

무선데이터 통신을 이용한 주상 및 지상 변압기 진단에 관한 연구

° 민경래\*, 전용주\*, 윤용한\*, 김재철\*, 최도혁\*\*, 김영춘\*\*  
 \*숭실대학교 전기공학과 \*\*한국건설 기술연구원

A Study on Diagnosis for Pole and Pad Transformers using Wireless Data Communication

\* Kyeoung-Rae Min\*, Yong-Joo Jeon\*, Yong-Han Yoon\*, Jae-Chul Kim\*, Do-Hyuk Choi\*\*, Young-Chun Kim\*\*,  
 \*Dept. Electrical Eng. in Soongsil Univ. \*\*KICT

**Abstract** - In this paper, we present diagnosis system for pole and pad transformers using wireless data communication. This system used radio frequency modem for communication between transformer and mobile car. We studied communication's protocol and data frames for operating diagnosis system of distribution transformers.

변압기는 제 수명을 다하지 못하고 폐기, 교체 또는 수리되는 경우가 대부분이다.

1. 서 론

최근 냉방 부하, 편의 시설 및 정보처리 설비의 증가로 전력 사용량이 증가 추세이며, 이는 부하의 집중 지역 확대 및 부하의 편중 현상 심화로 나타나고 있다. 주상 및 지상(배전용) 변압기는 부하량의 불규칙한 변화, 과부하에 의한 과열 현상과 외부로 노출된 환경 등의 요인으로 변압기의 절연 능력 저하가 발생한다. 절연 능력이 약화된 배전용 변압기의 과부하, 이상전압과 뇌에 의한 서지 침입은 소손 등의 사고나 폭발 사고로 이어져 인적, 물적 피해의 우려가 된다[1,2].

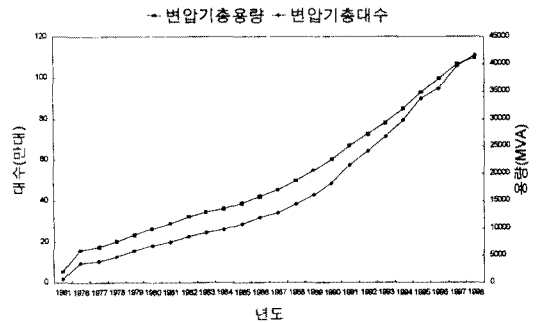


그림 1. 배전용 변압기 증가 추세

현재 배전용 변압기 관리는 사후 조치만 하고 있는 실정으로 일정 주기마다 점검 및 간이 수리와 중 수리에 의하여 변압기 상태를 확인하여 사용하고 있다. 관리자는 점검에 의해 이상이 의심되면 변압기를 전주로부터 철거해야 하고 철거 시 정전 상태 및 관리비용의 증대가 수반된다. 따라서 현재의 변압기 관리 방안인 시간 기준법(TBM : time based method)보다는 전력 공급의 신뢰성이나 사고의 예방 측면으로 상태 기준법(CBM : condition based method)에 의한 변압기 진단 관리 방안이 필요하게 된다[1,2].

2.2 배전용 변압기의 예방 진단

2.2.1 배전용 변압기의 열화 특성

유입 변압기의 수명은 절연 재료가 뇌 서지 및 개폐 서지 등의 이상전압과 외부 단락 등의 전기적, 기계적 스트레스에 의한 열화로 결정되고, 변압기의 절연 상태가 파괴하기 전에 열화 문제를 고려하는 것이 중요하다. 배전용 변압기의 경우에는 절연유와 권선 등의 열화가 중요한 문제가 되고 있다. 배전용 변압기에서 발생하는 열화 요인으로는 과부하에 의한 고온 운전과 외부 단락의 열적 열화, 기계적 손상 및 부분 방전 열화가 대표적이며 이로 인하여 전기적 성능과 기계적 성능이 저하하게 된다. 즉, 기계적 강도 저하, 진동 증가, 가연성 가스 발생 등이 나타나고 절연 파괴로 진전된다. 그 외에도 산소와의 산화, 흡습, 기계적 응력 및 환경적 요인 등의 복합적으로 열화가 진행되어 이상이 발생하고 사용 수명에 도달하게 된다. 절연유는 변압기의 운전 중에 유중에 잔존하고 있는 수분과 산소 그 외 불순물에 의해서 열화가 진행되며, 산가의 증가, 체적 저항률과 절연 파괴 전압의 저하로 나타난다.

2. 본 론

2.1 배전용 변압기 현황 및 관리

배전용 변압기란 배전 계통에 있어서 일반 저압 수용가의 전원을 담당하며 전력 시스템의 말단에 위치한 소용량의 변압기를 말한다. 배전용 변압기는 많은 수량이 전국적으로 분포되어 있어 관리 및 점검하기에 적지 않은 인력 및 비용이 소모된다. 그림 1은 배전용 변압기의 증가 추이를 나타낸 것으로 1998년 11월까지의 통계자료에 의하면 약 110만 여 대에 41,579(MVA)의 용량을 차지하고 있다[3].

2.2.2 배전용 변압기의 진단 방법

현재 변압기의 점검은 주상 점검, 입고 점검, 교체 점검으로 관리를 수행하고 있다[4]. 변압기의 수리 시에는 간이 수리와 중 수리에 의한 방법이 있으며, 이 때 기본적인 보수 및 절연유의 교체 작업이 이루어진다. 한편의 경우 주상 변압기의 경우 13년으로 보고 있으나 변압기의 장시간 운전, 부하의 변동 및 과부하 등의 영향으로

배전용 변압기의 경우에는 일정한 정격 운전보다는 부하의 변동이 심하고 과부하 운전으로 열적열화가 가장 심한 것으로 나타난다. 절연 내력이 저하된 변압기는 장시간 과부하 운전, 이상전압이나 뇌에 의한 서지 침입시 돌발 사고를 발생시켜 사고의 예방 진단이 필요하다. 변압기 진단은 부분 방전에 의해 방출되는 유증가스 분석법, 유전율의 정도를 알아내어 판별해 주는 유전정접법, 절연유의 최고 온도 지점을 알아내어 진단하는 최고 온점(hottest spot) 측정법이 있다. 그 외에도 배전용 변압기 운전에 의해 증가된 온도 상승을 가지고 수명을 예측하는 기법이 있다. 미국 ANSI지침에서는 최고 온점을 95(°C)로 하여 변압기를 연속 운전한 경우, 20년의

수명을 표준 수명으로 하고 있다.

배전용 변압기의 진단은 약 110만 여 대가 전국에 분포되어 있어 열거한 진단 방법을 대형 변압기가 아닌 비교적 값이싼 배전용 변압기를 대상으로 활선 상태에서 적용하기에는 현실적, 경제적인 문제가 있다. 그러나 사고에 의한 정전 상태와 폭발 사고의 파급효과를 고려해보면 활선 상태의 진단이 필요하다. 신형 변압기의 사고율이 높다는 점과 주기적인 점검에 의해 이상이 판별되는 변압기를 설정하고, 진단용 차량과 무선 데이터 통신을 이용한다면 활선 상태 진단이 가능하다.

### 2.3 배전용 변압기 진단 장치

#### 2.3.1 무선데이터 통신

전력 시스템에 응용될 수 있는 무선통신 방법은 무선 모뎀을 이용한 데이터 통신, 기존의 무선 데이터 통신망의 이용, 주파수공용통신(TRS : trunked radio system)의 이용, 개인휴대통신(PCS : personal communication system)회사에서 제공하는 통신망 이용, 무선 가입자망(WLL : wireless local loop)의 이용 등이 있다. 무선 모뎀을 이용한 데이터 통신 외의 통신망들은 상용 서비스를 시행하고 있으며 서비스 제공 회사의 통신망에 맞는 단말기를 제작 또는 구입하여야 하고 서비스 망 이용에 대한 요금을 지급해야 한다. 그러나 무선 모뎀을 이용한 데이터 통신은 별도의 전송 채널의 확보가 필요 없고 할당된 특정 주파수를 이용하여 통신하는 방식으로 일정 지역에서 많은 수의 단말장치를 제어하고 데이터를 수집하는데 유리한 방식이며, 별도의 부가 서비스 비용이 없어 유선 설비나 다른 데이터 통신망을 이용하는 것보다는 경제적인 방식이다.

#### 2.3.2 배전용 변압기 진단 장치의 구성

그림 2는 배전용 변압기 진단 장치를 주상변압기에 설치할 경우의 하드웨어 구성을 나타낸다. 변압기의 상태를 취득하는 센서와 저압측 전류와 전압으로부터 데이터를 시간별로 측정하여 A/D변환하여 마이크로프로세서에 전달한다. 마이크로프로세서는 데이터를 시간대별 부하량과 측정값을 계산하여 메모리에 저장하였다가 진단용 차량이 순회 시 전송한다(6).

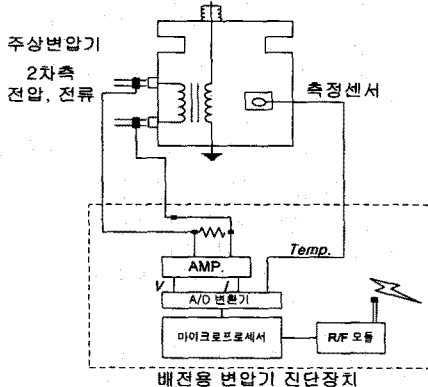


그림 2. 시스템 블록도

진단 차량을 이용하여 배전용 변압기를 진단하는 모습은 그림 3과 같다. 진단용 차량이 도로를 순회하며 관리자는 무선 데이터 통신을 통해 대상 변압기의 메모리로부터 저장된 변압기의 정보를 받아들인다. 이렇게 받아들인 정보는 진단용 PC에서 대상 변압기의 상태를 판별하거나, 각 변압기별 데이터베이스를 구축하는데 사용된다. 무선 데이터 통신과 진단용 차량을 이용하여 신형 변압기와 이상이 의심되는 변압기를 선정하여 예방 진단

을 수행하면 변압기의 상태 기준법에 의해 판별하여 사고를 미연에 예방하여 변압기의 사고 비용, 사람의 직접 점검에 사용되는 비용과 시간이 절감된다고 사료된다(6).

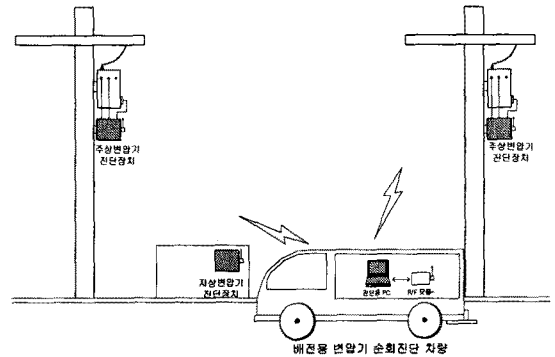


그림 3. 진단차량을 이용한 주상 및 지상 변압기 진단

그림 4와 같이 진단 장치를 위한 소프트웨어의 구성은 크게 진단 장치에 들어가는 프로그램과 진단용 PC에 들어가는 프로그램으로 나누어진다. 측정 프로그램은 센서로부터 취득한 변압기 상태 데이터와 부하량 데이터와 함께 메모리에 저장한다. 저장된 정보는 무선통신 프로그램을 통해 진단용 PC로 전송된다. 진단용 PC는 수신된 정보를 바탕으로 진단 알고리즘의 프로그램을 사용하여 대상 변압기의 상태 진단을 수행하고 변압기 이력에 따라 데이터베이스화한다. 데이터베이스는 변압기의 경향 분석을 수행하는데 이용된다. 데이터베이스는 각 변압기의 이력에 따라 관리되어지므로 과거의 상태 변화와 현재의 상태에 따라 변압기의 사고 예방을 가능하게 한다(6).

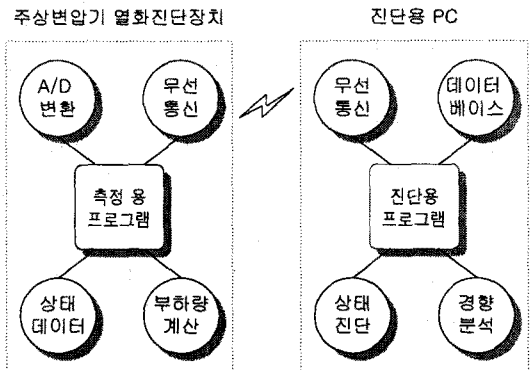


그림 4. 소프트웨어의 구성

### 2.4 무선데이터 통신을 위한 프로토콜

#### 2.4.1 무선 모뎀의 운영 방식

무선 모뎀의 운영 방식은 모뎀끼리의 연결을 결정하는 방식으로 1:1, 1:N, M:N 그리고 리피터를 연결하는 방식 등이 있다(7). 본 논문에서는 진단 차량을 이용하여 여러 대의 주상 및 지상 변압기로부터 무선데이터 통신을 수행하므로 1:N 방식을 선택하였다. 그림 5는 무선 모뎀을 1:N의 방식으로 운영하는 모습으로 진단용 차량의 모뎀을 A, 변압기의 모뎀을 B라 하고 모뎀A에서 모뎀B로의 전송용 주파수 채널을  $f_a$ , 모뎀 B에서 모뎀A로의 수신용 주파수 채널을  $f_b$ 라고 한다. 모뎀 A에서 요청 신호를 송신하면 n개의 변압기 모뎀 중에서 해당되는 모뎀B<sub>1</sub>만이 모뎀A로 회신하게 되고, 나머지 모

템은 응답을 거절한다. 이는 각각의 변압기에 어드레스 할당과 송·수신 통신 채널의 반 이중 통신 방식(half duplex communication)의 채택으로 가능하다.

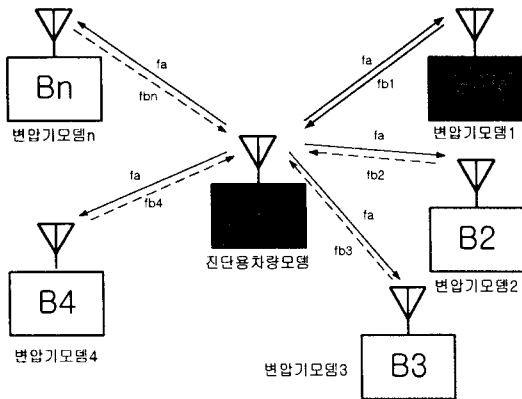


그림 5. 무선 모델의 운영 방식

### 2.4.2 데이터 프레임 구성

표 1은 진단용 차량 모뎀에서 변압기 모뎀으로 보내는 송신측 데이터의 명령 프레임 구성이다. startbit는 데이터 프레임의 시작을 의미하고, request는 수신측에서 보내 주는 데이터 에러 시 다시 요청하는 비트이고, address는 변압기 모뎀간의 구별을 위한 식별자이다. checksum은 전 에러 검출을 위한 비트이고, end는 데이터 프레임이 끝났음을 의미하는 비트이다.

표 1. 송신측의 데이터 명령 프레임

startbit	request	address	checksum	end
----------	---------	---------	----------	-----

표 2는 변압기측 모뎀에서 진단용 차량으로 보내 주는 수신측 데이터 응답 프레임 구성이다. startbit는 송신측 프레임과 같이 프레임의 시작을 의미하고, ACK/D(acknowledge/data)는 요청에 대한 응답인지 데이터 전송인지를 구분하여 주고, restart는 송신측의 재요청(request)에 대하여 응답 프레임을 나타낸다. DATA는 진단용 차량에 보내는 변압기의 상태 정보를 실어 주고 checksum과 end는 송신측 데이터 프레임과 같다.

표 2. 수신측의 데이터 응답프레임

startbit	ACK/D	restart	DATA	checksum	end
----------	-------	---------	------	----------	-----

### 2.4.3 데이터의 흐름

그림 6은 일반적으로 적용될 송신측과 수신측의 데이터 전달 흐름도이다[8]. 진단용 차량인 송신측이 대상 변압기인 수신측에 변압기의 상태 정보를 요청하면 수신측은 송신측에 수신에러 없이 수신되었으면 송신측에 수신 확인(ACK) 신호를 보낸다. 정해진 시간 후 수신측은 다시 데이터를 전송하게 된다. 그림 6에서 점선은 에러 발생을 의미하며, 수신측 데이터에서 에러가 발생하거나 데이터를 전송하지 않으면 송신측은 데이터 재요청(request) 신호를 보내게 된다. 수신측은 다시 수신확인 신호와 데이터를 전송하게 된다.

수신측에서 에러 삭제 시 발생하는 데이터 흐름도는 그림 7과 같다[8]. 송신측의 데이터 요청에도 불구하고 변압기 식별자인 어드레스 부분 에러 등의 이유로 수신측의 아무런 회신이나 확인이 없을 시에는 송신측은 일정 시간 후에 다시 데이터를 재요청을 하게 된다. 에러 없이 수신측에서 수신하게 되면 정해진 순서대로 수신 확인 후에 데이터를 전송하게 된다.

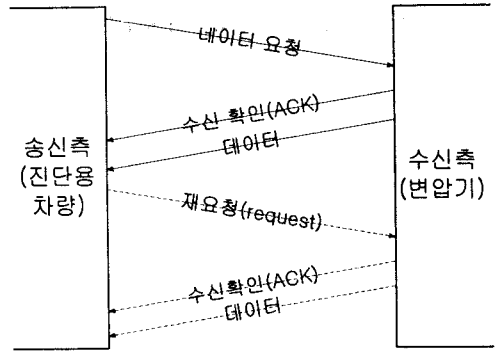


그림 6. 일반적인 데이터 흐름도

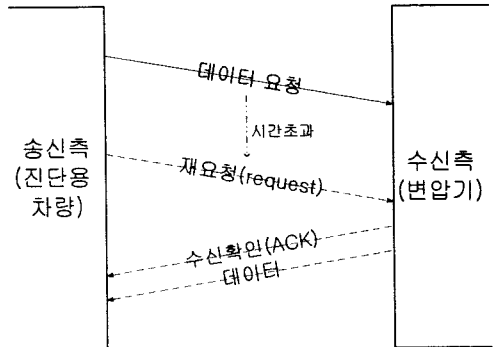


그림 7. 송신 에러시 데이터 흐름도

## 3. 결론

본 논문에서는 주상 및 지상(배전용) 변압기의 활성 상태 진단을 위해서 신형 변압기와 위험도 높은 변압기를 대상으로 무선데이터 통신과 진단용 차량을 이용한 방법에 대하여 제안하였다. 무선데이터 통신을 위한 진단 차량과 변압기간의 통신 운영 방식과 프로토콜을 연구하였다. 향후 과제로는 주상 및 지상 변압기 진단을 위해 제안한 무선데이터 통신의 현장 실증 실험과 통신 프로토콜의 신뢰도 검증이 필요하다.

본 연구는 **학술진흥재단의 자유공모과제로 이루어진 연구입니다.**

### [참고 문헌]

- [1] 김재철 외, "The measuring Technique of Tan δ using DSP," ICEE '96, No. 1, pp. 403-40, 1996. 8.
- [2] 김재철 외, "DSP를 이용한 주상변압기 유전정점 측정기법 연구," 한국조명·전기설비학회지, Vol.11, No.2, 1997. 4.
- [3] 박창호 외, 주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구, 한국전력공사 전력연구원, 1999. 2
- [4] 한국전력공사 서울연수원 배전교수실, 신입배전기초I, 1997.
- [5] 한국전력공사 기술연구원, 주상변압기 절연파괴 감소대책 연구(요약보고서), 1991. 4.
- [6] 김영춘, "신호처리를 이용한 주상변압기 열화진단장치에 관한 연구," 숭실대학교 석사학위 논문, 1998. 12
- [7] 와이어리스 데이터 전송 기법, 전자기술, Vol.10, No.6, pp.15-50, 1997. 6.
- [8] Fred Halsall, Data Communications, Computer Networks and Open Systems, Addison-Wesley, pp.217-267, 1996.