

## 변전기기 무선진단을 위한 이동통신망의 SMS방식 적용기법 연구

김진철\*, 이항범, 김지호, 송호준  
 송실대학교 전기공학과

### Study of Applicable Technique of SMS Mode of Mobile Communication Network For Wireless Diagnostic of Substation

Jin-cheol Kim\*, Hyang-beom Lee, Ji-ho Kim, and Ho-jun Song  
 Department of Electrical Engineering, Soongsil University

**Abstract** - 본 논문에서는 운전중인 주상 변압기의 상태 진단을 위하여 이동통신망의 SMS(Short Message Service)방식을 적용함으로써 진단 자료 전송시 무손실로 전달할 수 있는 기법에 관하여 연구한다. 최소한의 데이터전송으로 최적의 진단을 할 수 있도록 무선통신에 적합한 알고리즘 및 프로토콜을 설계한다. 주상변압기의 절연유 온도와 부하전류의 가변 실험을 통하여 데이터를 취득한다. 센서의 자료 취득부에서는 SMS 문자서비스를 이용하여 자료전달에 최적화가 되도록 센서 출력 결과의 필터링을 수행한다. 이러한 진단기법은 서버 1대에서 많은 수의 변압기를 관리, 제어, 모니터링이 가능하며 변전기기 이외에 다른 모든 기기에 적용이 가능하다.

#### 1. 서 론

모든 산업의 근간이 되는 전력계통설비는 급속한 산업 발달로 인하여 많은 증가를 가져왔으며 이들의 안전성 및 신뢰성에 대한 요구는 점점 더 증대되어가고 있다. 이러한 전력계통설비중의 하나인 변전기기는 고압 대용량화로 진행되어가고 있으며, 1대의 기기 고장이 전력계통에 미치는 영향은 매우 크므로 안전성 및 신뢰성의 확보가 매우 중요하다고 하겠다. 현재 연구개발중인 진단기술은 많이 있지만 실질적으로 상용화 된 기술은 미비한 상태이다. 이에 우리나라를 비롯한 선진 각국에 있어서 향후의 중요과제는 정보화 시대에 부응하는 효과적인 진단 기술 방법의 개발이라 하겠다.

본 논문에서는 운전중인 주상 변압기의 상태를 진단하기 위하여 이동통신망의 SMS방식을 적용함으로써 발생가능한 변압기의 사고를 사전에 감지하여 방지할 수 있는 시스템을 개발한다. 주상변압기의 절연유 온도와 부하전류의 가변실험을 통하여 데이터를 취득한다. 센서의 자료 취득부에서는 SMS 문자서비스를 이용하여 자료 전달의 최적화가 되도록 센서 출력 결과의 필터링을 수행한다. SMS방식을 사용하는 이유는 변압기의 상시 모니터링에 목적을 둔 것이 아니다. 변압기가 이상동작시 SMS 문자 서비스로 이를 알려줌으로써 사고를 방지할 수 있는데 목적을 두고 있다. 물론 변압기가 기후, 기상 및 노화등의 이유로 인하여 이상동작을 일으킬 수도 있는 악조건에 있다고 판단되면 정해진 일정대로 지속적으로 데이터를 받아볼 수 있게 하여 상시 모니터링을 할 수 있도록 설정 할 수가 있다. 이러한 진단기법의 장점은 기존의 R/F 통신방식과는 달리 서버 1대에서 많은 수의 변압기를 관리, 제어, 모니터링이 가능하다는 것이다. 즉, 설치시 넓은 지역의 변압기에서 측정된 데이터를 무선으로 한곳에서 취득함으로써 운전중인 주상변압기의 상태에 관한 진단을 최소한의 설비로 손

쉽게 해결 할 수 있게 된다. 또한 암호화되어 있는 메시지로 사용자가 자신의 핸드폰으로 언제 어디서든 원하는 변압기의 상태를 문자메시지를 통하여 확인할 수 있으므로 정보화 시대에 부응하는 최적의 진단방법이라 할 수 있다.

#### 2. 본 론

무선통신부를 SMS방식으로 선정함에 있어서 많은 사항을 고려하였다. 첫 번째로 기존에 많은 연구 대상이었던 R/F방식을 보면 이 통신방식은 다른 통신 중계국이 필요없고 일정 지역 다수의 통신을 할 수 있는 통신방식이다. 하지만 아날로그 방식으로 노이즈를 발생시킬 뿐 아니라 최대 송신 출력이 10[mW]로 제한되어 있어 실내에서는 30[m]이내, 실외에서는 120[m]의 거리이내에서만 데이터 전송이 가능하다. 즉, 장거리 전송이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 변압기가 이상동작시 감시자가 통신가능거리 내에 있지 않다고 하면 사고를 사전에 방지하기는 힘들기 때문에 R/F방식은 상시 감시가 어렵고 많은 인력과 시간을 필요로 하는 등의 많은 한계점을 가지고 있다. 장점은 설치가 간편하고 비용도 저렴하다는 것이다. 두 번째로 인터넷망을 이용한 방식을 보면 통신선이 많이 설치되어 있다고는 하지만 아직 한계가 있고, 회선망이 해킹등의 문제로 인하여 데이터 보안에 큰 타격을 입을 가능성이 많이 산재해 있다. 세 번째로 PLC(전력선 통신)방식을 보면 기존에 전국의 어느곳이든 대부분 전력선이 설치되어 있기 때문에 원하는 지역 어디든 변압기를 관리하기 용이하겠지만 아직 실험단계이며 기후나 기상 이변으로 인한 뇌서지나 노이즈등에 민감하므로 아직은 부적합한 방법이라 할 수가 있다.

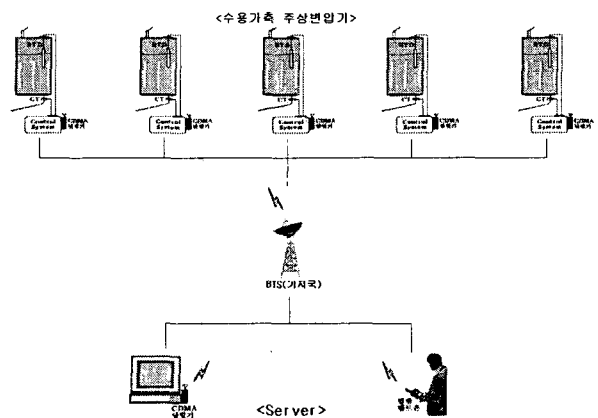


그림 1. 무선진단시스템 전체 계통도

이에 반하여 본 논문에서 선정한 SMS방식은 그림 1에서 보듯이 이동통신망의 CDMA 단말기를 이용함으로써 데이터 송수신시 기지국을 통하므로 광범위한 지역에 변압기들의 데이터를 한 곳에서 이동없이 자유롭게 받아들일 수 있고 데이터 보안의 문제나 노이즈 문제등의 영향을 거의 받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 또한 R/F방식처럼 설치도 용이하다. 단점은 패킷당 전송료가 비싸므로 많은 데이터를 받기에는 물의가 있다는 것이다. 이에 상시 감시보다는 이상 동작시나 요청시에 데이터를 받을 수 있도록 하는데 중점을 두었다. 상시 감시체제가 아니라고 하여도 변압기의 사고를 사전 차단 할 수가 있기 때문에 상시 감시만큼의 효과를 충분히 낼 수가 있다. 그리고 감시자가 지방 출타 중이거나 모니터 앞에 있지 않아도 자신이 맡은 감시 구역의 변압기 상태를 알아보기 위해 언제 어디서든 자신의 핸드폰으로 데이터를 요청하여 받아 볼 수 있다. 그림 1은 이동통신망의 SMS 방식을 이용한 변압기 무선 진단 시스템의 전체 구성도를 개략적으로 보여주고 있다. 이 시스템은 크게 하드웨어 구성부와 프로토콜 설계부, 모니터링부로 나눌 수 있으며, 세부적으로 설계된 프로토콜로 상호 교환적으로 작동하고 있다.

**2.1 무선 진단 시스템 하드웨어 구성**

실제 수용가의 변압기에 설치할 온도센서(RTD) 및 CT를 30(kVA) 실험용 변압기에 설치하였다. 그림 2는 무선진단시스템 하드웨어 구성부의 전체 구성도를 개략적으로 보여주고 있다.

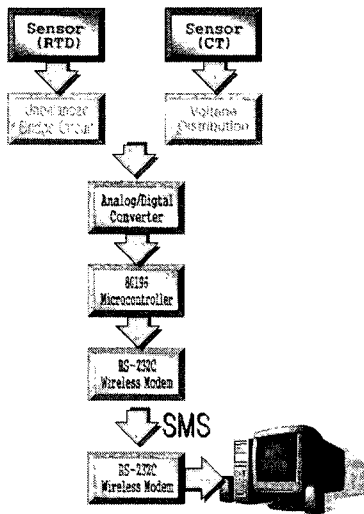


그림 2. 진단시스템 전체 구성도

그림 3은 무선 진단을 위해 직접 제작한 KIT를 보여주고 있다. RTD를 변압기 내 절연유 온도 측정용으로 장치하였고 2차측에 전류비 50/5의 CT를 장치하여 전류를 측정하였다. 온도센서 RTD는 PT100(Ω)을 사용하였으며, 브리지 회로를 제작하여 저항의 변화에 따른(즉, 온도에 따른 저항변화) 출력 전압을 A/D Converter를 통하여 80196 마이크로컨트롤러로 입력되도록 하였다. 또한 전류비에 따라 출력되는 CT의 출력값을 전압분배회로를 제작하여 역시 디지털값으로 변환하여 컨트롤러로 입력되도록 하였다. 컨트롤러는 RS-232C 직렬통신 방식으로 무선모뎀과 연결되어 실험실과 떨어져 있는 연구실에

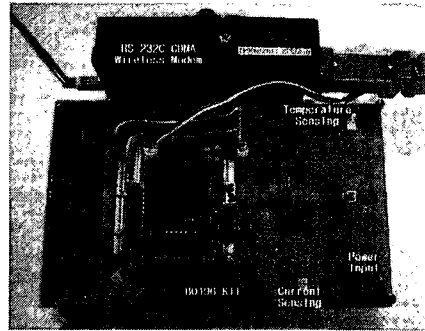


그림 3. 진단시스템 제작 KIT

서 다른 무선모뎀을 통하여 데이터를 수신받아 컴퓨터로 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

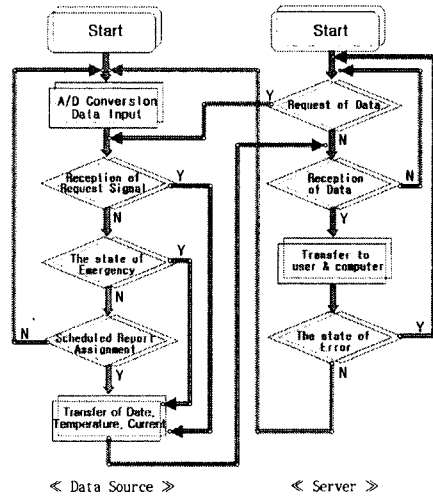


그림 4. 진단시스템 알고리즘

그림 4는 무선진단시스템의 전체적인 알고리즘을 개략적으로 보여주고 있다. 실험용 변압기를 통해 받은 데이터를 요청시와 긴급상황 발생시 단문메시지로 수신부에 전송할 수 있도록 하였다. 요청시 데이터 전송하는 부분은 수신부측의 컴퓨터와 그리고 다른곳의 감시자가 직접적으로 요청할 수 있는 상황까지 고려하였다. 그리고 노후된 변압기등에 있어서는 상시 감시가 필요할 수도 있기 때문에 스케줄지정시 일정 간격을 가지고 자동으로 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 여기서 긴급상황이란 표 1의 실험용 변압기 사양에 기준하여 2차측 전류와 절연유온도가 그 이상시 출력을 내었을때 상황을 말한다.

표1. 실험용 변압기 사양

실험 변압기 1				실험 변압기 2			
관협실험 변압기				단상변압기			
단상 출력	30 [kVA]	주파수 60 [Hz]	목적용	용량	30 [kVA]	주파수 60 [Hz]	목적용
정격	1차측		2차측	정격	1차측		2차측
	22900 Grd		115/230 [V]		12600 [V]		115/260 [V]
	2.4 A		730/260 [A]		2.38 [A]		730.4/260.6 [A]
온도상승	절연유		50° [C]	온도상승	절연유		50° [C]

2.2 무선 진단 시스템 프로토콜 설계

CDMA 모뎀을 이용하여 진단시스템을 운영하기 위해 세부적으로 프로토콜을 설계하였다. 한 곳에서 감시자가 여러대의 변압기 데이터를 수신할 때에 발생할 수 있는 통신상의 에러 문제나, 지정되지 않은 번호로부터 문자가 수신될 시, SMS가 최대로 수용할 수 있는 80Byte 가 넘는 문자가 수신될 시 등의 여러 가지 상황을 고려해야 하기 때문에 전체적으로 명확한 규약을 지어놓지 않으면 진단시스템을 제대로 구성할 수 없게 된다. 따라서 프로토콜의 전체적 설계는 매우 중요하다고 할 수 있다.

표 2. 진단 시스템 프로토콜 설계

발신부 용량 Type	연락 대역	00	01
00	연락 대역	00	연락 대역
01	연락 대역	01	연락 대역
02	연락 대역	02	연락 대역
03	연락 대역	03	연락 대역
04	연락 대역	04	연락 대역
05	연락 대역	05	연락 대역
06	연락 대역	06	연락 대역
07	연락 대역	07	연락 대역
08	연락 대역	08	연락 대역
09	연락 대역	09	연락 대역
10	연락 대역	10	연락 대역
11	연락 대역	11	연락 대역
12	연락 대역	12	연락 대역
13	연락 대역	13	연락 대역
14	연락 대역	14	연락 대역

표 2는 전체적인 진단 시스템의 프로토콜 설계서를 개략적으로 보여주고 있다. 세부적으로 규약지어진 사양은 양이 너무 많아 기술하지 않았다. 이 표에서 송신측과 수신측의 데이터 프레임 구성을 볼 수 있는데 아랫 부분이 감시자가 있는 수신측 데이터 명령 프레임이다. 시작시 그에 관한 규약번호가 설정되어 있고 송수신측 모두 동작을 한다. 전체 프로토콜 설계부중 요청 및 그에 따른 응답부 설계부분은 발신부측과 수신부측으로 나누어 설계를 하였다. 요청부에서 지정해준 각 명령에 대한 번호에 따라 송수신측이 규약되어 있다. 요청시 어드레스 번호를 지정해 주면 응답 TyprID를 통해 각 각은 송수신을 수행하게 된다. 모든 규약은 외부 신호의 접근을 차단하기 위하여 보안 부분에 중점을 두고 설계를 하였다.

3. 무선 진단 시스템 모의 실험

3.1 변압기의 수명과 과부하와의 관계

변압기의 진단을 하는데 있어서 가장 중요한 것은 변압기가 어떠한 상태일 때 위험한가를 판단하는 것이다. 위험정도의 판단기준은 변압기의 수명을 판단하는 것이다. 변압기의 수명은 운전을 개시한 후에 파과 위험도가 매우 높아지는 시점까지의 기간을 말한다. 절연물의 최고 온도는 변압기의 수명과 깊은 관계가 있지만, 이를 예지한다는 것은 쉽지 않다.

절연물의 온도와 수명의 관계 근사식은 다음과 같다.

$$Y = ae^{-bt}$$

Y: 절연물의 수명, a: 상수, b: 0.1155, t: 절연물 온도

수식에 따르면 변압기의 수명은 절연물의 온도가 6°C 상승할 때마다 반감된다. 이를 수명 반감칙이라고 한다. 변압기를 정격 부하에서 사용했을 때 수명은 30년 정도를 기대할 수 있는데, 어떠한 요인으로 인하여 과부하가 걸리게 되면 권선이나 절연물의

온도가 상승하여 그만큼 변압기의 수명은 감소하며, 사고의 위험까지도 지니게 된다. 이러한 위험성을 지니게 되는 권선 및 오일의 온도 상승은 대부분이 부하전류의 값에 의하여 결정된다.

3.2 진단 모의 실험 데이터 분석

2003년 5~6월 동안에 서울지역의 주상변압기 데이터를 모아놓은 전력연구원의 자료를 토대로 긴급상황에서 온도, 전류 데이터를 실제데이터와 거의 흡사하게 구현해 보았다. 발생가능한 많은 상황을 고려하여야만 실제 현장에서 실용적으로 쓰일 수 있는 프로토콜이 설계될 수 있기 때문에 데이터 분석은 아주 중요하다고 할 수 있겠다. 진단 모의 실험을 위해 K.S 및 JIS의 온도계법을 참고로 변압기 최상부 유온 상승은 50°C 로 정하였다. 그리고 실험용 변압기의 정격에 따라 한계치 전류는 정격인 130A 로 정하였다.

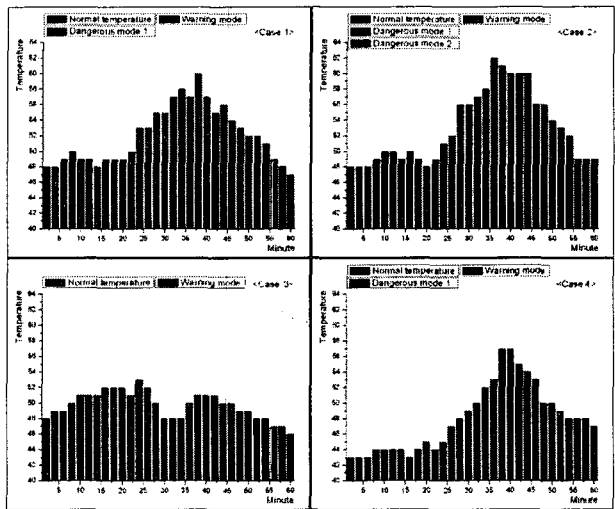


그림 5. 온도 긴급상황 데이터

그림 5는 긴급상황에서의 온도데이터 4가지 유형을 보여주고 있다. Case1과 Case2의 경우는 각각 16번의 온도 데이터 상승치를 보여주고 있다. 그러나 수명 반감칙에 따라 Case2의 경우가 훨씬 더 변압기의 수명에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 긴급상황에서 데이터 전송시, 설계된 프로토콜에 의해 긴급상황 이후 부터 긴급상황이 종료될 때 까지의 데이터를 수신부측에 전송하게 되고, 절연유의 온도가 6°C 증가할때마다 위험모드 1,2로 나누어 수명반감칙을 알릴 수 있게 하였다. Case3과 Case4의 경우를 보면 세 번째 경우는 12번의 긴급상황을 보였고, 네 번째의 경우는 7번의 긴급상황을 보였으나, 네 번째의 경우가 6°C를 초과한 경우를 2번 보임으로써 변압기의 수명에 더 영향을 미칠 수 있다. 즉, 우리의 관심은 변압기의 수명에 영향을 미치는 데이터이며 정상상태일 때도 상시적으로 감시하는 것은 필요치 않다. 수많은 데이터를 처리하는데 문제를 가지고 있는 SMS방식에서 이 같이 상시 모니터링이 아닌 긴급상황에서의 모니터링에 중점을 둬므로써 비용적인 문제도 해결 할 수 있으며, 상당히 효율적인 기기 진단을 할 수가 있다.

그림 6은 긴급상황에서의 전류데이터 4가지 유형을 보여주고 있다. 전류데이터는 온도데이터와는 달리 변동이 심하고 정격을 넘나드는 경우가 훨씬 많기 때문에 긴급상황이라 할지라도 계속 데이터를 수신측

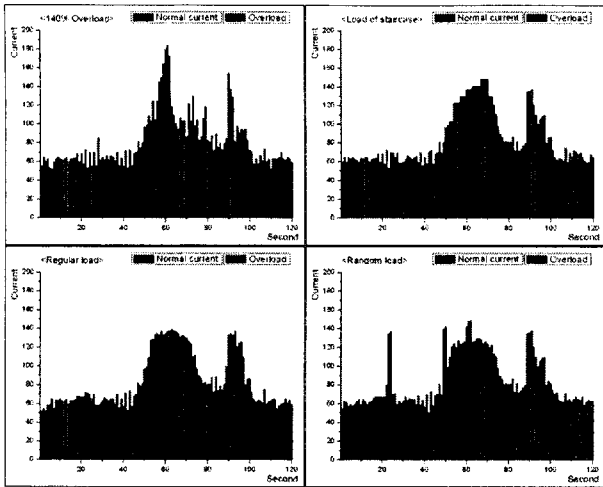


그림 6. 전류 긴급상황 데이터

으로 전송하지는 않는다. 처음의 긴급상황시에 데이터를 수신측으로 전송하고 긴급상황 종료시에 평균값과 표준편차값을 전송한다. 표준편차값을 데이터의 산포도를 나타냄으로써 현 변압기 과부하상태의 불규칙성을 알 수가 있다. 이렇게 함으로써 데이터 전송 횟수를 줄이면서 과부하시 전류의 상황을 최적으로 알 수가 있다. 그림 6의 140%과부하시와 계단파형, 규칙적 과부하시의 데이터 전송을 보면, 42개의 데이터를 17개의 단문메시지 전송으로 상태 파악이 가능하다. 불규칙 부하시의 데이터 같은 경우에는 3개 이하의 과부하 데이터가 발생하기 때문에 이런 경우에는 표준편차와 평균값이 필요없고, 그대로 과부하 데이터를 전송하게 된다.

3.2 데이터 분석을 통한 무선 진단 실험

본 시스템은 PC를 통하여 변압기의 모든 입출력의 제어가 가능하도록 Visual Basic을 이용하여 설계하였다. 모뎀과 연결시 통신 포트 개방 창이 나타나게 되고 통신속도는 115,200(bps)로 설정하였다.

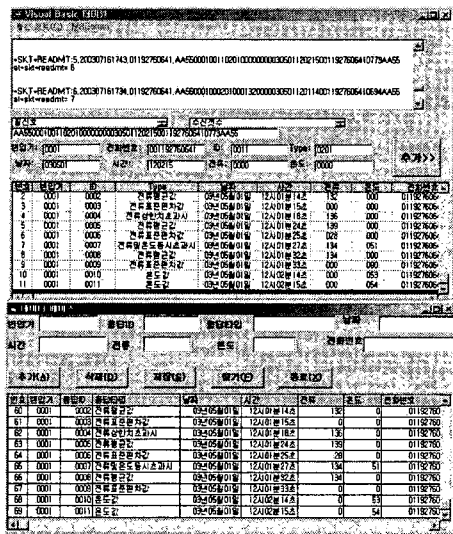


그림 7. 진단 모니터링부 주화면

그림 7은 진단 모니터링부의 주화면을 보여주고 있다. 처음에 프로그램을 시작하면 이 창이 열리게

되고 통신포트를 설정하면 연결되게 된다. 그림 7의 상단부의 명령어를 보면 수신측에서 많은 명령어들이 규약 지어져 있다. 현재는 발신데이터를 요청한 상태이며 규약되어진 명령어에 따라 모뎀을 제어하여 변압기측에 요청을 하게된다. 만일 수신이 되면 변압기란에 수신되어진 규약이 뜨게 된다. 수신 Data창은 이제까지 요청하여 받은 데이터들을 날짜 및 시간별로 정렬하게 설정해 좋은 상태이다. 현재는 5월 1일 날에 요청하여 수신된 데이터를 시간별로 정렬해 준 데이터를 보여주고 있다. 주 화면부 하단에 저장버튼을 클릭하게 되면 Data Access창으로 이동되면서 그래프를 통하여 변압기의 상태를 손쉽게 알아볼 수 있도록 링크된다. 이렇게 진단시스템의 전체 입출력을 PC를 통하여 간단하게 제어할 수 있도록 설계하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 변압기의 진단 시스템 개발에 있어서 변압기의 부분 감시 및 상시 감시를 통한 사고 방지를 이동통신망의 SMS방식을 이용함으로써 간편화시켰으며 최소한의 설비로 최대의 효과를 가져올 수 있도록 안전성 및 신뢰성 부분에 중점을 두었다. 이는 변전기기 이외에 산업현장에서 안전성을 요구하는 모든 기기의 진단에도 적용될 수 있다. 또한 정보화 시대에 부응할 수 있는 무선 진단방법을 제시함으로써 향후의 중요과제인 변압기 진단 시스템의 무선 자동화에 적용될 수 있도록 하였다. 향후에는 본 논문에서 제시한 진단기법이 상용화 될 수 있도록 경제적인 측면을 고려해야 할것이며 본 논문에서 고려한 단상변압기 이외에 3상 변압기의 진단연구를 해야 할 것이다. 또한 제한된 데이터량을 가진 SMS방식의 한계를 극복하기 위해 전송 데이터 압축기술에 대한 연구가 동반되어야 할 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소의 주관으로 수행된 과제임.(전력기술 기초연구 02-009)

(참 고 문 헌)

- [1] Yong-Han Yoon, Jae-Chul Kim and Do-Hyuk Choi, "Development of A Deterioration Diagnosis Device For Pole Transformer Using Signal processing And Wireless Communication", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol.2, pp.1147-1152, 2000.
- [2] Jeffrey E. Wieselthier, Anthony Ephremides and Julie Ann B, "A Distributed Reservation-Based CDMA Protocol that does not Require Feedback Information", IEEE Transaction Communications, Vol.36, No.8, pp.913-923, August 1988.
- [3] Akio Matsui and Isamu Takahashi, TORANSU KATSUYOU MANYUARU, Ohmsha, 1995
- [4] 한전전력연구원, "Development of the Preventive Diagnostic System for the 765kV Substation Equipments", 2차년도 중간보고서, 2000.
- [5] 한국전기연구소, " '99 변압기 실무기술 ", 1999년 제 7회 기술교육 교재, 1999.