

다채널 무선 통신망을 이용한 배전용 변압기 진단 기법에 관한 연구

論 文

50A-3-4

A Study on the Diagnostic Technique for Distribution Transformers using Multi-Channel Wireless Communication Network

金載哲*·崔峻豪**·金鍊賢***·文鍾必[§]·金彦錫^{§§}

(Jae-Chul Kim · Joon-Ho Choi · Dong-Hyun Kim · Jong-Pil Moon · Oun-Seok Kim)

Abstract - As increasing the accident of *Distribution Transformer* (DT), we need to manage them efficiently. In this paper, we discuss with the possibility of the diagnostic technique for distribution transformer using relative ageing rate calculation in this paper. The relative ageing rate of the DT could be calculated from the measured top oil temperature, ambient temperature and load current. In order to apply the proposed diagnostic technique we developed an on line *Monitoring and Diagnostic System* (MDS) which has hardware and software part. Diagnostic device is developed to measure the state information of DT and to send them with R/F(radio frequency) communication. Host computer monitors and saves the receive data. The database is constructed from the data of distributed DT and it is used for estimating loss-of-life in the MDS.

Key Words : Monitoring and diagnostic system, Distribution transformer, Top oil temperature, R/F communication, Diagnostic techniques

1. 서 론

최근 산업사회의 발달과 수용가의 부하, 편의시설 및 정보처리설비의 증가로 전력 사용량이 증가되고 있으며 이로 인해 배전용 변압기 이용율의 증대, 과열현상과 외부환경에 기인한 열화 등의 영향으로 배전용 변압기의 사고는 증가 추세이다. 현재 주상변압기 관리는 시간기준 관리(Time Based Maintenance : TBM)에 의존하고 있으며 일정시간을 주기로 주상점검, 입고점검, 교체점검 등을 실시하고 있다. 하지만 이 관리방법은 신뢰성 있는 전력 공급이 어렵고 또한 불시적인 사고를 예지할 수 없는 큰 단점이 있다. 그러므로 신뢰성 있는 전력 공급 및 예방진단 측면에서 상태기 준법 (Condition Based Maintenance : CBM)에 의한 변압기 관리 기법 즉 온라인 상시 감시 진단 기법이 필요하다[1-2].

본 논문에서는 변압기 상태 데이터 중에 온라인 상에서 비교적 용이하게 취득할 수 있는 변압기의 온도 및 부하 전류 데이터를 측정하여 변압기 절연유의 상대적 열화비 (relative ageing rate) 계산을 통한 변압기 절연유의 상태를 효과적으로 진단하는 방안을 제시하고자 한다. 변압기는 부

하에 의해 손실이 발생하게 되면 최상부 유온(top oil temperature)이 상승하게 되는데 이러한 관계를 이용하면 변압기의 부하전류와 최상부 유온 및 주변온도를 이용하여 변압기 절연유의 상태를 판단할 수 있다. 또한 온라인 상의 상태 감시 및 경제성을 고려하여 무선 R/F(radio frequency) 통신 방식을 이용한 변압기 진단 시스템을 구축하였다. 부하전류 및 온도 데이터를 취득하여 호스트 컴퓨터로 전송할 수 있는 진단 장치를 구성하였고 호스트 컴퓨터를 탑재한 순회 진단 차량을 이용하여 R/F 무선 데이터 통신이 이루어 질 수 있도록 통신 네트워크 및 프로그램을 작성하였다. 호스트 컴퓨터는 데이터 저장 및 상태 판단 기능이 가능한 모니터링 및 진단 프로그램을 이용하여 사용자가 전송된 데이터를 관리하기 쉽도록 하였다.

2. 배전용 변압기의 상태 판단 기법

유입 변압기(oil immersed transformer)의 수명은 뇌 서지 및 개폐 서지 등의 이상 전압과 외부 단락 등의 전기적, 기계적 스트레스에 의한 열화로 결정되므로 변압기의 절연이 파괴하기 전에 열화 요소를 파악하는 것이 중요하다. 배전용 변압기의 경우에는 절연유와 권선 등의 열화가 중요한 문제이고 일정한 정격 운전보다는 부하 변동이 심하여 과부하 운전에 의한 열적 열화가 심한 것으로 파악되고 있다. 절연 내력이 저하된 변압기는 장시간 과부하 운전, 이상 전압이나 뇌에 의한 서지 침입 시 돌발 사고를 발생시키므로 이를 방지하기 위한 예방 진단이 필요하다. 일반적으로 변압기 상태 판단은 유중 가스의 구성비로 판별하는 유중 가스

* 正 會 員 : 崇 實 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

** 正 會 員 : 崇 實 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 修 了

*** 準 會 員 : 現 代 重 工 業 機 電 研 究 所 研 究 員

§ 準 會 員 : 崇 實 大 工 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

§§ 正 會 員 : 崇 實 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

接 受 日 字 : 2000 年 12 月 15 日

最 終 完 了 : 2001 年 1 月 18 日

분석법, 유전율의 정도로 판별하는 유전정접법, 절연유의 최고 온도 지점으로 상태를 판별하는 최고 온점(hot spot) 측정법이 있다. 이외에 변압기 운전에 의해 증가된 온도 상승의 이용으로 수명을 예측하는 기법이 있다[3-5]. 본 연구에서는 변압기 최상부 유온의 상승치, 주변 온도, 부하 전류를 이용하여 변압기 절연유의 상대적 열화비를 계산함으로써 배전용 변압기 절연유의 상태를 판정하였다.

2.1 변압기 유온 상승 규격

절연물의 열화 특성에는 임계온도라는 것이 존재하지 않기 때문에 변압기의 정격이나 운전을 위해서 정해진 온도 규격은 변압기의 운전 경험을 기준하여 만들어진 것이다. A종 절연물의 최고점 온도의 허용치는 연속 운전에 있어서 105[°C]이며, 유입식 변압기 권선 평균 온도는 절연물의 최고 온점 온도보다 10[°C]가 낮은 것으로 되어 있다. 따라서 전권선의 저항측정으로 구할 수 있는 권선 평균 온도의 상한은 95[°C]로 정해진 것이다. 변압기의 주변 온도를 40[°C]로 가정하면 주변 온도에 대한 변압기의 허용온도상승은 55[°C]로 제한되는데 이것은 1913년 이래 연속 정격 변압기의 정격용량을 정하는 기준으로 인정되어 왔다. 그러나 이러한 운전실적은 변압기의 주변 온도는 40[°C]를 상한치로 하였으나 보통 그 이하이고 일반적으로 전부하 상태로 연속 운전을 하고 있지 않고 있어서 최고 온점 온도가 105[°C]까지 상승이 안 된다고 볼 수 있다[6]. IEC 354 유입식 변압기 과부하운전 지침에서는 주변 온도 20[°C]에서 최고 온점 온도 상승치가 78[°C]일 때 즉 최고 온점 온도가 98[°C]일 때 변압기 절연유의 상대적 열화비의 기준을 1.0으로 정의함으로써 상대적인 열화비를 계산하였다[7].

2.2 주변 온도에 따른 변압기 운전

표 1은 IEC 354 ('91) 유입식 변압기 과부하 운전지침에서 추천하는 과부하와 온도 한계이다. 어떤 기간동안 부하 전류의 큰 변화가 없으면, 일정한 등가 부하 전류로 적용해도 좋다. 주변 온도가 다른 연속 부하 책무에 대한 허용 부하율 K = K24를 제시한다[7].

표 1. 연속 책무 K24에 대한 허용 부하율(냉각 방식 ON, OF 및 OD)

Table 1. Acceptable load factor for continuous duty K24 at different ambient temperatures(ON, OF and OD cooling)

주변 온도[°C]		-25	-20	-10	0	10	20	30	40	
최고 온점 온도 상승		123	118	108	98	88	78	68	58	
최고 온점 온도		98	98	98	98	98	98	98	98	
K24	배전용 변압기	ONAN	1.37	1.33	1.25	1.17	1.09	1.0	0.91	0.81
		ON	1.33	1.30	1.22	1.15	1.08	1.0	0.92	0.82
	전력용 변압기	OF	1.31	1.28	1.21	1.14	1.08	1.0	0.92	0.83
		OD	1.24	1.22	1.17	1.11	1.06	1.0	0.94	0.87

- * ON : 유입 자냉 방식(ONAN), 유입 풍냉 방식(ONAF)을 뜻한다.
- OF : 송유 자냉 방식(OFAN), 송유 풍냉 방식(OFAF)을 뜻한다
- OD : OF 방식의 강제순환방식

표 1에서도 알 수 있듯이 IEC 규격에서는 최고 온점 온도에 기준을 두고 주변 온도에 대한 최고 온점 온도의 상승 한계 및 과부하 허용 범위를 정했다. 즉 변압기 절연유의 상태에 가장 영향을 미치는 인자는 온도임을 알 수 있다.

2.3 최상부 유온을 이용한 변압기 절연유의 상대적 열화비

기준 온도 98[°C]에 대한 변압기 절연유의 상대적 열화비 V(θh)는 식 (1)과 같이 나타난다. θh는 최고 온점 온도이고 정격 운전에서의 최고 온점 온도 98[°C]을 기준으로 설정되었다[7].

$$V(\theta_h) = \frac{\text{ageing rate at } \theta_h}{\text{ageing rate at } 98^\circ\text{C}} = 2^{(\theta_h - 98)/6} \quad (1)$$

변압기 절연유의 상대적 열화비에 의한 절연유의 판정 방법은 배전용 변압기에 대한 열적 특성을 이용하는 방법이다. 그러나 최고 온점에 대한 정확한 측정은 대단히 어려운 작업이고 측정 센서를 배전용 변압기에 적용하기에는 경제적 부담이 있다. 따라서 보다 측정이 용이한 상대적 열화비 계산이 필요하다. 정격 부하에 대한 최고 온점 온도는 자연 냉각 방식의 배전용 변압기의 경우에는 다음과 식 (2)과 같이 표현된다[7-8].

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_T + Hgr \cdot K^y \quad (2)$$

식 (2)에서 θa는 주변 온도, ΔθT는 최상부 유온 상승치이며 이 값은 최상부 유온과 주변온도와의 차로 나타나고 Hgr는 최고 온점에서 최상부 유온으로 열이 전달되는 동안에 발생하는 열 발산(hot spot to top oil gradient)을 의미한다. 그리고 K는 정격부하에 대한 현 부하의 비를 나타내며 y는 권선 지수(winding exponent)이다. 배전용 변압기에 대한 지수 및 상수의 값은 표 2와 같다. 권선 지수의 값은 자연 순환 냉각에 의한 지수 값이며 최상부 유온 상승 55[°C]는 상대적 열화비의 기준온도가 되는 98[°C]에서 설정된 주변 온도 20[°C]에 대한 온도 상승 값이다.

표 2. 배전용 변압기의 열적 특성
Table 2. Thermal characteristic of DT

지수	지수값
θa	20[°C]
ΔθT	55[°C]
Hgr	23
K	I / Irated
y	1.6

식 (1)의 지수부분에 θh 대신 식 (2)를 대입하면 새로운 상대적 열화비 V' 를 계산할 수가 있다.

$$V' = 2^{[\theta_s + \Delta\theta_T + Hg, K^{1.5} - 98]/6} \quad (3)$$

식 (3)은 최고 온점 온도를 이용한 변압기 절연유의 상대적 열화비를 최상부 유온을 이용하여 다시 표현한 식이 된다. 즉, 변압기의 일정 주기 동안의 수명 손실의 기준을 최상부 유온을 이용하여 설정하였다. 정격 운전시 년 평균 주변온도 20[°C]를 기준으로 최상부 유온 상승에 대한 상대적 열화비는 다음 표 3과 같으며 최상부 유온 상승에 대한 상대적 열화비로 간략하게 표현된다.

표 3. 최상부 유온 상승에 대한 상대적 열화비
Table 3. Relative ageing rate of the top oil temperature rising about transformer

$\Delta\theta T[^\circ\text{C}]$	상대적 열화비
37	0.125
43	0.25
49	0.5
55	1.0
61	2.0
67	4.0
73	8.0
79	16.0
85	32.0
91	64.0
97	128.0

3. 무선 통신망을 이용한 변압기 진단 시스템 구성

실제 운전중인 주상 변압기에 과부하 의심이 가는 변압기나 사용량이 과도한 변압기 등에 제안한 온라인 관리 방안을 사용하려면 변압기의 부하 전류, 온도 데이터의 취득 및 취득된 데이터의 적절한 처리가 필요하다. 또한 취득된 데이터의 관리 및 변압기의 상태를 판단하는 방안이 필요하다.

제안된 진단 방안에 적합한 진단 시스템을 그림 1과 같이 구성하였다. 그림 1은 순회 진단 차량을 이용하여 데이터를 취득하는 진단 시스템의 구성을 나타내는데 이 진단 시스템에는 주상 변압기로부터 변압기 상태 데이터를 취득하는 진단 장치, 무선 R/F 통신 이용을 위한 통신망 구성, 취득된 데이터를 감시 및 저장하는 호스트 컴퓨터가 포함되어 있다.

3.1. 하드웨어부

3.1.1. 진단 장치 설치 구성

진단 장치는 변압기 2차측에 설치된 CT로부터 부하전류를 측정할 수 있고 변압기에 부착된 온도 센서로부터 절연유 온도를 측정할 수 있다. 그런데 주변 온도를 고려하지 않고 절연유 온도만 측정해서는 별 의미가 없기 때문에 주

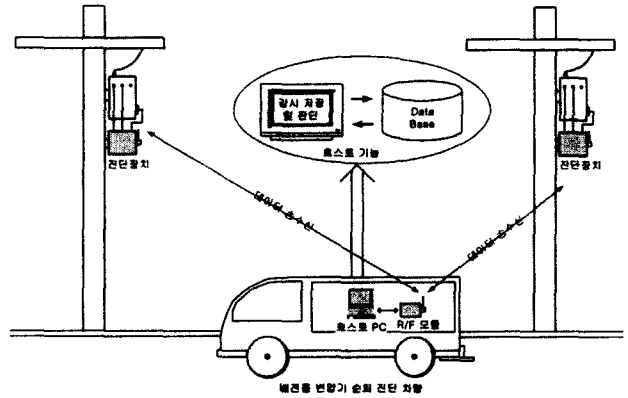


그림 1. 배전용 변압기 진단 시스템 구성

Fig. 1. Diagnosis system configuration of distribution transformer

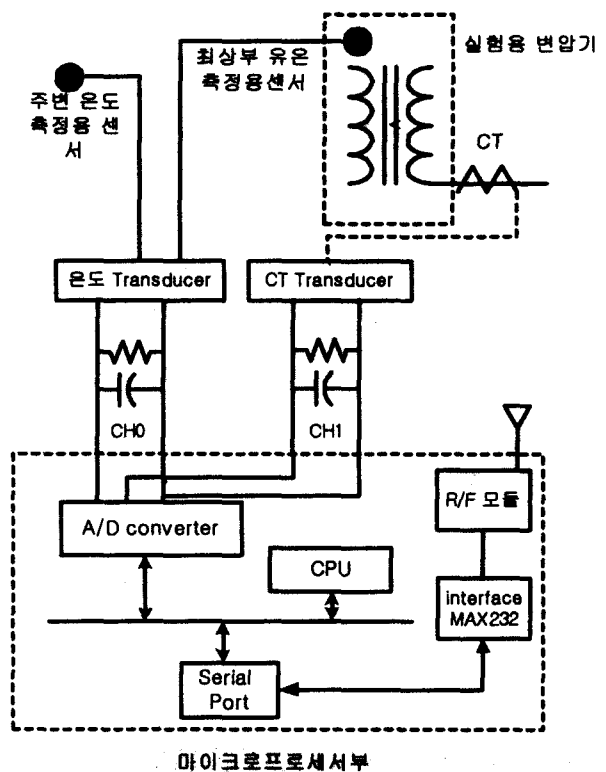


그림 2. 진단 장치 블록도

Fig. 2. Block diagram of diagnostic device

변 온도를 측정하기 위해 변압기와 조금 떨어진 곳에 또 다른 온도 센서를 설치해서 두 온도센서에서 얻을 수 있는 온도차를 변압기 상태 정보로 이용한다. 그림 2와 같이 CT 및 온도 센서로부터 부하 전류와 온도 데이터가 취득되고 취득된 데이터들은 Transducer 를 통과하면서 직류 전압 1~5[V] 범위 내의 값을 가지게 되며 A/D 변환기의 입력전압이 된다. 그리고 A/D 변환기를 거치면서 디지털 값으로 변환된 데이터들은 마이크로 프로세서의 제어에 의해서 전송된다. 마이크로 프로세서는 Intel 사의 80C196KC를 사용하

였고 무선 R/F 모뎀은 RS 232C 통신 표준을 사용하였고, 반이중 통신 방식(half-duplex communication)이며 유효 전송거리는 50 - 200[m] 정도이다.

R/F 모듈을 이용한 데이터 통신은 별도의 전송 채널의 확보가 필요 없고 할당된 특정 주파수를 이용하여 통신하는 방식으로 일정 지역에서 많은 수의 단말 장치를 제어하고 데이터를 수집하는데 유리한 방식이며, 또한 별도의 부가 서비스 비용이 없으므로 유선설비나 다른 데이터 통신망을 이용하는 것보다 경제적인 방식이다.

3.1.2. 개발된 진단 장치 및 호스트 컴퓨터

그림 3은 시험적으로 제작된 진단 장치이다. 취득부에서는 써머커플(thermocouple)과 CT(300:5A)를 사용하였다. 써머커플의 온도 측정 범위는 -50~200[°C]이다. 센서를 통해서 들어온 데이터들은 트랜스듀서(Transducer)를 통해서 4~20[mA] 범위의 출력이 발생하는데 250[Ω]의 정밀 저항을 사용함으로써 출력이 1~5[V] 범위의 직류 전압이 되도록 하였고 출력 전압이 안정하도록 하기 위해서 콘덴서를 삽입하였다. 트랜스듀서의 출력 전압이 A/D 변환기의 입력 전압으로 된다. A/D 변환은 마이크로 프로세서에 내장된 10 Bit의 A/D 변환기를 사용하였고 옵셋을 제거하고 분해능을 계산하면 0.3 정도의 분해능을 가진다. 부하전류 데이터도 이와 같은 방식으로 처리되었다.

그림 4는 노트북 PC에 무선 R/F 모뎀이 부착되어 있는 호스트 컴퓨터를 나타낸 것으로 무선 R/F 모뎀은 진단 장치에서 사용된 것과 같은 규격이다. 호스트 컴퓨터에서는 모니터링 및 진단 프로그램이 동작되며 데이터 취득 후 전송된 데이터를 감시, 저장 및 변압기 상태 판단 기능을 수행한다.

3.2. 소프트웨어부

3.2.1. 통신 네트워크 구성

변압기 상태 정보 데이터의 원활한 송·수신을 위한 통신 프로그램 작성에 앞서 무선 데이터 통신을 위한 네트워크를

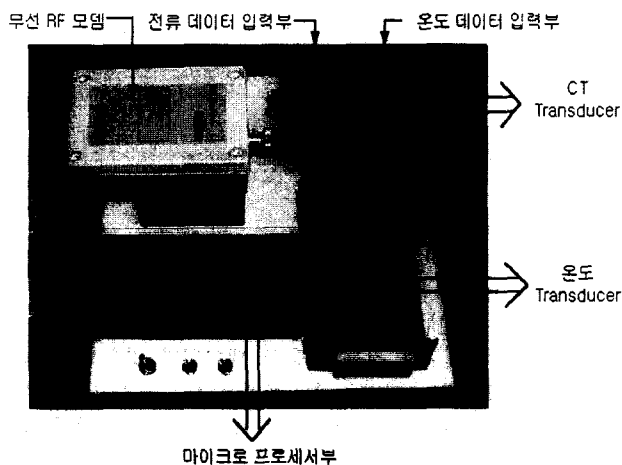


그림 3. 진단 장치
Fig. 3. Diagnostic device



그림 4. 호스트 컴퓨터
Fig. 4. Host computer

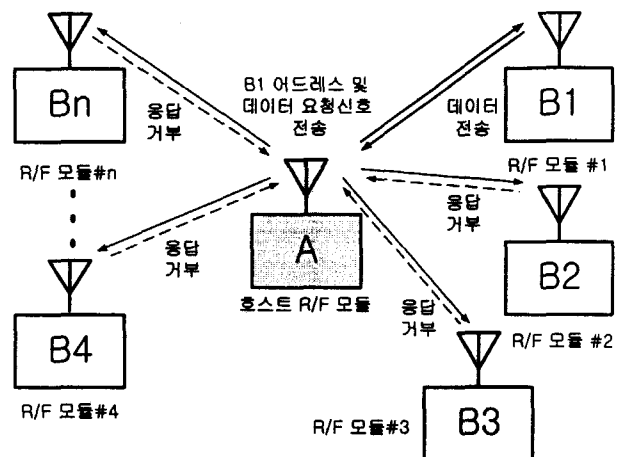


그림 5. 무선 R/F 통신 운영 방식
Fig. 5. Operation method of wireless R/F communication

구성하였다. 무선 R/F 통신 운영 방식은 모듈끼리의 연결하는 방식으로 1:1, 1:N, M:N 그리고 중계기(repeater)를 연결하는 방식 등이 있다[9]. 본 논문에서는 R/F 모듈을 이용하여 여러 대의 주상 변압기로부터 R/F 데이터 통신(radio frequency data communication)을 수행하므로 1:N 방식을 선택하였다. 그림 5는 R/F 모듈을 1:N의 방식으로 운영하는 모습으로 순회 진단 차량의 모듈을 A, 변압기의 모듈을 B라고 한다면 모듈 A에서 B1의 할당된 어드레스와 같이 데이터 요청 신호를 송신하면 수신 가능한 여러 대의 변압기 중에서 모듈 B1만이 모듈 A로 데이터를 전송하게 된다. 수신 가능한 지역 내의 모듈이라고 해도 B1을 제외한 나머지 모듈들은 호스트에서 송신한 어드레스와 자신의 어드레스가 불일치하므로 응답을 거부한다. 이는 각 변압기에 어드레스 할당과 송·수신 통신 채널의 반이중 통신 방식의 채택으로 가능하다.

3.2.2. 통신 프로토콜

개발된 진단 장치의 통신 프로토콜은 고급 데이터 링크

제어(high-level data link control ; HDLC)프로토콜에 준하여 통신 프로그램을 작성하였다. HDLC 프로토콜은 국제 표준화 기구(ISO)에 의해 정의된 비트 위주의 프로토콜로 IBM사의 SDLC(Synchronous Data Link Control)를 참조하여 개정되었으며 현재 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 프로토콜이다[10-11].

그림 6은 호스트와 진단 장치간의 데이터 흐름을 나타내고 있다. 호스트가 특정 진단 장치의 주소 데이터와 함께 데이터 요청 신호를 보냄으로써 데이터 통신이 처음으로 이루어진다. 호스트가 보낸 주소와 일치하는 주소를 가진 진단 장치는 주소 확인 즉시 호스트 측으로 확인 응답 신호로 진행 중인 일보다 우선적으로 호스트 주소와 저장된 데이터를 전송한다. 전송이 끝난 후 진단 장치는 통신 종료 요청 신호를 호스트 측으로 보내고 이에 호스트 측에서는 저장된 데이터의 전송이 끝났음을 알고 메모리 삭제 명령을 보낸다. 진단 장치는 호스트의 명령에 의해 저장되어 있는 메모리를 모두 지우고 다시 진행 중이던 일을 수행하게 된다. 이러한 과정으로 호스트와 진단 장치 사이의 데이터 통신이 이루어지고 특정 진단 장치와 데이터 통신이 종료된 후에 호스트는 다른 특정 진단 장치로 데이터 요청을 하게 되며 위와 같은 과정을 반복함으로써 모든 진단 장치와의 데이터 통신을 할 수 있다. 그림 7에는 각 단계별 데이터 프레임의 구조를 나타내고 있다. 호스트 및 진단 장치의 주소는 기존의 정해진 ID 번호를 사용하고 요청 신호는 한 바이트에 해당하는 코드를 사용함으로써 소프트웨어적으로 해당 신호를 인식하게 된다. 그리고 저장된 데이터 전송에 사용되는 영역은 4바이트를 사용하게 된다. 저장된 변압기 상태 데이터들은 실제 온도 혹은 전류로 환산되지 않은 값으로 저장되어 있는데 이들의 범위는 205 - 1024의 값을 가진다. 10 bit로 A/D 변환되기 때문에 하나의 상태 데이터를 전송하는데 10 bit가 필요하게 되고 결국 세 가지 상태 데이터를 전송하므로 4바이트의 데이터 영역이 필요하게 된다. 이렇게 전송된 데이터는 호스트 컴퓨터에서 실제의 온도 혹은 전류 값으로 변환되어 수명 손실 계산식에 사용된다.

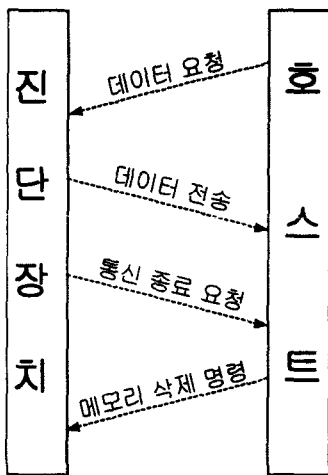


그림 6. 데이터 흐름도
Fig. 6. Data flow chart

시작비트	진단장치 주소	데이터 요청 신호	정지비트
시작비트	호스트 주소	데이터 영역(4바이트)	정지비트
시작비트	호스트 주소	통신 종료 요청 신호	정지비트
시작비트	진단장치 주소	메모리 삭제 명령	정지비트

그림 7. 데이터 프레임의 구조
Fig. 7. Structure of data frame

그림 8은 진단 장치에 들어 있는 데이터 취득 및 통신 프로그램의 플로우 차트를 나타내고 있다. 진단 장치는 호스트 컴퓨터가 언제 데이터 요청을 할 것인지를 모르기 때문에 항상 수신 버퍼를 확인한 후 데이터 취득 및 변환 작업을 수행한다. 수신 버퍼가 비어 있거나 혹은 수신 데이터가 있더라도 자신의 주소와 전송된 주소 데이터가 불일치할 경우에는 작업 중이던 일을 계속 수행하지만 자신의 주소와 동일한 주소 데이터가 들어오면 호스트의 명령에 의해 그림 8에 나타나 있는 순서에 따라 작업을 진행한다. 데이터 전송 시 에러가 발생할 경우는 호스트 측의 데이터 재전송 요구에 의해서 진단 장치는 저장된 데이터를 호스트 측으로 다시 보내게 된다. 이와 같은 방식은 현재 일부 운영 중인 주상변압기 부하관리기에서도 채택하고 있는 방식이다. 통신 에러 없이 모든 데이터의 전송이 끝났을 때 데이터 통신은 종료되며 진단 장치는 저장된 데이터를 삭제시키고 계속해서 데이터 취득 작업을 수행한다.

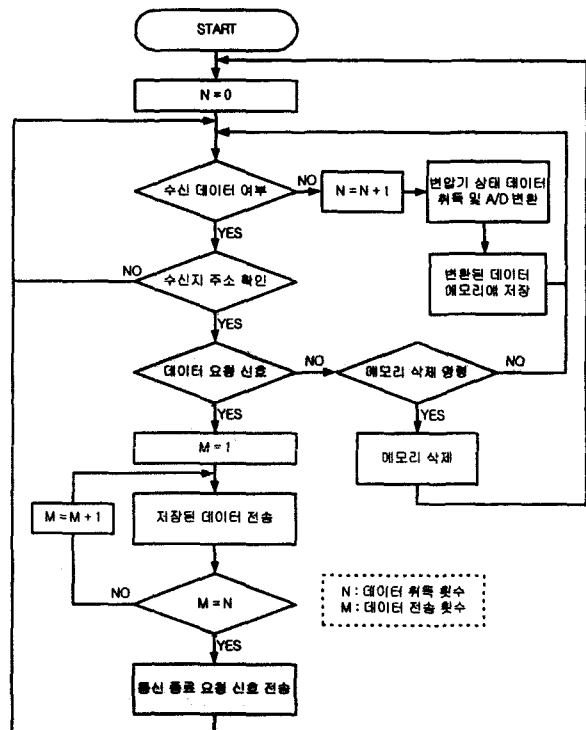


그림 8. 통신 프로그램 플로우차트
Fig. 8. Flow chart of communication program

3.2.3. 모니터링 및 진단 프로그램

진단 시스템의 구성 요소 중 호스트 컴퓨터는 전송된 데이터들을 감시 및 저장하는 역할을 한다. 모니터링 및 프로그램은 비주얼 베이직으로 작성되었고 MS-Chart와 연동하여 사용자가 데이터들을 감시하기 쉽도록 하였다. 사용자는 저장된 파일을 그대로 볼 수도 있고 원하는 시간대의 전체적인 경향을 분석하기 위해서는 원본 데이터를 그래프 형태로 볼 수도 있게 하였다. 또한 전국에 산재되어 있는 배전용 변압기의 감시 및 진단에 필요한 데이터는 시간이 지남에 따라 기하급수적으로 증가하므로 저장 시 동일한 데이터가 중복 저장 될 우려가 있으며, 데이터의 갱신 비용 및 데이터 불일치성이 발생하기 때문에 데이터의 효율적인 관리가 어려운 실정이다. 따라서 데이터의 효율적인 관리 및 필요한 데이터의 빠른 검색에 있어서 데이터 베이스 구축은 필수적이다. 본 논문에서는 수많은 배전용 변압기로부터 얻어지는 데이터를 관리하기 위한 방법으로 데이터 베이스를 사용하였으며 모니터링 프로그램으로 전송되는 데이터를 데이터 베이스화하였다.

그림 9는 모니터링 및 진단 프로그램에서 통신 설정을 위한 활성화창으로 통신 포트 및 데이터 전송 속도를 설정한다. 통신 포트는 COM1 포트를 사용하고 전송 속도는 9600[bps]이다. 그리고 그림 10은 데이터 송·수신 상태를 확인할 수 있는 활성화창이다. 그림 9와 같이 통신을 설정하게 되면 그림 10과 같은 활성화창이 나타난다. 그림의 송신 및 수신 부분에는 현재 전송되고 있는 데이터를 보여주게 되고, 부하전류, 최상부 유온, 주변온도 부분에는 매 측정 시마다 측정값을 나타내어 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 구성하였다. 또한 수신된 데이터는 수신 즉시 데이터 베이스 파일로 저장되게 된다. 만약 통신상의 에러가 발생하게 되면 에러 메시지가 뜨게 되고, 모니터링 및 진단 프로그램에서는 진단 장치로 재전송을 요구할 수 있도록 구성하였다.

그림 11은 사용자의 편의를 위해 만들어진 활성화창으로 사용자가 어떤 일정한 변압기, 원하는 상태 정보 또는 보고자 하는 시간대의 데이터를 보여준다. 여기에는 원하고자 하는 변압기의 변태 번호나 부하전류, 온도 데이터 등 원하는 상태 정보 데이터를 정할 수 있고 보고자 하는 시간대를 설정

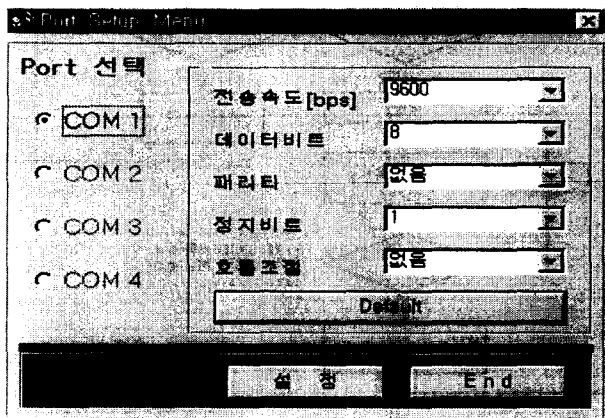


그림 9. 통신 환경 설정창
Fig. 9. Window of communication environment selection

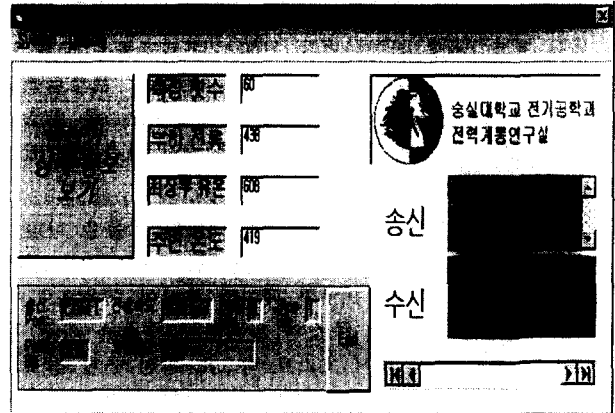


그림 10. 모니터링 및 진단 프로그램 초기 화면
Fig. 10. Main window of monitoring and diagnostic program

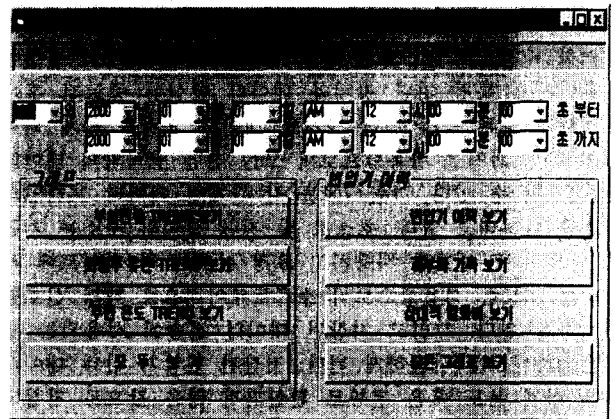


그림 11. 변압기 상세 정보창
Fig. 11. Window of DT information

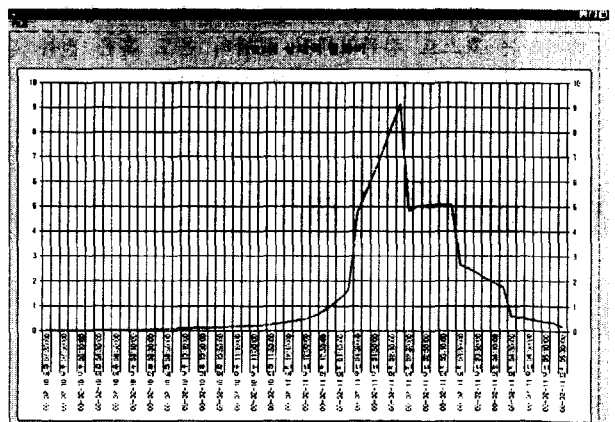


그림 12. 상대적 열화비 계산 그래프창
Fig. 12. Window of calculation of relative ageing rate of DT

할 수가 있다. 그림 10의 Trend 버튼은 사용자가 설정한 기간만큼의 데이터를 그래프로 볼 수 있도록 하여 변압기의 부하 전류나 온도 경향을 쉽게 볼 수 있도록 구성하였다. 그림 12는 그림 11에 나타나 있는 활성화창에서 원하는 정보

조건을 입력했을 때 그 결과를 나타나는 활성창으로 그래프는 비주얼 베이직의 MS-Chart를 이용하여 그렸으며, 그려진 그래프는 프린터로 출력을 하거나 그림 파일로 저장 가능하도록 하였다. 만약 원하는 정보가 데이터 베이스에 저장되어 있지 않다면 그 상황에 해당되는 에러 메시지가 뜨게 된다.

데이터 베이스는 MS-Access를 이용하여 구축하였으며 호스트 컴퓨터로 전송된 데이터는 Access 파일로 저장되도록 구성하였다. 또한 변압기 제작년월, 설치년월, 과부하 정도와 시간 등의 변압기 이력을 관리하여 사용자가 원하면 언제든 볼 수 있도록 하였다. 한 대의 변압기는 한 개의 테이블을 차지하며, 필드의 구성은 저장된 시간, 부하전류, 최상부 유온, 주변 온도 및 상대적 열화비로 구성되어 있다.

4. 사례연구

제안된 진단 방안과 진단 시스템을 이용하여 IEEE에서 제정한 변압기 유온 상승 실험인 반환 부하법(loading back method)으로 실증시험을 행함으로써 그 결과 데이터를 바탕으로 변압기 절연유의 상대적 열화비를 계산하였다[5]. 실험용 변압기는 30[kVA] 단상 유입 변압기를 대상으로 실험하였다. 유온 상승을 위하여 변압기에 인가된 부하는 현장에서 실측된 부하 데이터에 의한 부하모델을 이용하였고 시간당 평균치를 이용하는 모델로 재구성했다. 온도 상승의 측정은 부하 모델의 과부하 영역을 위주로 측정하였으며 측정된 최상부 유온을 이용하여 변압기 절연유의 상대적 열화비를 계산하였다.

4.1 반환 부하법을 이용한 유온 상승 실험

반환 부하법은 그림 13과 같이 동일 정격의 두 대 변압기를 병렬로써 고압과 저압 권선이 결선 되어 실험되었다. 저압측 결선에 정격 주파수의 정격 전압을 인가하여 철손에 해당하는 전압을 인가하여 생성된 부하 전류에 의해 동손이 공급되어 진다. 실험용 유입 변압기와 정격이 같은 몰드 변압기를 이용하여 결선 하였고, 몰드 변압기에는 철손 공급을 위한 IVR이 연결되어 있다. 실험용 변압기의 임피던스 전압 공급을 위하여 IVR이 연결된 유입 변압기를 연결하였다. 반

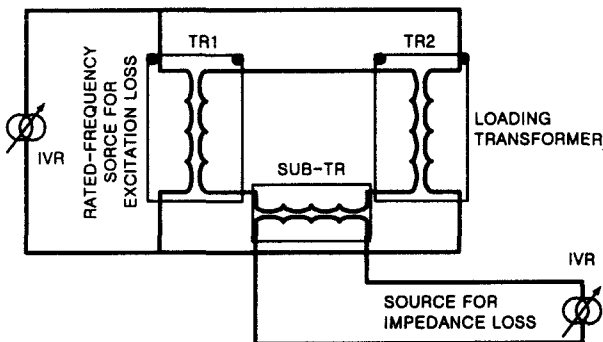


그림 13. 반환 부하법 결선도
Fig. 13. Diagram of loading back method

환 부하법 실험장치는 부하의 크기에 대하여 30[kVA] 변압기를 기준으로 0~1.5[p.u.]로 가변 되어 진다.

4.2 유온 상승 실험 결과 및 수명 손실비 계산

시간당 평균치로 재구성한 부하 모델에 의해 유온 상승 실험을 실시하였으며, 그림 14는 상업 지역 부하 모델에 대한 유온 상승 실험의 결과 그래프이다. 과부하 영역의 1시간 전부터 부하를 인가하였으며 최상부 유온 상승이 55[°C] 이내에 들어서는 시점에서 종료하였다[5]. 최상부 유온의 측정은 유면으로부터 50[mm] 정도에 담가진 써머커플(PT type)에 의하여 측정되었고 5분마다 온도 및 전류 데이터를 취득하였으며 유온 상승 실험의 측정 시간은 9시간 정도 걸렸다.

최상부 유온 최대치는 80.5[°C]였고 주변 온도는 15[°C] 정도를 유지하였으며 추정된 최고 온점 온도의 최고치는 116.8[°C]였다. 시간당 평균을 적용한 상업 지역 일부하 모델에 대한 최상부 유온 실험의 결과는 표 4에 나타나 있다. 이 실험 결과와 2.3절의 식 (3)을 이용하여 변압기 절연유의 상대적 열화비를 계산하였다. 변압기 절연유의 상태 판정은 상대적 열화비 1.0을 기준으로 계산된 상대적 열화비가 1.0보다 크면 비정상, 적으면 정상으로 판정하여야 할 것으로 사료된다. 그리고 불량 판정에서도 최고 온점 위험 온도 140[°C]를 기준으로 그 이하의 온도 상승이면 요주의, 그 이상이면 불량 판정을 내려야 할 것이다[7].

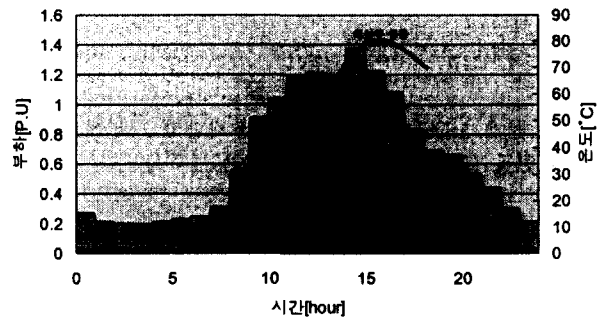


그림 14. 시간당 평균을 적용한 상업 지역 일부하 모델에 대한 최상부 유온 상승
Fig. 14. Top oil temperature rising of daily commercial load model using average by an hour

표 4. 최상부 유온 상승 실험 결과
Table 4. Test results of top oil temperature rising test

부하율 [P.U.]	주변온도 변화[°C]	최상부 유온 최고치[°C]	최고 온점 온도 최고치[°C]	절연유의 상대적 열화비 최대치
최저:0.19 최고:1.37	15.0 ~ 15.9	80.5	116.8	9.15

5. 결 론

참 고 문 헌

본 논문에서는 다채널 무선 통신을 이용한 배전용 변압기의 진단 방안을 제시하였다. 운전 중인 변압기의 부하 전류, 최상부 유온 및 주변 온도를 측정하고 이를 이용하여 변압기 절연유의 상대적 열화비를 계산함으로써 변압기 상태 판정 및 관리를 할 수 있다. 제안된 진단 시스템은 마이크로 프로세서를 이용한 진단 장치로 부하 전류 및 주변 온도 데이터를 취득 및 전송하였고 무선 R/F 모뎀을 이용하여 취득된 데이터를 호스트 컴퓨터로 전송할 수 있게 무선 통신 네트워크 및 프로그램을 작성하였다. 또한 호스트 컴퓨터에 내장된 모니터링 및 진단 프로그램을 비주얼 베이직 언어로 작성하여 변압기 상태 정보를 데이터 베이스화하였다. 데이터 베이스는 전송된 데이터를 MS-ACCESS 파일로 저장하고 MS-CHART와 연동하여 사용자가 데이터를 손쉽게 관리할 수 있도록 하였다.

사례연구로써 실제 부하 곡선을 바탕으로 유온 상승 실험을 행함으로써 변압기의 부하 전류와 온도 데이터를 취득하여 수명 손실을 계산하였다. 모의 실험을 행하기 위해서 실제 부하 곡선을 시간당 평균 부하곡선으로 재구성하였고 반환부하법 실험을 통하여 변압기 절연유의 상대적 열화비 계산을 행함으로써 변압기 절연유의 상태를 판정할 수 있었다.

제안된 변압기 진단 방안과 진단 시스템은 변압기 운전 중에 측정 가능한 변압기 상태 데이터들은 취득하여 변압기의 상태를 판단하는 것으로 효과적인 변압기 진단 방안이라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-1998-001-E00499).

- [1] 김재철 외: "DSP를 이용한 주상 변압기 유전정점 측정기법 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol.11, No.2, pp. 110-118, 1997년 4월
- [2] 이보호 외: 주상변압기 열화진단장치 개발 연구(최종보고서), 기초전력공학공동연구소, 1998년 9월
- [3] B.C. Leisuture *et al.*, "An Improved Transformer Top Oil Temperature Model for Use in An On-Line Monitoring and Diagnostic System," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 249-256, Jan. 1997.
- [4] M.V. Thaden *et al.*, "Temperature Rise Tests on a Forced-Oil-Air(FOA) Cooled Core-Form Transformer, Including Loading Beyond Nameplate." IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp. 913-924, April 1997
- [5] IEEE Std C57.12.90-1993, IEEE Standard Test Code for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers and IEEE Guide for Short-Circuit testing of Distribution and Power transformers
- [6] 홍원식: '99 변압기 실무기술, 한국전기연구소, Vol 2, No. 7, pp. 7-38, 1999년
- [7] IEC Publication 354, Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers, 1991
- [8] ANSI/IEEE C57.91-1981, Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers.
- [9] 와이어리스 데이터 전송 기법, 전자기술, Vol 10, No. 6, pp. 15-50, 1997년 6월
- [10] 정화자, 김영천: 데이터 통신 및 네트워크, 시그마프레스, 1998년
- [11] 조은주, 양윤석, 박광채: 데이터 통신과 컴퓨터 통신망, 신화전산기획, 1999년

저 자 소 개



김재철 (金載哲)

1995년 5월 5일 생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988년~현재 숭실대 공대 전기공학과 교수. 주요 관심분야는 전력설비 진단 및 전문가시스템, 전력품질 및 신뢰도, 배전계통 최적화, 분산형 전원 계통 연계 해석 등

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ee.ssu.ac.kr



문종필 (文鍾必)

1977년 5월 27일 생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. 주요 관심분야는 전력설비 진단 등.

Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780

E-mail : pichard@ee.ssu.ac.kr



최준호 (崔峻豪)

1970년 7월 30일 생. 1996년 숭실대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사수료. IEEE학생 회원, KIEE 정회원, KIIEE정회원, 주요 관심분야는 분산형전원 계통 연계 해석 및 통합화, 차세대 배전 자동화, 인공지능 전력계통 적용 분야 등

Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780

E-mail : joono@ee.ssu.ac.kr



김언석 (金彦錫)

1965년 2월 11일 생. 1989년 숭실대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 한국전기연구원 전기시험연구소 선임기술원. 주요 관심분야는 중전기기의 전자기적합성(EMC) 성능평가 및 대책, 전력설비의 측정 및 분석 자동화, 전력용 고조파 필터 개발, 전력 설비 진단 등.

Tel : 031-420-6061, Fax : 031-420-6059

E-mail : oskim@keri.re.kr



김동현 (金鍊賢)

1973년 2월 18일 생. 1999년 숭실대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 11월~현재 현대중공업 기전연구소 연구원, 주요 관심분야는 전력용 변압기 진단, 회전기 진단, GIS 부분방전 진단 등.

Tel : 031-289-5318, Fax : 031-289-5027

E-mail : graywolf@hhi.co.kr