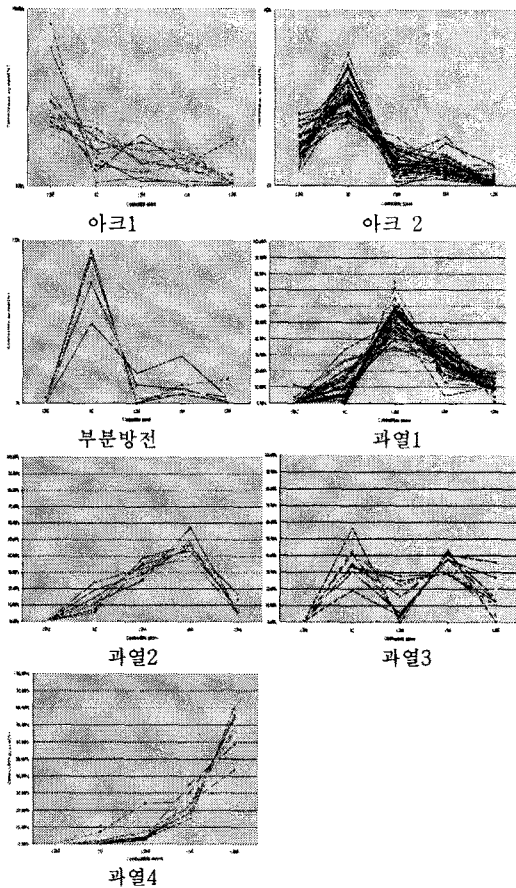


그림 11 고장원인별 유증가스구성특성

#### 4. 결 론

이상과 같이 변전용, 발전용, 산업체 배전용의 3가지 변압기의 유증가스분포를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 가스량은 변압기 종류별 차이를 보이지 않았으며, 특정한 범위내에서 밀집되어 있었고 고장이 있는 경우와 차이를 보이는 것으로 나타났다.
2. 95%이내의 각 가스량은 국내에서 사용되고 있는 정상 기준의 상한치보다 낮은 것으로 나타났다.
3. 고장이 발생한 경우 유증가스구성을 분포특성은 7가지로 분류할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1]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"
- [2] IEC Publication 60599, Interpretation of the Analysis of Gases in Transformers and Other Oil-Filled Electrical Equipment in service, First Edition, 199
- [3] J.H. Sun et al., "Relation between faults in transformer and composition percentage of dissolved gas", 2002 K-J Symp. on ED and HVE, Vol. 1pp 242-245, 2002. 11