2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

전력용 변압기 예방진단 기준치 검토

권동진, 구교선, 강연욱, 우정욱, 곽주식
전력연구원

Investigation of the Preventive Diagnostic Criteria for Power Transformer

D.J.Kweon, K.S.Koo, Y.W.Kang, J.W.Woo, J.S.Kwak
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The preventive diagnostic system prevents transformers from power failure by giving alarm and observing transformers in service. And it helps to establish the plan for optimum maintenance of transformer as well as to find location or cause of fault using accumulated data. KEPCO has adopted the preventive diagnostic system at nine 345kV substations since 1997. Techniques for component sensors of preventive diagnostic system were settled but diagnostic algorithm, diagnostic criteria and practical use of accumulated data are not yet established. This paper, to build up the base of preventive diagnostic algorithm for the power transformer, investigated the preventive diagnostic criteria for power transformer.

1. 서 론

변압기 예방진단시스템은 변압기의 운전상태에서 온라인으로 이상징후를 상시 감시하여 급속한 이상 진행 시 경보를 발하여 불시정전을 방지하며, 축적된 데이터로 변압기의 상태에 따른 최적의 유지보수 계획을 수립하고, 고장시 누적된 데이터로 이상원인 및 이상위치를 판정하기 위한 것으로, 각종 온라인 이상검출 기술을 종합하여 변전소 운전입장에서 시스템화한 것이다.

변압기 예방진단시스템은 1980년대부터 미국, 일본을 중심으로 개발되어 왔으며, 일본의 경우, 변전소의 무인화, 자동화의 입장에서 예방진단시스템과 감시제어시스템을 통합한 변전소 자동화시스템을 적용하고 있다. 특히 일본은 중전기 제작사별로 예방진단시스템을 개발하여, 변압기 납품시에 예방진단시스템을 같이 공급하고 있으며, 전력회사는 변전소의 중요도에 따라 예방진단 항목을 선택하여 적용하고 있다.[1,2] 미국을 비롯한 유럽에서는 일본에 비하여 변전소 전체에 대한 자동화시스템 개발은 저조하나, 변압기, 차단기 및 GIS를 대상으로 설비별 진단장치 개발에 주력하고 있다.[3]

국내에서는 1980년대 중반부터 변압기 및 GIS에 적용되는 각종 센서 및 이상검출장치를 개발하여 왔다.[4,5] 특히 초음파 측정기술을 이용한 변압기 부분방전 측정장치, 수소가스 및 가연성가스 측정장치, 피뢰기 누설전류 측정장치 및 GIS 부분방전 측정장치 등을 개발하여 왔다. 이러한 연구를 기반으로 한국전력공사에서는 1997년에 4개의 345kV 변전소에 예방진단시스템이 적용하였고, 1998년에는 5개의 345kV 변전소에 예방진단시스템이 추가로 적용하였으며, 2004년에 2개의 765kV 변전소에도 예방진단시스템을 적용하였다.[6,7]

그러나 현재 운전중인 변압기 예방진단시스템의 경우, 예방진단 기술이 도입되기 시작하는 초기상태임에 따라 아직까지 진단기준치나 알고리즘이 확립되어 있지 않은 상태이다. 이러한 진단기준치나 알고리즘의 적용은 예방진단시스템의 누적되는 데이터의 분석이 지속적으로 이루어져야하고, 이를 통하여 예방진단 시스템의 운전신뢰성이 확보되어야 할 것이다. 이를 위해서는, 예방진단시스템의 효율적인 진단기준치와 알고리즘이 확립되어야 할 필요가 있다.

2. 본 론

2.1 예방진단 기준치 설정에 관한 이론

진단기술은 "설비의 상태를 정량적으로 관측하고, 장래의 상태를 예측하는 기술"로 정의된다. 따라서 진단기술은 현재 시점에서 설비의 열화상태를 진단하는 상태진단기술(condition identification technique)과 장래의 상태를 예측하는 상태예측기술(condition prognosis technique)로 구분될 수 있다. 그러므로 진단기술은 단순히 설비의 상태를 관측하는 것이 아니고, 수명 예상 등 여러 가지 관련 항목을 병용하여 장래의 설비상태를 예측하는 기능이 포함되어야 한다.

예방진단 기술을 실용화하는 최초의 단계는 설비의 열화에 민감하게 반응하는 이상징후 파라미터의 진단기준치를 정하는 것이다. 그림 1은 전력설비의 이상 징후에 따른 열화 진행 그래프이다.

이상징후 파라미터는 시간이 진행됨에 따라 특정한 이상에 의하여 변화되는 변수이며, 그림 1의 종축은 시간의 진행에 따라 나타나는 이상의 징후를 나타내는 정보를 의미한다. 그림 1에서 시간 T_D는 신제품에서 이상이 발생(B점)하기까지의 시간이며, 검출지연시간 T_L은 이상이 발생하고부터 진단기술에 의하여 이상이 검출(C점)되기까지의 시간을 나타낸다. 또한 T_I은 이상을 검출하고부터 고장(D점)이 발생하기까지의 시간을 나타낸다. T_E는 이상발생점에서부터 고장까지 이르는데 걸리는 총 소요 시간이다.

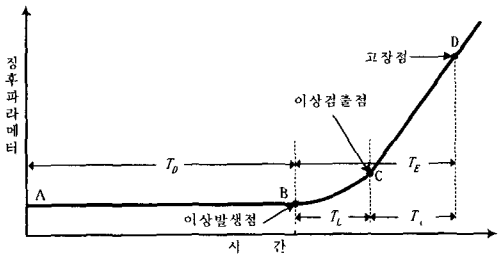

그림 1 전력설비의 열화 진행 그래프

따라서 이상징후 파라미터의 진단 기준치를 적절하게 설정한다면, 검출지연시간 T_L을 단축시킴으로써 기기의 이상을 조기에 발견하고, 설비가 고장에 이르는 것을 예방할 수 있다.

진단 기준치는 주로 정상, 요주의 및 이상 레벨로 나뉘어 진다. 정상 레벨은 설비가 정상인 상태로, 정상인 설비에서 데이터의 평균치, 초기치 또는 베이스 라인이다. 요주의 레벨은 설비에 어떤 변화가 있는 것을 의미한다. 이 상태는 운전조건의 변화가 필요하지만, 반드시 사고로는 이어지지는 않기 때문에 운전자의 주의를 필요로 하는 레벨을 의미한다. 그리고 이상 레벨은 설비가 위험한 상태로 응급한 대책이 필요한 것을 의미한다.

진단 기준치를 설정하는 방법을 실용적인 입장에서 분류하면 사람의 경험이나 감각에 기초하는 방법, 규격과 표준치를 이용하는 방법, 그리고 측정된 데이터를 이용하여 통계적으로 결정하는 방법 등이 있다.

사람의 경험이나 감각에 기초하는 방법에 있어서 손의 감각은 진동과 온도 등의 진단 기준에 아주 우수하다. 정량성이 없는 결점이 있지만, 별도의 계측기가 필요 없는 장점이 있다. 다른 방법에 의해 구체적인 이상원인 및 조치사항 등을 파악하지 못하는 경우, 전문가에게 문의하는 경우가 대표적인 사례이다.

운전기준과 규격을 이용하는 방법은 변압기의 운전기준이나 규격을 이용하여 전력사나 제작사 혹은 연구기관에 의해 발표된 기준치 등을 이용하는 방법이다. 이러한 기준, 규격 및 제작사의 권고치 등은 진단 기준에 유용하게 활용될 수 있다. 현재 전력용 변압기의 예방진단 시스템에 사용되는 많은 진단 항목들의 기준치는 한전에서 사용되는 전력용 변압기 운전기준을 이용하고 있다.

또한 통계적으로 진단 기준을 결정하는 방법은 설비가 정상일 때와 이상일 때 취득된 데이터를 이용하여 일정한 수순에 따라 진단 기준을 결정하는 방법이다. 이 방법은 정상시와 이상시의 데이터를 모두 알고 있는 경우와 정상시에 취득된 데이터만으로 진단 기준치를 설정하는 경우로 나눌 수 있다.

① 정상시와 이상시의 데이터를 모두 알고 있는 경우

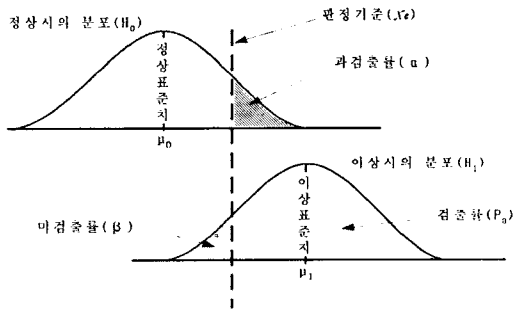

그림 2 진단 기준을 결정하는 통계적 방법

그림 2는 정상인 설비에서의 측정치 빈도분포(정상인 설비의 확률밀도계수 $H_0(x)$)와 이상이 발생한 설비에서의 측정치 빈도분포(이상이 있는 설비의 확률밀도계수 $H_1(x)$)를 나타낸 것이다.

여기서, 총 확률밀도계수는 식 1과 같다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} H(x)dx = 1 \qquad \text{(식-1)}$$

정상인 설비에서의 데이터를 복수회(보통 $n \geq 20$, n: 측정횟수) 측정하면, 그 빈도분포는 그림 2와 같이 정상시의 평균치, 즉 정상설비의 표준치(μ_0)를 중심으로 하는 정규분포 H_0를 얻을 수 있다. 또한 이상상태에서의 설비에 대하여서도 마찬가지로 이상시의 평균치, 즉 이상설비의 표준치(μ_1)를 중심으로 하는 정규분포 H_1을 얻을 수 있다.

진단 기준치(x_e)를 결정하는 것은 과검출률(α)과 미검출률(β)이 최소로 되도록, 정상분포 H_0와 이상분포 H_1의 사이에 그림 2와 같이 진단 기준치를 설정하고, 측정치가 기준치의 좌측에 있으면 정상으로 진단하고, 우측에 있으면 이상으로 진단하는 것이다. 여기서, α는 과검출률로 설비가 정상인 경우에도 이상으로 잘못 진단하는 확률을 나타내고, β는 미검출률로 설비의 이상이 존재하는 경우에도 이상을 발견하지 못할 확률을 나타낸다. 따라서 검출률 P_0와 미검출률 β의 관계는 $P_0+\beta=1$과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

따라서 그림 2에서 진단 기준치를 크게 하면, 과검출률은 작아지지만 미검출률은 커지고, 반대로 진단 기준치를 작게 하면, 미검출률는 작아지지만 과검출률은 커진다. 과검출률과 미검출률을 동시에 작게 하는 것은 불가능하므로, 설비의 중요도를 고려하여 적정한 위치에서 진단 기준치를 설정할 필요가 있다. 일반적으로 진단 기준은 과검출률이 20% 이하, 미검출률이 10% 이하인 경우로 결정한다.

② 정상시의 데이터만으로 진단 기준을 정하는 방법

정상시의 데이터와 이상시의 데이터 모두를 알 수 있는 경우에는, 진단 기준을 설정하기가 편리하나, 이상시의 데이터를 파악하기 곤란한 경우에는 정상시의 데이터만으로 진단 기준을 정하여야 한다.

정상시의 데이터만으로 통계적으로 진단 기준을 정할 때, 진단 기준은 설비가 정상인 경우와 이상인 경우를 구분할 수 있는 기준치를 설정한다. 따라서 진단 기준치를 구하기 위해서는 설비가 정상인 경우의 데이터를 최소한 20회 이상 측정하고, 평균치 및 표준편차를 이용하여 진단 기준치를 설정할 수 있다. 측정된 정상 상태에서의 데이터를 이용하여 식 2 및 식 3에서와 같이 평균과 표준편차를 계산한다.

$$\text{평균치} : \mu_0 = (x_1 + x_2 + \cdots\cdots + x_N)/N \qquad \text{(식-2)}$$

$$\text{표준편차} : \sigma_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu_0)^2/(N-1)} \qquad \text{(식-3)}$$

대부분 정상운전시의 데이터는 평균으로부터 표준편차의 2배인 제2표준편차 이내에 위치하며, 소수의 데이터만이 평균으로부터 제2표준편차 이상 떨어져 있다. 즉 설비가 정상인 상태에서 측정된 데이터가 평균으로부터 표준편차의 3배인 제3표준편차 이내에 존재할 확률은 약 99.7%이다. 그 결과 정상과 이상 상태를 판정하는 진단 기준치 x_e는 식 4와 같이 설정할 수 있다.

$$x_e = \mu_0 + 3\sigma_0 \qquad \text{(식-4)}$$

즉, 측정된 데이터가 진단 기준치(x_e) 내에 존재한다면, 설비가 정상적으로 동작하고 있다는 것을 의미한다.

2.2 온라인 진단 항목의 진단 기준치 설정

2.2.1 온라인 유중가스 진단 기준치

1) 진단 기준치 설정

온라인 유중가스 분석을 위한 진단 기준치는 센서 제작사의 권고치를 적용한 절대값에 의한 기준치와 열화 경향에 의한 기준치를 모두 적용하였다.

표 1은 온라인 유중가스 센서 제작사에 의해 제시된 절대치를 이용한 유중가스의 진단 기준치이다. 진단 기준치 설정을 위한 초기치는 센서가 설치되는 변압기의 특성에 따라 다를 수 있기 때문에, 센서가 변압기에 설치된 직후 2주일 동안에 취득된 값들 중 최대치를 이용하였다.

따라서 요주의 및 이상 레벨은 초기치가 70ppm이하인 경우와 71~400ppm인 경우, 그리고 400ppm을 초과하는 경우 등 3단계로 분류하여, 각 대상 변압기의 특성에 맞게 설정된다. 예를 들어 센서 설치 후 2주 동안 취득된 데이터의 최대치가 100ppm이었다면, 초기치가 71~400ppm의 경우가 적용된다. 따라서 표 1에 의해 온라인 유중가스 센서에 적용되는 요주의 레벨은 초기치의 1.5배인 150ppm이고, 또한 이상 레벨은 (초기치+100)의 1.5배인 300ppm이 된다.

표 1에서 요주의는 변압기 내부에 이상의 징후가 나타나고 있다고 판정할 수 있는 레벨이다. 따라서 긴밀한 주의를 갖고 다른 진단 항목들을 분석해야 한다. 그리고 이상은 요주의 레벨이 진전하여 변압기 내부에 이상이 발생하고 있다고 명확히 판정할 수 있는 레벨이다. 이때는 즉각적인 초기 조치와 함께 다른 진단 항목의 결과를 종합하여 온라인 진단 알고리즘을 통한 판정이 요구되는 상태이다.

표 1 온라인 유중가스 센서 제작사의 진단 기준치

단위 : ppm

경보 종류	초기치(설치 후 2주일 동안의 최대치)			비 고
	70 이하	71 400	401 이상	
요주의	100	초기치의 1.5배	초기치+200	요주의 경보 긴밀한 주의
이 상	200	(초기치+100)의 1.5배	초기치+300	이상 경보 즉각 조치

또한, 본 연구의 예방진단 알고리즘에서는 온라인 감시의 가장 큰 장점인 데이터 증가경향에 의한 진단이 가능하므로, 표 1과 같은 절대치에 의한 진단 기준치뿐만 아니라, 표 2와 같이 가스의 급격한 증가량에 의한 경향 분석을 이용한 진단 기준치를 동시에 적용하였다.

유중 가스 증가량에 의한 진단 기준치의 설정은 통계적으로 진단 기준을 결정하는 방법에 따라 진단 시점을 기준으로 최근 약 3주 동안의 평균치(μ_0, n=21, n:측정횟수) 및 표준편차(σ_0)를 이용하였다. 정상시에 측정한 데이터들을 이용한 진단 기준치 설정 방법을 적용하여, 진단 기준치(x_e)는 식 4를 이용하여 $x_e = \mu_0 + 3\sigma_0$를 진단 기준치로 설정하였고, 이 범위를 벗어나는 입력 데이터는 분석 결과로 보아서 평상상태에서 벗어나 내부에 이상이 발생하고 있다는 증상이므로, 요주의 경보를 알리고, $x_e = \mu_0 + 9\sigma_0$이상일 때는 이상경보를 울리고, 즉각적인 조치를 취하기 위하여 다른 진단 항목을 점검하여 그 상관관계를 분석하도록 처리하였다.

이러한 증가 경향에 의한 진단 기준치의 동시 적용은 절대치에 의한 진단 기준치의 적용에서 놓치기 쉬운 증가 경향에 의한 이상 검출이 가능하기 때문에 변압기의 예방진단에 있어서 유용한 수단이 될 수 있다.

표 2 유중 가스 증가량에 의한 진단 기준치

단위 : ppm

경보종류	진단 기준치 ($x_e = \mu_0 + 3\sigma_0$)	비 고
정 상	일평균값 진단 기준치	정 상
요주의	일평균값 > 진단 기준치	주의
이 상	일평균값>진단기준치 ($x_e = \mu_0 + 9\sigma_0$)	즉각조치

2) 진단 기준치에 의한 이상 진단 사례

운전 중인 변압기에 설치된 온라인 유중가스 센서를 이용하여 제시한 진단 기준치에 의해 변압기의 사고를 예방한 사례이다.

변압기는 약 2주일 동안 정상적으로 동작한 후, 유중가스가 급증하기 시작하여 요주의 및 이상 레벨을 거쳐 유중가스 센서의 한계 측정치인 2,000ppm에 도달하였다.

그림 3은 변압기에 부착된 유중가스 센서에 의해 정상인 상태에서부터 요주의 및 이상 경보가 발생된 후, 내부 정밀점검이 이루어지기까지 약 한달 동안의 유중가스 데이터를 분석한 그래프이다.

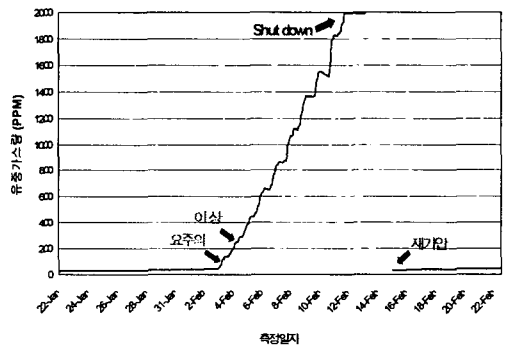

그림 3 이상변압기의 유중가스량 증가 경향

또한, 표 3은 유중가스 센서를 재설치한 후 2주일 동안의 일평균 유중가스 데이터이다. 표 3에서처럼 설치 후 13일째 되는 날에 140ppm의 가스량을 나타내었고, 그 다음날에는 292ppm으로 급격하게 증가되었다.

이러한 유중가스량의 변화를 절대값에 의한 진단 기준치로 적용하면, 온라인 유중가스 센서 설치 후 약 2주 동안의 최대치는 43ppm이기 때문에, 표 1에서 초기치가 70ppm이하인 경우의 진단 기준 레벨이 적용되게 된다. 그 결과 13일째 측정된 140ppm은 요주의 레벨인 100ppm을 초과하여 요주의 경보를 발생하게 되고, 14일째 측정값인 292ppm은 이상 레벨인 200ppm을 초과하여 이상 경보를 발생하게 된다.

또한 증가 경향에 의한 진단 기준치를 적용하면, 진단 기준치를 구하기 위하여 최근 약 2주일 동안의 평균치와 표준편차를 식 2와 식 3을 이용하여 계산하였다. 따라서 평균치는 33ppm, 표준편차는 4.8이 된다. 그 결과 증가 경향에 의한 진단 기준치는 식 4에 의해 33+(3×4.8) = 47ppm이 되고, 13일째 측정된 일평균값 140ppm은 진단 기준치를 초과하여 이상 경보를 발생하는 판정이 된다.

표 3 이상변압기의 가스 분석 데이터

단위 : ppm

날 짜	1	2	3	4	5	6	7
일 평균값	29	29	28	28	29	32	32

날 짜	8	9	10	11	12	13	14
일 평균값	34	35	37	39	43	140	292
					최대값	요주의	이 상

2.2.2 냉각 팬 및 펌프 진단 기준치

변압기의 냉각 시스템은 단계별 냉각방식에 의해 정해진 냉각용량에 따라 냉각 팬의 수량, 냉각 펌프의 용량 등이 정해진다. 따라서 냉각 팬과 냉각 펌프의 이상 유무 진단은 냉각 팬과 냉각 펌프 전동기의 동작 전류로 판단할 수 있다.

냉각 팬과 냉각 펌프 전동기의 동작전류의 진단 기준치는 전동기의 정격전류를 기준으로 사용하였다. 본 연구에서는 온라인으로 측정되는 값이 정격전류 내에 존재하면 정상적으로 동작하고 있는 것으로 판단하고, 측정된 전류 값이 범위를 벗어나면, 표 4에서처럼 동작전류의 크기에 따라, 과부하 및 단선 등의 이상 여부를 판단할 수 있도록 하였다.

냉각 팬과 냉각 펌프 전동기의 정상적인 동작전류를 취득하기 위해서는, 냉각 팬과 냉각 펌프의 기동시에 발생되는 기동전류를 고려하여, 과도 상태가 지난 후에 측정된 데이터를 이용하여야 한다. 따라서 전동기의 정상적인 동작전류 측정을 위한 시간 지연(time delay)이 필요하며, 이를 위하여 6개의 전력용 변압기에서 정상적으로 동작하는 동일한 규격의 냉각 팬에 대하여, 각각 4회씩 총 24개의 동작전류 데이터를 측정하였다. 동작전류가 과도 상태를 지나 안정되기까지 걸리는 시간 지연의 평균값은 1.14초였고, 최고치는 1.26초였다. 따라서 본 연구에서는 동작전류가 충분히 안정되는 시간 지연을 주고 정상적인 전류를 측정하기 위하여 2초의 시간 지연을 설정하고 데이터를 측정하도록 하였다.

표 4 냉각 팬 및 펌프의 진단 기준치

감시항목	진 단 기 준 치 (정격전류=A)	
	상 태	조 치 사 항
냉각 팬, 냉각 펌프 동작전류	전동기 전류 = A	정 상
	전동기 전류 > A	전동기 이상, 과부하
	전동기 전류 < A	저전압 확인
	전동기 전류 = 0	전원 off 및 단선확인

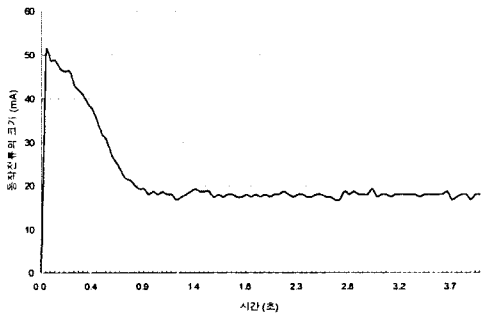

그림 4 냉각 팬의 동작전류

그림 4는 냉각 팬이 기동할 때 측정한 팬 동작전류에 대한 대표적인 그래프이다. 그림 4에서처럼 팬이 기동할 때는 정상전류의 2배 이상 크기의 기동전류가 측정되었고, 적어도 2초의 시간 지연을 거친 후에 정상적인 동작전류가 나타난다. 따라서 만약 시간 지연을 고려하지 않는다면, 이러한 기동전류가 측정되어 이상 경보를 발생할 것이다. 그러므로 냉각 팬과 냉각 펌프의 동작전류에 관한 진단의 경우, 2초의 시간 지연 후 측정해야만 모터의 기동으로 인해 발생되는 과도 전류는 무시되고, 정상전류를 측정할 수 있다.

2.2.3 부하전류 진단 기준치

부하전류는 배전반 내의 감시제어시스템으로부터 데이터를 입력받는다. 부하전류의 진단 기준치는 주변압기 운영기준에 따라 100% 부하시의 전류치를 기준으로 과부하 전의 연속부하, 과부하 시간, 그리고 외기온도 등을 고려하여, 표 5와 같이 변압기 과부하 내량을 적용하였다. 표 5에서처럼 과부하전 부하가 90%이고, 외기온도가 20℃인 경우, 과부하량이 125%이면 1시간 동안 과부하운전이 가능하며, 과부하량이 115%이면 2시간 동안 과부하 운전이 가능하다.

표 5 변압기의 과부하 내량

경보 종류	과부하 시간	과부하 전의 연속부하 (정격용량에 대한 %)					
		70% 이하			90% 이하		
		외기온도( )			외기온도( )		
		10 이하	11 20	21 30	10 이하	11 20	21 30
요주의	2시간	125%	120%	110%	125%	115%	105%
이 상	1시간	140%	130%	120%	135%	125%	110%

2.2.4 외기온도 진단 기준치

변압기를 비롯한 변전기기는 외기온도 및 표고에 따른 운전 허용한계가 정해져 있다. 외기온도는 이러한 외기온도 허용한계를 기준으로, 1년 동안의 최고온도가 40℃ 이상이거나, 연간 최저온도가 -25℃ 이하일 때 경보가 발생되도록 설정하였다. 또한, 하루 평균온도가 30℃ 이상일 때 이상 기온으로 판정하도록 진단 기준치를 설정하였다.

2.2.5 절연유 온도 및 권선온도 진단 기준치

절연유 온도와 권선온도의 진단 기준치를 설정하기 위하여 세 가지 기준을 적용하였다. 첫째로 제작사에서 제시한 절대기준치, 둘째는 절연유 온도와 권선온도의 상승온도를 이용한 진단 기준치, 그리고 마지막으로 부하율에 따른 권선최고점의 온도를 계산하여 절연유와 권선온도의 상태를 종합적으로 진단하도록 처리하였다.

현재 국내에서 사용 중인 전력용 변압기의 절연유 온도 및 권선온도의 경보 레벨은 한전의 "변전소 운전 및 순시점검 기준"에 의해 표 6과 같이 절연유 및 권선온도의 온도계 지시치를 절대 기준치와 비교하고 있다. 표 15와 같이 요주의 및 이상 등의 경보에 대한 각각의 진단 기준치는 변압기 제작사에 따라 약간의 차이가 있다.

표 6 절연유 온도 및 권선온도 진단 기준치

단위 :

경 보 종 류		절연유 온도 기준치	권선온도 기준치
요주의	A사	85	95
	B사	95	110
이 상	A사	95	110
	B사	105	120

또한, 절연유 온도 및 권선온도의 진단 기준치를 설정할 때, 표 6에서 제시된 절대치에 의한 값뿐만 아니라, 절연유 온도와 권선온도의 상승온도도 이용하였다. 상승온도는 변압기의 구조, 크기, 부하량, 변압기의 운전조건 등에 영향을 받으며, 열 열화를 억제하기 위하여 변압기에서 각 부분에 대한 기준치로 사용된다.

현재 전력용 변압기에서 온도상승 허용한도는 주위온도가 40℃를 초과하지 않고, 1차 정격전압의 ±7% 탭에서 1차, 2차 및 3차권선이 동시에 연속 정격출력을 낼 때, 평균 온도상승 허용한도는 절연유 온도가 55℃, 권선온도가 65℃가 적용되고 있다. 따라서 본 연구의 절연유 온도 진단 알고리즘에서는 절연유 온도에서 외기온도를 뺀 절연유의 상승온도를 계산하고, 온도상승 허용한도인 55℃를 기준치로 설정하였다. 또한 권선온도 진단 알고리즘에서는 권선 상승온도를 계산하고, 권선 상승온도 허용한도인 65℃를 기준치로 설정하였다.

마지막으로 변압기 개발시험 결과에 따른 정격부하에서 권선 최고점 평균온도를 계산하고, 식 5와 같이 부하율에 따른 권선 최고점 온도를 계산하여 98℃는 요주의, 120℃의 초과는 이상으로 진단한다.

부하율에 따른 권선 최고점 온도 (식- 5)

절연유온도+(권선최고점 평균온도-절연유온도)정격부하×1.3×부하율1.6

2.2.6 부하시 탭 절환장치 진단 기준치

부하시 탭 절환장치의 진단 기준치는 부하시 탭 절환장치 모니터의 데이터를 수신하여 접점마모량, 토크, 과부하, 탭 동작횟수 및 각종 이벤트를 관리하며, 부하시 탭 절환장치 제작사에서 권고한 기준치를 사용하였다.

접점마모량의 경우 제한치를 넘어설 경우 접점을 교체하는 경보를 발생하도록 처리하였다. 또한 토크 감시의 경우 토크 제한치를 기준으로 요주의 경보를 발생하도록 설정하였다. 그리고 온도를 통하여 과부하를 감시하도록 하였으며, 탭 동작 횟수에 따라 부하시 탭 절환장치의 절연유 및 점검 조치를 취하는 경보를 발생하도록 처리하였다.

표 7은 전력용 변압기의 부하시 탭 절환장치 모니터의 감시항목 및 진단 기준치이다.

표 6 부하시 탭 절환장치의 감시항목 및 진단 기준치

감시항목	진단 기준치
접점마모량	마모량 > 마모량 제한치 접점교체신호
토 크	토크 > 토크 제한치 경보
온 도	온도 > 온도상한값 또는 온도 < 온도하한값 경보
탭 동작횟수	27,000회 부하시 탭 절환장치 절환스위치 점검 40,000회 부하시 탭 절환장치 내부 절연유 교체 100,000회 부하시 탭 절환장치 점검

2.2.7 활선정유장치 압력 진단 기준치

활선정유장치 필터의 압력은 한전의 주변압기 운영기준을 적용하여 활선정유장치 내부 온도가 25℃ 이상일 때, 오일필터 압력계의 지시치가 3.5bar(kg/cm2)를 초과한다면 경보를 발생하도록 진단 기준치를 설정하였다. 또한, 부하시 탭 절환장치가 30,000회 동작한 후, 혹은 3년 동안 운전된 후, 그리고 부하시 탭 절환장치의 모니터 진단 결과가 이상상태 경보 발생시에는 활선여과기를 분해 점검하여, 수분이 30ppm 이상이고 절연내압이 40kV/2.5mm 이하시에는 오일 필터를 교체하도록 하였으며, 누유여부 확인, 압력계 정상 동작여부 등을 측정하도록 하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 예방진단시스템의 신뢰성을 확보하기 위하여, 진단기준치를 검토하였으며, 주요한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 온라인 유중가스 분석을 위한 진단 기준치는 요주의 및 이상 레벨은 초기치가 70ppm이하, 71~400ppm, 그리고 400ppm을 초과하는 경우 등 3단계로 분류하며, 요주의 레벨은 초기치의 1.5배이고, 또한 이상 레벨은 (초기치+100)의 1.5배이다.

(2) 냉각 팬과 냉각 펌프의 이상 유무 진단은 냉각 팬과 냉각 펌프 전동기의 동작 전류로 판단할 수 있으며, 냉각 팬과 냉각 펌프 전동기의 동작전류의 진단 기준치는 전동기의 정격전류를 기준으로 사용하였다.

(3) 부하전류의 진단 기준치는 주변압기 운영기준에 따라 100% 부하시의 전류치를 기준으로 과부하 전의 연속부하, 과부하 시간, 그리고 외기온도 등을 고려하여 적용하였다.

(4) 외기온도는 이러한 외기온도 허용한계를 기준으로, 1년 동안의 최고온도가 40℃ 이상이거나, 연간 최저온도가 -25℃ 이하일 때 경보가 발생되도록 설정하였으며, 하루 평균온도가 30℃ 이상일 때 이상 기온으로 판정하도록 진단 기준치를 설정하였다.

(5) 절연유 온도와 권선온도의 진단 기준치를 설정하기 위하여 세 가지 기준을 적용하였다. 첫째로 제작사에서 제시한 절대기준치, 둘째는 절연유 온도와 권선온도의 상승온도를 이용한 진단 기준치, 그리고 마지막으로 부하율에 따른 권선최고점의 온도를 계산하여 절연유와 권선온도의 상태를 종합적으로 진단하도록 처리하였다.

(6) 부하시 탭 절환장치의 진단 기준치는 부하시 탭 절환장치 제작사에서 권고한 기준치를 사용하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Y.Fujimoto, et. al., "Operation of an On-Line Substation Diagnosis System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.3, No.4, pp.1628~1635, 1988

[2] T.Kawada, T.Yamagiwa and F.Endo, "Predictive Maintenance Systems for Substations", Hitachi Review, Vol.40, No.2, pp.135~144, 1991

[3] J.S. Pearson, B.F. Hampton and A.G. Sellars, "A continuous UHF monitor for gas insulated substations," IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.26, No.3, pp.469~478, 1991

[4] 권동진 외, "초음파 신호 수의 이동평균에 의한 전력용 변압기의 예방진단," 대한전기학회 논문지, Vol.45, No.3, pp.432~437, 1996

[5] 권동진, "온라인 변압기 부분방전 측정기법 적용," 대한전기학회 논문지, Vol.50C, No.8, pp.394~400, 2001

[6] 권 동진 외, "765kV 변전기기 예방진단시스템 개발", 한전전력연구원 최종보고서, pp.1~128, 2001.

[7] 권동진 외, "전력용 변압기 예방진단 기준설정에 관한 연구," 한전 전력연구원 최종보고서, pp.1~69, 2005