

다채널 무선 통신망을 이용한 변압기 진단 기법에 관한 연구

김동현\*, 최준호\*, 문종필\*, 김재철\*, 윤용한\*\*, 정연해\*\*\*  
 \* : 송실대학교 전기공학과, \*\* : (주)테크빌, \*\*\* : 한국전력기술인협회

A Study on the Diagnosis Method of Transformers Using Multi-channel Wireless Communication Network

Dong-Hyun Kim\*, Joon-Ho Choi\*, Jong-Fil Moon\*, Jae-chul Kim\*, Yong-Han Yun\*\*, Yeon-Hae Jeong\*\*\*  
 \*:Dept. of E.E. in Soongsil University, \*\*:Techvill co., Ltd, \*\*\*:Korea Electric Engineers Association

**Abstract** - As increasing the accident of distribution transformers, we need to manage them efficiently. This paper proposes the method for transformer's management using multi-channel wireless data communication. The Data Acquisition System(DAS) was developed to manage transformers and the HDLC protocol applied to the system. Additionally, it will be feasible to diagnose distribution transformers by checking load conditions such as hot spot temperature, ambient temperature, load current, etc. and using adequate algorithm.

1. 서 론

최근 냉방 부하, 정보처리 등의 설비가 증대하면서 전 반적으로 전력 사용량이 증가 추세이며 일부 지역이나 시간대에 부하 집중 현상이 심화되고 있다. 이로 인해 주상 및 지상 변압기는 부하량의 불규칙한 변화, 과부하에 의한 과열 현상 등으로 절연 능력이 저하된다. 절연 능력이 약화된 변압기는 소손 등의 사고나 심지어 폭발 사고로 이어져 인적, 물적 피해를 우려된다.

그러나 현재 배전용 변압기의 관리는 일정 주기마다 시행하는 간이수리와 중수리에 의하여 변압기 상태를 확인하여 사용하는 실정으로 사후조치에만 의존하고 있다. 이와 같은 관리 방식은 변압기를 전주에서 철거하여 실시하고 있어 필요 없는 철거 및 설치로 인한 관리비용 증대와 일정기간 동안의 정전상태를 수반하게 된다. 그러므로 현재의 변압기 관리 방안인 시간기준법(time based method; TBM)보다는 신뢰성있는 전력공급 및 예방진단 측면에서 상태기준법(condition based method; CBM)을 이용한 변압기 진단관리 방안이 필요하다. 이를 위해서는 변압기의 상태를 상시 감시할 수 있는 진단 장치와 상태를 판단할 수 있는 진단 알고리즘이 필수적이며 진단 장치는 변압기 활성 상태에서 변압기 상태 측정이 가능해야 할 것이다[1].

본 논문에서는 이러한 필요성과 요구사항에 적합한 진단 장치 개발과 무선 통신 모듈을 이용한 통신망 구성 기법을 제안하였다. 또한 진단 장치 프로그램, 다채널 무선 통신망 구현을 위한 통신 프로토콜과 취득된 데이터의 데이터 베이스 구축에 대하여 다루었다.

2. 배전용 변압기 진단 기법

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

1997년도 통계자료에 의하면 총 사고건수 중 배전선로의 사고건수가 가장 많았고, 100[kW]이하 단상변압기

를 대상으로 조사한 사고통계자료에서는 과부하로 인한 변압기 사고 건수가 가장 높은 비율을 차지하였다[2].

통계자료에서도 알 수 있듯이 변압기의 수명은 가혹한 운전이나 불충분한 보수, 점검 등에 의해서 현저하게 단축되지만 수명에 제일 큰 영향을 주는 것은 그 절연물이 받는 온도이다. 또 온도는 그 변압기가 부담하게 되는 부하율과도 상관관계가 있다. 그러므로 변압기의 부하 전류와 온도를 정확히 예측한다면 과부하로 인한 변압기 소손사고를 미연에 방지할 수 있고 과부하나 운전온도 데이터 분석을 통하여 변압기 수명을 판정할 수 있을 것이라 생각된다.

2.1 원격 진단 장치

그림 1과 같이 변압기마다 진단 장치를 설치하여 각 변압기의 상태 정보를 취득할 수 있다. 변압기 2차측에 CT를 설치함으로써 부하전류를 측정할 수 있고 변압기에 부착된 온도 센서로부터 절연유 온도를 측정할 수 있다. 그런데 주위 온도를 고려하지 않고 절연유 온도만 측정해서는 별 의미가 없기 때문에 주위 온도를 측정하기 위해 변압기와 조금 떨어진 곳에 또 다른 온도 센서를 설치해서 두 온도센서에서 얻을 수 있는 온도차를 변압기 상태 정보로 이용한다[3-4].

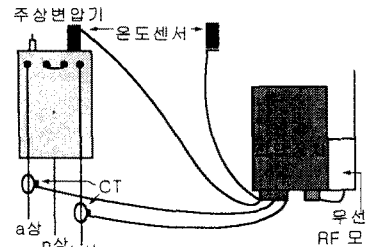


그림 1. 설치 구성도

2.2 무선 통신을 이용한 진단 시스템

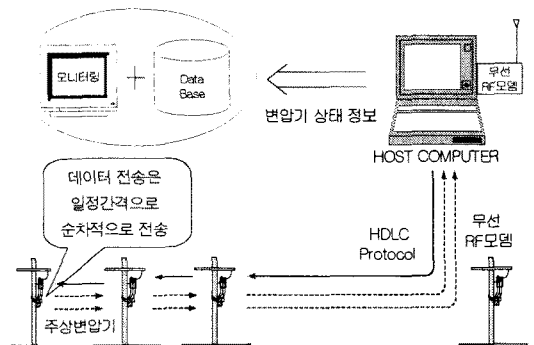


그림 2. 무선 통신 모듈을 이용한 진단 시스템 구성

시스템 구성도는 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 진단 시스템을 구성하게 되면 호스트에서 가장 멀리 떨어져 있는 변압기의 정보부터 가장 가까이 있는 변압기의 정보를 호스트는 순차적으로 받아서 처리할 수 있다. 또한 호스트는 이런 정보를 바탕으로 적절한 진단 알고리즘을 적용함으로써 변압기의 상태를 판단할 수 있다(3-4).

### 3. 진단 장치 통신 프로그램

진단 시스템 구성에 적합하게 진단 장치가 동작하기 위해서 적절한 통신 프로그램이 필요하다. 또한 통신 프로그램의 기본이 되는 프로토콜의 선정과 시스템에 적용 방법이 중요한 문제이다. 본 장에서는 통신 프로토콜과 적용 방법에 대해서 설명하였다.

#### 3.1 통신 프로토콜

초기 통신 프로그램은 간단한 프로토콜인 무제한 프로토콜을 사용하였다(5). 그러나 이 프로토콜은 아주 짧은 시간에 데이터를 처리할 필요가 없는, 즉 데이터 송·수신에 걸리는 시간간격에 제약을 거의 받지 않는 시스템의 경우에 가능하지만 데이터의 신뢰성이나 무선 통신망 중간 지점의 예상치 못한 장애 요인이 발생했을 경우를 고려한다면 초기 프로토콜을 사용하기는 곤란하다. 이와 문제들을 해결할 수 있는 프로토콜을 사용해야 하므로 고급 데이터 링크 제어(high-level data link control ; HDLC) 프로토콜을 선정하여 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(5-6).

#### 3.1.1 통신망 링크 구조

데이터의 순차적인 전송을 하기 위해 다중 링크 개념을 도입했으며 다중 링크의 구조는 그림 3에 나타나 있다. 호스트(1차국)는 데이터 링크를 제어하고 링크상의 데이터 흐름을 감시하며 링크 상으로 연결된 진단 장치들에게 명령을 내린다. 이에 진단 장치들(2차국)은 데이터를 전송하거나 어떤 신호를 보냄으로써 응답하게 된다. 그런데 현재 통신 방식은 반이중 방식(half-duplex)을 사용했기 때문에 그림 3과 같이 진단 장치도 호스트와 같은 역할을 할 수 있다. 즉, 진단 장치 B는 호스트를 기준으로 볼 때는 2차국이 되지만 진단 장치 C와의 관계에서는 1차국이 된다(7-8).

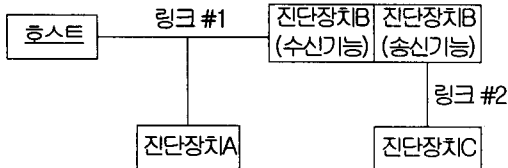


그림 3. 통신망 링크 구조(다중 링크)

#### 3.1.2 데이터 프레임의 구성

데이터 프레임 구성은 아래의 표 1과 같다(6). 플래그 필드는 프레임의 시작과 끝을 알려주는 동기 기능을 하고 주소 필드에는 변압기 무선모듈의 주소가 포함되어 있다. 제어 필드는 동작 명령 및 명령에 대한 응답을 전송하고 데이터 필드는 호스트와 변압기간 또는 변압기들 간에 교환되는 정보가 삽입되는 부분으로 데이터는 8비트를 차지하게 된다. 그리고 프레임 검사 시퀀스(Frame Check Sequence ; FCS) 필드는 CRC

(Cyclic Redundancy check) 부호를 이용하여 송·수신간 에러를 검출한다.

표 1. 프레임의 구성

delimiter	Frame header	정보	CRC	delimiter
플래그	주소 제어	... 데이터 ...	FCS	플래그

#### 3.1.3 데이터 흐름

진단 장치는 상시 감시 기능이 요구되므로 연결 설정 및 연결 종료에 대해서는 깊이 고려할 필요가 없다. 호스트의 연결 요청 및 연결 해제 명령에 대해서 진단 장치의 응답으로 상호 통신이 접속 또는 종료된다.

데이터 흐름을 보면 진단 장치에서 전류, 온도 등의 데이터를 호스트 측으로 전송한다. 일반적인 경우라면 진단 장치는 취득된 데이터를 순차적으로 계속 보내고 이에 호스트는 주기적으로 데이터 수신을 완료했다는 메시지를 진단 장치 측으로 보낸다. 수신 완료 신호는 데이터를 하나씩 받을 때마다 전송하는 것이 아니라 일정한 주기를 가지고 전송한다.

데이터의 에러가 발생했을 경우는, 진단 장치 측에서 데이터를 계속해서 보내고 있는 도중에 진단 장치의 데이터 취득 및 처리 시에 발생할 수 있는 일시적인 에러 또는 상호 통신상 에러 등으로 손상된 데이터가 전송되면 호스트 측에서는 그 데이터에 대해 재전송 요청을 하게 된다. 재전송 요청을 받은 진단 장비는 호스트 측으로 손상된 상태로 전송된 데이터부터 그 이후의 데이터를 다시 전송하게 된다. 이런 방식의 데이터 흐름이 이루어짐으로써 데이터의 신뢰성이 보다 향상되었다.

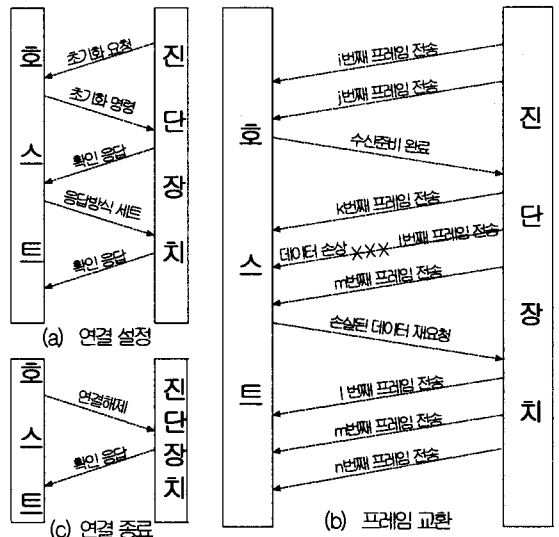


그림 4. 데이터 흐름 및 통신 접속·종료

#### 3.2 통신 프로그램

앞서 언급한 대로 통신 프로그램은 HDLC 프로토콜을 사용하였다. 전류 및 온도 데이터는 8비트 크기이고 호스트 측으로 1분마다 전송된다. 그림 2의 진단 시스템의 구성과 같이 진단 장치는 호스트에서 최말단 변압기부터 최근접 변압기까지의 상태 정보를 순차적으로 호스트 측으로 전송한다. 각 진단 장치는 수신된 데이터와 자신이 취득한 데이터를 통합하여 다음 진단 장치로 전송한다. 통신방식은 반이중방식을 이용하였고 통신 속도는 4800 [bps]이다.

#### 4. 모니터링 프로그램 및 데이터 베이스

진단 장치로부터 전송 받은 데이터를 비주얼 베이직 (Visual Basic)의 OLE (object linking & embedding)를 사용하여 호스트 측에서 실시간으로 데이터베이스화하는 프로그램을 작성하였다.

통신프로그램은 Microsoft사에서 제공하는 Mscomm 컨트롤을 사용하였으며 한 대의 변압기는 한 개의 테이블을 차지한다. 전송된 데이터를 실제의 전류치와 온도 값으로 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.

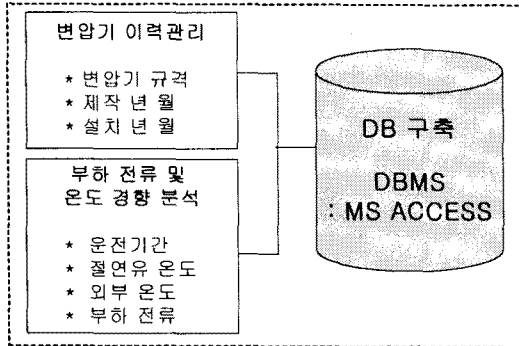


그림 5. 호스트에서의 DB 구축

#### 5. 개발된 진단 장치 및 적용

##### 5.1 개발된 진단 장치

진단 장치의 중앙 제어부는 INTEL사의 80C196KC 마이크로 컨트롤러를 사용하였다. 중앙 제어 장치의 확장 입·출력 포트를 이용해서 온도 센서를 비롯한 계측기로부터 변압기 절연유 온도, 외부 온도 그리고 부하전류 등의 상태 정보를 취득하였다. 이 데이터들은 A/D 변환 등의 데이터 처리과정을 거친 후 RS-232C 직렬 통신 방식으로 무선모뎀을 이용하여 호스트 측으로 전송된다. 무선 모뎀은 447[MHz] 대역을 사용하고 신뢰성 있는 전송거리의 건물같은 장애물이 있는 경우 100[m] 정도이다. 시험적으로 제작한 진단 장치와 호스트 컴퓨터는 그림 6에 나타내었다.

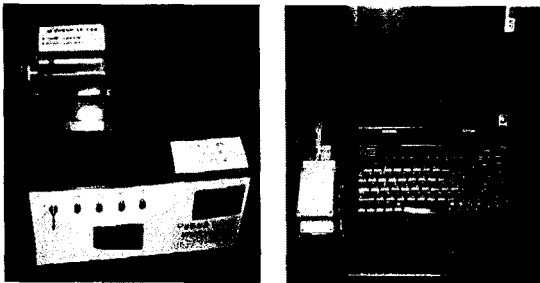


그림 6. 진단 장치 하드웨어와 호스트 컴퓨터

##### 5.2 진단 시스템 적용

개발된 진단 시스템을 변압기 모의 실험 장비인 반환부하법 실험 세트에 적용해 보았다[9]. 부하율은 75 [%]로 고정했으며 실험 시간은 6시간 30분 정도가 소요되었다. 호스트 컴퓨터는 다른 건물 실내에 배치하였고 진단 장치는 옆 건물의 실험실에 설치하였다. 호스트와 진단 장치간의 이격거리는 대략 직선거리 30m 정도

이다. 반환부하법 실험 장비에 직접 연결된 계측기의 데이터와 진단 장치를 통해서 호스트로 전송된 데이터를 비교해 보았다. 두 데이터의 비교 결과는 그림 7에 나타내었다.

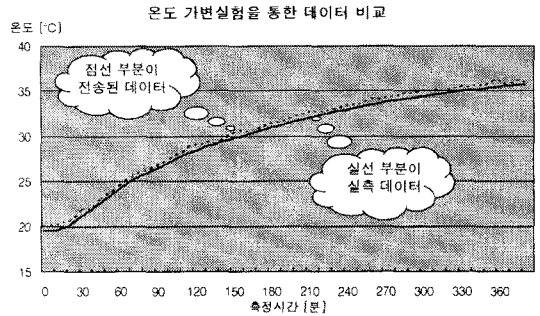


그림 7. 실측 데이터와 전송된 데이터의 비교

비교 결과를 보면 전송된 데이터가 실측 데이터보다 전체적으로 약간 높은 값을 갖게 되는데 이것은 디지털 값으로 전송된 데이터를 다시 원래의 값으로 환산하는 과정에서 발생한 오차이다.

#### 6. 결 론

본 논문에서는 전국에 산재되어 있는 배전용 변압기의 효과적인 관리 및 진단을 위해서 변압기 상태를 감시할 수 있는 진단 장치를 개발하였다. 또한 통신 프로그램에 초기 프로토콜에서 개선된 HDLC 프로토콜을 사용함으로써 다채널 무선 통신망을 효과적으로 구성할 수 있었으며 진단 장치에서 전송된 데이터를 호스트에서 실시간으로 데이터 베이스화 함으로써 데이터의 저장 및 분석을 가능하게 하였다.

이 장치의 검증은 반환부하법을 통하여 이루어졌고 그 결과를 보면 실측 데이터와 약간의 오차는 있지만 변압기 상태를 판단하는데 거의 영향을 미치지 않을 정도이므로 이 진단 장치는 신뢰성 있는 장치라고 할 수 있겠다.

앞으로 하드웨어 및 소프트웨어를 보완하고 적절한 진단 알고리즘을 사용하면 배전용 변압기를 원격 감시할 수 있는 진단 장비가 될 것이라 기대된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 기초전력공학공동연구소, 주상변압기 열화진단장치 개발 연구(최종보고서), 1998. 9.
- [2] 전기안전공사, 3차원 해석에 의한 유입기기 무정전 진단 기법 연구, 1997.
- [3] 김재철 외, "PCS방식을 이용한 배전용 변압기 부하관리 기법에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1434-1436, 1999. 7.
- [4] 김 훈, "무선통신망을 이용한 배전용 변압기 부하관리기 개발에 관한 연구," 숭실대학교 석사학위 논문, 1999.
- [5] 정화자, 김영천, 데이터 통신 및 네트워크, 시그마프레스, 1998.
- [6] 조은주, 양윤석, 박광채, 데이터 통신과 컴퓨터 통신망, 신화전산기획, 1999.
- [7] 전광일, 데이터통신 시스템, Ohm사, 1991.
- [8] 이인행, 김영훈, 데이터통신과 패킷교환, 홍릉과학출판사, 1992.
- [9] 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.