

무선통신을 이용한 배전용 변압기 모니터링 및 진단 장치 개발에 관한 연구

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

The Study on the Monitoring and Diagnostic System for Distribution Transformer Using Wireless Communication

Jong-Fil Moon\*, Jae-Chul Kim\*, Joon-Ho Choi\*, Oun-Seok Kim\*, Yong-Han Yoon\*\*, Kyeoung-Rae Min\*\*  
 \* : Dept. Electrical Eng. In Soongsil Univ. \*\* : Techwill co. Ltd

**Abstract** - In this paper, we developed the on-line Diagnostic & Monitoring system of distribution transformers using wireless communication. The Diagnostic system consists of the top oil temperature sensing, ambient temperature sensing, load current sensing, acoustic emission peak-value sensing, acoustic emission pulse counter and wireless communication part. The Monitoring system consists of the communication setting, online monitoring and database construction part. The Diagnostic system send the date acquired from the some sensors of the distribution transformers to the host PC. The Monitoring program of the host PC store the data to database. And the Monitoring system estimates the loss of life from the DB. Thus, it could be managed the career and the functional lifetime of the transformer more efficiently than existing methodologies.

일반적으로 효율적인 변압기 진단을 위해서는 변압기 기준 수명에 대해서 변압기 운전애 따른 손실을 계산할 필요가 있다. 변압기의 수명은 절연 재료의 열적 열화에 의한 절연도의 저하에 좌우되며 절연재료의 수명은 변압기의 최고 온점 온도에 따라 수식으로 표현될 수 있으며 기준 온도 98(°C)에 대한 상대적인 수명 손실비 V는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(2,3).

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

여기서  $\theta_h$ 는 최고 온점 온도를 나타낸다.

최고 온점 온도는 최상부 유온으로부터 추정될 수 있으며 배전용 변압기의 경우 다음 식 (2)와 같이 예측되어 질 수 있다.

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_T + Hg_r K^{1.6} \quad (2)$$

여기서  $\theta_a$ 는 주변온도,  $\Delta\theta_T$ 는 주변온도에 대한 최상부 유온 상승, K는 정격부하에 대한 현재 부하의 비,  $Hg_r$ 은 최고 온점에서 최상부 유온으로 열이 전달되는 동안에 발생하는 열발산이다.

식 (1)의  $\theta_h$ 에 식 (2)를 대입하면 식 (3)과 같이 새로운 수명 손실비 V를 계산할 수가 있다.

$$V = 2^{[\theta_a + \Delta\theta_T + Hg_r K^{1.6} - 98]/6} \quad (3)$$

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

2.2 초음파 펄스수 계수

변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 일반적으로 그 부위에는 국부적인 발열을 동반하고 그 발생열에 의해 주변의 절연유가 급격한 압축을 받아 충격파로 유중에 전달되는 펄스 형태의 음파와 초음파가 발생된다. 음파는 외부소음에 의한 영향으로 검출이 쉽지 않으므로, 초음파를 검출하여 부분방전을 탐지하면 변압기에서 발생하는 부분방전을 상시로 감시할 수 있다(4). 따라서 본 논문에서는 부분방전을 검출하기 위해, 초음파 신호를 측정하는 하드웨어를 제작하였으며 초음파 신호의 유무 및 크기들의 변화 추이를 기록·관리 할 수 있도록 하였다. 초음파 신호의 대역폭은 노이즈가 가장 적은 100[kHz] ~ 300[kHz]로 하였다.

그러나 변압기 진단 장치에서 고주파의 초음파 파형을 그대로 측정하기 위해서는 고성능의 A/D 변환기 등이 필요하므로 경제적인 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 기준레벨 이상의 초음파 신호를 계수하는 방식을 사용하였으며, 계수한 초음파 신호수를 이용하여 변압기의 부분방전의 변화를 추정할 수 있을 것이다.

1. 서 론

최근 삶의 질적 향상으로 인하여 냉방부하, 편의시설, 정보통신 설비 및 대용량 전기기기의 사용이 증가함에 따라 전력소비가 계속하여 증가하고 있다. 이 때문에 배전용 변압기의 부하가 증가하면서 과부하와 경년열화로 인한 사고가 많이 발생한다. 배전용 변압기에서 사고가 발생하게 되면 정전 피해가 발생함은 물론 산업용 부하인 경우 정전사태로 인한 적지 않은 경제적인 손실까지 발생하게 된다(1).

현재 배전용 변압기 관리는 사후 조치만 하고 있는 실정으로 일정 주기마다 시행하는 간이 수리와 중 수리에 의하여 변압기 상태를 확인하여 사용하고 있다. 관리자는 점검에 의해 이상이 의심되면 변압기를 전주로부터 철거해야하고 철거시 정전 상태 및 관리비용의 증대가 수반된다(1). 따라서 변압기의 온라인 감시 및 진단을 위한 연구가 필요하며 수많은 배전용 변압기의 상태 정보 및 진단 요소를 체계적으로 관리하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 배전용 변압기의 감시 및 진단을 위한 진단장치 및 모니터링 프로그램을 구성하였다. 각 변압기에 부착된 진단장치는 변압기의 부하전류, 최상부 유온, 주변온도, 초음파 펄스 수, 초음파 피크(peak) 값의 데이터를 무선 통신을 이용하여 호스트 컴퓨터로 전송한다. 호스트 컴퓨터의 모니터링 프로그램은 데이터를 실시간으로 전송 받아 데이터 베이스화하며, 저장된 데이터를 이용하여 변압기의 상태를 판정한다.

2. 진단기법

2.1 수명손실비 계산

### 3. 진단장치의 구성

#### 3.1 진단장치의 구성도

그림 1은 진단장치의 블록도를 보여준다. 그림과 같은 진단장치를 이용하여 변압기의 상태정보를 실시간으로 측정할 수 있다. 즉, 온도센서(변압기 최상부 절연유, 변압기에서 떨어진 곳에 부착), CT(변압기 2차측에 부착), 초음파 센서(변압기 외함에 부착) 등을 변압기에 부착하여 최상부 유온 및 주변온도, 부하전류, 초음파 신호의 펄스수 및 피크값을 측정한다. 측정된 값은 마이크로 프로세서에서 처리한 후 무선통신모듈을 이용하여 호스트 PC로 전송한다.

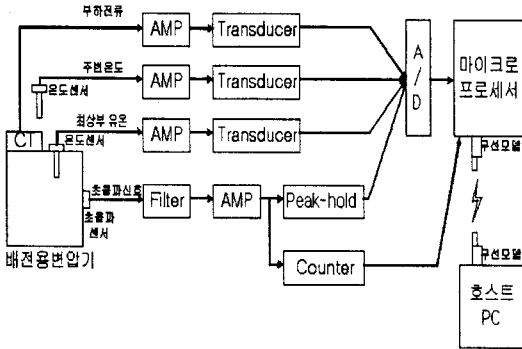


그림 1. 진단장치의 블록도

#### 3.2 진단장치 개발

그림 2는 본 연구에서 제작한 진단 장치를 보여준다. 진단 장치는 크게 온도 측정부, 전류 측정부, 초음파 측정부, 마이크로 프로세서부, 무선통신부로 나뉘어진다.

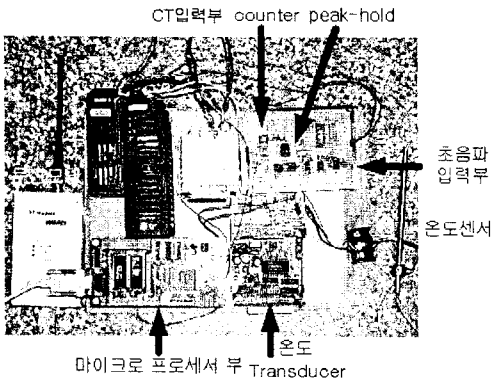


그림 2. 진단장치

##### 3.2.1 온도 측정부, 전류 측정부

본 논문에서는 온도 센서로 thermocoupler를 사용한다. 이 센서의 온도 측정 범위는  $-50(^{\circ}\text{C}) \sim 200(^{\circ}\text{C})$ 이 센서 출력은 온도 Transducer를 거쳐  $4(\text{mA}) \sim 20(\text{mA})$ 의 전류를 발생시키며 정밀 저항을 사용하여  $1(\text{V}) \sim 5(\text{V})$ 의 전압으로 바뀐다. 또한 전류 센서로는 CT(300A/5A)를 사용하였으며, 마찬가지로 C Transducer를 거쳐  $1(\text{V}) \sim 5(\text{V})$ 의 전압을 발생시킨 이 온도 신호와 전류 신호는 마이크로 프로세서에 있는 10 비트 A/D의 입력으로 들어가게 된다.

### 3.2.2. 초음파 측정부

초음파 센서는 광대역 센서인 SE2MEG-P 모델을 사용하였다. 센서로부터 나온 신호의 주파수는 넓은 범위에 걸쳐 있기 때문에, 원하는 주파수대역만을 통과시키기 위한 필터를 제작하였다. 2극 저역 및 고역 통과 필터를 사용하여 대역통과(bandpass)필터를 구성하였으며, 필터의 통과대역(passband)은  $100(\text{kHz}) \sim 300(\text{kHz})$ 로 구성하였다. 또한 센서로부터 나온 작은 크기의 신호를 증폭하기 위한 앰프를 제작하였다. 앰프의 이득은 10배 ~ 1000배, 즉  $20(\text{dB}) \sim 60(\text{dB})$ 를 10[dB] 단계로 선택할 수 있도록 구성하였다. 앰프의 출력은 peak-hold 회로와 counter 회로의 입력으로 들어가며, peak-hold 회로는 초음파 신호의 최대 값을 유지하여 마이크로 프로세서에서 발생된 초음파의 최대 값을 측정할 수 있게 한다. 또한 counter회로는 초음파 신호에서 일정한 이상의 신호수를 0[V]와 5[V]의 디지털 신호로 바꾸어준다. 이 신호는 마이크로 프로세서 내에 있는 카운터의 입력으로 들어간다. 그림 3은 필터와 앰프의 회로도이며, 그림 4는 peak-hold와 counter 회로의 회로도이다.

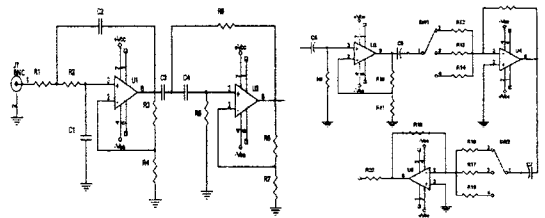


그림 3. 필터 및 앰프 회로도

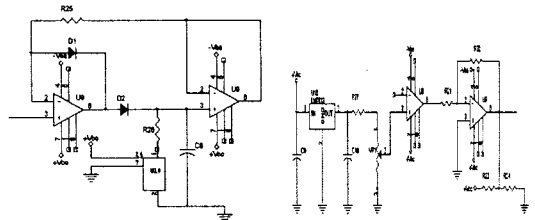


그림 4. 피크-홀드 및 카운터 회로도

#### 3.2.3 무선통신부

무선통신 방식은 유선통신망에 비해 신뢰성은 떨어지나, 설치 및 망의 구성이 쉽고 초기 구축비용이 상대적으로 저렴하며 또한 망 사용료가 없는 장점이 있다. 본 연구에서의 통신방식은 일반적으로 많이 사용하는 직렬 통신방식(RS-232C)을 이용하여 무선통신을 구성하였으며 무선 RF 모듈을 사용하였다. 반이중 통신 방식(half-duplex communication)을 사용하였으며 RF의 유효거리는 200(m)이다.

### 4. 모니터링 프로그램

#### 4.1 데이터의 구성

그림 5는 송수신 데이터의 구성을 나타낸다. 시작 비트 다음에는 변압기 식별을 위한 변압기 ID를 나타내는 비트가 추가되고 그 다음에 부하전류, 최상부 유온 및 주변온도, 초음파 피크값 및 펄스 수 데이터가 추가된다. 그리고 마지막으로 에러 체크를 위한 패리티 비트 및 정지 비트가 붙게 된다.

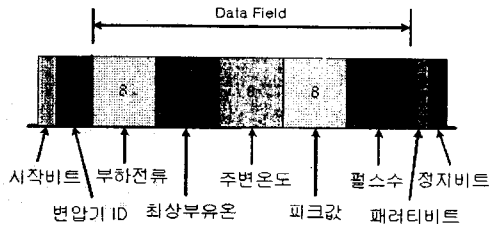


그림 5. 송수신 데이터의 구성

#### 4.2 통신설정부

통신은 MS사에서 만든 Visual Basic의 Mscomm을 사용하여 구성하였다. 모니터링 프로그램을 기동하면 우선 통신을 설정하기 위한 창이 나타나게 된다. 본 시스템에서는 통신포트는 시리얼 포트인 COM1 포트를 사용하였고, 통신 방식은 비동기 직렬 통신 방식으로 RS-232C를 사용하였다. 또한 전송 속도는 9600[bps]로 전송하도록 하였다. 그리고 에러 체크를 위한 패리티 비트 및 정지비트를 선택할 수 있도록 구성하였다. 그림 6은 통신을 설정하기 위한 화면을 보여준다.

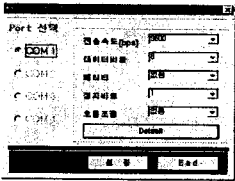


그림 6. 통신설정화면

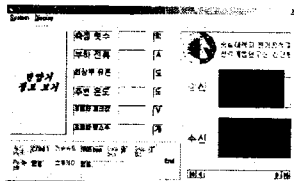


그림 7. 모니터링 프로그램

#### 4.3 모니터링부

통신을 설정하게 되면 그림 7과 같은 모니터링 시스템이 동작하게 된다. 그림의 송신 및 수신 부분에는 현재 전송되고 있는 데이터를 보여주게 되고, 부하전류, 최상부 유온, 주변온도, 초음파 피크값, 초음파 펄스수 부분에는 매 측정시마다 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 프로그램에서는 진단 장치로 재전송을 요구할 수 있도록 구성하였다.

또한 Trend 버튼을 누르면 그래프를 그리기 위한 화면이 나타나게 된다. 이 화면에서 사용자가 설정한 기간 만큼의 데이터를 그래프로 볼 수 있도록 하여 변압기의 부하 전류, 온도 경향, 부분방전의 발생 정도를 쉽게 볼 수 있도록 구성하였다. 그래프는 Visual Basic의 MSChart를 이용하여 그렸으며, 그려진 그래프는 프린터로 출력을 하거나 그림 파일로 저장 할 수 있도록 하였다.

#### 4.4 데이터 베이스부

데이터 베이스는 MS-Access를 이용하여 구축하였다. 모니터링 프로그램으로 들어온 데이터는 실시간으로 Access 파일로 저장되며, 저장되는 순간의 날짜와 시간이 같이 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, 펄드의 구성은 저장된 시간, 부하전류, 최상부 유온, 주변 온도, 초음파 피크값, 초음파 펄스수 및 수명 손실로 구성하였다. 그림 8은 데이터 베이스 설계를 위한 개체-관계모델이며, 그림 9는 데이터 베이스의 구성 개념도를 보여준다.

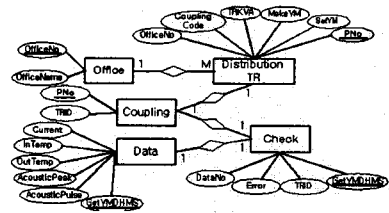


그림 8. DB 개체-관계 모델

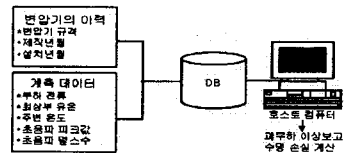


그림 9. 데이터 베이스 구성

### 5. 결 론

본 논문에서는 배전용 변압기의 온라인 감시 및 진단을 위한 진단장치와 모니터링 프로그램을 제작하였다. 진단 장치는 변압기의 상태정보 즉, 부하전류, 최상부 유온, 주변온도, 초음파 피크값, 초음파 펄스수 등을 측정하여 무선 RF 통신을 이용하여 호스트 컴퓨터로 전송하도록 하였고, 호스트 PC에서는 전송된 데이터를 이용하여 변압기를 실시간으로 모니터링하고 데이터 베이스화하도록 구성하였다. 또한 온도 데이터를 이용하여 수명손실을 계산하여 진단요소로 사용할 수 있음을 제시하였다. 향후 본 시스템의 검증에 위하여 현장 실험이 필요하며, 또한 변압기의 온도와 초음파와의 상관관계 도출이 필요할 것이다.

본 논문은 중소기업청의 산학연 권소사업사업으로 이루어진 연구입니다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 기초전력공학공동연구소, "DSP를 이용한 주상변압기 tan δ 측정기법 연구(최종보고서)", 1996. 9.
- [2] IEC Publication 354, "Loading guide for oil-immersed power transformers", 1991.
- [3] 민경래, "R/F 통신과 최상부 유온을 이용한 배전용 변압기 진단기법에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위논문, 1999. 2.
- [4] 권동진, "초음파 경향분석에 의한 전력용 변압기의 예방진단에 관한 연구", 숭실대학교 박사학위논문, 1995. 6.
- [5] 김동현, "상대 열화비를 이용한 배전용 변압기 진단 기법에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위논문, 2000. 2.
- [6] Michael G. Duncan, "Acoustic Emission Calibration Instrumentation", IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 3, June, 1989.
- [7] IEEE Std C57.127, "IEEE Trial-Use Guide for the Detection of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers", 2000.
- [8] C.D.Smith, "Substation monitoring by acoustic emission techniques", IEE Proc-Sci. Meas. Technol, Vol. 148, No. 1, Jan. 2001.
- [9] 고대식, "전자용회로집1", 도서산업사, 2000. 3.