

## CATV회선을 이용한 배전용 변압기 부하의 원격감시시스템 개발

박창호  
한전 전력연구원

### The Development of Distribution Transformer Remote Monitoring System using CATV Cable

Chang-Ho Park  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - This paper presents the process on the construction for the remote distribution pole transformer monitoring system. Especially, this system uses CATV cable as communication media which is located in KEPCO's main distribution line. It has four major components such as sensor for measuring secondary voltage and currents of distribution transformer, RF modem for data modulating/de-modulating, communication media for sending/receiving of data, and pc server for monitoring the results of sensing or computing information. This paper also describes the configuration of these each component's configuration and its functions.

#### 1. 서론

배전용 변압기 부하관리의 목적은 변압기에서 공급하는 부하의 크기를 파악하고 향후 배전 최대부하를 정확히 예측함으로써 종합적이고도 경제적인 운전 및 과부하에 의한 변압기 소손 사고를 미연에 방지하는데 있다. 배전용 변압기의 최대부하는 전동부하의 경우는 부하 [KW]와 사용량[KWh]의 강한 상관관계를, 동력부하의 경우는 최대부하와 부하설비 즉 계약전력[KW]의 비교적 밀접한 상관관계를 이용하여 부하를 예측함으로써 부하관리업무에 활용하고 있다. 그러나 이러한 통계적인 방법에 의한 부하관리는 최근 급변하는 수용가의 전력사용 패턴, 기후변화 및 상가, 주택가, 농어촌 등 다양한 전력 사용고객의 부하를 정확히 예측할 수 없다는 한계를 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 전동·동력 공용변압기인 3상4선식 변압기를 대상으로 배전 계통의 실 부하를 원격으로 직접 감시하기 위한 계측기 구성, RF(Radio Frequency)모뎀의 설계 및 제작, CATV전송로 구성, 상·하향 전송채널 확보, 통신 프로토콜 설계·개발, 응용 프로그램 개발 그리고 계측 데이터베이스 구축과정 등을 간략히 소개한다.

#### 2. 시스템의 구성

본 부하 원격감시시스템은 배전선로에 설치되어 있는 변압기의 전압, 각상 전류 등 실 부하를 측정하는 계측기와 취득된 데이터를 전송하는 통신장치, CATV 전송로 그리고 수집된 정보를 운용자에게 취득된 데이터를 가공하여 정보를 제공하는 통신 및 응용프로그램, 처리장치(서버)와 관리자 감시전용 PC 등으로 구성되어 있다. 또한 시범적용 지역으로는 상가, 사무실 등 부하밀집 지역이며 한전에서 CATV전송망을 공급하고 있는 서울 중부지점의 관내 20개소의 3상4선식 결선 변대주를 다음과 <표 1>와 같이 선정하였다.

변압기용량(KVA)			설치 개소	결선방식	비고
A	B	C			
100	100	100	7	3상4선 220/380-Y	
75	75	75	6	"	
75	50	50	1	"	
50	50	50	1	"	
50	30	30	1	"	
30	30	30	3	"	
20	20	20	1	"	
합계			20		

표 1 3상4선식 결선 표본변압기 선정

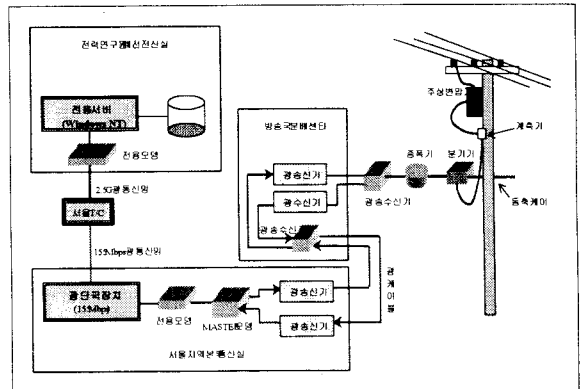


그림 1 배전용변압기 원격감시시스템 구성도

또한 계측기에서 취득되는 데이터는 매 1, 5, 10, 15, 30 분 또는 운용자의 요청에 따라 계측되는 변압기 2차측 각상의 전류 및 전압 등이며 이는 다음 <그림 1>에서 보는바와 같이 각 방송국 분배 센터의 광 송·수신기와 사내 전용회선을 거쳐 9,600BPS의 전송속도로 전력연구원 서버로 전송된다. 데이터 전송은 CT 및 AC Voltage 계측 → DC변환 → A/D Converting → CPU ↔ RF Modem ↔ Mixer ↔ 전송로 ↔ 서버 등의 경로를 통해서 이루어지며 수신된 데이터는 감시대상 지역의 이미지 도면 위에 변압기의 이용률 계산, 각상 불평형을 계산, 부하전력, 전력량 값을 계산하여 표시된다.

#### 3. 계측장치

원격감시 대상 3상4선식 변압기의 전압, 전류 등 배전부하를 직접 취득토록 하기 위해 전용의 계측기 및 CATV전용모뎀을 다음과 같이 별도로 설계·제작하였다.

##### 3.1 원격감시용 계측장치의 구성

원격감시를 위한 계측기는 전압, 각 상 전류를 취득하는 계측부, 측정된 AC값을 DC로 변환하고 이를 이진

부호화하는 변환부, 데이터를 수신 및 전송을 담당하는 전송부로 구성된다. 다음 <그림 2>은 3상4선식 결선 변압기의 원격감시를 위해 제작된 계측기 및 CATV를 통한 데이터 송·수신용 RF(Radio Frequency)Modem의 각 구성별 블록다이어그램이다. 또한 각 상의 전류를 계측하기 위한 CT는 최대 1000A까지의 변압기 2차 전류를 측정할 수 있으며 외부에서 부착하기 용이한 후크(Hook)형태로 제작하였다. 또한 저압전압(220V)의 계측을 위한 AC입력전압은 전압감시와 동시에 본 계측기의 동작전원으로도 사용할 수 있도록 구성하였으며 본 계측기의 핵심부품인 CPU는 8Bit Microprocessor로서 미 Intel사의 89C2051 Chip을 사용하였다.

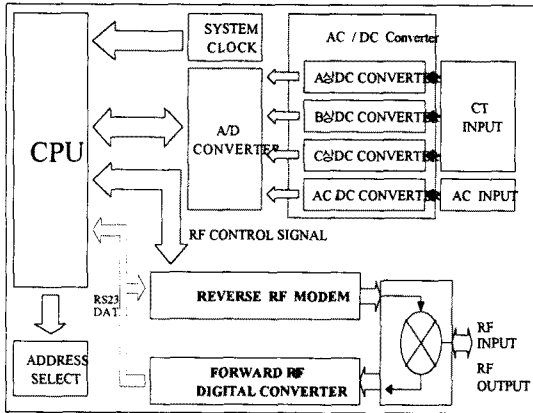


그림 2 원격감시용 계측기 블록 다이어그램

### 3.2 CT 특성

일반적으로 CT는 1차측에 흐르는 전류에 의해서 유기되는 2차측 전압 값에 일정한 계수를 곱하여 1차측 전류를 환산한다. 각상 전류의 계측 값은 1차측 각상 전류에 대한 2차측 유기전압의 이진 값을 서버로 전송하고 응용프로그램에서 이 값에 CT특성에 따른 배율을 곱하여 환산함으로써 얻는다. 따라서 CT의 특성을 파악하기 위해서는 1차측에 단계별 전류를 인가함으로써 2차측에 유기되는 전압과의 상관관계를 구하는 것이 필요하다. 본 시스템에서는 CT 1차측에 0A~800A의 전류를 인가하고 2차측 유기전압을 측정함으로써 계측기에 부착된 CT1차 전류와 2차 단자전압과의 회귀함수를 구한 결과  $y = -0.0003x^2 + 0.9513x + 32.697$ 로 나타났으며 표본결정계수는 0.9979로써 높은 적합도를 나타냈다. 이는 다음 <그림 3>과 같은 선형특성을 갖는 2차 함수 그래프를 작성할 수 있다.

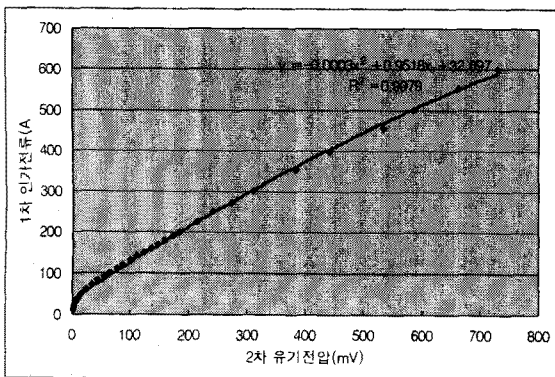


그림 3 CT특성 그래프

1차측 인가전류(A)	A상전류 계측값(mV)	B상전류 계측값	C상전류 계측값
10.4	1	1	0
20.6	3	3	2
31	5	7	6
40.9	9	12	11
50.9	14	18	16
60.8	18	26	23
71.2	23	35	31
80.4	41	45	40
90.7	51	55	50
100	61	65	60
110	66	77	70
120.4	70	87	81
131.1	82	99	92

표 3 변류비 측정데이터(1)

1차측 인가전류(A)	A상전류 계측값(mV)	B상전류 계측값	C상전류 계측값
141.5	92	111	104
150.4	99	123	115
160.4	116	136	127
169.6	134	147	138
180	151	159	152
190.7	150	174	165
200.5	160	185	176
227.2	-	215	-
251	-	244	-
271.5	-	274	-
302	-	311	-
353.6	-	386	-
397	-	442	-
455	-	534	-
500	-	586	-
552	-	662	-
600	-	730	-

표 4 변류비 측정데이터(2)

## 4. 통신

원격시스템의 가장 중요한 요소는 계측기로부터 운전자 서버에 계측된 데이터를 전송하는 통신매체이다. 본 시스템에서는 대도시 배전선의 약 60%이상에서 시설되어 있는 한전의 CATV회선망을 송·수신을 위한 전송매체로 활용하였으며, 시범시설지역으로는 상가, 사무실 등 부하밀집지역인 한전 중부지점 관내 배전선을 선정하였다. 중부지점 관내 한전에서 CATV회선을 이용하여 초고속 멀티미디어, 케이블TV전화, 라인보우 시스템 등 부가가치서비스를 준비하고 있는 지역이며, 향후 CATV회선망을 활용하여 사내 전력설비관리업무와 기존 부가가치서비스 업무와 병행할 수 있도록 배전부하 원격감시용 상향 및 하향 주파수대역을 배정하여 활용하였다.

### 4.1 프로토콜

현장에 설치되는 배전용 변압기 부하감시용 계측기마다 각각 1 Byte 크기의 고유Address를 부여하였으며 서버에서는 <그림 6>과 같은 구조의 Event를 발생시켜 하향채널로 전송하고 서버로부터 전송된Address와 일치하는 ID를 갖는 계측기에서는 상향채널을 이용하여 <그림 7>과 같은 구조의 계측데이터를 전송한다. 송·수신시 전송Error Check 방법은 좌측에서 우측방향으로

1Byte단위로 XOR(Exclusive OR)값을 계산하여 최종 Byte에 값을 저장하고 수신 측에서 전송된 값과 수신 후 계산된 값을 비교하는 방식으로 처리하고 있으며 값이 틀릴 경우인 데이터전송Error 발생 시에는 5회의 Retry를 시도하도록 설계하였다.

인식자(K)	ID	XOR
1	1	1

표 5 하향시 전송화일 구조

인식자(H)	ID	A상전류	B상전류	C상전류	전압	XOR
1	1	2	2	2	2	1

표 6 상향시 전송화일 구조

#### 4.2 CATV 채널 주파수

서울 종로·중구 전지역은 한전이 자사에서 보유하고 있는 배전선 전주를 이용하여 100% CATV전송망 사업을 시행하고있는 지역이다. 또한 이 지역은 위에서 설명한 바와 같이 다양한 부가가치서비스를 시행하거나 시행할 예정으로 있어 배전부하 상시감시를 위한 CATV회선의 주파수 대역을 배정하는데 있어서 타 시스템에 잡음 등 영향을 주거나 받지 않는 상·하향 주파수대역을 활용해야 한다. 따라서 본 시스템에서는 한전 내 관련 부서의 협조를 얻어 이러한 서비스와 주파수 간섭을 받지 않도록 다음과 같이 선정하고 주파수 및 데이터 전송시험을 실시하였다.

- 하향 주파수대역 : 133.35Mhz ±50KHz
- 상향 주파수대역 : 28.1Mhz ±50KHz

#### 4.3 계측값의 1차 환산

##### 4.3.1 각 상 전류 계산 및 환산

데이터 서버에서 각 상 전류의 계산을 위한 함수식은 CT의 특성곡선에 따라 0~110A와 120A~600A로 구분하여 다음 <표 7>와 같이 나타낼 수 있으며, 이를 그래프로 표시하면 다음 그림과 같다.

1차전류 범위	함수식	결정계수 ( $R^2$ )
0 ~ 110A	$y = -0.0101x^2 + 1.9786x + 14.955$	0.9906
120A ~ 600A	$y = -0.0001x^2 + 0.837x + 49.918$	0.9997

표 7 구간별 함수(y:변압기 2차전류, x:서버 수신 값)

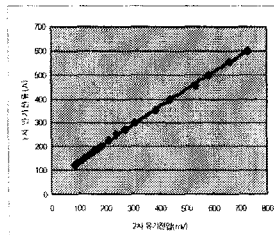
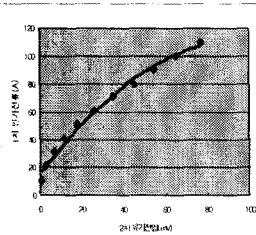


그림 4 0~110A CT특성    그림 5 120A~600A CT특성

따라서 각 구간별 변압기 2차 측 전류 값의 계산은 서버 측에서 수신된 값(x)을 상기의 일정한 함수에 대입하여 각 상 전류 값(y)을 산출해 낼 수 있다.

##### 4.3.2 전압 계산

변압기 2차 측 전압(기준 값 220V)은 다음 식에 의해

서 계산될 수 있다.

$$y = ax \times b$$

여기서, y : 환산전압, x : PC서버수신 측정전압 값  
a : 12Bit A/D 컨버터 1의 변동값, 0.00122  
b : 기준220V시 DC4.5V의 비율, 48.88888889

### 5. 응용프로그램 개발

#### 5.1 개발환경 및 시스템 사양

배전부하 담당부서에 설치되는 운용자 용 PC서버 및 관련 부서의 감시용 PC는 다음과 같은 사양 이상을 갖고 있다.

- 개발환경
  - 개발언어 : MS C++
  - DBMS : MS ACCESS
  - 운영체제 : Windows NT
- 시스템 사양
  - 주 서버 : 펜티엄급 PC 133MHz
    - 주 메모리 : 64MB
    - 외장 모뎀 : 9600BPS이상
    - 운영체제 : Windows NT
    - 내장LAN카드 16bit
  - 감시용 단말 : 486급 PC 150MHz이상
    - 주 메모리 : 32MB
    - 운영체제 : Windows'95
    - 내장LAN카드 16bit

#### 5.2 시스템 구성

본 시스템은 다음 <그림 6>과 같이 데이터를 취득하여 화면에 운전 및 감시정보를 표시하고 취득된 데이터를 DB에 저장하며 시스템 관리기능 및 사용자 제어기능 등을 수행하는 메인 서버와 변압기의 상태감시 전용의 사용자PC로 구성되어 있다.

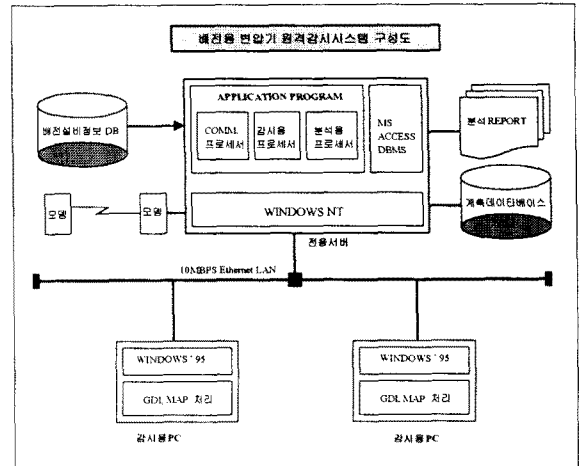


그림 6 원격감시시스템의 네트워크 구성

#### 5.3 지형정보의 표시

변압기 운전 및 고장상태를 효과적으로 감시할 수 있도록 하기 위하여 변압기의 전압, 전류 값 현황, 변화추이 및 이상상태 등을 대상지역의 지형도 위에 표시하는 이미지 도면의 합성프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 <그림 7>과 같이 전자도면 위에 각 좌표별로 감시노드를 표시할 수 있으며 고장발생지역을 상세히 볼 수 있도록 화면 확대/축소 기능을 갖고 있다. 그림에 표시된 도면은 각 계측기 2대가 설치된 한전 중부지점에서

관리하는 서울 종로·중구지역을 나타낸다.

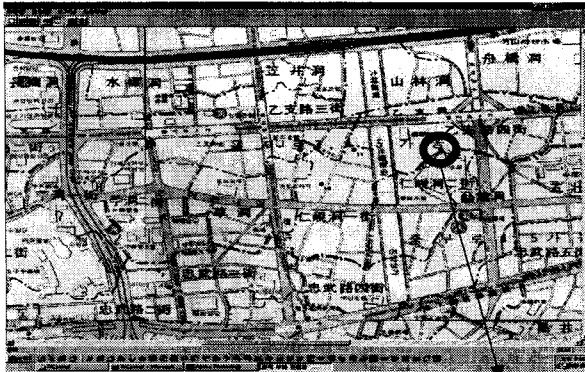


그림 7 감시대상지역의 지형정보 표시 감시노드

### 5.4 데이터베이스 구성

데이터베이스 관리시스템은 사용방법 편이, 호환성, 속도, 가격 등을 고려하여 MS ACCESS DB를 채용하였다. 데이터베이스의 저장은 각 계측기 ID별로 1~10분 단위로 발생되며 데이터베이스 테이블은 다음 <표 8>과 같다.

ID	전류			전압	변압기 이용율	전류 불평형율	부하 전력
	A상	B상	C상				
xxxx	999	999	999	999	xxx.x	xxx.x	xxxx

표 8 계측 데이터베이스 테이블 구조

또한 한전에서 운영중인 저압부하관리 전산시스템의 배전설비 정보로부터 추출한 해당 계측기 설치 변대주 사양 및 수용가 정보를 다음<표 9>와 같이 데이터베이스화하였다.

계측기 ID	변대주 번호	수용 호수	수용가 번호	계약 종별	전·동 구분	변압기 용량
x(4)	x(11)	x(3)	x(19)	x(3)	x(1)	x(3)

표 9 감시 변대별 수용가 정보 테이블

### 5.5 주요 처리기능

전압, 전류의 표시기능 이외에 취득된 전압 및 각상 전류를 이용하여 배전부하의 관리에 필요한 변압기 이용률, 전류 불평형율, 부하전력, 적산전력량 등을 계산할 수 있으며, 데이터의 변화추이를 통하여 해당변압기의 부하증가를 계산, 배전 부하예측업무에 활용할 수 있다.

처리기능	설명	비고
부하전력 계산기능	각 변압기 결선별로 부하전력계산 및 표시	$\sqrt{3} VI \cos \phi$
적산전력량 계산기능	1~10분단위의 전력값의 누적치를 시간단위로 표시	
전류 불평형율 계산기능	각상 전류 및 상간 전류 불평형 상태 표시	
변압기 이용율 표시	변압기 운전이용율의 표시	실부하(KVA) 설비용량(KVA)
과부하 변압기 표시 및 경보기능	변압기이용율의 사전설정 값 이상으로 운전되는 변 압기의 표시 및 경보기능	
정전 표시기능	변압기 정전 정보표시	

표 9 시스템 처리기능

## 6. 결 론

한전은 CATV(Cable TV)의 전송망 사업자로써 전국적으로 금장 32만Km에 달하는 배전선과 580여 만 기수에 달하는 지지물을 기반으로 하여 전국 대도시의 60% 이상의 지역에 Cable회선을 제공하고 있다. 최근에는 기존에 시설된 방대한 전송설비를 활용하여 인터넷 활용, 인터넷 국제전화, VOD(Video On Demand)서비스 등 다양한 부가서비스를 시도하고 있으며 일부사업은 이미 특정지역을 중심으로 시범실시 중에 있다. 본 배전 변압기 부하의 원격감시시스템은 배전부하의 관리차원에서 이러한 한전보유 자가통신망인 CATV회선을 이용하여 배전용 변압기의 부하를 직접 감시하기 위한 20대규모의 감시용 계측기를 제작하고, 이를 현장에 설치하여 취득된 데이터를 배전 저압부하 관리업무에 활용할 목적으로 개발 중에 있다. 현재 한전 중부지점내의 3상4선식 변압기에 부착 완료하여 CATV회선을 통한 전송시험 중에 있으며 시스템개발은 '98. 6월까지 개발 완료하여 '98. 7월부터 시험운영에 들어갈 예정이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 박창호 외 "주상변압기 부하관리개선에 관한 연구 중간보고서", 전력연구원, pp.23~24, pp.71~72, 1998
- [2] 하복남 외 "국산 배전자동화 시스템 실계통 실증연구 최종보고서", 전력연구원, pp.303~332, 1997