

가스절연 변압기의 예방보전 기술동향

이곤, 오원근, 조익춘
(주)효성 중공업연구소

The Trend of The Diagnostic Techniques of Gas Insulated Transformer

Lee Kon, Oh Won-Keun, Cho ik-choon
Power & Industrial System R&D Center, Hyosung Corporation

Abstract - 국내에서도 가스절연 변압기의 개발 및 상용화가 진전됨에 따라 가스절연 변압기의 예방보전기술 연구가 필요하나, 아직 국내에서는 이에 대한 연구가 기초적 수준에 머무르고 있다. 본 논문에서는 우선 SF₆ 가스분석을 근거로 한 내부이상 진단기술에 대하여 가스분석시 이상여부를 결정짓는 지표 성분의 고찰 및 가스절연 변압기 특유의 이상 진단방식에 대하여 현재까지의 국내외 연구결과를 살펴보고자 한다. 또한 가스절연 변압기에 대한 사고·장해의 미연방지 및 합리화의 관점에서 설비감시 및 이상진단을 위해 그 필요성이 큰 센서기술에 대해서도 검토하였다.

1. 서 론

SF₆ 가스절연 변압기는 유입식 변압기에 비하여 환경 조화성, 불연성 및 비폭발성 관점에서 유리하며, 물도 변압기에 비하여 고전압 대용량화 관점에서 유리한 측면을 가지고 있어, 현재 지하변전소용으로 수요가 증가하고 있다. 가스절연변압기의 경우 1990년대 초 일본에서는 이미 대용량 변압기의 상용화가 시작되었으며, 국내에서도 2000년에 가스절연 변압기를 개발하여 2003년부터 상용운전 중에 있다.

한편, 가스절연 변압기에 대한 예방보전 기술은 국내에서는 상용운전 경험이 적으므로 가스절연 변압기의 가스분석 및 예방보전을 위해서는 운전경험 축적 및 운전 특성 분석 등의 연구검토가 필요한 실정이며, 다음에 소개하는 가스분석 및 예방진단 기술은 국내외 연구 자료를 토대로 검토한 것으로 향후 가스절연 변압기에 대한 예방보전기술의 기초를 마련코자 한다.

2. 본 론

2.1 가스절연변압기 가스분석

유입변압기의 경우 절연유중의 분해가스를 추출, 분석하여 내부의 이상현상을 초기단계에서 파악하는 단계가 정착되어 널리 활용되고 있으며, 더불어 새로운 진단법이나 간단한 측정법이 개발, 상용화 되어있다.

가스절연 변압기의 경우, 절연매체인 SF₆가스가 고온이나 방전에 의해 열분해를 하여 분해가스가 발생하므로, SF₆가스 중의 분해가스를 분석하는 것에 따라 내부의 이상을 추정하는 기술이 널리 연구 되고 있다.

단, GCB나 GIS를 대상으로 한 아크시험과 방전시험에 있어서 SF₆ 분해가스의 연구결과를 많이 보고 되고 있지만, 가스절연 변압기는 GIS와 내부의 사용재료가 많이 다르며, 실제 가스절연 변압기에 대한 유용한 데이터는 거의 없다. 현재까지의 연구는 사고변압기 및 정상운전 변압기의 가스분석 데이터 외에 내부이상에 대한 모의시험데이터가 큰 비중을 차지하고 있으며, 이 때문에 가스절연 변압기의 이상 진단법을 확립하기 위한 많은 연구개발이 행해지고 있다.

2.1.1 내부이상에 따른 분해생성물

가스절연 변압기에 사용되고 있는 주 절연재료는 SF₆ 가스, 플라스틱계 및 셀룰로스계의 고체절연재료 등이며, 이 사용재료를 이용한 내부 이상 모의시험에 따라 보고 되어진 대표적인 분해생성물은 다음의 표 1과 같다.^{[1][2]}

표 1. 내부이상의 종류와 분해생성물과의 관계

이상 현상	분해 생성물	
방 전	절연물 無	HF, F ⁻ , SOF ₂ , SO ₂ F ₂ , SO ₂ , SF ₄
	절연물 有	HF, F ⁻ , SOF ₂ , SO ₂ F ₂ , SO ₂ , CO, CO ₂ , CF ₄ , SF ₄ , C ₂ F ₆ , CH ₄
과 열	절연물 無	HF, F ⁻ , SOF ₂ , SO ₂ , SF ₄
	절연물 有	HF, F ⁻ , SOF ₂ , SO ₂ , CO, CO ₂ , CF ₄ , C ₂ F ₆ , CH ₃ CHO, CH ₃ CON (CH ₃) ₂

2.1.2 가스분석 대상성분

이상시에 발생하는 분해 생성물중에서 내부 이상진단을 위하여 선정된 분석 대상성분을 표 2에 정리하였다. 표에서 보이듯이 변압기 내부이상 유무 판정, 방전과 과열의 식별, 방전양상의 식별 및 절연재료의 분해여부 판정 등을 위하여 분석대상이 되는 가스의 종류를 나타내고 있다.

표 2. 이상진단을 위한 분석대상 성분

분석대상 가스종류	3 종류	5 종류	7 종류	8 종류
종	⊕ HF or F ⁻ or SOF ₂ or SO ₂ F ₂ or SO ₂	⊕ HF or F ⁻ ⊕ SOF ₂ or SO ₂ F ₂ ⊕ SO ₂	⊕ HF or F ⁻ ⊕ SOF ₂ ⊕ SO ₂ F ₂ ⊕ SO ₂	⊕ HF or F ⁻ or SF ₂ ⊕ SOF ₂ ⊕ SO ₂ F ₂ ⊕ SO ₂
류	⊕ 절연물 분해 가스 ⊕ CO ⊕ CO ₂	⊕ CO ⊕ CO ₂	⊕ CO ⊕ CO ₂ ⊕ CF ₄	⊕ CO ⊕ CO ₂ ⊕ CF ₄ ⊕ C ₂ F ₆ or CH ₄ or CH ₃ CHO or CH ₃ CON(CH ₃) ₂
이상 유무 판정	HF or F ⁻ or SOF ₂ or SO ₂ F ₂ or SO ₂ or CO or SF ₄ 로 판정 가능			
과열과 방전의 식별	식별 불가	SOF ₂ 와 SO ₂ 또는, SO ₂ F ₂ 와 SO ₂ 의 대소 관계로 판정 가능		
아크방전과 부분방전의 식별	식별 불가		(SOF ₂ /SO ₂ F ₂)의 농도비로 식별 가능	
절연물 분해 여부 판정	CO, CO ₂ 로 판정 가능		CO, CO ₂ , CF ₄ 로 판정 가능	CO, CO ₂ , CF ₄ or C ₂ F ₆ or CH ₄ or CH ₃ CHO or CH ₃ CON(CH ₃) ₂ 로 판정가능

가스분석의 경우 내부 이상진단에 대한 정확도를 높이

기 위해서는 많은 종류의 가스분석을 하는 것이 유효하며, 이와 더불어 계속적인 가스분석을 실시하여 데이터를 축적해 나가는 것이 바람직하다 하겠다.

a. 이상 유무의 판정

SF₆ 가스를 제외하고, S 또는 F를 포함하는 성분은, SF₆ 가스가 분해하지 않는 한 생성되는 것이 아니므로, 이것들이 검출된 경우는 내부이상으로 판정가능하다.

b. 방전과 과열의 식별

SF₆ 가스의 분해에 따라 생성되는 "SOF₂와 SO₂" 또는 "SO₂F₂와 SO₂"에 있어서, 분해가스 생성원인이 방전인지 과열인지에 따라 생성비율이 다르다는 것에 착안해, 이것들의 성분간의 농도비율로 내부이상의 양상이 방전 혹은 과열인지를 식별가능하다.

c. 아크 방전과 내부방전의 식별

SOF₂와 SO₂F₂에 대해서는 아크방전과 부분방전에서, 생성비율이 다르다는 것에 착안해, 이들 성분간의 농도 비율로 내부이상의 양상이 아크방전인지 부분방전인지를 식별한다.

d. 절연재료 분해 유무의 판정

내부이상발생에 수반하여 플라스틱계 및 셀룰로스계의 고체절연재료가 분해한 경우에는, C를 포함하는 생성성분이 급증한다. 따라서 C를 포함하는 생성성분 농도의 절대치 증가율을 기초로 고체절연재료에 의한 내부이상인지 아닌지를 판정할 수 있다. 또한 C를 포함하는 생성성분은 CO 및 CO₂와 같이 경년열화에서도 생성되므로 관리치를 설정할 경우에는 경년열화에 따른 생성량을 고려할 필요가 있다.

2.1.3 진단방법

가스분석에 기초한 내부 이상진단 기술에 있어서 진단의 순서, 진단 알고리즘 등은 기본적으로 유입변압기의 내부이상 진단기술과 동일하며, 가스분석에 기초한 내부 이상 진단에 있어서 이상 유무의 판정은 가스농도의 절대치 관리 또는 농도의 경향 관리를 기초로 하며, 이상 양상의 식별은 복수성분에 대한 분해가스 농도의 상대적인 비율에 따라 실시한다.

아래의 표 3은 내부이상 진단에 이용되는 이상지표 성분의 관리치를 보인다.

표 3. 각 성분의 관리기준

분석 대상 성분	요 주의	이상	
SF ₆ 가스 분해성분	HF	1 ppm 초과	10 ppm
	F ⁻	0.1 wt.ppm 초과	1wt.ppm 초과
	기타 S, F를 포함하는 SF ₆ 분해성분	검출된 경우	-
절연재료 분해성분	CO	300 ppm 초과 (고가스압의 경우, 150ppm 초과)	-
	CF ₄	증가경향이 인지된 경우	-

그림 1은 가스절연 변압기의 내부 이상진단 순서도로써 SF₆가스의 분해 메카니즘을 기초로하여 SF₆가스분석으로 얻어진 분석 대상성분의 절대농도 및 농도비율을 이용하여 내부이상을 진단하는 방법을 보인다.

2.2 가스절연 변압기 이상진단 검출장치

가스절연 변압기의 이상진단 검출장치로서는 유입변압기나 GIS에서 실용화되어 있는 온도센서, 가스압력(밀도)센서, 각종 부분방전 센서 등이 적용가능하다. 또한

가스절연 변압기 전용의 방전 또는 과열에 따라 발생하는 분해가스 검출을 위해 각종 가스센서가 연구 개발 중에 있으며, 일부는 실용화 되어지고 있다.

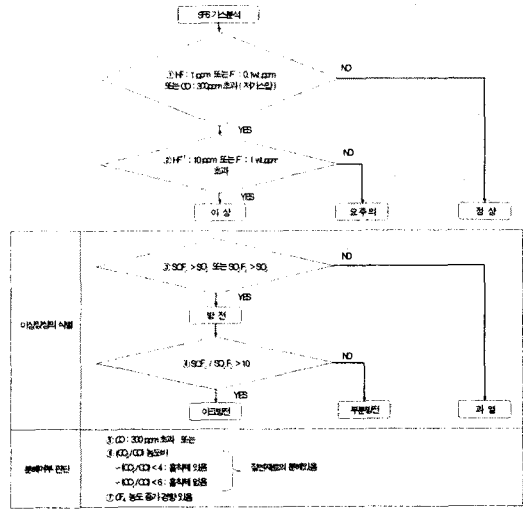


그림 1. 가스절연 변압기 내부 이상진단 순서도

가스절연 변압기의 상시감시용으로 적용이 검토되고 있는 센서는 표 4와 같으며 이중 가스절연 변압기로서 특징적인 부분방전센서와 가스센서에 대해서 살펴본다.^[3]

표 4. 가스절연 변압기의 상시감시용 센서

구분	가스절연 변압기			비고	
	감시 항목	상시 감시용 센서	실용화 구분 실용 개발 연구		
변압기	가스온도	Potential Meter 내장 다이얼 온도계	0	GIS용 센서 적용	
		측은 저항체	0		
	가스압력 (가스밀도)	아날로그식 가스밀도계	0		
본체	SF ₆ 분해가스	압력센서와 온도센서의 조합	0	가스 TR 전용 센서 연구 개발 중	
		각종 가스센서	0		
	부분 방전	접지선전류	전류 센서		0
		방전펄스	정전 분압 센서		0
	전자파	전자파 센서(안테나)	0		

2.2.1 부분방전센서

a. 내부안테나 방식

부분방전에 의해 발생하는 전자파를 내부 안테나로 검출하여 수신펄스의 레벨, 빈도, 지속시간 등에 따라 변압기의 이상 유무를 판단하는 센서이며, 현재 개발 중에 있다.

b. 기타 방식

부분방전의 상시감시를 위해 접지선에 흐르는 전류펄스를 검출하는 전자커패시터 법과 스페이서의 정전용량을 이용해 방전을 검출하는 절연 스페이서법이 있다.

2.2.2 가스센서

가스센서는 가스의 흡착을 이용하는 방식과 가스의 반응성을 이용하는 방식의 2가지로 대별된다. 대표적인 가스센싱 방식은 다음과 같으며 이들은 아직 개발 및 연구 단계에 있다.

a. 정전위 전해식 가스센서 방식
분해 생성 가스를 복수 개의 정전위 전해식 가스센서로 측정, 센서 출력패턴에 따라 이상 양상을 식별하며, 이상의 유무는 가스센서의 출력치로, 이상의 종류는 가스센서의 출력비로 판정한다.

b. MGA(Monitored Gas Analysis) 방식
SF₆ 가스 중에 미량의 감시용 가스를 혼합, 봉입한 후, SF₆ 가스는 분해되지 않을 정도의 작은 부분방전에 대해 감시용 가스는 분해됨을 이용하여, 감시용 가스의 분해 생성물을 분석, 이상을 검출하는 방법이다

c. 열선형 반도체 센서 방식
액침식 가스절연 변압기에서 PFC액 중의 가스분석에 이용하는 방식이다.

d. 기타 가스센서 방식
기타 가스센서 방식으로는 색소 박막소자법, 금속 증착막법 및 흡착제법이 있다. 색소 박막소자법은 분해가스에 의한 색소 박막의 정색반응(呈色反應 ; 흡수/투과 스펙트럼의 변화)을 이용, 광학적으로 검출하는 방법이며 금속 증착막법은 분해가스를 주석 증착막에 노출시켜 가시광선의 투과율 변화에 의해 검출하는 방법이다. 흡착제법은 분해가스를 흡착제에 흡착시킨 후, 흡착제에서 가스를 방출할 때의 압력특성으로부터 검출하는 방법이다.

3. 결 론

국내의 경우 가스절연 변압기는 운전 대 수 및 운전역사가 유입변압기에 비해 매우 미미하며, 사고사례는 전무한 실정이다. 본 논문은 가스절연 변압기의 상용화에 따른 예방보전 연구의 기초단계로서 가스분석 및 예방진단 기술에 대한 국내·외의 연구자료 검토결과를 정리한 것이다.

향후 가스절연 변압기에 대한 예방보전을 위해 운전데이터의 축적과 내부이상과 외부에 보이는 현상의 상관성을 명확히 하여, 이상 판단 가능한 유해판정 기준을 확립하는 것과 더불어 각종의 감시 데이터로부터 가스절연 변압기 운전상태를 종합적으로 판단할 수 있는 예방보전 시스템을 연구해 나가고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 小林, 他, "가스절연변압기의 내부이상진단", 일본 전기학회 정지기연구회자료, SA 91-71, 1991
- [2] 高木, 他, "가스분석에 따른 가스절연 변압기 이상진단법의 검토", 일본 전기학회전국대회, No.855, 1990
- [3] 일본 電協研第54券2호, "가스절연변압기 보수관리"