

수명 손실 계산을 이용한 온라인 배전용 변압기 관리 방안 제시

김동현*, 김재철*, 최준호*, 김언석*, 윤용한**, 민경래**
 * : 송실대학교 전기공학과, ** : (주)테크빌

A Proposal of On-line Management Method for Distribution Transformer using Loss-of-life Calculation

Dong-Hyun Kim*, Jae-chul Kim*, Joon-Ho Choi*, Oun-Seok Kim*, Yong-Han Yun**, Kyeoung-Rae Min**
 *:Dept. of E.E. in Soongsil University, **:Techvill co., Ltd

Abstract - As increasing the failure of distribution transformers, we need to manage them efficiently. This paper proposes the method for distribution transformer's management using loss-of-life calculation. The *Data Acquisition System*(DAS) was developed to manage transformers and the HDLC protocol applied to the system. It will be feasible application to diagnose distribution transformers by checking load conditions such as top oil temperature, ambient temperature, load current, etc. and using loss-of-life calculation.

1. 서 론

전력 사용량의 증대에 따라 주상 및 지상 변압기의 부하율 상승으로 인한 사고가 많이 발생한다. 전력설비의 원활한 운용과 신뢰성 확보를 위해서는 기존의 시간기준 관리에서 예방진단의 개념을 바탕으로 변압기를 관리해야 하고 또한 온라인 상태에서 변압기의 상태를 감시 및 진단해야 할 것이다[1].

본 논문에서는 온라인 상태에서 최대 부하 전류와 주변 온도 및 변압기 최상부 유온(top oil temperature)을 취득하여 변압기의 수명 손실을 계산하는 방안 및 방법에 대해서 다루었다. 부하관리기에서 얻은 부하곡선을 IEC 규격에 맞게 등가 부하모델로 재구성하였고 이를 바탕으로 유온 상승 실험을 행함으로써 부하 전류 및 온도 데이터를 취득하였으며 이를 이용하여 변압기의 수명 손실을 계산하였다. 제안된 변압기 관리 방안은 온도센서와 CT를 이용하여 온도와 부하전류를 측정된 후 진단 장치에서 A/D변환 및 데이터 처리를 행하였다. 통신 방식은 무선 R/F(Radio Frequency) 모델을 이용하였고 변압기에서 취득된 데이터를 호스트 컴퓨터로 전송 후 이들을 데이터베이스화 하였다.

제안된 변압기 관리 방안은 ON-Line 상태에서 데이터의 취득이 가능하고 이를 이용하면 효과적으로 변압기의 상태를 판단할 수 있으리라 사료되며 향후 변압기 관리 방안으로서의 가능성을 제시하였다.

2. 배전용 변압기 진단 방안

현재 대용량 변압기의 경우 부분방전 측정법, 유증가스 분석법 등 변압기 진단 연구가 활발히 진행되고 있고 일부 실용화 단계에 있으나 주상 및 지상변압기에 이러한 진단 장치를 부착하는 것은 경제성 측면에서 타당하지 않으므로 경제성이 고려된 배전용 변압기의 진단 장치 개발에 관한 연구개발이 요구되고 있다[2].

1997년도 통계자료에 의하면 총 사고건수 중 배전선로의 사고건수가 가장 많았고, 100[kV]이하 단상변압기를 대상으로 조사한 사고통계자료에서는 과부하로 인한

변압기 사고 건수가 가장 높은 비율을 차지하였다[3]. 즉, 변압기의 수명은 가혹한 운전이나 불충분한 보수, 점검 등에 의해서 현저하게 단축되지만 수명에 제일 큰 영향을 주는 것은 그 절연물의 온도이다. 이러한 온도는 그 변압기가 부담하게 되는 부하율과도 상관관계가 있다. 그러므로 변압기의 부하 전류와 온도를 정확히 측정하여 변압기 상태를 상시 감시한다면 과부하로 인한 변압기 소손사고를 미연에 방지할 수 있고 과부하나 운전 온도 데이터 분석을 통하여 변압기 잔존 수명을 판정할 수 있을 것이라 생각된다.

2.1 수명 손실비 계산식

IEC 354 loading guide에서는 기준 온도 98[°C]대한 상대적인 수명 손실비(relative ageing rate) V 를 식 (1)과 같이 계산하였다[4].

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

θ_h 는 최고 온점 온도이고 정격 운전에서의 최고 온점 온도(hot spot temperature) 98[°C]을 기준으로 설정되었다. 그러나 최고 온점에 대한 정확한 측정을 하기에는 대단히 어려운 작업이고 측정 센서를 배전용 변압기에 적용하기에는 경제적 부담이 있다. 따라서 보다 측정이 용이한 수명 손실계산이 필요하다. 정격 부하에 대한 최고 온점 온도는 자연 냉각 방식의 배전용 변압기의 경우에는 다음과 식 (2)와 같이 표현된다[5-6].

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

식 (2)에서 θ_a 는 주변온도, $\Delta\theta_T$ 는 최상부 유온 상승치이고 Hg_r 는 최고 온점에서 최상부 유온으로 열이 전달되는 동안에 발생하는 열 발산(hot spot to top oil gradient)을 의미한다. 그리고 K 는 정격부하에 대한 현 부하의 비를 나타내고 y 는 권선 지수(winding exponent)이다. 배전용 변압기에 대한 지수 및 상수의 값은 표 1과 같다. 오일과 권선 지수의 값은 자연 순환 냉각에 의한 지수 값이며 최상부 유온 상승 55[°C]는 상대적 수명손실률의 기준온도가 되는 98[°C]에서 설정된 주변온도 20[°C]에 대한 온도 상승 값이다[4].

표 1 배전용 변압기의 열적 특성

파라미터	배전용 변압기
θ_a	20[°C]
$\Delta\theta_T$	55[°C]
Hg_r	23
K	I / I_{rated}
y	1.6

식 (1)의 지수부분에 θ_1 대신 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 새로운 수명 손실비 V' 를 계산할 수가 있다.

$$V' = 2^{[\theta_1 + \Delta\theta + Hg, K^{1.5} - 98]/6} \quad (3)$$

식 (3)은 최고 온점 온도를 이용한 상대적 수명 손실비를 최상부 유온을 이용하여 다시 표현한 식이 된다.

2.2 유온 상승 실험을 통한 수명 손실 계산

상업 지역 부하 곡선을 바탕으로 IEC 규격에 따라 재구성한 부하 곡선을 실험 변압기 두 대로 실험했다. 유온 상승 실험은 반환 부하법(Loading Back Method)을 이용해서 행하였다. 그림 1과 그림 2는 IEC 규격에 따른 부하 실험 결과이다.

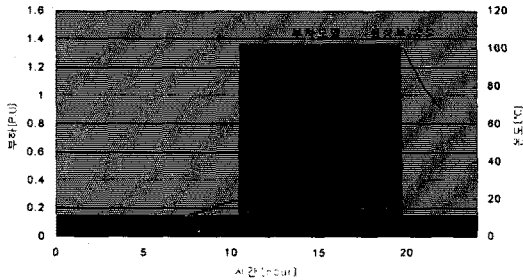


그림 1. 실험 변압기 A의 최상부 유온 상승 실험

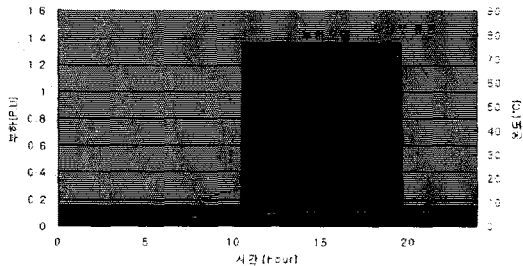


그림 2. 실험 변압기 B의 최상부 유온 상승 실험

유온 상승 실험 결과를 이용하여 변압기 수명 손실을 계산할 수 있으며 이의 계산 결과는 표 2에 나타나 있다.

표 2 수명 손실비 계산 결과

변압기 구분	부하율[P.U]	주변온도 변화[°C]	최대 유온 상승치	수명 손실비
실험 변압기 A	최저:0.15 최고:1.36	14.0 ~ 14.9	85.7	101.83
실험 변압기 B		3.8 ~ 6.7	72.3	8.50

두 대의 변압기의 수명 손실비는 각각 101.83과 8.50 이고 같은 부하에 대해서 실험 변압기 A는 실험 변압기 B보다 더 심각한 수명 손실을 나타냄을 알 수 있다.

3. 진단 시스템 구성

실제 운전 중인 주상 변압기에 제안한 온라인 진단 방

안을 사용하려면 변압기의 부하 전류, 온도 데이터의 취득 및 취득된 데이터의 적절한 처리가 필요하다. 또한 취득된 데이터의 관리 및 변압기의 상태를 진단하는 방안이 필요하다.

제안한 진단 방안에 적합한 진단 시스템을 그림 3과 같이 구성하였다. 그림 3은 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.

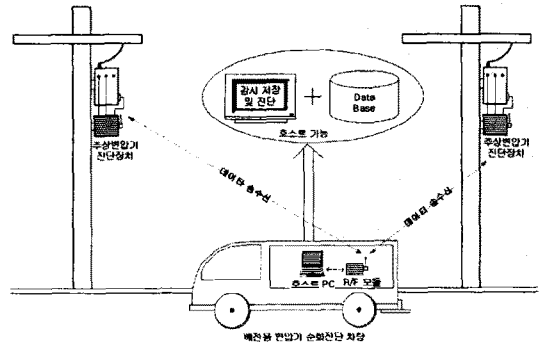


그림 3 변압기 진단 시스템 구성

3.1 진단 장치

3.1.1 진단 장치 설치 구성도

그림 4는 진단 장치의 블록도를 나타내었다. 이러한 기능을 하는 진단 장치를 변압기에 설치하여 각 변압기의 상태 정보를 취득할 수 있다. 변압기 2차측에 CT를 설치함으로써 부하전류를 측정할 수 있고 변압기에 부착된 온도 센서로부터 최상부 유온을 측정할 수 있다. 그런데 주위 온도를 고려하지 않고 최상부 유온만 측정해서는 별 의미가 없기 때문에 주위 온도를 측정하기 위해 변압기와 조금 떨어진 곳에 또 다른 온도 센서를 설치하여 이들의 온도차를 변압기 상태 정보로 이용한다.

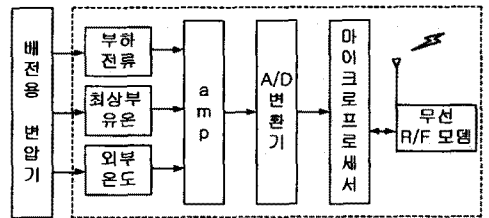


그림 4. 진단 장치 블록도

3.1.2 개발된 진단 장치

그림 5는 시험적으로 제작한 진단 장치이다. CT 및 온도 센서로부터 부하 전류와 온도 데이터가 취득되고 취득된 데이터들은 Transducer를 통과하면서 직류 전압 1[V] ~ 5[V] 범위 내의 값을 가지게 되며 A/D 변환기의 입력전압이 된다. 그리고 A/D 변환기를 거치면서 디지털 값으로 변환된 데이터들은 RS-232C 직렬 통신 방식으로 무선모뎀을 이용하여 마이크로 프로세서의 제어에 의해 전송된다. 무선 모뎀은 447[MHz] 대역을 사용하고 신뢰성 있는 전송거리인 건물같은 장애물이 있는 경우 100[m] 정도이다.

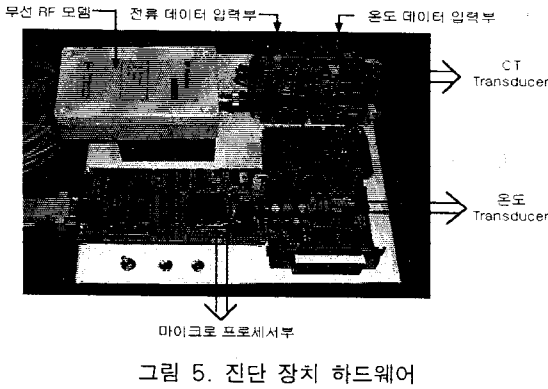


그림 5. 진단 장치 하드웨어

3.2 통신 네트워크 구성 및 통신 프로그램

3.2.1 통신 방식 및 네트워크 구성

통신 방식 및 네트워크 구성은 R/F 모듈을 이용하여 여러 대의 주상 변압기로부터 R/F 데이터 통신(radio frequency data communication)을 수행하는 1:N 통신 방식을 선택하였다. 그림 6에서 호스트 컴퓨터의 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 확인응답 및 데이터를 전송하게 된다. 수신 가능한 지역 내의 모듈이라고 해도 B1을 제외한 나머지 모듈들은 호스트에서 송신한 어드레스와 자신의 어드레스가 불일치하므로 응답을 거부한다(7).

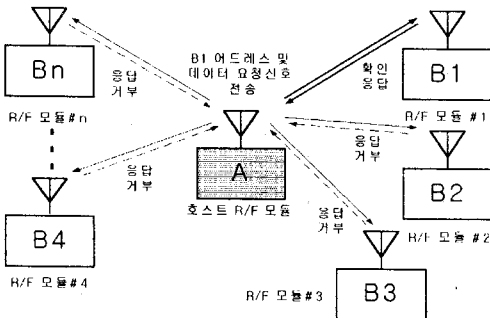


그림 6. 무선 통신 운영 방식

3.2.2 통신 프로그램

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(8-9).

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 신호를 보내고 진행 중인 일보다 우선적으로 데이터를 전송한다. 전송이 끝난 후 진단 장치는 진행 중이던 일을 수행하고 호스트는 다른 특정 진단 장치로 데이터 요청을 하게 된다.

4. 데이터 저장 및 감시

진단 장치로부터 전송 받은 데이터를 호스트 컴퓨터에서 데이터베이스화하여 진단에 이용하였다.

전송된 데이터를 실제의 전류치와 온도값으로 환산하였으며 이 환산된 값들은 측정시간과 같이 각각 테이블의 필드에 저장된다. 또한 사용자가 감시하고 싶은 시간대의 각 변압기의 상태 정보를 그래프로 볼 수 있도록 하여 경향을 쉽게 파악할 수 있다.



그림 7. 호스트 컴퓨터와 데이터 베이스화

5. 결 론

본 논문에서는 배전용 변압기의 효과적인 관리 및 진단을 위해서 배전용 변압기 관리 방안을 제시하였다. 수명 손실 계산식을 이용하여 변압기의 잔존 수명을 판단할 수 있는 기법을 제안하였고 유은 상송 실험을 통하여 제안된 기법의 유용성을 입증하였다. 또한 변압기 상태 데이터로 사용되는 부하전류와 온도 데이터의 취득을 위해서 진단 장치를 개발하였다. 그리고 순회 진단 차량을 이용한 통신망을 구성하였고 HDLC 프로토콜을 이용하여 효과적인 데이터 전송을 가능하게 하였으며 진단 장치에서 전송된 데이터를 호스트에서 데이터 베이스화함으로써 데이터의 저장 및 분석을 가능하게 하였다. 이러한 데이터베이스화를 통하여 변압기 진단을 보다 효율적으로 할 수 있게 하였다.

제안된 변압기 관리 방안은 온라인 상태에서 데이터의 취득이 가능하고 이를 이용하면 효과적으로 변압기의 상태를 판단할 수 있으리라 사료되며 향후 변압기 관리 방안으로서의 가능성을 제시하였다.

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 기초전력공학공동연구소, 주상변압기 열화진단장치 개발 연구(최종보고서), 1998. 9.
- [2] 김재철, "무선 데이터 통신을 이용한 주상 및 지상 변압기 진단에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1431-1433, 1999. 7.
- [3] 전기안전공사, 3차원 해석에 의한 유입기기 무정전 진단 기법 연구, 1997.
- [4] Loading guide for oil-immersed power transformers, IEC 354-1991.
- [5] Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers, ANSI/IEEE C57.91-1981.
- [6] M. V. Thaden, "Temperature Rise Tests on a Forced-Oil-Air Cooled(FOA)(OFAF) Core-Form Transformer, Including Loading Beyond Nameplate," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp.913-923, 1995. 4.
- [7] 와이어리스 데이터 전송 기법, 전자기술, Vol 10, No. 6, pp. 15-50, 1997. 6.
- [8] 정화자, 김영천, 데이터 통신 및 네트워크, 시그마프레스, 1998.
- [9] 조은주, 양윤석, 박광채, 데이터 통신과 컴퓨터 통신망, 신화전산기획, 1999.