절연유열화센서를 이용한

변압기 ON-LINE 진단(上)

글/강창원
(주)서울유일엔지니어링 대표이사/기술사

Ⅰ. 전력용 변압기 진단기법

1 일반사항

산업의 발전과 자동화, 자동화에 따라 전력설비도 점차 대형화 초고압화되고 있는 추세에 있어 전력설비 사고시 그 피해도 막대해지고 있으나 주기적으로 점검을 하여 사고를 사전에 예방하기에는 매우 어려운 것이 현실이다.

즉, 점검을 위한 정전이 불가능하고 또한 정전이 가능하더라도 주기적인 점검이 어려우며 전문인력과 장비부족은 물론 과거 데이터를 활용한 종합적 진단기법 부족으로 일회성의 기초적인 점검수준에 머무르고 있다. 최근에는 절연유 유중가스 분석이 점차 확산되고 있으나 절연유 채취에 따른 불편, 측정시간 및 진단 비용 과다소요, 전문인력 및 고가의 진단장비가 필요하므로 범용으로 활용하기에는 어려운 실정이다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 한국전기연구소가 일본전력중앙연구소와 공동으로 절연유열화센서(PCS : Porous Ceramic Sensor)를 이용한 절연유 ON-LINE감시시스템을 4년간 연구개발하고 (주)서울유일엔지니어링이 현장적용시스템을 개발하여 절연유를 사용하는 변압기, MOF 등의 열화정도를 전기사용상태에서 자동감시하여 절연유의 열화 측정과 예측이 가능하도록 하였다.

2 기존의 절연유 진단방법

절연유가 열화되면 절연파괴전압, 산가, tan δ, 체적사항, 점도, 인화점, 색깔 등에 영향을 미치므로 이러한 요소를 측정하여 열화의 강도를 판정할 수 있으나 이상의 요소들은 서로 독립적인 변화를 나타내므로 절연파괴 전압, 산가측정 등의 단일시험결과에 의하여 양, 부를 판별하는 것은 위험하다.

(1) 절연 내압시험

절연유의 절연파괴 전압은 어떤 전계하에서 사용 가능한가의 여부를 판정하는 기준으로써 유중의 수분, 섬유질 또는 도전성 입자에 의해 파괴전압이 저하되므로 절연파괴현상이 일어날 때 측정된 값으로 유중불순물의 유무를 판정하는 시험이다. 시험방법으로 직경 12.5(mm)로 한 셀(Cell)에

시료를 넣고 3분간 방치 후 유중의 거품이 가라앉게 한 다음 초당 3,000(V)의 속도로 전압을 상승시켜 파괴전압을 측정한다.

-내압 판정기준

· 양 호 : 30kV이상
· 요주의 : 25~30kV
· 불 량 : 25kV미만

(2) 전산가 시험(Acid Value)

절연유는 온도, 산소, 동촉매, 광 등에 의하여 산화열화되어 산성물질을 생성하며 산의 증가는 절연유중에 콜로이드 성분을 증가시켜 유중의 수분, 미세입자 등을 떠오르게 하여 권선을 단락시키거나 절연을 저하시키는 위험을 초래한다. 더욱 산화하면 슬러지를 생성하여 권선의 열전달을 방해하므로 변압기 온도상승의 원인이 된다. 시험방법은 시료 20g을 규정된 용기(300ml 삼각 프라스크)에 넣고 혼합용제(Toluene 3V+Ethnol 2V)에 용해시킨 후 Alkali Blue-6B 지시약으로 하여 중화액(0.1N-KOH)을 용액으로 적정하여(액이 자색빛 띤 적색변화가 15초간 유지) 이때 소요되는 KOH의 양(mg)으로 산가를 계산한다.

-산가의 판정기준

· 양 호 : 0.2(mg-KOH/g)미만
· 요주의 : 0.2~05(mg-KOH/g)
· 불 량 : 0.5(mg-KOH/g)이하

(3) 유전정접(tan δ)시험

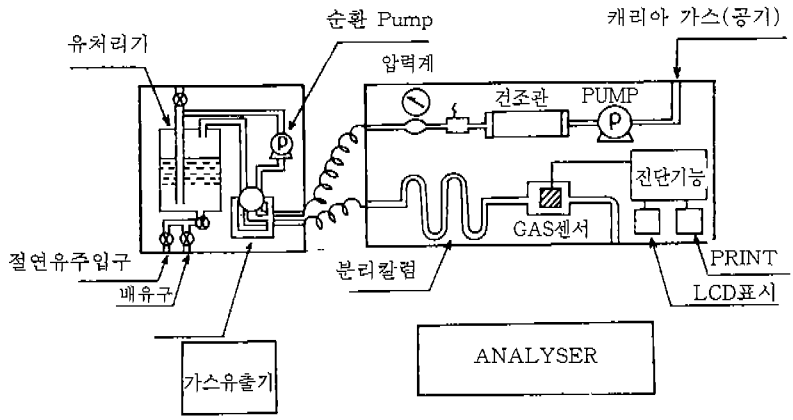
침전물질의 함유량 또는 절연유 자체의 열화정도에 관계되는 것으로, 절연유에 교류전압을 가하였을때 발생되는 전력 손실률을 말한다. 시험방법은 ASTM에 규정된 전극을 벤젠 등의 용제에 씻어내고 다시 시료로 씻은 다음 새로운 시료를 넣고, 전극간에 100V, 60Hz의 전압을 인가하여 교류브릿지법에 의하여 측정한다. 이때 시료온도는 50±1℃를 유지한다.

-절연유 판정기준

· 양 호 : 1.25%미만
· 요주의 : 1.25%~5.0%
· 불 량 : 5.0%이상

(4) 유중가스 분석

154kV급 이상의 대용량 변압기의 열화측정에 사용하는 방법으로 변압기 내부의 이상부위에서 생성되는 열분해 가스를 운전중에 탱크 하부의 배유변에서 채취한다. 통상 운전중인 변압기의 절연유중에 함유되어 있는 가스의 종류는 O_2, N_2, CO_2 기타의 불연성의 것과 H_2 및 C_1~C_4의 가연성의 것 등 대체로 20종류 전후이다. 저급 탄화수소가스나 무기가스의 정량분석 방법에는 자외선, 적외선, 분광분석, 질량분석, 가스 크로마토그래프 분석 등이 있지만 성능면 조작원리의 면에서 일반적으로



<그림 1> 가스 Analyser 구성도

<표 1>

가스성분의 비율	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
〈0.1	0	1	0
〉0.1－〈1	1	0	0
〉1－〈3	1	2	1
〉3	2	2	2

C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6	이상형태
0	2	0	과열(저)
	2	1	과열(중)
	0, 1, 2	2	과열(고)
1	0, 1, 2	0, 1, 2	아크 방전 (고에너지 방전)
2	0, 1	0, 1, 2	부분 방전 (저에너지 방전)

가스 크로마토그래프에 의한 분석방법이 이용되어지고 있다.

① 동작원리

변압기로부터 채취한 절연유의 유중가스 추출에 대해서 설명한다. 유면 장계내의 가스농도가 유중가스농도와 평형에 달할 때까지의 시간은 공기를 주입시키는 파이프의 사이즈와 공기의 유량 등에 따라 다르다. 유면 장계내의 가스농도와 유중 관계는 다음식으로 표시된다.

$$V = \frac{C}{K}$$

V : 초기의 유중 가스농도(ppm)
C : 평형시의 유면장 가스농도(ppm)
K : 추출기의 고유 추출 계수

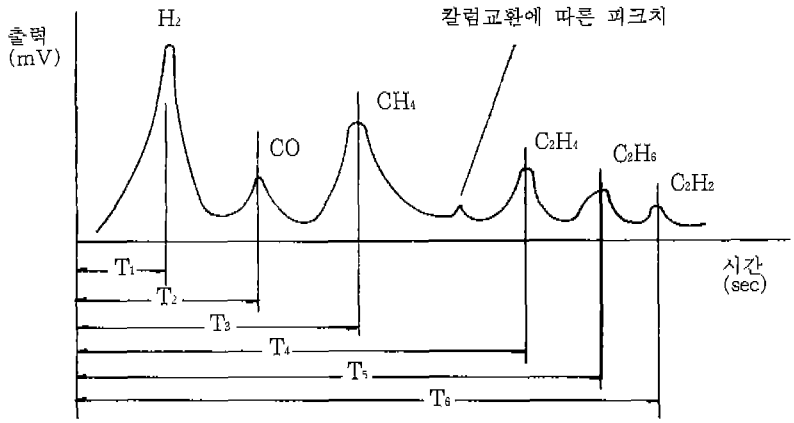
상기식에서 K는 추출기의 조건에 따라 다르기 때문에 가스 Analyser로 접속된 가스 추출기의 고유 추출계수에 입력하지 않으면 안된다. 추출계수가 입력되면 상기의 식을 사용하여 유중 가스농도를 환산한다.

(5) 유중 가스의 측정 및 진단 방법

① 조성비에 의한 진단 방법

일본 전기협동연구회에서 제시한 방법에 6성분의 가스중 H_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6, C_2H_2의 5종류 가스의 조성비로 부터 이상형태를 진단할 수 있는 방법이 있다. 표 1과 같이 3가지 형태의 조성비(C_2H_2/C_2H_4, CH_4/H_2, C_2H_4/C_2H_6)를 산출하여 각 비율을 코드표로 분리시켜 간단하게 진단할 수 있는 방법이 있다. 특히 C_2H_2/C_2H_4의 비율과 C_2H_4/C_2H_6비율에 따라 이상 형태를 분류할 수 있는데 분류되는 항목으로는 부분 방전, 아크방전, 과열 등이 있다. 앞에서 설명한 가스 Analyser로 이와 같은 조성비를 연산처리할 수 있고 이상형태를 표시할 수 있다.

② 절연유 및 절연지 과열분석



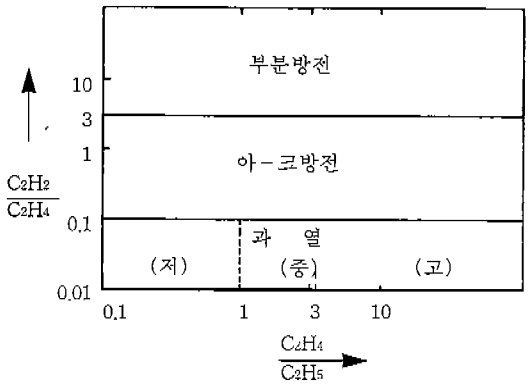
<그림 2> 6성분 검출 가스 예

<표 2> 가연성 가스총량(TCG)에 의한 요주의, 이상레벨

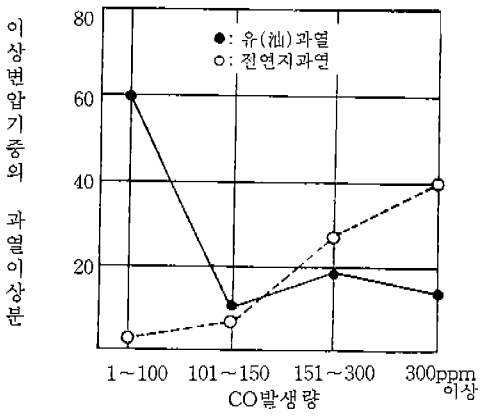
판정레벨	변압기 정격	가스량 (PPM)					
		TCG	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	CO
요주의	275kV 이하						
	10MVA 이하	1,000	400	200	150	300	300
	10MVA 초과	700	400	150	150	200	200
	500kV	400	300	100	50	100	200
이 상	275kV 이하						
	10MVA 이하	2,000	800	400	300	600	600
	110MVA 초과	1,400	800	300	300	400	600
	500kV	800	600	200	100	200	400

<표 3> 가연성 가스총량(TCG)의 증가 추세에 의한 요주의, 이상레벨

변압기 정격	TCG 증가율	
	요주의(PPM/년)	이상(PPM/월)
275kV 이하		
10MVA 이하	350	100
10MVA 초과	250	70
500kV	150	40



<그림 3> 이상형태 분석도



<그림 4> CO 발생에 의한 이상변압기 진단

일산화탄소(CO)의 발생량이 150~300ppm 이하의 범위에 있는 경우 절연유의 과열로 보고, 위의 값인 경우 절연지의 과열로 볼 수 있다<그림 3>.

③ 국부과열시 과열온도

절연유 및 절연지가 과열된 경우, 통상 포화탄화수소인 에탄(C_2H_6)에 대한 불포화 탄화수소의 에틸렌(C_2H_4)비율이 증가된다. 여기서 실험결과에 따라 과열온도를 표 5와 같이 추정할 수 있다.

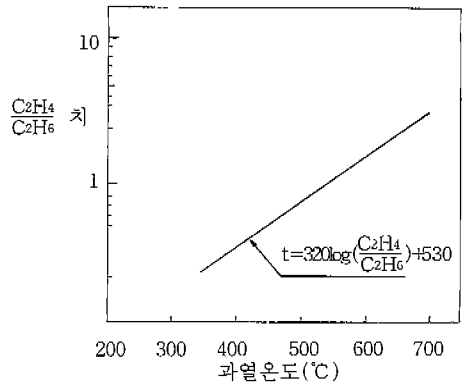
가연성 가스 총량에 요주의, 이상레벨 판정의 기준치를 표 2, 표 3과 같이 나타내었다.

3 해외의 ON-LINE진단장비 개발동향

(1) 부분방전 진단장비

① 미 국

· PAC사에서 변압기 부분방전 진단용 초음파센



<그림 5> 과열온도와 C_2H_4/C_2H_6와의 관계

서 및 진단장비를 개발하여 전세계에 판매중에 있으며 주로 휴대형 장비위주의 정밀진단 장비이다.

· PAC사는 1987년에 설립된 회사로 초음파에 의한 진단장비 제조전문회사로 변압기의 부분방전 측정용으로 Spartan2000을 생산하고 있는데 미국, 캐나다, 타이완, 한국 등 10여개국의 연구소나 전력회사에 판매하고 있다.

· 국내 일부연구소에서도 Spartan2000장비를 구입하여 연구 및 현장에 적용하고 있으나 여러대의 변압기에 적용하여 ON-LINE으로 진단하기 위한 것이 아니고 한 대의 변압기에 여러개의 센서(보통 7~12개)를 부착하여 부분방전 발생위치를 컴퓨터 프로그램에 의하여 3차원으로 찾는 장비이다.

② 일 본

· NF사

- 진단장비를 개발하여 PAC사의 초음파센서로 신호를 검출한 후 부분방전에 의한 펄스 증가추이를 관찰하며 오실로스코프를 연결하여 파형을 측정하는 장비가 있다.
- 여러대의 변압기에 적용하여 ON-LINE으로 진단하기 위한 장비는 아니다.

· Marubun사

- 변압기의 접지선에 로고스키코일센서를 사용하여 부분방전량을 측정할 수 있는 장비를 개발하여 국내 일부 연구소에서 적용한바 있으며 휴대형의 단독장비이고 컴퓨터로 감시, 진단할 수 있는 장비는 아니다.

(2) 절연유 가스분석진단장비

① 미 국

· AOC사

- ON-LINE 가스분석장비를 개발하였으며 센서부를 드래인밸브측에 설치하고 분석장비를 통해 컴퓨터에서 상시감시, 진단할 수 있으며, 여러대의 변압기를 한 대의 컴퓨터로 진단한다.
- 분석가스의 종류 : CO, CO_2, H_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6, C_2H_2

· Hewlett Packard

- 휴대형의 가스 크로마토그래피 장비로 절연유를 채취하여 13개의 가스성분을 분석한다.

② 캐나다

· Syprotec사

- 미국의 Micro Monitors사의 제품과 유사하며 분석가스 종류도 동일하다.

③ 일 본

· TAKAOKA, MITSUBISHI Electric, HITACHI 사 등에서도 절연유를 채취하여 4~6성분의 가스를 분석하는 휴대형 장비를 개발하였다.

(3) 예방보전시스템

일본의 Hitach사에서는 "송변전설비의 고장예측 및 예방보전시스템"을 개발하여 GIS, 변압기, 차단기, 피뢰기 등에 예방보전 차원에서 각종 진단센서는 물론 진단시스템까지 개발하여 컴퓨터에 의하여 종합적으로 중앙제어실에서 변전소내의 모든 전력설비를 감시 및 진단(부분방전, 절연유 가스분석, CB개폐 특성, 피뢰기 특성, 가스압력, 유면레벨, OLTC동작특성, 온도, 지락검출, 차단전류 등) 할 수 있는 대단위의 예방보전시스템을 '85년부터 개발하여 중국전력, 동북전력 등 일본내 다수의 전력회사에 50여개의 시스템을 판매중에 있다.

'97 정기총회 및 추계학술대회

(사)대한전기학회에서는 '97년도 정기총회 및 추계학술대회를 아래와 같이 실시합니다.

◐ 아 래 ◑

1. 일 시 : '97. 11. 29 (토)
2. 장 소 : 명지대학교(용인캠퍼스)
3. 주최 및 후원
   - 주 최:(사)대한전기학회 - 후 원 : 명지대학교
4. 연락처 : Tel 02)553-0151~3 Fax 02)566-9957~8