

주상변압기의 열화진단을 위한 원격측정

(The Deterioration Diagnosis of pole Transformer using Remote Measurement)

송현선* · 이상돈

(Hyun - Seon Song · Sang - Don Lee)

요 약

본 논문에서 제안한 주상변압기 열화진단 장치는 환선 상태에서 변압기 외함온도, 2차전류 및 누설전류 등을 측정하고, 지정값 이상의 상태가 발생하면 변압기 관리자에게 유선 및 이동통신기를 통하여 자동통보함으로써 사고를 사전에 예방할 수 있다. 또한 무선데이터통신을 이용하여 수집된 정보를 분석하고 각 상별 전류분포, 이용률 및 온도변화 추이를 그래프로 나타냄으로서 각 상별 부하의 불평형 정도와 변압기의 열화 추이 상태를 파악할 수 있다. 실계통 실험을 통하여 제안한 주상 변압기 열화 진단 장치의 효용성을 입증하였다.

Abstract

This paper proposes on-line based a deterioration diagnosis pole transformers using various sensors such as thermistor, current transformer and potential transformer. We measured load current and temperature to diagnose pole transformer using R/F(radio frequency) wireless data communication module. We represent the graphs of their feature. The result of this paper shows that the proposed device can be used as deterioration diagnosis device of pole transformers.

Key Words : Deterioration diagnosis, pole transformers, R/F data communication

1. 서 론

우리 나라의 산업은 고도성장에서 안정성장으로 이행되고 있는 시대적 요구에 따라 전력산업에서도 급격한 증가에서 안정적인 성장으로 변화되고 있다. 이러한 시기에는 전력설비의 원활한 운용과 신뢰성 확보가 무엇보다 중요하다. 전력시스템의 부하부

을 주로 담당하는 배전계통에서는 각 주요 변전소에 설치된 SCADA시스템에 의하여 전력의 안정공급이 원활히 수행되고, 말단 수용가의 부하는 주상변압기를 통하여 전력이 공급된다. 주상변압기의 용량은 말단 지역 변전소에서 수용가를 몇 개의 블록으로 나누고, 예측된 부하량에 의거 산정한다. 그러나 최근 들어 각 수용가에는 냉·난방 부하와 컴퓨터 등 정보처리 시설에 의한 부하가 계속 증가되고 일시적이기는 하나 상업지역에서의 계약용량을 초과 사용하는 경우로 인하여 부하집중지역 확대 및 부하의 편중현상이 더욱 심화 되고있다. 이로 인하여 주상변압기의 부하는 불규칙적으로 변하고 때로는 과부하로 주상

*주저자 : 세명대학교 부교수
Tel : 043-649-1303, Fax : 043-648-0868
E-mail : shsong@semyung.ac.kr
접수일자 : 2002년 9월 9일
1차심사 : 2002년 9월 17일
심사완료 : 2002년 11월 4일

주상변압기의 열화진단을 위한 원격측정

변압기가 가열되어 열화가 촉진된다. 이러한 열화현상이 빈번하게 반복되면 권선간 절연물의 손상과 누설전류의 증가 등으로 변압기의 수명이 단축되고 심한 경우 소손되는 등의 사고가 발생하여 수용가의 경제적 손실뿐만 아니라 인명피해가 발생하는 등 전력공급의 안전성 및 신뢰성을 위협하게 된다. 따라서 배전계통의 고신뢰도 운전을 위해서는 전기설비의 열화상태를 진단하는 감시시스템이 필요하다[1].

주상변압기의 열화상태를 진단하는 연구로는 주로 비활선상태에서 초음파진단법이나 유중가스법 혹은 부분방전법 등의 방법으로 대용량 대 전력용 변압기를 분석할 수 있는 시스템이 개발되어 있다[2]-[5]. 또한 주상변압기 절연유의 유전점접을 이용하여 디지털화된 데이터를 원격측정하고 무선데이터통신을 이용하여 지상에서 주상변압기 열화상태를 손쉽게 진단할 수 있는 감시시스템도 개발되었으나 실시간으로 파악하는 데는 문제점이 있다[6,7].

본 논문에서 제안한 주상변압기 열화진단 장치는 변압기 외함온도, 2차전류 및 누설전류 등을 측정하고, 지정값 이상의 상태가 발생하면 변압기 관리자에게 유선 및 이동통신기를 통하여 자동통보함으로써 사고를 사전에 예방할 수 있다. 또한 무선데이터통신을 이용하여 수집된 정보를 분석하고 각 상별 전류분포, 이용률 및 온도변화 추이를 그래프로 나타냄으로써 각 상별 부하의 불평형정도와 변압기의 열화 추이 상태를 파악할 수 있다.

2. 유입자냉식 변압기의 온도상승

열의 전달에는 전도, 방사, 대류의 세가지가 있다. 유입자냉식 변압기의 경우 권선과 철심에서 발생한 열량은 대류에 의해 먼저 기름에 전해지고, 다음에 외함벽에 전해진다. 외함벽의 표면에서는 방사와 공기의 대류에 의해 열이 방사된다. 그러므로 주위온도에 대한 변압기 권선의 온도상승은, 기름에 대한 권선의 온도상승과 주위온도에 대한 기름의 온도상승의 두 부분으로 나누어, 각각 별개의 것으로 취급한다.

2.1 권선의 기름에 대한 온도상승

권선내부의 발생손실은 권선표면의 대류에 의해 기름에 전달된다. 권선표면의 방열량과 온도상승간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\theta_{co}' = KW_c^{0.75} \mu^{0.25} \quad (1)$$

여기서

θ_{co}' : 권선표면의 기름에 대한 온도상승,

W_c : 권선표면에서의 방열량,

μ : 기름의 점도,

K : 정수

일반적으로, 기름 점도의 영향을 무시할 때의 간략식은 다음과 같다.

$$\theta_{co}' = K_1 W_c^n \quad (2)$$

K_1, n : 권선형상, 기름온도에 의해 결정되는 정수 n 의 값은 보통, 0.7~0.85의 범위내에 있다. 저항법에 의해 측정되는 도체의 온도와 기름온도와의 차 θ_{co} 는 식 (2)로 표시되는 도체 절연물 표면의 기름에 대한 온도상승 θ_{co}' 에, 절연물 내부를 전달에 의해 열이 이동할 때의 온도구배 $\Delta\theta$ 를 합한 것이 된다. 절연물내부 온도강하 $\Delta\theta$ 는 식 (1)에서 나타난 바와 같이, W_c 에 비례한다.

$$\Delta\theta = K_2 W_c \quad (3)$$

$$\theta_{co} = \theta_{co}' + \Delta\theta = K_1 W_c^n + K_2 W_c \quad (4)$$

식 (4)의 우변 제1항과 제2항의 크기의 비율은 K_1 과 K_2 의 크기, 즉 권선형상, 기름온도 및 도체절연의 두께 등에 의해 변화한다. 여기서 부하손과 권선의 기름에 대한 온도상승의 관계는 식 (4)를 다시 간략화하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_{co} \propto W_c^{0.8} \quad (5)$$

또한 방열량 W_c 는 부하전류의 자승에 비례하므로 결국 식 (5)는 다음과 같이된다.

$$\theta_{c0} \propto (\text{부하전류})^{1.6} \quad (6)$$

2.2 기름의 공기에 대한 온도상승

기름과 공기의 온도차 θ_0 는 다음 세성분으로 된다.

- (1) 기름과 외함내부의 온도차(θ_0'),
- (2) 외함 벽내부의 온도강하(θ_0''),
- (3) 외함외면과 공기의 온도차(θ_0''')

위에서 (2)의 외함 벽내부의 온도강하(θ_0'')는 무시될 정도로 적다. (1)의 기름과 외함내부의 온도차(θ_0')와 (3)의 외함외면과 공기의 온도차(θ_0''')를 비교하면, 기름의 대류열 전달율이 약 100 [$\text{w/m}^2\text{C}$] 에 대해서 공기측의 종합 열전달율은 6~13 [$\text{w/m}^2\text{C}$] 정도이므로 (1)의 값은 (3)의 약 1/10 정도에 지나지 않는다. 따라서 기름의 공기에 대한 온도상승은 대부분이 (3)에 의해 지배되므로 절연유와 외함의 온도 차이는 통계적으로 1-2°C 정도 이므로 실용상 큰 차이는 없다. 그러나 변압기외함은 절연유가 채워진 곳으로부터 약 10[cm] 하단부의 온도가 가장 높으므로 이 부분의 온도를 측정하는 것이 요구된다.

3. 주상변압기 열화진단장치

본 논문에서는 주상변압기의 절연상태를 평가하기 위해 단말기 및 소프트웨어를 제작하였다. 단말기는 감시센서로부터 검출된 아날로그신호를 디지털신호로 전환하는 A/D컨버터를 통하여 단말기 내부 ROM에 프로그램 되어있는 알고리즘에 의하여 무선통신으로 데이터를 전송하고, 이상정보 검출시는 관리자의 이동통신기 및 유선통신기로 자동통보 하도록 구성되어있다. 주상변압기의 열화진단을 위한 단말기구성은 그림 1과 같다.

소프트웨어는 절연유온도 및 부하전류 진단프로그램과 자동통보 처리 프로그램, A/D변환기 프로그램,

유무선통신 프로그램, 추이분석 프로그램 등으로 구성되어 있다.

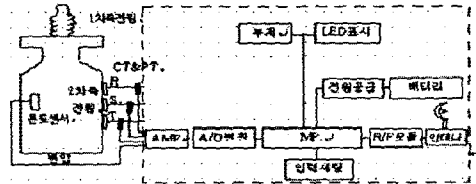


그림 1. 열화진단장치 블록도
Fig. 1. The block diagram of deterioration diagnosis system

3.1 단말기 구성

단말기시스템은 주상변압기의 열화상태를 측정하는 센서부, 감지된 정보를 변환하는 A/D변환부, 변환된 데이터를 처리하는 단말기제어부, 데이터를 전송하는 무선 송수신부 및 진단프로그램으로 구성되어 있다.

(1) 센서부

센서부는 주상변압기의 외함온도를 측정하는 온도센서와 과부하 상태를 감지하기 위한 부하전류센서 및 전압센서로 구성되어 있다.

(가) 온도측정부

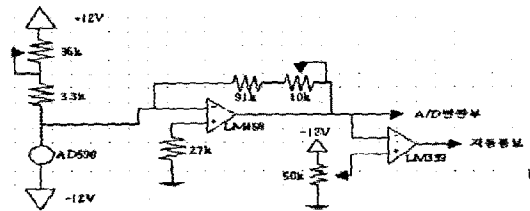


그림 2. 온도측정 회로도
Fig. 2. Circuit of temperature measuring device

본 논문에서 사용한 IC온도센서 AD590은 온도에 따라 P-N접합부의 전류전압특성이 변하는 것을 이용한 것으로 검출온도범위가 넓고 소형으로 직선성이 우수하며 사용전원 범위가 넓으며 전원변동에 대해서도 충분한 안전성을 유지할 수 있다 그림 2에서와 같이 온도의 변화에 따라 전압이 0[V]에서 10[V]

주상변압기의 열외진단을 위한 원격측정

의 출력이 나오게 하여 이를 온도로 환산하게 하였다. 자동통보시스템은 설정된 기준값 이상의 경우 신호를 발생하도록 하기 위하여 그림 2와 같이 비교기를 써서 적정온도보다 높은 경우와 낮은 경우 두가지를 나타내도록 하였다.

(나) 전류 측정부

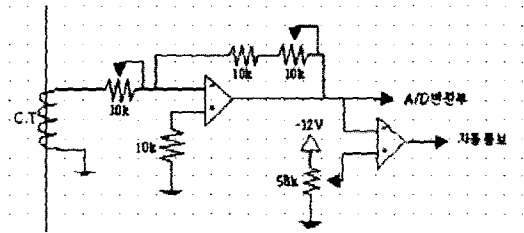


그림 3. 전류측정회로
Fig. 3. Circuit of current measuring device

과부하가 되면 전선에는 허용전류 이상의 전류가 흐르게 되고 이때 발생한 Joule열에 의해 절연물이 열화된다. 과부하시 선로에 흐르는 과전류를 감지하기 위하여 CT(Current Transformer)를 적용하였으며, 과전류 여부를 측정하기 위해서 CT를 변압기 2차측에 연결하여 부하전류의 상태를 감지하도록 하였다. 그림에서 비교기 전단에는 변압기마다 정격용량미틀리므로 별도로 CT를 바꾸지 않아도 되도록 전압분배기를 가변시킬 수 있게 하여 적정 기준 부하전류를 설정하게 하였다. 자동통보시스템의 경우는 비교기를 사용하여 부하전류가 적정 기준전류보다 높은 경우와 낮은 경우 신호를 발생하도록 하였다.

(다) 전압 측정부

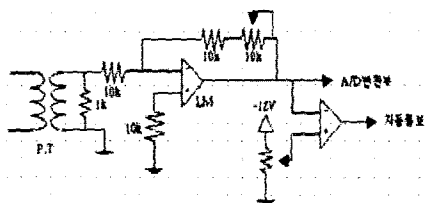


그림 4. 전압측정회로
Fig. 4. Circuit of measuring voltage device

전압측정부는 콘덴서분압센서를 이용한 계기용변성기(PT)를 사용하여 변압기 2차측전압을 감지하였다. 또한 그림 4와 같이 비교기를 사용하여 전압의 상한값과 하한값을 검출하여 이상 유무 및 단전여부를 감시 할 수 있도록하였다.

(2) 단말기 제어부

단말기는 시스템제어부와 자동통보시스템으로 구성되며 자동통보시스템은 이미 개발된 상품 CES1200를 이용하였다[8]. 시스템제어부는 시스템 전체를 자동으로 제어하는 기능을 가진 8비트 마이크로프로세서가 이용되며 이 마이크로프로세서가 정상동작을 수행하기 위해서 주변장치들로 구성된다. 그림 5는 한 개의 보드로 설계된 블럭도를 나타내고 있다.

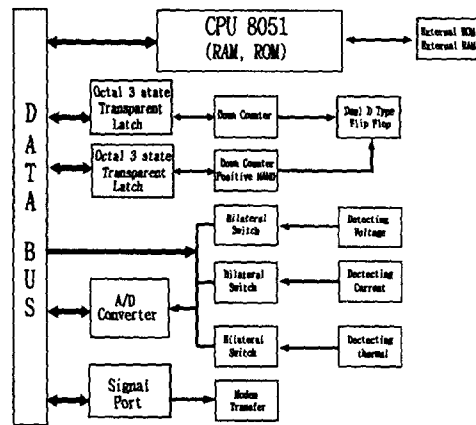


그림 5. 단말기 제어 개념도
Fig. 5. Block diagram of control system

이상발생신호가 입력포트로 들어오면 발생정보의 식별 및 데이터 저장과 CES1200에 경보신호를 전송하는 기능은 마이크로프로세서가 수행한다. 버스 드라이버(BUS Driver)는 마이크로프로세서에서 어드레스, 데이터 버스를 구동시키고 래치(Latch)로서 어드레스와 데이터를 분리하는 역할을 담당한다.

또한 마이크로프로세서의 결점 중 하나가 노이즈에 약한 것으로 이러한 원인 등에 의해 프로그램이 정지되는 경우가 생기는데 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 프로그램을 감시하여 정지되면 마이크로프로세

서에 리셋(Reset)을 걸어 정상적인 동작을 하도록 하는 워치독(Watch Dog) 과 리셋으로 구성하였다.

3.2 단말기 제어알고리즘

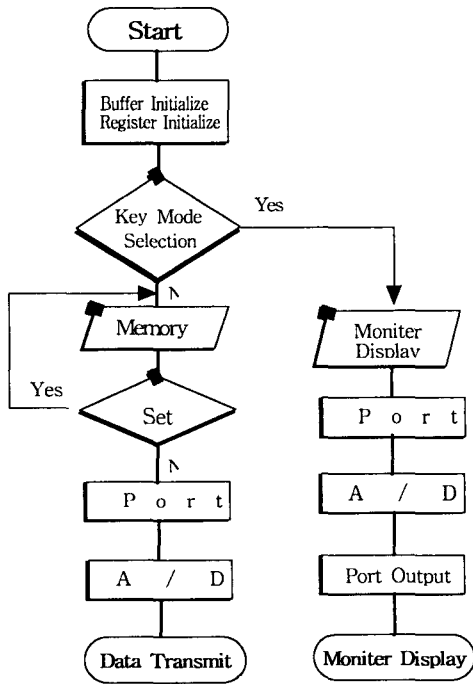


그림 6. 단말기 제어알고리즘의 흐름도
Fig. 6. Flow chart of control algorithm

그림 6은 단말기 메인 회로에 관한 제어알고리즘으로 메인회로에 전원이 공급되면 먼저 버퍼와 레지스터를 초기화시키고 다음으로 3개의 선택키(Key) 중에서 메모리에 저장할 하지 않고 모니터링 하는 모드와 메모리로 저장되는 모드가 있는데 초기 설정은 아무 조작이 없으면 메모리로 저장되도록 되었다. 메모리 저장모드로 되면 우선 메모리를 초기화 시키고 해당되는 입출력 포트에 검출된 파라미터 값을 A/D 컨버터(Converter) 통해 변환된 헥사(Hex)값을 메모리로 전송한다. 모니터링 모드에서는 헥사값이 메모리 대신 통신포트를 통해 모니터로 전송된다.

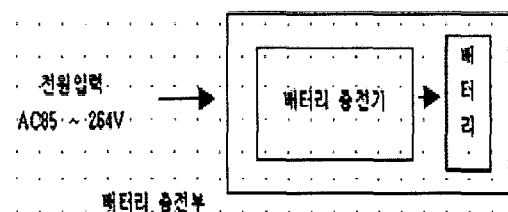
3.3 무선 송·수신부 및 제어부

무선통신을 이용하여 원거리에 떨어져있는 제어대

상물의 상태를 감시하기 위하여 데이터 정보를 수신하고자한다. 이를 위해 휴대용 수신기와 제어대상 물체에 장착된 송신기가 디지털 통신을 통해 원하는 무선통신에 의해 데이터를 받을 수 있게 한다. 이때 사용되는 주파수는 433[MHz]를 사용하며 무선통신에 사용될 송신출력은 10[mW] 이하로 한다. 이는 전파법에 규제되는 송신출력이며 이러한 출력을 이용하여 원거리 통신을한다. 무선 통신거리는 장애물이 없는 경우에는 약 300[m]까지 송수신을 할 수 있다. 아울러 송신기는 변압기에 부착하거나 내부에 설치하기 위한 구조로 설계하고 송신기는 AC 85 ~ 264[V]를 입력받아 DC 5[V], DC 24[V]를 출력할 수 있는 SMPS회로를 사용하고 수신기는 DC 6[V]를 입력시켜DC/DC 변환 회로를 이용하여 DC 5[V], DC 24[V]를 출력할 수 있는 전원을 만든다. 이때 송신기에는 정전시 데이터 백업 등을 위하여 배터리 충전기를 설치하고 절전회로를 사용하여 동작시간을 12시간 이상 사용가능하며 16점의 디지털 DC 입력과 8점의 릴레이(Relay) 출력을 갖는 구조이다. 즉, 각종 센서에서 입력을 받고 정해진 시퀀스에 따라 자동으로 디지털 출력이 릴레이를 통해 최종적인 데이터를 8051과 연결된 플래쉬램에 축적하여 감시정보로 이용한다. 이와 같은 송수신기는 주상변압기 감시 외에 원격으로 전등을 제어하거나 크레인과 같이 사람이 접근하기 곤란한 곳이나 옥상 등에 제어대상을 놓고 이를 통제하는 곳에 응용할 수 있다.

(1) 간이형 송수신모듈

무선통신에 의한 원격제어용 송수신장치 개발에 대한 송신부와 수신부의 구성은 그림 7과 같이 배터리 충전부, 배터리를 포함한 센서데이터 수집부 및 마이크로프로세서에 의해 동작하는 송신기부 등으로 구성하였다.



주상변압기의 열화진단을 위한 원격측정

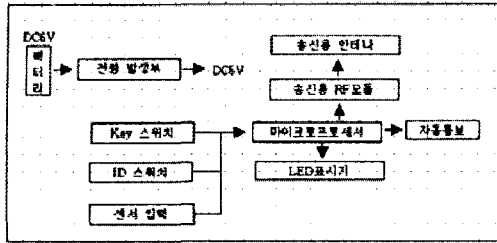


그림 7. 송신기부 구성
Fig. 7. Transmission configuration

송신모듈은 영국의 Radiometrix 사의 TX2-433 모듈을 사용하였으며, TX2-433은 RF out pin 단자에 433[MHz]의 Band Pass Filter가 있다. 이 모듈은 5[V], 5[mA]에서 -6[dB]을 만들어 낸다.

(2) 수신모듈

수신모듈은 영국의 Radiometrix 사의 RX2-433 모듈을 사용하였으며, RX2 모듈은 40[kbit/s] 이상의 데이터 전송을 할 수 있는 FM 슈퍼헤로트다인(super-rhet) 수신 장치의 이중 변환으로 1[ms] 보다 짧은 시간으로 carrier 복조와 power-up을 하는 장점이 있다.

(3) 근거리 통신 실험결과

앞에서 설명한 TX2-433과 RX2-433을 이용하여 거리 측정 실험을 하였다. 두 개의 89C51 테스트 보드에 RX2와 TX2를 각 연결하고 RX2를 통해 받은 데이터를 테스트 보드의 세그먼트에 표시하는 방법으로 세그먼트에 정상적인 데이터가 표시되는 지점까지의 송신기와 수신기의 거리를 측정하였다.

데이터를 패킷화 하여 전송하였으며 패킷 형식은 다음과 같다.

4ms 프리엠블(0xAA) 0xFF ENQ ENQ
 데이터 데이터 EOT EOT 체크섬 체크섬

체크섬의 값을 함께 보내어 수신부에서 체크섬을 이용한 에러체크를 하였다. 전송속도는 2,400, 9,600, 19,200, 38,400 [BPS]로 각각 해보았으며 전송 속도가 높을수록 전송거리가 짧아지지만 전체적인 전송거리

에 큰 차이는 없었다.

실험은 두 가지 방법으로 이루어졌는데 하나는 각기 다른 데이터를 보내고 수신부에서는 각기 다른 데이터를 받아 정상적인 데이터일 경우 세그먼트에 표시하도록 하였다.

또 다른 방법은 하나의 데이터(0x4E)만 보내고 수신부에서는 이 값(0x4E)이 들어오면 데이터 수신으로 인식하고 수신한 데이터 수를 하나 증가하여 수신한 데이터 개수를 표시하도록 하였다. 위의 동일한 방법으로 open된 상태에서와 건물 내에서 전송속도 2,400[BPS]로 실험을 하였다. 이 두 실험에 의한 전송거리 측정치는 다음의 표 1과 같다.

표 1. 전송거리 측정 실험
Table 1. Result of measuring transmission distance

실험방법	TX2, RX2 433	
	각기 다른 데이터	하나의 데이터
안테나15.5cm		
open ground	100m	120m
건물 내	2개 층	3개 층

위의 실험 결과는 우리가 기대하는 하는 것만큼의 측정거리는 아니지만 소프트웨어의 개선으로 전송거리를 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.

4. 소프트웨어 구성

주상변압기 열화장치에 사용된 소프트웨어는 크게 단말기 검출 프로그램과 진단프로그램으로 구성되어 있다.

단말기 검출프로그램에서는 10개의 신호입력과 4개의 외부신호입력을 합하면 14개 파라미터를 검출할 수 있으며 확장포트를 이용하여 포트확장이 가능하도록 프로그램 되어 있다. 단말기 검출파라미터 전압은 R, S, T 3상을 검출하고, 전류는 R, S, T 3상의 CT 2차측 전류를 검출하며, 누전은 영상 변류기 2차측 전류로 검출하였고, 온도는 IC온도센서 AD590을 사용하여 절전유의 온도를 검출하도록 설계되어 있으며 그 규격은 표 2와 같다. 검출된 데이터는 비교기를 통

하여 0~128구간에서 표현되며, 해당 파라미터값이 설정된 값 이상이 검출 될 때는 CES1200으로 경보신호를 전송한다. 데이터 저장은 실시간으로 1초로 설정하였고, 샘플링 주파수는1.2[kHz]로 설정하였다.

진단 프로그램에서는 저장된 변압기 데이터를 무선으로 전송받아 노트북 등의 컴퓨터로 변압기의 2차측 3상 부하전류를 월별, 각 상별 이용율과 최대, 최소값 및 평균값의 변화추이를 알 수 있도록 그래프로 나타낼 수 있게하였다. 또한 최대부하의 경우 시간대별로 분석 할 수 있도록 하였으며 각 상별 불평형 상태도 그래프화 하여 그 변화 추이를 파악 할 수 있도록 하였다. 변압기온도도 일별뿐만 아니라 시간별로도 변화 추이를 파악 할 수 있도록 그래프로 나타내었다.

표 2. 단말기 검출파라미터
Table 2. Specification of measuring parameters

항 목	범 위	내 용	
파라미터	3상 전압(RST)	MAX: 555Vrms	220[V], 60[Hz]
	3상 전류(RST)	MAX::5Arms	Ni-Cd, 12V 1200mAh
	누 전	-	단 상
	온 도	1kΩ~100kΩ	10 ~ 160℃
조	샘플링주파수	1~10kHz	1.25kHz
	측정간격	0.5~60sec	1sec
	허용오차	3~10%	±5%
건	memory backup	15~30일	최대 45.3일
	습도	10%~90%RH	20%RH - 80%RH

5. 시험성능결과 및 고찰

제한한 주상변압기의 열화상태를 진단하기 위하여 실제통에 운전중인 주상변압기의 부하전류와 주상변압기 외함 온도를 원격 측정하였다. 그림 8은 정격전류 288.7[A]인 주상변압기의 A, B, C상 부하전류를 30일간 최대값, 최소값 및 평균값의 변화추이와 부하에 대한 주상 변압기 외함 온도 변화추이를 나타낸 것이다. A상 부하전류 최대값은 정격전류의 132%, 평균값은 정격전류의 61.3%로 나타났다. 또한 B, C상

조명 · 전기설비학의논문지 제17권 제1호, 2003년 1월

의 부하전류 최대값은 각각 정격전류의 110%, 98% 이고 평균값은 정격전류의 54.35, 47.6%로서 A상에 부하가 집중된 3상 불평형 상태임을 알 수 있다. 부하에 대한 변압기 외함 온도변화는 대기온도 30℃에서 절연유 최대온도가 59℃이고 평균온도는 40.8℃ 였으며, 이들은 절연유의 허용온도 95℃ 이하로서 안전한 전상태임을 알 수 있다. 그림 9는 A상에서 최대부하가 걸린 날에 대한 시간별 부하전류 변화 추이를 나타낸 것으로 과부하가 19시부터 20시까지 1시간 정도 계속되었음을 알 수 있다.

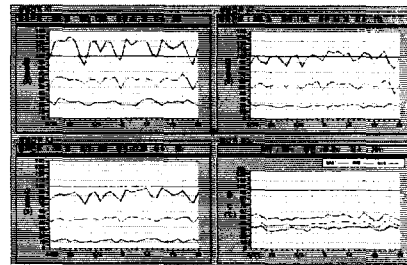


그림 8. 부하전류 및 온도 측정결과
Fig. 8. Result of load current and temperature test

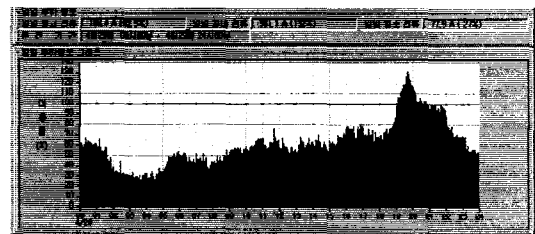


그림 9. 기간 중 최대부하일의 부하곡선
Fig. 9. Load curve on a maximum load day

6. 결 론

본 논문에서는 활선 상태에서 주상변압기의 열화상태 진단을 위한 원격측정장치를 개발하였다. 개발된 시스템에서는 주상변압기의 외함 온도와 2차측 전류를 원격측정하고 이들이 제한값이상 상승한 경우, 실시간으로 전기설비관리자에게 자동 통보함으로써

주상변압기의 열화진단을 위한 원격측정

과부하 및 열화에 의한 사고를 사전에 예방할 수 있다. 또한 원격 측정된 전류, 온도값을 Data Base화하여 분석함으로써 변압기 절연유의 열화 추이과정, 각 상별 부하의 불평형 정도 및 과부하 변압기의 교체시기를 판단 할 수 있게 함으로서 주상변압기의 효율적인 관리와 안전운영을 제고할 수 있도록 하였다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 2000년도 단기연구비 지원으로 이루어졌음(00-028).

References

- [1] 전영갑 외, 전력설비 사고예방 및 진단시스템 개발에 관한 연구(최종 보고서), 한국전력공사, 1993.
- [2] 김광화 외, 변압기 절연유 노화 센서 진단용 계측기 개발연구(최종 보고서), 한국전기연구소, 1993.
- [3] 이보호, "주상변압기 열화진단장치 개발 연(최종보고서)", 기초전력공학공동연구소, 1998, 9.
- [4] IEEE Std 62-1995, "IEEE Guide for Diagnostic field testing of Electric Power Apparatus-Part 1 : Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactor", 1995.
- [5] 김재철 외, "전력용 변압기 절연유의 비파괴 진단시험법의 비교연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 40, No. 3, pp. 799-807, 1991, 8.
- [6] 김재철 외, "주상변압기 열화진단장치 개발에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 1998.
- [7] 윤용한 외, "FFT를 이용한 주상변압기 열화진단장치에 관한 연구", 한국조명.전기설비학회 논문지, 14권 3호, 2000, 5.
- [8] 김일영 외, "전기화재 감식용 블랙박스 개발 연구(최종 보고서)", 산업자원부, 2000, 6.

◇ 저자소개 ◇

송 현 선 (宋賢善)

1953년 3월 25일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 출. 1982년 한양대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 한양대 대학원 전기공학과(박사). '83년~92년' 동양공전 부교수. 현재 세명대 전기공학과 부교수.

이 상 돈 (李相敦)

1958년 6월 14일생. 1977년 한양대 공대 전기공학과 출. 1981년 한양대 대학원 전기공학과(석사). 1996년 한양대 대학원 전기공학과(박사). 현재 원주대학 전기과 부교수.