

PCS방식을 이용한 배전용 변압기 부하관리기법에 관한 연구

°김훈\*, 김동현\*, 윤용한\*, 김재철\*, 추동욱\*\*, 김언석\*\*\*  
 \*숭실대학교 전기공학과 \*\*경문대학 전기공학과 \*\*\*한국전기연구소

A Study on the Load Management Method for the Distribution Transformers using PCS(personal communication service)

°Kim, Hun\* Kim, Dong-Hyun\* Yoon, Yong-Han\* Kim, Jae-Chul\* Chu, Dong-Wook\*\* Kim, Oun-Seok\*\*\*  
 \*Dept. of E. E., Soongsil University \*\*Dept. of E. E., Kyungmoon College \*\*\*KERI

**Abstract** - In this paper, we present the method to determine the insulate deterioration of transformers sticking the temperature sensor to the distribution transformers and analyzing the trend of temperature. And we present the method to make economical on-line system using the PCS and RF modem instead of the conventional method of measuring the data by manager. Also we deal with the method to make database for the distribution transformers.

1. 서 론

지역과 계절에 따른 부하특성을 주기적으로 조사하여 그에 적합한 관리를 하지 않는다면 정확한 주상변압기의 최대부하를 예측할 수 없다. 이로 인한 부하불평형 또는 과부하에 의한 변압기 소손 등으로 변압기 관리가 비경제적, 비합리적으로 이루어질 수밖에 없으며 수용가에 양질의 전력을 안정적으로 공급해야 하는 서비스를 할 수 없다. 한편, 산업의 발달과 함께 도시의 과밀화 현상 및 전력 소비의 급속한 증가로 인한 수요변화 추세에 효율적으로 대처하기 위해서는 증가 추세의 정확한 경향 분석 및 부하 예측이 절실히 요구되고 있다. 배전시스템에 있어서 말단에 위치한 일반 저압 수용가의 전원은 주로 소용량의 주상변압기를 통하여 공급되고 있으며 98년 11월 통계자료에 의하면 약110만대의 변압기가 전국적으로 산재되어 있고 부하의 특성도 각기 다양하기 때문에 이에 대한 합리적인 관리가 어려운 실정이다 [1][4].

그러므로 배전용 변압기의 부하관리가 절실히 요구되지만 중·소규모 도시에서 부하관리를 하기 위해서 고가의 부하관리기를 도입하는 것은 매우 곤란함으로 이를 대상으로 한 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 또 기존의 부하관리기는 사업소 담당자가 지급된 노트북 PC를 이용하여 월별, 부하관리기별 매 10분마다 기록된 데이터를 사람이 취득해서 사내망 또는 공중망을 이용하여 데이터베이스 서버로 기록된 데이터를 보내 데이터베이스를 구축하고 있다. 하지만 널리 산재되어 있는 변압기의 기록된 데이터를 직접 사람이 점검한다면 많은 인원과 경비가 소비된다. 그리고 사고를 미연에 예지하지 못하므로 부하관리기를 설치한다 하더라도 과부하로 인한 변압기 소손사고 또는 변압기 이상상태를 알 수 없다.

그러므로 본 논문에서는 변압기에 온도센서를 추가하여 온도를 정확히 측정하여 사용연수에 따른 변압기 오일 온도 상승수치 비교를 통해 변압기의 절연열화를 판단하고 변압기 수명을 예측할 수 있는 방안에 대해서 연구하였다. 그러면 현재의 변압기 관리방안인 시간기준법(TBM : time based method)방법으로 변압기의 잔이수리, 중수리, 교체시기를 정하였지만 위와 같은 연구가 선행된다면 상태기준법(CBM : condition based method)에 의해 변압기의 수리 및 적정 교체시기가 결정될 수 있을 것이다. 또한 부하관리를 경제적인 온라인 시스템으로 구성하기 위해서 무선 RF(radio frequency)모뎀과 PCS(personal communication service)를 이용한 시스템 구성 방안에 대해 연구하였다.

2. 부하관리기의 기능

2.1 실부하 측정용 계측기

수용가에 전력을 공급하고 있는 주상변압기는 전국에 산재되어 최대부하전류를 실측하기 위해서는 많은 인력과 예산이 소요되어 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 그러므로 전력연구원에서는 다음과 같은 목적으로 부하관리기를 개발하여 시범적으로 운영하였다.

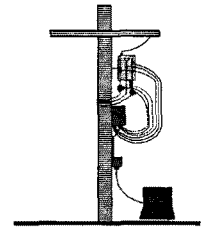


그림 1. 부하관리기

그림 1은 현재 개발된 장치로써 주상변압기의 부하 상관계수를 산출하기 위한 최대전류와 적산전력량을 측정, 기억하는 장치로서 주상변압기의 2차측에 일정기간 동안 전압 및 전류 검출용 센서를 설치하여 최대전압과 전류 및 적산전력량 등을 측정하여 자체 메모리에 저장해 두었다가 통신선으로 휴대용 PC에 연결하여 기억된 자료를 수집하여 PC에서 부하상관계수를 산출하게 할 수 있는 주상변압기 부하관리기에 관한 것이다[1].

2.2 개선되어야 할 사항

현재의 부하관리기는 담당자가 노트북 PC를 가지고 이동하면서 데이터를 수집함으로써 많은 인원과 경비가 소요된다. 또한 측정된 데이터를 다시 상용화된 데이터 형식으로 변환해서 데이터베이스화해야 하는 단점이 있다. 그리고 변압기 과부하로 인한 이상신호를 미연에 감지하지 못하므로 측정된 데이터를 경제성이 고려된 온라인 시스템으로 구성함으로써 변압기 이상을 미연에 예지하여 사고를 예방할 수 있는 방안이 필요하다. 그리고 최근 가전제품 중 소비전력이 큰 에어컨과 같은 냉방기기의 빠른 보급 등 소비경향의 급속한 변천으로 변압기의 일부부하곡선에 커다란 변화를 가져왔다. 따라서 이런 변화를 예측하기는 변수가 많기 때문에 온라인 감시는 더욱 필요하게 되었다.

또 변압기에 온도센서를 부착하여 온도경향을 분석함으로써 변압기 소손사고 예방 및 변압기 절연열화 정도를 파악함으로써 변압기의 수리 및 적정변압기 교체시기도 논의 될 수 있고 측정된 데이터가 변주별 실시간 데이터베이스화된다면 효율적이고 종합적인 부하관리가 될 것이다.

3. 제안한 부하관리기법

3.1 배전용 변압기 절연열화

현재 대용량 변압기의 경우 부분방전 측정법이나, 유중가스분석법 등 절연열화 진단 연구가 활발히 진행되고 있고 일부 실용화 단계에 있으나 주상 및 지상변압기에 위의 진단장치를 부착하는 것은 경제성 측면에서 타당하지 않으므로 경제성이 고려된 배전용 변압기의 진단알고리즘 개발 및 연구개발이 요구되고 있다.

그림 2에서 보듯이 97년도 총 고장건수는 2천3백73건으로 각 설비별로는 발전설비 61건, 송전설비 47건, 변전설비 32건, 배전설비 2천2백33건으로 집계됐다. 고장 원인별로는 외물접촉 561건, 자연열화 480건, 일반인의 고의적 과실 325건, 고장파급 258건, 뇌격 206건 등으로 나타났다. 특히 배전설비의 고장율이 많고 고장

원인별로는 자연열화가 외물접촉 다음으로 많음을 알 수 있다.

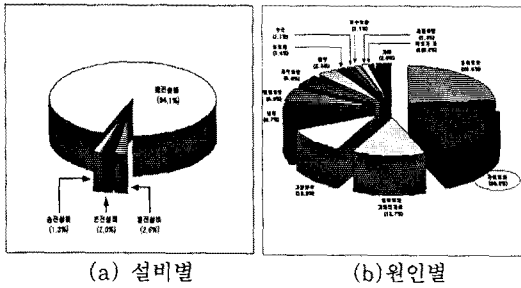


그림 2. 1997년도 전기고장 통계발표

표1은 100kV이하 변압기 사고분포를 나타낸 것이다. 표는 한전에서 조사된 단상변압기를 대상으로 한 97년도 사고통계이다[2].

표 1. 100kV이하 변압기 사고 분포

	제직 불량	자연 열화	과 부하	나뉘	과열	폭우	보수 및 시공불량	불명	기타	계
건수	297	1,032	1,564	2,888	274	127	91	107	381	6,761
점유율 [%]	4.4	15.3	23.1	42.7	4.1	1.9	1.3	1.6	5.6	100

배전용 변압기의 열화원인을 분석하고 이에 맞는 진단법을 적용시켜 주기적인 변압기 상태 파악이 중요하다. 또 변압기의 수명은 가속한 운전이나 불충분한 보수, 점검 등에 의해서 현저하게 단축되지만 수명에 제일 큰 영향을 주는 것은 그 절연물이 받는 온도이다. 그러므로 변압기의 온도를 정확히 예측한다면 과부하로 인한 변압기 소손사고를 미연에 알 수 있고 과부하나 운전온도 데이터분석을 통하여 변압기 수명을 판정할 수 있을 것이라 생각된다. 또 통계적 데이터에 의한 사용년수에 따른 오일 온도 상승치 비교 분석을 통하여 변압기 절연 열화의 정도를 파악할 수 있을 것이다.

### 3.1.1 부하율에 따른 절연유 온도 상승 분석

그림 3은 제조업체별 변압기 절연유 온도 상승치를 나타내고 있다. 부하율에 따라 온도 경향이 현저히 차이가 나고 있다. 변압기의 과부하 운전은 내부온도 상승으로 이어지고 급격한 수명단축과 함께 변압기 소손사고로 이어진다[3][4].

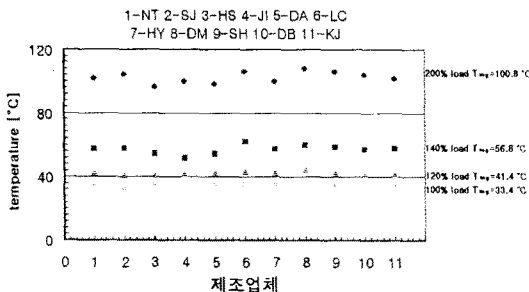


그림 3. 제조업체별 최상부 절연유온도 상승 분석

### 3.1.2 사용년수에 따른 절연유 온도 상승 비교

그림 4는 사용년수에 따른 변압기의 오일 최상부의 온도를 나타내고 있다. 동일한 부하율에서 사용년수에 따라 그 온도상승 값은 증가하고 있으며, 10년 이상의 경과품은 경계부하에서도 온도 상승 규제치 50(°C)이상 임을 알 수 있다[3][4]. 또 부하율 120[%]에서 신품 변압기, 5년이 경과된 변압기, 11년이 경과한 변압기를 살펴보면 온도차가 약 10(°C)정도 차이를 보이고 있다. 그러므로 변압기의 온도를 정확히 예측하여 통계적 데이

터가 확보된다면 변압기 절연유 열화 판정을 할 수 있을 것이다[4].

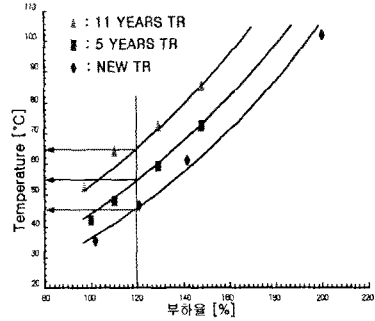


그림 4. 사용년수에 따른 절연유 온도 상승 비교

하지만 변압기 내부에 온도센서를 부착할 수 없으므로 변압기 외합의 온도와 주위온도와의 상관관계 연구와 변압기 절연유 열화와 절연유의 온도와 통계적 데이터가 확보되어야 한다. 이러한 연구가 선행된다면 변압기의 과부하로 인한 이상판단과 함께 변압기 수리 및 변압기 적정교체시기도 논의 될 수 있을 것이다.

## 3.2 온라인 시스템 구축의 필요성

현재 배전용 변압기 관리는 사후조치만 하고 있는 실정으로 일정주기마다 시행하는 간이수리와 중수리에 의하여 변압기 상태를 확인하여 사용하고 있으나 관리자의 판단에 의해 일정 주기마다 변압기를 전주로부터 철거해야 하므로 정전 상태 및 관리비용의 증대를 수반하게 된다. 이러한 방법과는 달리 최근에는 실시간 데이터를 주기적으로 원격 취득하여 부하를 직접 감시할 수 있는 시스템 구성을 시도하고 있으며 이러한 시스템을 경제적인 방법으로 구성할 수 있으면 배전용 변압기의 정확한 부하상태 파악, 과부하로 인한 변압기 소손사고 예방, 변압기 수리 및 적정교체시기 파악 등에 의한 최적의 운영을 위해 가장 효과적인 방법이 될 것이다.

### 3.2.1 무선통신방식의 검토

1970년대 들어서면서 RF기술이 발전되면서 다양한 아날로그 무선기기가 등장하기 시작하였고, 1980년대 후반에 들어오면서 VLSI기술이 밀받침 된 디지털 무선통신의 발달로 주파수 재활용 기술의 개발, 무선채널의 품질향상, 무선시스템 구축비용의 저렴화 무선통신에 대한 제약의 완화 등 무선통신 장치가 본격적으로 개발되기 시작하였다[5].

무선통신망은 유선통신망에 비해 신뢰성은 떨어지나, 설치 및 망의 구성이 쉽고 초기 구축비용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 최근 무선통신기술이 급격히 발달하고 보편화되고 있어 경제적인 부하관리기의 구현에 무선방식을 이용한 연구가 필요하게 되었다.

그러므로 본 논문에서 무선 RF모뎀과 PCS방식을 이용하여 경제적인 온라인 시스템구축 방안을 제시하였다.

### 3.2.2 무선 RF모뎀을 이용한 통신방식

그림 5는 무선 RF모뎀을 이용한 통신방식이다. 변압기의 부하관리기에서 주상 및 지상변압기에서 전류와 온도를 계측한 다음 무선 RS-232C방식으로 배전용 변압기의 고유번호, 온도 및 전류값을 전송하도록 하였다. 그림과 같이 연결된 배전용 변압기는 자신의 정보를 다음 배전용 변압기에 전달하고 다음 배전용 변압기는 자신의 정보와 전달된 정보를 다음 배전용 변압기로 정보를 전달하는 통신방식을 제안하였다. 부하관리기의 정보는 상시로 정보를 주고받을 필요가 없으므로 그림과 같은 통신방식으로 데이터 전송거리를 장거리로 구성할 수 있었다.

또 변압기의 과부하로 인한 이상 발생시 호스트에 이상 보고를 할 수 있도록 구성함으로써 변압기의 과부하로 인한 소손사고를 미연에 방지할 수 있도록 구성하였다.

무선 통신모뎀은 UHF(400(MHz) - 470(MHz))대의 주파수로 최대 출력은 10(mW)이다[6]. 현재 무선 RF모뎀의 허가 없이 사용할 수 있는 최대출력은 10(mW)

로 제안되어 있다. 그러므로 장거리 데이터 전송을 하기 위해서 그림 5와 같은 전송방식을 채택하게 되었다.

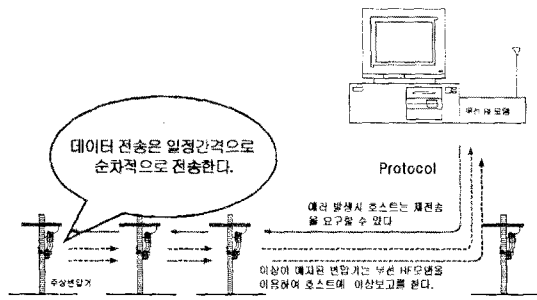


그림 5. 무선 RF모형을 이용한 통신방식의 구성

### 3.2.3 PCS를 이용한 이상보고

무선 RF모형을 통해 데이터 전송이 이루어지고 호스트 컴퓨터에서는 변압기에 이상 발생시 PCS의 SMS (short message service)를 이용하여 관리자에게 이상보고를 할 수 있는 방안을 제시하였다.

그림 6은 PCS를 이용한 이상보고의 구성을 보여주고 있다.

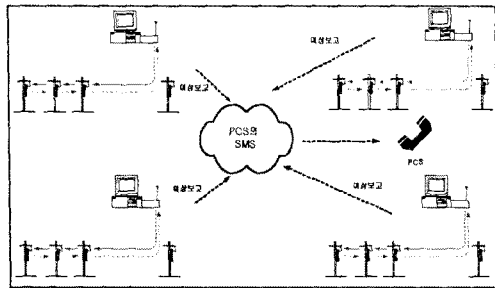
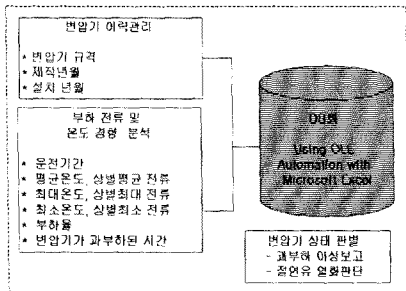


그림 6. PCS를 이용한 이상보고의 구성

그림과 같이 상시에는 변압기 정보를 호스트 컴퓨터로 전송하고 호스트 컴퓨터는 데이터를 분석하여 변압기 이상신호를 관리자에게 변압기 이상정보를 문자메시지를 통해 알려주도록 구성하였다.

PCS에서 제공되는 단문서비스의 사용은 이상발생보고(exception report)를 채택함으로써 빠르게 변압기 문제점을 감지할 수 있으며 효율적인 운용이 가능하다. 현재 PC상에서 단문 메시지 서비스는 망 사용료가 없으며 소프트웨어에서 간단히 구성할 수 있다. 프로그램 상에서 e-mail을 통해 PCS로 단문 메시지를 보내 변압기 이상정보를 관리자에게 통보를 할 수 있도록 구성해 보았다. 현재 PCS 단말기는 번호당 개별적인 인터넷 계정을 부여받는다. 또한 위와 같은 방식의 연구가 선행된다면 다른 온라인 시스템에도 적용할 수 있을 것이다.

### 3.3 배전용 변압기의 데이터베이스화



Host  
그림 7. 호스트 컴퓨터의 구성

각 변압기는 전류와 온도데이터를 RF모형을 통해서 호스트로 데이터를 전송한다. 호스트 컴퓨터는 시리얼 데이터를 전송 받아서 실시간으로 데이터베이스화하는 방안을 제시하였다.

통신프로그램은 Microsoft사에서 제공하는 Mscomm을 사용하였으며 전류와 온도를 환산하여 운전시간, 평균 온도 전류, 최대 온도 전류, 최소 온도 전류, 부하율, 과부하된 시간을 필드로 저장하고 변압기정보를 테이블로 작성한다. 여기에서는 Visual Basic의 OLE (object linking & embedding)를 사용하여 실시간 데이터베이스를 가능하게 하였다(7).

## 4. 시스템 구성

그림 8은 전반적인 시스템 구성을 보여 주고 있다. 그림과 같이 구성함으로써 변압기 정보를 일정시간 간격으로 측정하여 데이터베이스화하고 이상 발생시 PCS의 단문서비스를 사용하여 관리자에게 이상 보고를 할 수 있도록 구성함으로써 종합적인 관리가 되도록 구성하였다.

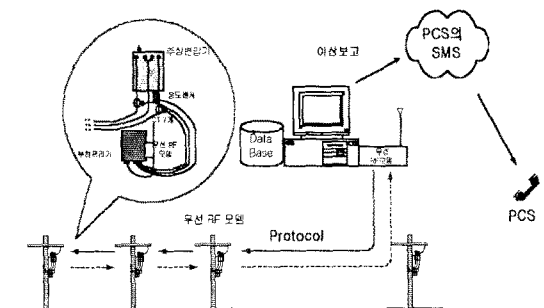


그림 8. PCS를 이용한 부하관리 시스템 구성

## 5. 결 론

부하관리는 변압기에서 공급하는 부하의 크기를 정확히 파악하여 최대부하예측 및 수송가 부하특성 파악을 목표로 하고 있다. 본 논문은 변압기의 온도를 계속하여 분석함으로써 과부하로 인한 변압기 소손을 예방하고, 절연유 열화에 의해 온도경향이 다르다는 것을 이용하여 배전용 변압기의 절연유 열화 진단의 가능성을 제시하였다. 그리고 현재 110여만 대에 이르는 변압기를 관리하기 위해서는 많은 인력과 예산이 소요되므로 변압기의 정보를 주기적으로 원격 취득하여 부하를 직접 감시할 수 있는 온라인 시스템 구축방안에 대해서 연구하였다.

본 연구에 있어 선결되어야 할 과제는 배전 부하의 최적관리를 하기 위해서 적정규모의 시스템 및 서버의 구성설계, 통신방식, 프로토콜의 설계 및 데이터 취득 간격의 설정 등 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

본 논문은 정보통신분야 우수학교 지원사업으로 이루어진 연구입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구(최종보고서)", 1999. 2.
- [2] 전기안전공사, "3차원 해석에 의한 유입기기 무전전 진단 기법 연구", 1997.
- [3] 한국전력공사 기술연구원, "동적 모델에 의한 지중배전선로의 열적 용량 평가에 관한 연구", 1993. 11.
- [4] 김재철 외, "무선통신망을 이용한 배전용 변압기 부하관리기법에 관한 연구", 대한전기학회 춘계 학술대회 논문집, pp.127-129, 1999. 5.
- [5] 김명수 외, "무선통신망을 이용한 배전자동화시스템의 구성", 전기학회지, 47권 9호, pp.37-43, 1998. 9.
- [6] 전자기술, "와이어리스 데이터 전송 기법", 10권 6호, pp.15-50, 1997.
- [7] 과학기술정보연구소, "실무자를 위한 비주얼베이직 5.0 고급 프로그래밍 테크닉".