

배전용 변압기 감시를 위한 온라인 데이터 취득 장치 개발

문종필\*, 김재철, 최준호, 김언석  
 숭실대학교 전기공학과

A Study of Developing the On-line Data Aquisition System for Monitoring the Distribution Transformer

Jong-Fil Moon, Jae-Chul Kim, Joon-Ho Choi, Oun-seok Kim  
 Dept of Electrical Engineering in Soongsil University

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

필스수 및 피크값을 측정한다. 측정된 값은 마이크로 프로세서에서 처리한 후 무선통신모듈을 이용하여 호스트 PC로 전송한다.

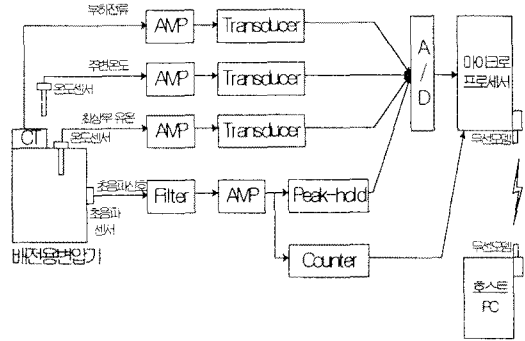


그림 1. 데이터 취득장치의 블록도

1. 서 론

전국에 산재되어 있는 배전용 변압기에서 사고가 발생하게 되면 수용가에 직접적인 정전 피해가 발생함은 물론 산업용 부하인 경우 정전사태로 인한 적지 않은 경제적인 손실까지 발생하게 된다. 따라서 배전용 변압기의 온라인 감시를 위한 연구가 필요하며 수많은 배전용 변압기의 상태 정보 및 진단 요소를 체계적으로 관리하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 배전용 변압기의 상태 감시를 위한 데이터 취득 장치 및 모니터링 프로그램을 구성하였다. 배전용 변압기에 부착된 데이터 취득 장치는 각 센서를 이용하여 변압기의 부하전류, 최상부 유온, 주변온도, 초음파 펄스 수, 초음파 피크(peak) 값의 데이터를 주기적으로 취득하며 또한 무선 통신을 이용하여 호스트 컴퓨터로 전송한다. 호스트 컴퓨터의 모니터링 프로그램은 데이터를 실시간으로 전송 받아 데이터를 구축하며, 또한 최상부 유온 및 주변온도 데이터를 이용하여 변압기의 수명 손실을 계산하였으며 계산된 수명 손실값은 변압기의 진단 요소로 이용할 수 있다.

2. 데이터 취득장치

2.1 데이터 취득 장치의 구성도

그림 1은 데이터 취득 장치의 블록도를 보여준다. 그림과 같은 장치를 이용하여 변압기의 상태정보를 실시간으로 측정할 수 있다. 즉, 온도센서(변압기 최상부 절연유 및 변압기 외부에 부착), CT(변압기 2차측에 부착), 초음파 센서(변압기 외함에 부착) 등을 변압기에 부착하여 최상부 유온 및 주변온도, 부하전류, 초음파 신호의

2.2 개발된 장치

그림 2는 본 연구에서 제작한 데이터 취득 장치를 보여준다. 데이터 취득 장치는 크게 온도 측정부, 전류 측정부, 초음파 측정부, 마이크로 프로세서부, 무선통신부로 나누어진다.

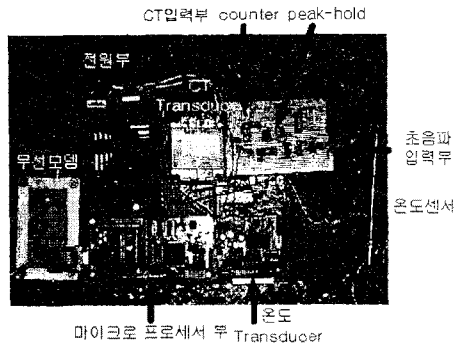


그림 2. 진단장치

2.2.1 온도 측정부

본 논문에서는 온도 센서로 Platinum Resistance Temperature Detector(Pt100-RTD)를 사용하였다. 사용한 RTD 센서의 온도 측정 범위는 -50[°C] ~ 200[°C]이며, Pt의 특성상 0[°C]에서 100[Ω]의 저항값 갖고 0.0039의 저항 계수를 갖기 때문에 1[°C]당 0.39[Ω]의 저항 변화를 갖는다. 따라서 센서 저항값의 범위는 80.5[Ω] ~ 178[Ω]이다. 센서의 저항값

을 A/D 입력에 맞는 전압으로 바꾸기 위해 Transducer를 제작하였으며, Wheatstone bridge를 사용하였다. 제작한 Transducer는 온도 변화에 따라 4[mA] ~ 20[mA]의 전류를 발생시키며 출력단에 정밀 저항(250[Ω])을 사용하여 1[V] ~ 5[V]의 전압으로 바꾸도록 하였다. 그림 3은 Wheatstone bridge를 보여준다.

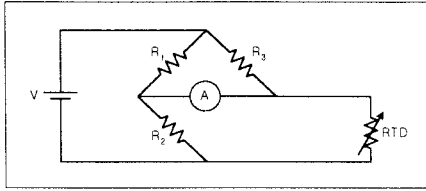


그림 3. 휘트스톤 브리지

### 2.2.2 전류 측정부

본 논문에서는 실험용 변압기로 22.9[kV]/115[V], 30[kVA]급의 변압기를 사용하였으므로 2차 부하전류는 정격 부하시 260[A] (30[kVA]/115[V])의 값을 가진다. 따라서 전류센서로 사용한 CT는 300[A]/5[A]를 사용하였다. 온도와 마찬가지로 CT 2차측 전류는 CT Transducer를 거쳐 1[V] ~ 5[V]의 전압을 발생시킨다. 이 전류 신호는 마이크로 프로세서에 있는 10비트 A/D의 입력으로 들어가게 된다.

### 2.2.3 초음파 측정부

초음파 센서는 협대역 센서인 SE150-MI 모델을 사용하였다. 초음파 신호에서 원하는 주파수대역만을 통과시키기 위하여 대역통과(bandpass)필터를 구성하였으며, 필터의 통과대역(passband)은 100[kHz] ~ 300[kHz]로 구성하였다. 또한 센서로부터 나온 작은 크기의 신호를 증폭하기 위한 앰프를 제작하였다. 앰프의 이득은 20[dB] ~ 60[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 초음파의 최대 값을 측정할 수 있게 하고 counter회로는 초음파 신호에서 일정한 이상의 신호수를 0[V]와 5[V]의 디지털 신호로 바꾸어준다. 이 신호는 마이크로 프로세서 내에 있는 카운터의 입력으로 들어간다. 다음 그림은 필터, 앰프, peak-hold, counter의 회로도이다.

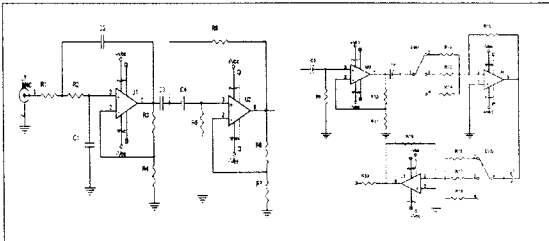


그림 4. 필터 및 앰프 회로도

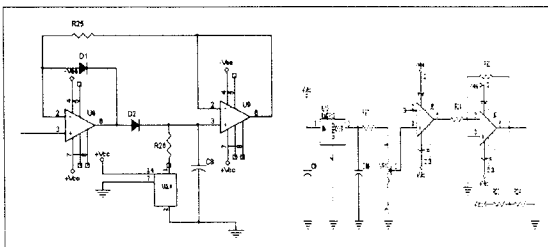


그림 5. 피크-홀드 및 카운터 회로도

### 2.2.4 마이크로 프로세서부

데이터 취득 장치의 마이크로 프로세서로는 16bit 칩인 INTEL 사의 80C196KC를 사용하였다. 마이크로 프로세서는 각 센서로부터 들어오는 아날로그 신호를 10 비트로 A/D 변환하여 디지털 신호로 바꿔 메모리에 임시 저장한다. 그 후 저장된 데이터 값들을 소프트웨어적으로 Calibration한다. 다음은 Calibration 식 및 각 파라미터이다.

$$\text{Data} = \text{Data}_{\text{measured}} \times K_1 - K_2$$

표 1. Calibration 식의 파라미터

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
온도	25 / 82	- 112.5
전류	10 / 27	- 78.9
초음파 피크값	9 / 500	- 3.432

각 데이터는 위의 식에 의하여 Calibration된 후 무선 RF 모듈을 이용하여 호스트 컴퓨터로 전송된다.

## 3. 모니터링 시스템

### 3.1 데이터의 구성

그림 6은 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.

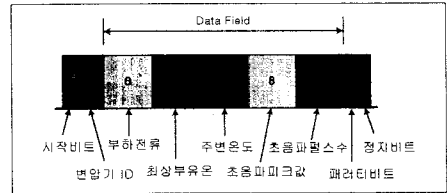


그림 6. 송수신 데이터의 구성

### 3.2 통신설정부

통신은 MS사에서 만든 Visual Basic의 Mscmm을 사용하여 구성하였다. 모니터링 프로그램을 기동하면 무선 통신을 설정하기 위한 창이 나타나게 된다.

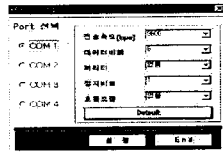


그림 7. 통신설정화면



그림 8. 모니터링 프로그램

본 시스템에서는 통신 프로토콜은 세계적으로 가장 널리 사용되는 고급 데이터 링크 제어(high-level data link control ; HDLC) 프로토콜에 준하여 작성하였다. 또한 전송 속도는 9600(bps)로 전송하도록 하였다. 그리고 에러 체크를 위한 패리티 비트 및 정지비트를 선택할 수 있도록 구성하였다. 그림 7은 통신을 설정하기 위한 화면을 보여준다.

### 3.3 모니터링부

통신을 설정하게 되면 그림 8과 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.

#### 4. 데이터베이스 구축

본 논문에서는 수많은 배전용 변압기로부터 얻어지는 데이터를 관리하기 위한 방법으로 데이터 베이스를 사용하였으며 데이터 베이스 설계단계는 그림 9와 같다.

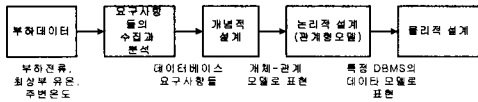


그림 9. 데이터 베이스 설계 단계

요구사항 분석은 한국전력공사에서 관리하고 있는 변압기 내역에 진단장치에서 취득된 데이터를 추가시켜 변압기 감시 및 진단에 필요한 데이터를 통합한 것이다. 통합된 데이터들에 대한 개체와 속성의 특성을 요약한 후 데이터 개체의 공동 속성으로 각 개체간의 관계를 개체-관계 모델로 표시하였다. 그리고 이 모델을 바탕으로 데이터 베이스를 구축하였다.

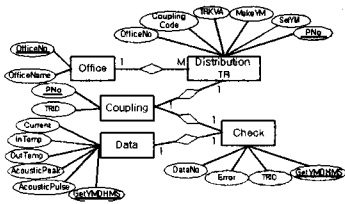


그림 10. DB 개체-관계 모델

#### 5. 진단기법 및 검증실험

##### 5.1 진단기법 - 수명손실비 계산

일반적으로 효율적인 변압기 진단을 위해서는 변압기 기준 수명에 대해서 변압기 운전에 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 수명손실비 V는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(4).

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

식 (2)는 현실적으로 최고 온점 온도를 측정하기 어려우므로 최고 온점 온도를 이용한 상대적 수명손실비를 최상부 유온을 이용하여 다시 표현한 식이 된다.

$$V = 2^{[\theta_h + \Delta\theta_T + Hg \cdot K^{1.6} - 98]/6} \quad (2)$$

여기서  $\theta_h$ 는 최고 온점 온도,  $\theta_a$ 는 주변온도,  $\Delta\theta_T$ 는

주변온도에 대한 최상부 유온 상승, K는 정격부하에 대한 현재 부하의 비, Hg,은 최고 온점에서 최상부 유온으로 열이 전달되는 동안에 발생하는 열발산계수이다.

#### 5.2 검증실험

개발된 데이터 취득 장치를 검증하기 위하여 반환부하법을 이용하여 실험해보았다(2). 실험은 6시간 30분 동안 75(%)의 부하를 인가하였다. 데이터 취득 장치는 실험실에 설치하였고 호스트 컴퓨터는 약 30[m] 떨어진 위치에 배치하였다. 반환부하법 실험 장비에 직접 연결된 계측기의 데이터와 진단 장치를 통해서 호스트로 전송된 데이터를 비교하였으며 그 결과는 그림 11에 나타내었다.

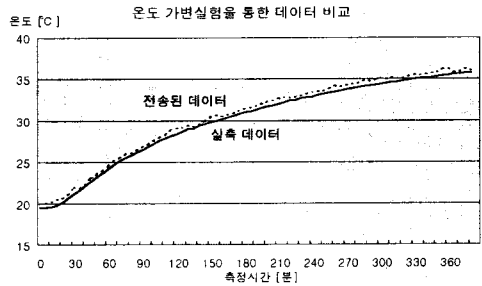


그림 7. 실측 데이터와 전송된 데이터의 비교

비교 결과 A/D 변환 과정에서 발생된 오차로 인하여 전송된 데이터가 실측 데이터보다 전체적으로 약간 높은 값을 나타내었으나 전체적으로 데이터를 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

#### 6. 결 론

본 논문에서는 배전용 변압기의 온라인 감시 및 진단을 데이터 취득 장치와 모니터링 프로그램을 제작하였다. 데이터 취득 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. 본 장치의 검증을 위하여 반환부하법을 이용하여 실험을 하였으며, 그 결과 신뢰할 수 있음을 입증하였다. 향후 본 장치의 현장 실증 실험이 필요하며, 또한 변압기의 온도와 초음파를 이용하여 변압기 상태의 종합적인 판단을 위한 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 이보호, "DSP를 이용한 추상변압기 tan δ 측정기법 연구 (최종보고서)", 기초전력공학공동연구소, 1996년 9월.
- [2] IEC Publication 354, Loading guide for oil-immersed power transformers, 1991.
- [3] 권동진, "초음파 경향분석에 의한 전력용 변압기의 예방진단에 관한 연구", 숭실대학교 박사학위논문, 1995년 6월.
- [4] 김동현, "상대 열화비를 이용한 배전용 변압기 진단 기법에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위논문, 2000년 2월.
- [5] Michael G. Duncan, "Acoustic Emission Calibration Instrumentation", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 3, June 1989.
- [6] 고대식, 전자용회로집1, 도서산업사, 2000년 3월.