

工學碩士 學位論文

GIS용 피뢰기를 위한
상태감시 및 열화진단 시스템의 구현

Implementation of Monitoring and Aging Diagnosis System for
GIS Lightning Arresters

指導教授 柳 吉 洙

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

컴퓨터工學科

金 泰 眞

本 論 文 을 金 泰 眞 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 工 學 博 士 金 載 熏 印

委 員 工 學 博 士 辛 沃 根 印

委 員 工 學 博 士 柳 吉 洙 印

2007 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

컴퓨터 工 學 科 金 泰 眞

목 차

Abstract	v
제 1 장 서 론	1
제 2 장 관련 연구	4
2.1 피뢰기의 열화를 진단하는 방법	4
2.2 IEEE 802.15.4 무선 통신	7
2.3 GIS - 피뢰기 데이터 계측 및 전송 장비	14
제 3 장 상태감시 시스템의 설계 및 구현	21
3.1 데이터 송수신 모듈	22
3.2 데이터 처리 모듈	25
3.3 상태감시 시스템 실행 화면	30
제 4 장 열화진단 시스템의 설계 및 구현	34
4.1 데이터베이스 모듈	34
4.2 열화진단 모듈	39
4.3 열화진단 시스템 실행 화면	44
제 5 장 결론 및 향후 과제	46
참고 문헌	47

그림 목차

그림 1.1 다양한 피뢰기의 예	3
그림 2.1 인가전압과 누설전류의 파형	6
그림 2.2 그림 2.2 IEEE 802.15 표준	8
그림 2.3 WSN 프로토콜 스택	11
그림 2.4 IEEE 802.15.4의 네트워크 토폴로지	12
그림 2.5 SuperFrame의 구조	13
그림 2.6 휴대용 누설전류 측정 장비	14
그림 2.7 변전소의 피뢰기 설비 구성	15
그림 2.8 피뢰기 계측 데이터 계측 및 전송 장비	16
그림 2.9 피뢰기 계측 장비의 회로 구성	16
그림 2.10 데이터 프로토콜	18
그림 2.11 피뢰기 계측 장비의 통신 방법	20
그림 3.1 상태감시 시스템의 모듈 구성	21
그림 3.2 데이터 수신 알고리즘	23
그림 3.3 데이터 프로토콜 분석	25
그림 3.4 전체 데이터 출력 화면	26
그림 3.5 상세 데이터 출력 화면	29
그림 3.6 피뢰기 계측 장비의 ID와 현재 시간 설정	30
그림 3.7 XBee 모듈 장치	31
그림 3.8 피뢰기 데이터 생성 시뮬레이터 프로그램	31
그림 3.9 전체 데이터 화면	32
그림 3.10 상세 데이터 화면	33

그림 4.1 열화진단 시스템의 모듈 구성	34
그림 4.2 데이터베이스 처리 및 그래프 출력 화면	36
그림 4.3 데이터베이스의 데이터 삭제의 예	37
그림 4.4 데이터 변화량 그래프 출력 의사코드의 예	39
그림 4.5 피뢰기 열화 진단 구성도	40
그림 4.6 규칙 1의 의사코드	41
그림 4.7 규칙 3의 의사코드	42
그림 4.8 규칙 5의 의사코드	43
그림 4.9 데이터베이스 저장 및 그래프 화면	44
그림 4.10 피뢰기 열화 진단 화면	45

표 목차

표 2.1 측정 데이터 및 특성	18
표 4.1 피뢰기 데이터베이스의 특징	35
표 4.2 GIS용 피뢰기의 열화 진단 방법	40

Implementation of Monitoring and Aging Diagnosis System for GIS Lightning Arresters

Tai-Jin Kim

Department of Computer Engineering, Graduate School,
Korea Maritime University, Busan, Korea

Advised by Keel-Soo Rhyu

Abstract

Lightning arresters protect electric equipments from overvoltage such as lightning or abnormal voltage. If the lightning arresters does not work properly, the equipments could be break down due to the overvoltage. Among many others, an important cause that might lead to the malfunction of lightning arresters in aging, which can result in accidents like a general failure of power supply or an electric shock, and so on. Therefore, monitoring and aging diagnosis of the lightning arresters are very important. However, existing lightning arresters are equipped whit a simple monitoring capabilities without aging diagnosis.

In this thesis, we proposes a monitoring and aging diagnosis

system for lightning arresters. The proposed system can monitor several lightning arresters simultaneously and uses the XBee module to communicate with the lightning arresters by radio frequency. The proposed system consists of 4 modules: communication, GUI, database, and aging diagnosis modules. The communication module sends IDs of lightning arresters and the current time, and receives measured data from lightning arresters. The GUI module displays the measured data and variations of the measured data depending on time. The database module stores and manages the measured data. Aging diagnosis module analyzes status of lightning arresters and determine if the lightning arresters have aging problem.

The proposed system is implemented by C++ language and MySQL 5.0. As the result, installation expense of lightning arresters can be reduced thanks to the monitoring capability of several lightning arresters simultaneously and electric power accidents can be prevented due to diagnosing aging of lightning arresters.

In the future, this system could be extended in order to monitor lightning arresters through the Web.

제 1 장 서 론

한국전기안전공사에서는 기술기준 제46조에 피뢰기를 필수 시설로 규정하고 있을 만큼 전력 계통에서 중요시되는 장비이다. 피뢰기는 그림 1.1에서 예를 보인 것과 같이 주판알을 여러 개 겹쳐놓은 형태로 생겼는데 그 종류는 전봇대에서 볼 수 있는 작은 크기부터 전력 공급 변전소에 사용하는 3m정도의 피뢰기까지 쓰임새에 따라 다양하다.

지하철이나 KTX 열차, 전력 공급을 위한 발전소 등에서 낙뢰에 의해 정전이 발생하면 재산 피해뿐만 아니라 인명피해로까지 이어질 수가 있다 [1,2]. 따라서 피뢰기의 역할은 낙뢰나 이상전압(abnormal voltage)과 같은 과도과전압이 발생하였을 때, 정상전압으로 낮춰 전기기기를 보호할 뿐만 아니라 정상적으로 동작할 수 있도록 해 주는 것이다[2]. 이러한 피뢰기의 수명은 영구적이지 않으며, 일반적으로 전문가들은 설치 환경에 따라 차이가 있지만 피뢰기의 수명을 대략 10 ~ 15년 정도로 예상하고 있다[3]. 또한 반복되는 보호 동작으로 인해 수명이 더 짧아져 열화가 발생할 수 있다. 피뢰기가 열화되었을 경우, 정상전압이 흐르는데도 피뢰기 자체에서 과도과전압을 발생시켜 전기기기에 피해를 줄 수도 있다. 2006년 3월, 부산 서면 일대에 대규모 정전이 발생하였는데 그 원인 역시 피뢰기가 과도과전압을 발생시켜 변전소 장비에 고장을 일으킨 것이다. 이와 같은 이유로 최근, 피뢰기의 상태 감시 및 열화 진단의 중요성이 대두되고 있다.

피뢰기의 경우, 설치되는 장소에 따라서 상태 값 및 열화를 진단하는 방법이 달라지게 되는데, 본 논문에서는 변전소의 GIS(Gas Insulated Substation)용 피뢰기를 대상으로 한다. GIS용 피뢰기를 대상으로 기존에 구현된 시스템은 피뢰기의 저항분 누설전류를 측정하여 피뢰기 상태의 변

화를 감시하였다[2]. 따라서 전문가가 아니면 저항분 누설전류의 변화만을 보고 피뢰기의 열화 유무를 판단하기가 어렵다. 그리고 이 시스템은 광통신을 이용한 유선연결을 통해 하나의 피뢰기만을 감시 대상으로 한다[2]. 유선연결의 경우, 선로 설치비용이 많이 들고 장소의 제약을 받게되며, 변전소 내에 존재하는 여러 대의 GIS용 피뢰기를 동시에 상태를 감시할 수 없다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 저항분 누설전류뿐만 아니라 온도, 고조파 성분 등도 측정하여 피뢰기의 상태를 더욱 세밀하게 감시한다. 또한 전문가의 도움 없이도 피뢰기의 열화를 진단할 수 있도록 시스템을 구현하고 무선 통신 모듈을 사용하여 유선 연결의 단점을 극복한다.

변전소의 GIS용 피뢰기들의 상태를 감시하고 열화를 진단함으로써 피뢰기의 열화 유무를 판단하는데 도움을 주게 되고 나아가서는 변전소의 무중단 운영을 이끌어 낼 수 있으므로 경제적으로 큰 이득을 얻을 수 있다[2].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 피뢰기의 열화를 진단하는 방법, IEEE 802.15.4 무선 통신, 그리고 GIS용 피뢰기 데이터 계측 및 전송 장비에 대해 설명한다. 3장과 4장에서는 GIS용 피뢰기의 상태감시 시스템과 열화진단 시스템을 어떻게 설계하고 구현하였는지를 각각 설명한다. 끝으로 5장에서는 결론 및 향후 과제를 제시한다.

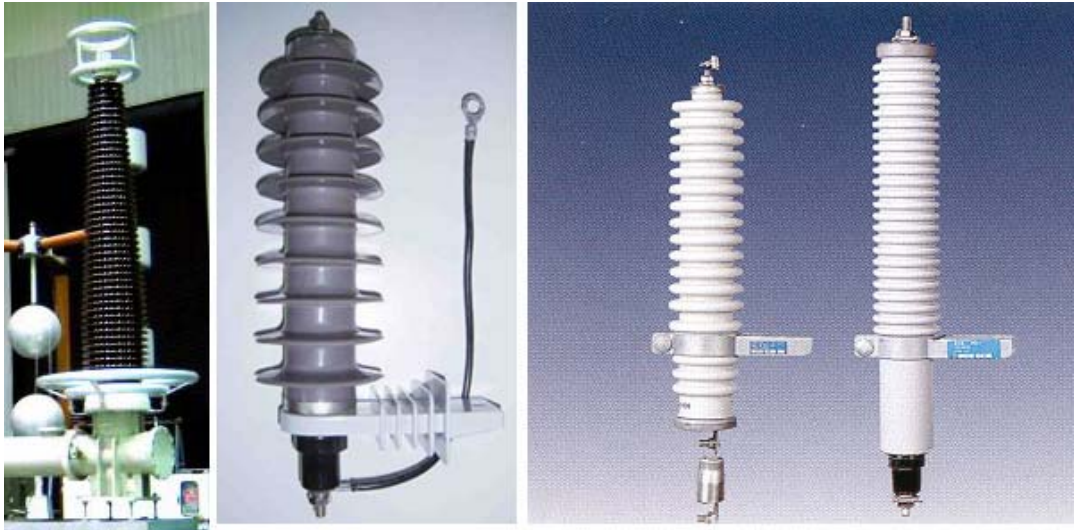


그림 1.1 다양한 피뢰기의 예

Fig. 1.1 Examples of lightning arresters

제 2 장 관 련 연 구

2.1 피뢰기의 열화를 진단하는 방법

과거의 피뢰기는 주로 셀렌(Si), 탄화규소(SiC), 삼산화구리(Cu₂O₃) 등으로 만들어졌는데 제한 전압이 높지 않고 급격한 전압 변화를 견뎌내지 못하는 경향이 있었다. 최근 개발된 산화아연(ZnO)형 피뢰기는 우수한 비선형 저항 특성을 가지고 있어서, 정상전압에서는 극소의 누설전류만이 흐른다. 그러나 이상전압이 인가되면 전기저항이 크게 줄어들면서 이상전압을 정상전압으로 제한함으로써 피뢰기를 보호한다[4].

피뢰기의 잦은 보호 동작은 산화아연 소자를 손상시키는데, 산화아연 소자가 파괴될수록 누설전류가 증가한다는 연구 결과가 많이 나오고 있다. 따라서 피뢰기의 누설전류를 측정함으로써 피뢰기의 열화 유무를 판단할 수 있다. 누설전류를 측정하는 방법 이외에도 제한 전압, 공칭방전 전류, 손실전력을 측정하는 방법 등을 사용하여 열화를 진단할 수 있다.

누설전류는 용량분 누설전류와 저항분 누설전류로 나뉘는데 피뢰기의 열화가 진행될수록 증가하는 누설전류는 저항분 누설전류이다. 따라서 전체 누설전류에서 피뢰기의 저항분 누설전류를 검출할 수 있어야 하는데 검출 기법에는 다음과 같은 방법이 있다[5].

(1) 자기소거법

피뢰기의 전체 누설전류에서 용량분 누설전류와 크기가 같은 소거파를 만들어 용량분 누설전류를 제거하여 저항분 누설전류만을 검출하는 방법이다. 이 방법은 계기용변압기(PT/PD)에서의 보조 신호가 불필요하며 또한 검출 센서로서 변류기(CT)를 사용하기 때문에 전력계통에 안전성을 확보할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 슈미트 트리거 회로(Schmitt

trigger circuit)에 의하여 오차가 발생할 수 있고 선로에 연결된 다른 기기들에 의해 위상지연이 발생한다면 정확한 소거파를 만들 수 없기 때문에 저항분 누설전류를 검출할 수 없다는 단점이 있다.

(2) 동기정류방식

피뢰기의 전체 누설전류를 저항 검출해서 대역통과필터를 통해 기본파 성분을 추출한다. 이를 계기용변압기에서 얻어진 전압 신호로 동기정류하여 직류로 변환, 증폭하여 저항분 누설전류를 얻는 방법이다. 이 방법은 전력 계통에서의 고조파의 영향을 받지 않으며 측정 오차가 적은 장점이 있다.

(3) 제 3고조파방식

피뢰기의 전체 누설전류 중에서 기본파 다음으로 저항분 누설전류에 많이 포함되는 제 3고조파를 대역통과필터를 이용하여 검출하는 방법이다. 저항분 누설전류와 제3 고조파 누설전류의 크기와 경향, 전체 누설전류에 포함되는 비율이 비슷하기 때문에 제 3고조파를 검출함으로써 저항분 누설전류를 예측할 수 있다. 이 방법은 보조 신호가 불필요하고 저항분 누설전류를 측정하기 위한 보정 알고리즘 등이 필요없다는 장점이 있다.

(4) 등전위 검출법

피뢰기에 인가되는 전압의 크기가 같은 점에서는 저항분 누설전류의 크기가 같기 때문에 등전위점에서 저항분 누설전류를 검출하는 방법이다 [2]. 그림 2.1은 시간에 따른 인가전압, 전체 누설전류, 저항분 누설전류의 파형을 나타낸다. 인가전압의 크기가 같아지는 지점 i, j 에서 전체 누설전류의 값을 측정한다. 같은 전압의 크기에서는 저항분 누설전류의 크

기가 같고 용량분 누설전류의 절대 값이 같다는 원리를 이용하면 저항분 누설전류를 측정해 낼 수 있는 것이다. 자기소거법에 비해 계산과정이 간단하면서도 오차가 거의 없다는 장점이 있다.

본 논문에서 사용한 피뢰기 계측 장비는 등전위 검출법을 이용하여 저항분 누설전류를 측정한다.

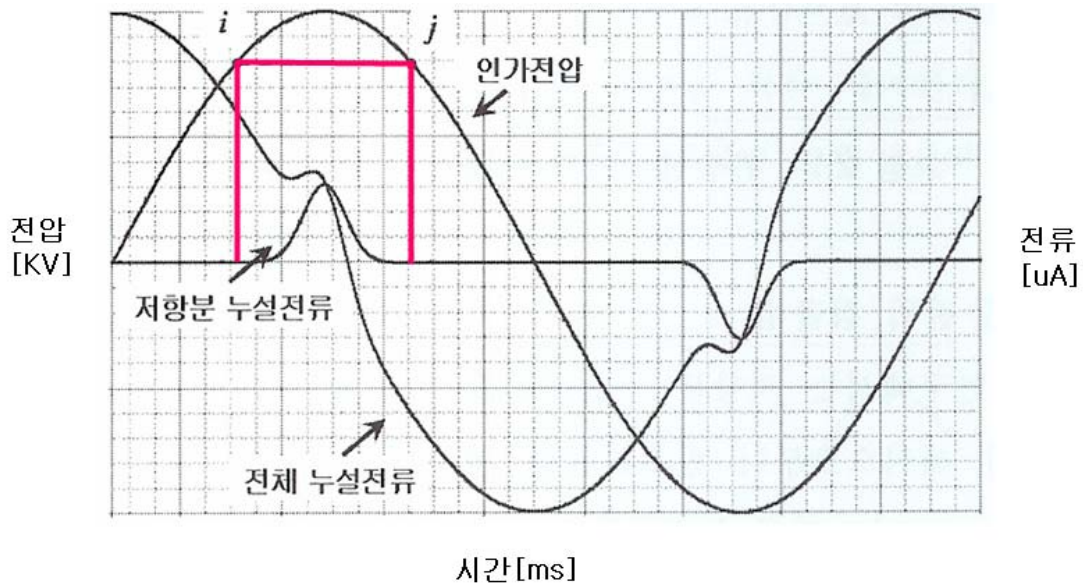


그림 2.1 인가전압과 누설전류의 파형

Fig. 2.1 Waveforms of applied voltages and leakage currents

저항분 누설전류만으로 피뢰기의 열화를 판단할 수도 있으나 피뢰기의 설치 환경, 전력계통의 이상 유무에 따라 누설전류의 상태가 달라질 수 있으므로 누설전류에 영향을 줄 수 있는 3가지 요인을 살펴본다.

첫 번째로 피뢰기의 누설전류가 증가하면 피뢰기 자체의 표면온도가 증가한다. 일반적으로 $700\mu\text{A} \sim 1,000\mu\text{A}$ 의 누설전류가 검출되는 경우 피뢰기의 교체시기로 판단한다. 이때의 피뢰기 표면온도와 주위온도의 차를 살펴보면 최소 3°C 이상의 차이가 발생하므로 표면온도와 주위온도의 차

이를 피뢰기 열화 진단에 활용할 수 있다[6].

두 번째로 GIS 장비로 인가되는 전압의 경우 항상 일정한 전압을 흘려 줄 수 없다. 154KV급 GIS의 경우 전압 변동률이 2 ~ 5% 범위이다. 따라서 피뢰기의 열화와는 관계없이 인가되는 전압의 변화에 따라 누설전류의 변화가 발생한다. 그러므로 정확한 열화 진단을 위해서는 인가되는 전압의 변화에 따라 누설전류 값의 보정이 꼭 필요하다[2].

끝으로 3고조파 전압의 위상이 변화함에 따라 피뢰기의 열화와는 무관하게 누설전류의 값이 증가 또는 감소가 나타나게 된다. 따라서 전원에 포함되는 고조파 성분을 분석하고 보정하는 방법을 열화 진단 기술에 적용하면 보다 정확한 진단이 가능해질 것이다[7].

2.2 IEEE 802.15.4 무선 통신

(1) IEEE 802.15 표준 소개

최근 홈 네트워크의 부상과 함께 무선 통신, 그 중에서도 개인 영역 무선 통신(WPAN, Wireless Personal Area Network)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. IEEE 802 위원회에서는 개인 영역 무선 통신과 관련된 표준을 제안하였는데 그것이 바로 IEEE 802.15이다[8]. IEEE 802.15 표준은 그림 2.2와 같이 산하 WG(Working Group)으로 나누어 지는데 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

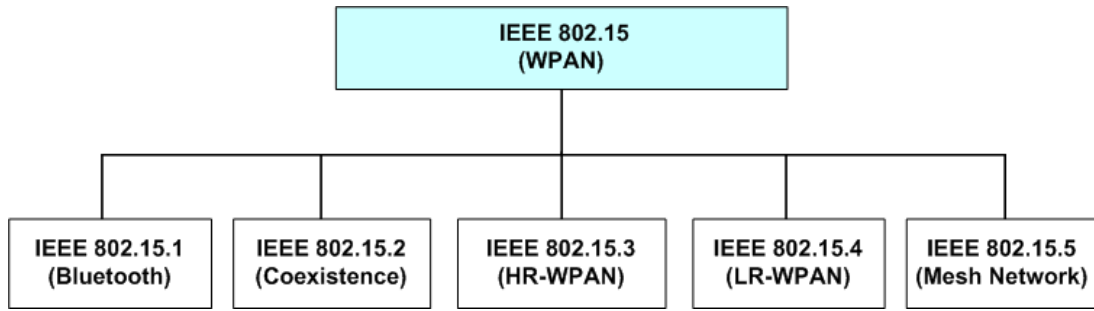


그림 2.2 IEEE 802.15 표준

Fig. 2.2 IEEE 802.15 Standard

a) IEEE 802.15.1 블루투스

IEEE 802.15에서 가장 먼저 제정한 표준이 IEEE 802.15.1 블루투스 (Bluetooth)이다. 블루투스는 비허가 주파수 대역인 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역을 사용한다. 그리고 class 에 따라 1m에서 100m의 통달거리는 갖는 단거리, 저가, 그리고 저전력의 통신을 목표로 한다. 첫 번째 표준안이 1999년 6월에 발표되었는데, 발표 초기에는 최대 8개의 기기만이 통신에 참여할 수 있다는 점과 2.4GHz를 사용하는 다른 기기와의 RF 데이터 충돌 문제 등으로 많이 이용되지 않았다. 하지만 PAN(Personal Area Network)의 발전과 함께 PDA(Personal Digital Assistants), PMP(Portable Media Player) 등의 장비가 대거 나오면서 블루투스가 다시 각광받고 있다. 대중화된 블루투스 상품으로는 블루투스 헤드셋, 블루투스 휴대폰 등이 있다.

b) IEEE 802.15.2 공존 모델

다양한 무선 장비들이 사용됨으로 인해 동일 대역인 2.4GHz를 사용할 경우 장비 간의 데이터 충돌이 발생한다. IEEE 802.15.2 표준은 IEEE 802.11의 WLAN(Wireless Local Area Network)과 IEEE 802.15의

WPAN과의 무선 통신 상호 간섭 문제를 해결하기 위한 표준이다.

c) IEEE 802.15.3 고속 개인 영역 통신

IEEE 802.15.1 블루투스에는 최대 3Mbps의 전송률을 가지므로 멀티미디어 데이터와 같은 고용량 전송에는 적합하지 않다. 이러한 취약점을 극복하기 위해 연구되고 개발된 표준이 IEEE 802.15.3 HR-WPAN(High Rate-WPAN) 표준이다. IEEE 802.15.3은 최대 54Mbps의 전송속도를 지원하므로 A/V 기기 사이의 대용량 실시간 통신에 사용된다. 이 표준의 단점은 P2P(Peer-To-Peer) 통신만을 지원하며 멀티홉(Multihop) 통신을 지원하지 않는 것이다. 이 문제를 해결하기 위한 방안으로 제시된 표준이 IEEE 802.15.5이다.

d) IEEE 802.15.4 저속 개인 영역 통신

IEEE 802.15.4 표준은 초저가의 센서를 사용해서 네트워크를 구현하기 위한 방안으로 제안된 통신 표준으로 저전력, 저속의 통신을 목표로 한다. 최근 급성장하고 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 위한 표준으로 많은 기업들이 채택하고 있다. 국내에서도 IT 389전략의 기반인 프라인 USN 구조(USN architecture)를 완성하기 위한 핵심 기술로써 IEEE 802.15.4를 사용하고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준을 따르는 무선 통신 모듈로 MaxStream사의 XBee 모듈을 사용하며 2.2.(2) 절에 자세히 기술한다.

e) IEEE 802.15.5 메쉬 네트워크 모델

IEEE 802.15는 ISO 7계층 중에서 1계층인 물리계층과 2계층인 MAC 계층의 일부만을 표준화하였다. 블루투스와 HR-WPAN에서 제기된 거리

의 문제, 네트워크 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 상위 계층의 요청에 따라서 802.15의 MAC 계층에 메쉬 네트워크(mesh network)라는 새로운 규격을 추가하기 위한 목적으로 IEEE 802.15.5가 생겨났다. Mesh 네트워크의 지원, 통신 거리의 확장, 라우팅의 신뢰성 확보, 배터리 사용의 최소화 등의 연구가 계속 진행 중이며, 아직 표준안이 발표되지 않았다.

(2) IEEE 802.15.4 무선 통신의 특징

홈 네트워크와 USN에 대한 관심이 증가하면서 저전력으로 무선 통신이 가능한 기술에 대한 연구가 진행되어 왔고 IEEE 위원회에서는 IEEE 802.15.4를 저전력, 저비용의 WPAN 표준으로 발표하였다. IEEE 802.15.4는 그림 2.3의 WSN(Wireless Sensor Network) 프로토콜 스택에서 물리 계층(physical layer)과 데이터링크 계층(data link layer)에 대한 표준안을 담고 있다. 그 특징을 살펴보면 다음과 같다[9,10].

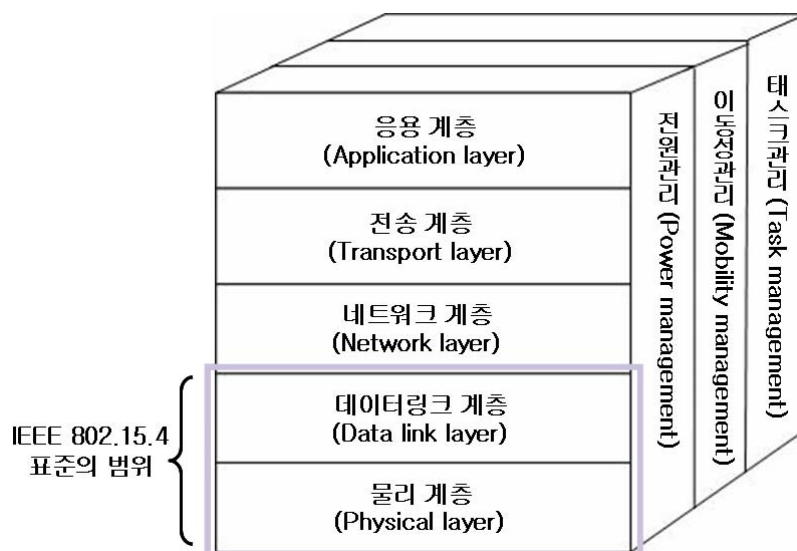


그림 2.3 WSN 프로토콜 스택

Fig. 2.3 WSN protocol stack

a) 주파수 대역, 채널, 속도

IEEE 802.15.4는 868MHz(유럽)의 1채널, 915MHz(북미)의 10채널, 2.4GHz(전세계)의 16채널로 3개의 대역에서 27채널이 정의되어 있다. 그리고 주파수에 따라서 20Kbps, 40Kbps, 250Kbps의 속도를 제공한다. 전송거리는 2.4GHz의 경우 실내에서는 30m, 실외의 경우 100m까지 지원한다. 우리나라의 경우 2.4GHz를 ISM 대역으로 사용하여 센서 네트워크에 대한 연구가 이루어지고 있다.

b) 지원 네트워크와 디바이스 타입

■ 디바이스 타입

IEEE 802.15.4의 MAC 프로토콜은 장비의 하드웨어 능력에 따라서 FFD(Full Function Device) 타입과 RFD(Reduced Function Device) 타입으로 나눌 수 있다. FFD 타입은 네트워크 전체의 정보를 가지면서 네트워크의 중심지적인 역할을 수행하며, 주로 컴퓨터, PDA와 같은 장비가 FFD의 역할을 수행한다. RFD는 냉장고, 전등, 에어컨 등 센서의 기능만을 가지고 FFD와 통신만 할 수 있는 제한된 기능을 가진다. 따라서 RFD의 경우는 말단 노드(end node)로써 동작하면서 데이터 송수신 시에만 전력을 소비함으로써 전력 소모를 줄일 수 있는 이점을 가지게 된다.

■ 네트워크 토폴로지

IEEE 802.15.4는 그림 2.4와 같이 스타 토폴로지(star topology)와 P2P 토폴로지(P2P topology)를 지원한다. (a)와 같은 스타 토폴로지를 형성할 경우 다른 채널의 PAN과 WLAN의 간섭을 피해서 홈 네트워크를 구성할 수 있고 (b)의 경우 다른 채널의 PAN과의 통신을 FFD가 수행함으로써 통신 영역을 확장할 수 있다.

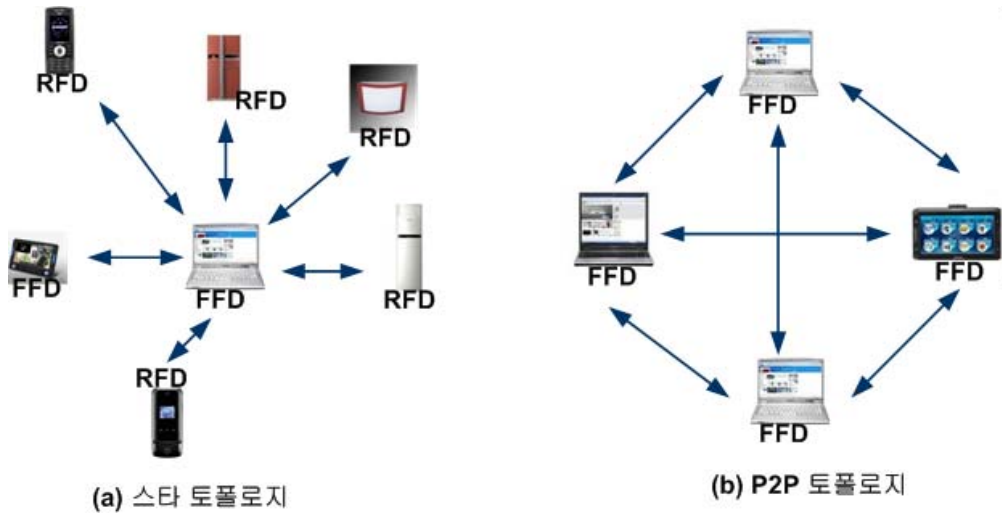


그림 2.4 IEEE 802.15.4의 네트워크 토폴로지

Fig. 2.4 The network topology of IEEE 802.15.4

c) 저전력의 무선 통신 기술

IEEE 802.15.4의 저전력 무선 통신은 데이터 패킷의 SuperFrame 구조, DownLink, Short Addressing 등의 기술을 통해서 구현되고 있다.

■ SuperFrame 구조

FFD는 PAN 내의 모든 디바이스에게 beacon frame을 주기적으로 전송하는데, 이 beacon frame사이의 시간을 그림 2.5와 같이 ACTIVE 구간과 INACTIVE 구간으로 분할하여 사용하는 구조를 SuperFrame이라 한다. 모든 디바이스 장치들이 ACTIVE 구간의 시간일 때만 무선 통신 채널을 열어서 데이터를 수신 받고 INACTIVE 구간일 때는 수면 모드 (sleep mode)로 동작함으로써 전력 소비를 줄일 수 있다.

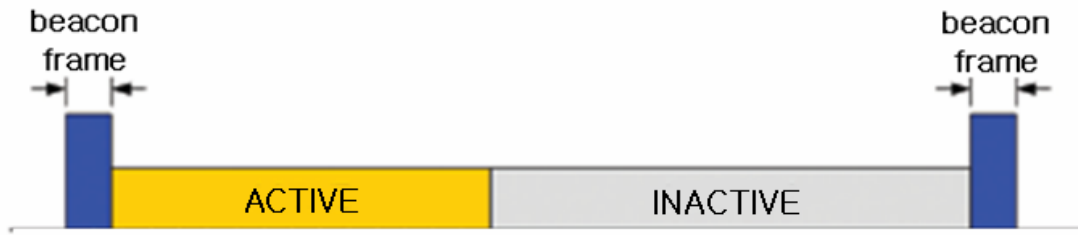


그림 2.5 SuperFrame의 구조

Fig. 2.5 The structure of SuperFrame

■ DownLink

SuperFrame 구조에서 디바이스가 데이터를 요청하고 수신받는 과정을 DownLink라고 한다. DownLink 과정을 사용함으로써 디바이스는 FFD가 자신에게 보내줄 데이터가 있음을 ACTIVE 구간동안 확인하고 데이터를 보내줄 것을 요청한다. 이 과정에서 요청한 데이터의 수신 시간을 미리 알 수 있다. 따라서 요청 디바이스는 데이터를 수신 받을 때만 RF 수신을 작동시키면 되므로 전력 소비를 줄일 수 있다.

■ Short Addressing

IEEE 802.15.4에서 디바이스의 주소는 64비트의 주소를 가진다. 하지만 FFD가 자신의 PAN내의 디바이스들을 인지하면서 각각에 주소를 지정할 수가 있는데, 이 주소의 길이는 16비트이다. 따라서 송수신 데이터 프레임의 길이를 6바이트 ~ 12바이트까지 줄일 수 있으므로 전송하는데 걸리는 시간이 단축되어 전력 소비를 줄일 수 있다.

2.3 GIS용 피뢰기 데이터 계측 및 전송 장비

피뢰기의 열화를 진단하기 위해서는 피뢰기로부터 열화 진단에 필요한 데이터들을 계측할 수 있어야 한다. 기존에 존재하는 시스템의 경우는 피뢰기와 유선 연결하여 저항분 누설전류를 상시 관측하거나 그림 2.6과 같은 휴대용 장비를 사용하여 저항분 누설전류를 계측하고 이 계측 값을 분석하여 피뢰기의 열화 유무를 판단한다.



(a) Scar-10(Japan)



(b) NCT-05(Korea)

그림 2.6 휴대용 누설전류 측정 장비

Fig. 2.6 Portable measuring equipments for leakage currents

따라서 피뢰기의 상태를 상시 관측하고 열화를 진단할 수 있는 시스템이 요구된다. 그림 2.7은 본 연구에서 대상으로 하는 변전소의 설비를 나타낸 그림이며, 각 피뢰기마다 피뢰기 상태를 계측할 수 있는 장비를 설치, 무선으로 데이터를 전송한다. 이렇게 전송된 데이터를 피뢰기의 상태 감시와 열화 진단에 이용한다.

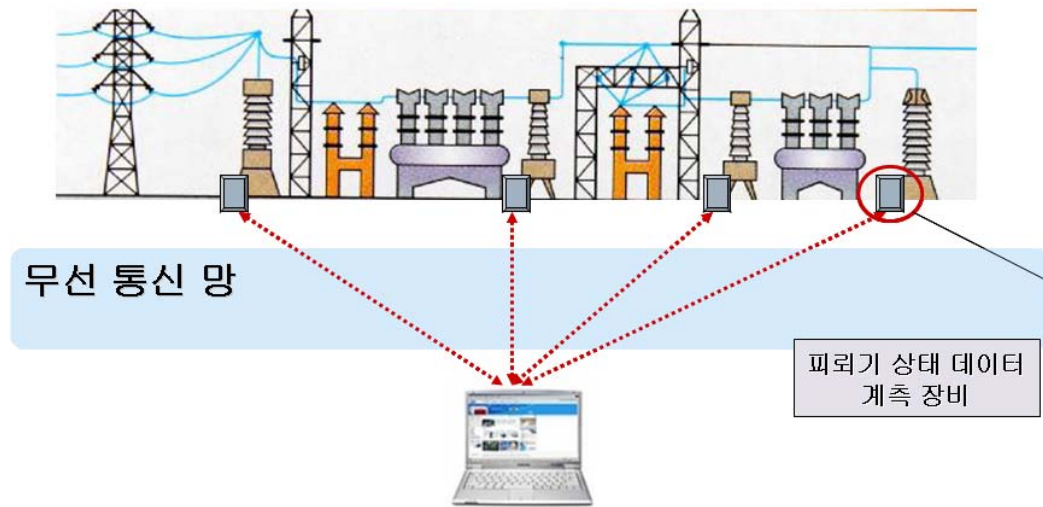


그림 2.7 변전소의 피뢰기 설비 구성

Fig. 2.7 The constituent of lightning arresters for substation

피뢰기의 열화를 진단하기 위해서는 2.1장에서 설명했던 누설전류 측정 방법을 이용하여 누설전류를 측정하고 그 외에도 온도, 고조파 성분 등 다양한 데이터를 실시간으로 측정할 수 있어야 한다. 실시간으로 측정된 데이터는 PC로 전송하여 열화를 판단하는데 이용된다. 그림 2.8은 GIS용 피뢰기의 데이터 계측 및 전송 장비(이하 피뢰기 계측 장비)이다. 한국해양대학교 전기전자공학부 고전압연구실에서 제작한 장비로서 본 논문에서 구현한 시스템에서 사용한 장비이다[2].

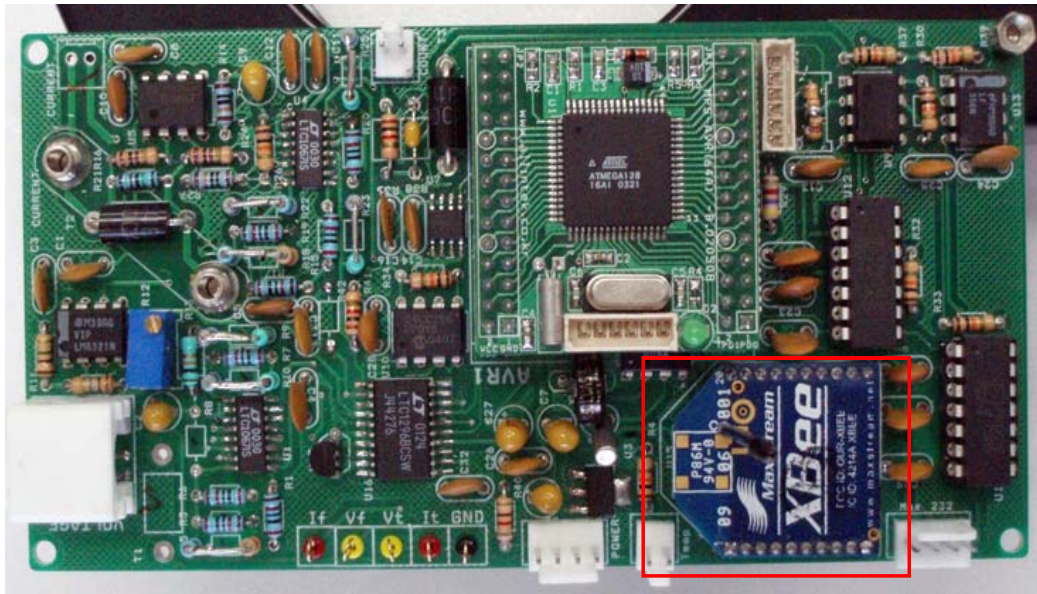


그림 2.8 피뢰기 데이터 계측 및 전송 장비

Fig. 2.8 The equipment of measurement and transmission for lightning arrester's data

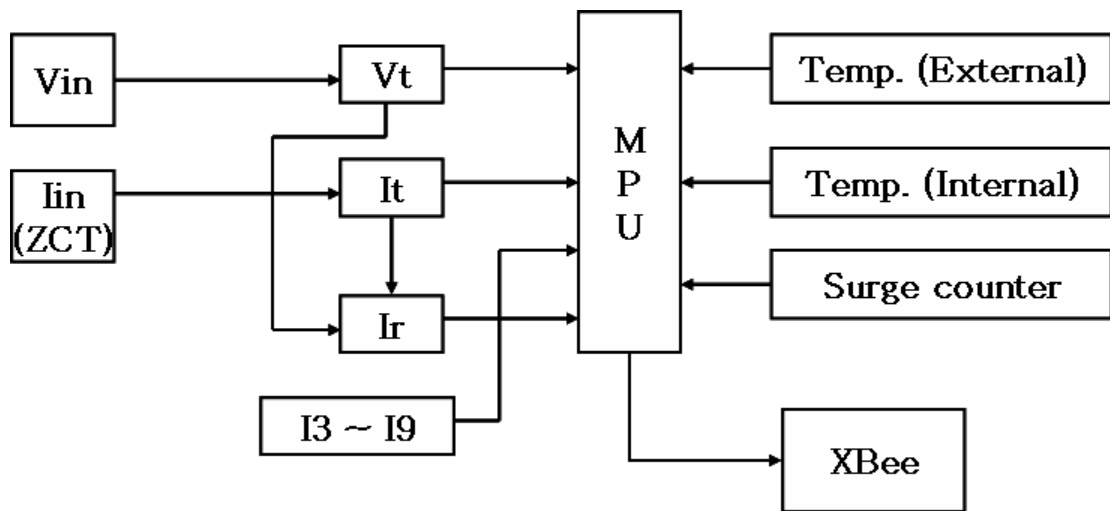


그림 2.9 피뢰기 계측장비의 회로 구성

Fig. 2.9 The block diagram of lightning arrester measurement equipments

(1) 피뢰기 계측 장비의 사양

피뢰기의 상태 감시와 열화 진단의 정확성을 높이기 위해 그림 2.9의 회로 구성과 같이 누설전류(Ir)이외에도 고조파(I3~I9), 온도(Temp.) 등 필요한 데이터를 계측하는데, 표 2.1과 같이 총 11개의 데이터를 측정하게 된다. 또한, 고감도 영상변류기를 사용했기 때문에 피뢰기가 동작중인 상태에서도 계측이 가능하다. 인가전압의 최대 크기는 170KV이고 계측 데이터의 오차범위는 $\pm 15\%$ 이다.

전체 누설전류 값은 영상변류기를 이용하여 피뢰기의 접지선으로부터 검출한다. 제 3고조파 누설전류부터 제 9고조파 누설전류까지는 증폭회로와 필터회로를 이용하여 검출하게 된다. 그리고 등전위 검출법을 적용하여 전체 누설전류로부터 저항분 누설전류 최대값과 실효값을 구한다. 적외선 센서를 이용하여 피뢰기 표면온도와 주위온도를 측정하였고 유입되는 서지 이벤트는 서지 발생 횟수(surge count)뿐만 아니라 유입된 서지의 크기와 극성까지 측정 할 수 있다.

이렇게 측정된 데이터들은 MPU(Micro-Processor Unit)에서 최종 보정을 거친 후 무선 모듈을 통해 RF로 전송된다. 피뢰기 계측 장비에서 사용된 무선 모듈은 MaxStream사의 'XBee'라는 제품이다.

표 2.1 측정 데이터 및 특성

Table 2.1 The measurement data and characteristics

측정 데이터	약어	전기적 특성
전체 누설전류 실효값	Total Rms	100 μ A ~ 5mA
전체 누설전류 최대값	Total Peak	100 μ A ~ 5mA
저항분 누설전류 최대값	Resistive	50 μ A ~ 1mA
제 3고조파 누설전류	3rd Harmonic	50 μ A ~ 1mA
제 5고조파 누설전류	5th Harmonic	50 μ A ~ 1mA
제 7고조파 누설전류	7th Harmonic	50 μ A ~ 1mA
제 9고조파 누설전류	9th Harmonic	50 μ A ~ 1mA
피뢰기 주위온도	Ambient Temperature	-40 ~ 80 $^{\circ}$ C
피뢰기 표면온도	Surface Temperature	-40 ~ 80 $^{\circ}$ C
양극 서지 이벤트	Positive Surge Event	8/20 μ s, 최대 500KA
음극 서지 이벤트	Negative Surge Event	8/20 μ s, 최대 500KA

(2) 데이터 프로토콜의 특징

MPU에서 최종 보정을 거친 후 무선 모듈을 통해 전송되는 데이터의 프로토콜은 그림 2.10과 같다.

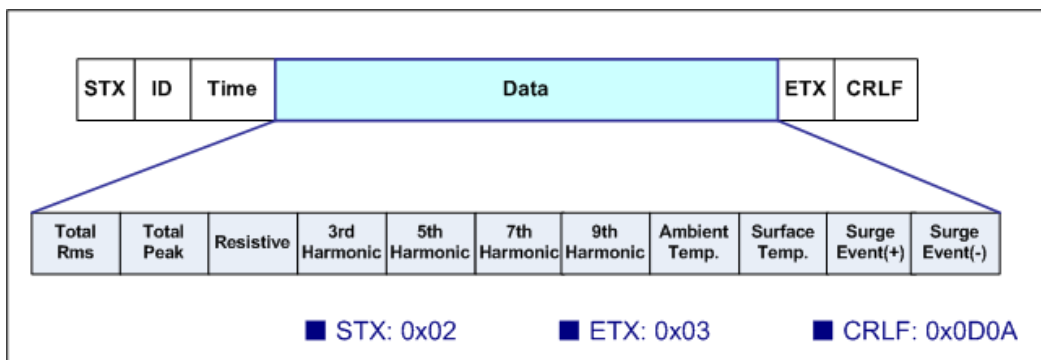


그림 2.10 데이터 프로토콜

Fig. 2.10 Data protocol

이 데이터 프로토콜은 다음과 같다.

- 프로토콜은 STX 비트로 시작해서 ETX 비트로 끝난다.
- 총 16개의 프레임으로 구성되며 각각의 프레임사이에는 쉼표(,)로 구분된다.
- Data는 11 프레임이며 각 프레임의 크기는 4바이트이다.
- ID는 두 자리 10진수를 가지며 크기는 2바이트이다.
- Time은 시간을 나타내고 포맷은 '20061018130124'(2006년 10월 18일, 13시 01분 24초)와 같이 나타내며 크기는 14바이트이다.
- 프로토콜의 전체 크기는 80바이트이다.

그림 2.11은 GIS용 피뢰기의 상태감시 및 열화진단 시스템의 통신 방법을 간략하게 보여준다. 여러 대의 피뢰기 계측 장비가 측정한 데이터를 그림 2.10과 같은 데이터 프로토콜 형태로 만들어서 PC에 전송하게 되는데, 데이터 전송주기는 기본적으로 10초에 한 번씩으로 한다. PC에서는 여러 대의 피뢰기 계측 장비로부터 수신 받은 데이터 프로토콜을 처리하여 화면에 보여주거나 열화를 진단한다.

이때 무선 통신에 사용되는 모듈이 XBee 모듈이다. 이 XBee 모듈은 2.2장에서 소개한 IEEE 802.15.4 표준을 그대로 따르고 있으며, MPU에서의 최종 데이터를 무선으로 전송해주는 역할을 수행한다. XBee 모듈의 장점은 최대 100m까지 전송가능하며, 데이터 송수신에 소모되는 전력이 아주 작다. 또한 FFD와 RFD 디바이스로의 설정이 간단하기 때문에 쉽게 PAN 네트워크를 구성할 수 있다.

GIS용 피뢰기의 상태감시 및 열화진단 시스템이 설치된 PC에 연결된 XBee 모듈에는 ID를 00으로 설정, FFD 디바이스로써 동작하도록 하고 피뢰기 계측 장비들의 XBee 모듈은 ID는 01 ~ 99로 설정, RFD 디바이스로써 동작하도록 하여 통신 네트워크를 구성한다.

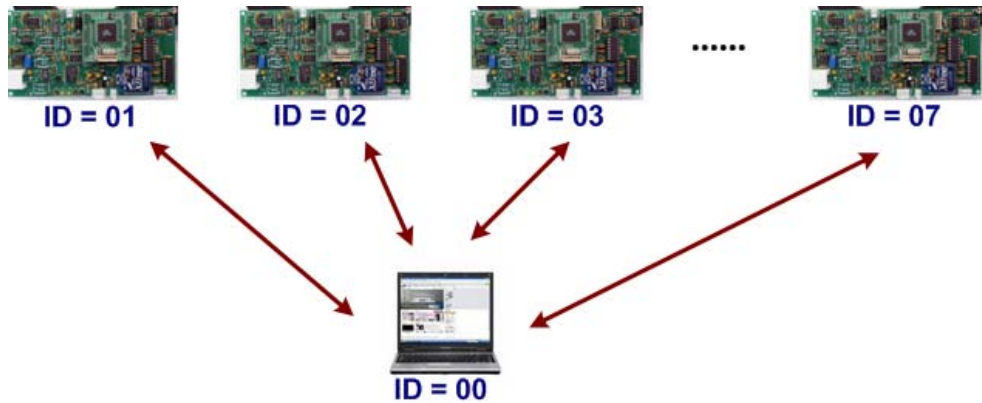


그림 2.11 피뢰기 계측 장비의 통신 방법

Fig. 2.11 Communication method of lightning arrester measurement equipments

3장과 4장에서는 피뢰기 계측 장비를 사용하여 GIS용 피뢰기의 상태감시 시스템과 열화진단 시스템을 어떻게 설계하고 구현하였는지를 설명한다.

제 3 장 상태감시 시스템의 설계 및 구현

본 논문에서 제안한 상태감시 및 열화진단 시스템의 전체 구성은 그림 3.1과 같다. 피뢰기 계측 장비에서는 10초마다 한 번씩 계측 데이터를 무선으로 전송한다. 제안한 시스템과 연결된 XBee 모듈에서는 무선으로 수신받은 데이터를 시리얼 통신을 사용하여 전송함으로써 피뢰기의 상태를 감시하고 열화를 진단하게 된다. 피뢰기의 상태감시 시스템과 관련된 모듈은 데이터 송수신 모듈과 데이터 처리 모듈이다. 데이터 송수신 모듈은 피뢰기 계측 장비들과의 송수신과 관련된 처리를 담당한다. 그리고 데이터 처리 모듈은 수신받은 계측 데이터를 상태감시 화면으로 보여주거나 데이터베이스에 저장되도록 가공한다.

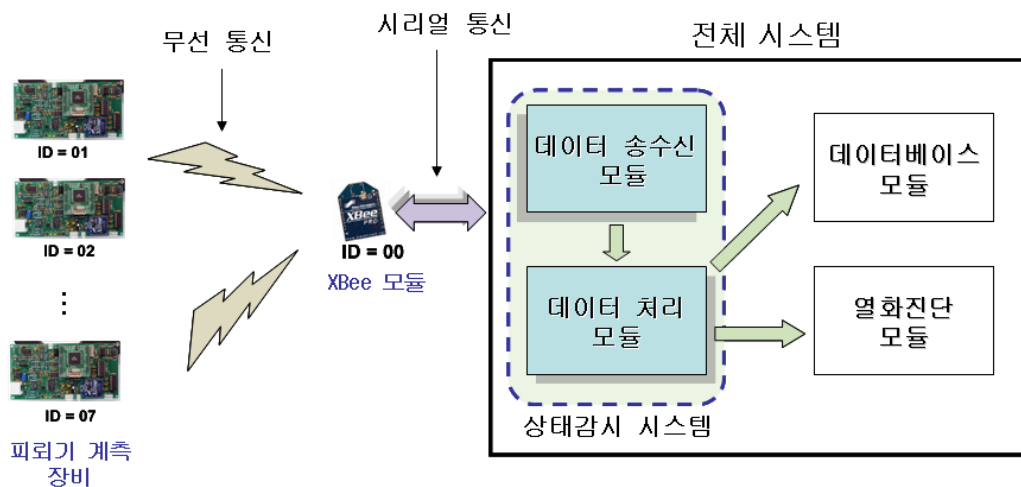


그림 3.1 상태감시 시스템의 모듈 구성

Fig. 3.1 The consist of module of monitoring system

3.1 데이터 송수신 모듈

(1) 데이터 수신 모듈

피뢰기 장비로부터 무선으로 수신받은 데이터는 XBee 모듈에 저장된다. XBee 모듈에서는 저장된 데이터를 송수신 모듈로 전송하는데 이때는 시리얼 통신을 사용한다. 데이터 수신 모듈에서는 그림 3.2와 같은 알고리즘을 사용하여 XBee 모듈로부터 수신받은 데이터를 처리한다.

이 수신 알고리즘은 수신받은 데이터를 그림 2.10과 같은 데이터 프로토콜 형태로 만들어 준다. 이 데이터 프로토콜은 STX 비트로 시작해서 ETX 비트로 끝이 난다. 따라서 수신받은 데이터의 위치를 나타내는 변수 'pos'를 사용하여 수신받은 데이터가 STX 비트이고 'pos'가 0이면 임시 변수인 'tempBuff[0]'에 STX 비트 값을 넣어준다. 그 후 ETX 비트를 수신 받을 때까지 'tempBuff[]'에 수신받은 데이터를 차례로 저장하고 마지막으로 ETX 비트를 수신하면 'tempBuff[]'가 완성된다. 이 'tempBuff[]'는 데이터 처리 모듈에서 상태감시 화면으로 보여주거나 데이터베이스에 저장된다.

이 수신 알고리즘은 쓰레드를 사용하여 수신 데이터가 있는 경우 항상 동작한다. 그렇기 때문에 데이터 수신중에 'tempBuff[]'를 데이터 처리 모듈에서 사용하게 되면 'tempBuff[]'의 값이 변경될 수 있다. 따라서 'b_Processing'이라는 변수를 사용함으로써 데이터 처리 모듈이 동작 중일 때는 데이터를 수신하지 못하도록 한다.

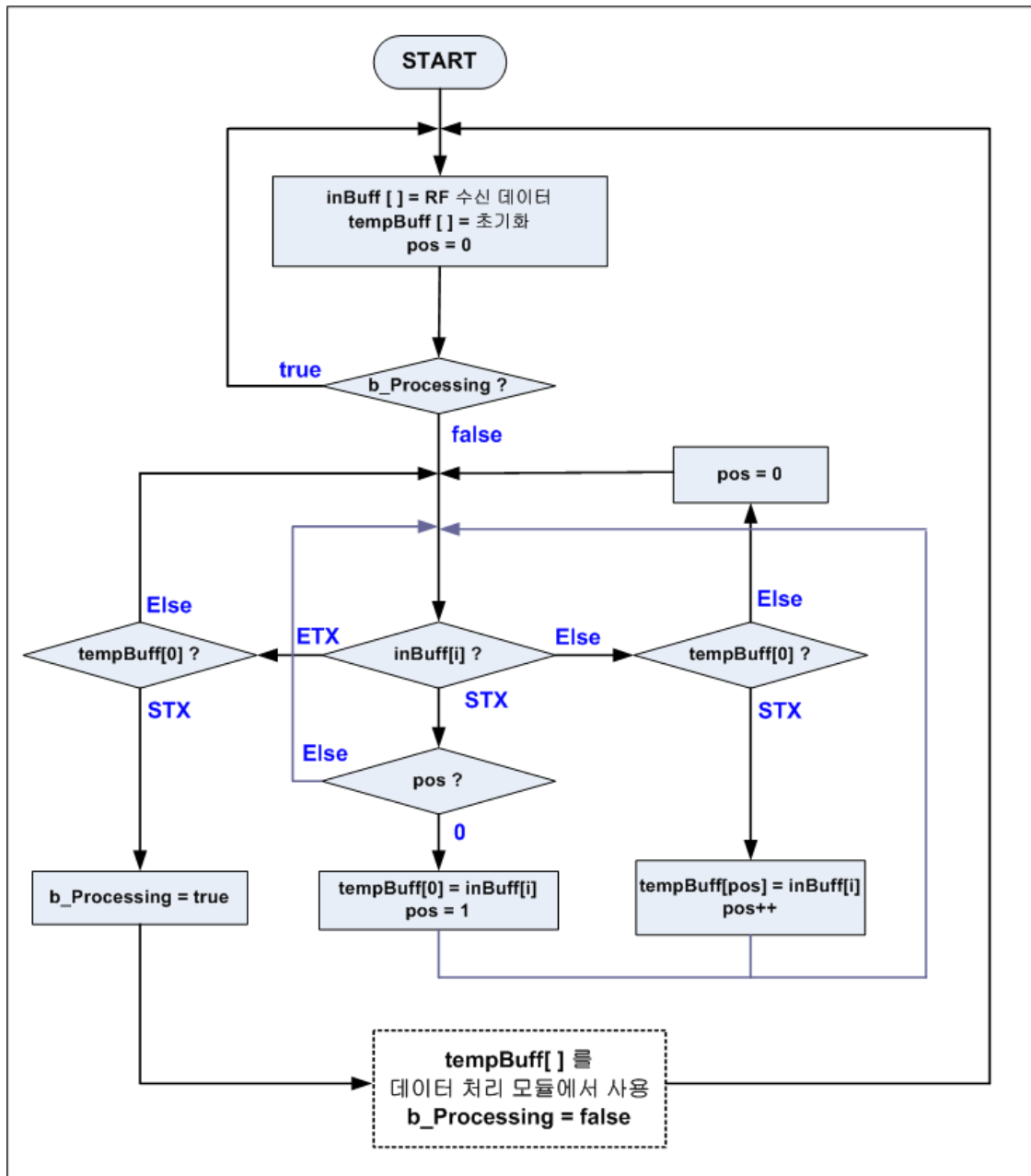


그림 3.2 데이터 수신 알고리즘
 Fig. 3.2 Data receiving algorithm

(2) 데이터 송신 모듈

반면, 데이터 송신의 경우 필요한 경우에만 동작하면 되는데, 다음 두 가지 경우에 데이터 송신 모듈이 동작한다.

a) 피뢰기 계측 장비에 ID 값 부여

피뢰기 계측 장비마다 고유의 ID 값을 부여할 때 필요하다. ID 프로토콜은 다음과 같다.

I	00 ~ 99	D
---	---------	---

b) 피뢰기 장치에 시간 값 부여

피뢰기 장치에는 시간회로가 있지만 전원이 공급되지 않는 동안에는 동작하지 않는다. 따라서 피뢰기 계측 장비로부터 수신받은 데이터의 계측 시간이 잘못되어 있을 경우 수정해 줄 필요가 있는데, 이 경우에 시간 값을 전송한다. 전송하는 시간 프로토콜은 다음과 같다. 예를 들어 2006년 12월 14일 오후 5시 35분 25초의 시간을 전송할 경우, 'Y20061214173525E'를 피뢰기 계측 장비로 전송한다.

Y	yyyymmddhhmmss	E
---	----------------	---

3.2 데이터 처리 모듈

데이터 처리 모듈에서는 데이터 송수신 모듈에서 수신받은 데이터를 처리하여 상태감시 화면에 보여주는 일을 담당한다. 그림 3.3은 데이터 처리 모듈의 역할을 보여주고 있다. 우선, 수신받은 데이터를 분석하여야 한다. 데이터 프로토콜은 콤마(',') 단위로 프레임을 구분하기 때문에 ',' 단위로 파싱하여 처리한다. 파싱 후 남은 데이터는 피뢰기 ID(ID), 계측 시간(Time), 전체 누설전류 실효값(Total Rms), 전체 누설전류 최대값(Total Peak), 저항분 누설전류 최대값(Resistive), 제 3고조파 누설전류(3rd Harmonic), 제 5고조파 누설전류(5th Harmonic), 제 7고조파 누설전류(7th Harmonic), 제 9고조파 누설전류(9th Harmonic), 피뢰기 주위 온도(Ambient Temp), 피뢰기 표면온도(Surface Temp), 양극 서지 이벤트(Surge Event(+)), 음극 서지 이벤트(Surge Event(-))까지 총 13개의 데이터가 된다. 이 데이터들을 상태감시 화면에 실시간으로 보여주고 필요한 경우 데이터베이스에 저장한다.

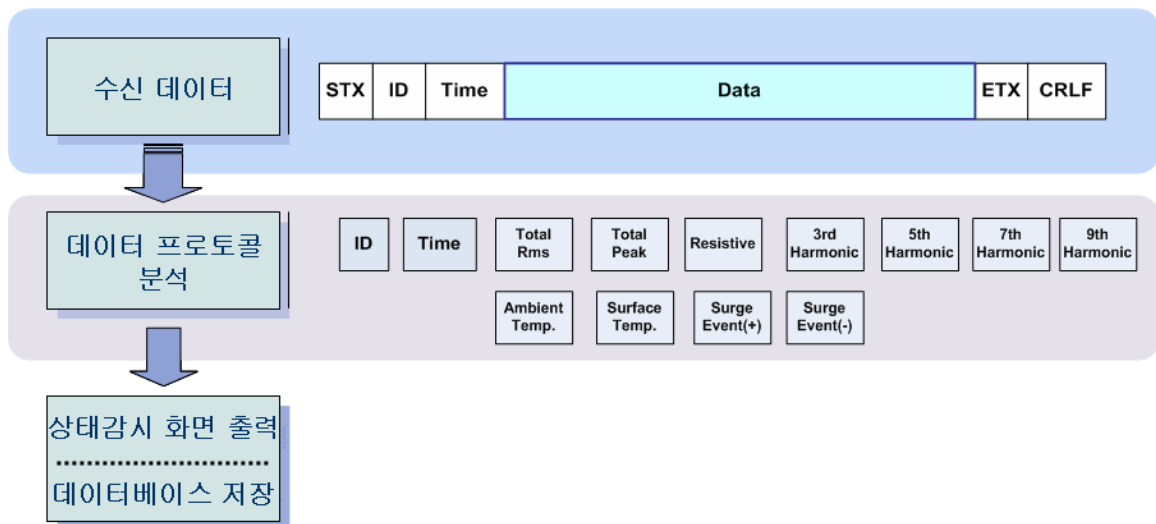


그림 3.3 데이터 프로토콜 분석

Fig. 3.3 Analysis of data protocol

(1) 상태감시 화면

상태감시 화면은 실시간으로 피뢰기 계측 장비로부터 수신받은 값들을 보여준다. 기존의 상태감시 시스템의 경우, 하나의 피뢰기로부터 값을 수신받기 때문에 하나의 피뢰기만을 고려하여 처리하면 되었는데 본 논문의 상태감시 시스템은 여러 대의 피뢰기로부터 수신받은 데이터를 처리하여야 하기 때문에 그림 3.4와 같이 수신받은 데이터 전체를 보여주는 화면과 하나의 피뢰기에 대해 상세하게 값을 보여주는 화면으로 나누어 구현한다.

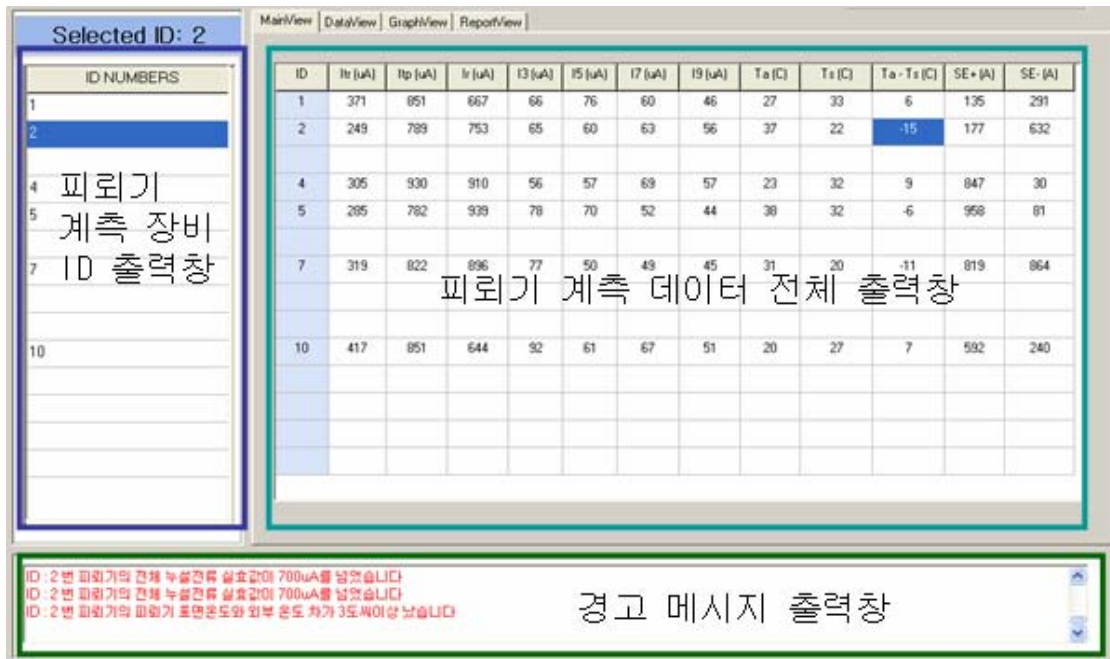


그림 3.4 전체 데이터 출력 화면

Fig. 3.4 Output display of whole data

그림 3.4에서 왼편의 ID 출력창에는 데이터 수신중인 피뢰기 계측 장비의 ID가 출력된다. ID를 보여주는 방법은 두 가지가 있다.

첫 번째는 수신되는 순서대로 ID를 출력 방법이다. 이 방법의 경우는

ID가 순차적이지 않은 경우에 효율적이며 동적으로 공간을 할당하거나 삭제할 수 있다. 두 번째는 미리 ID NUMBERS에 ID를 부여하는 방법이다. ID NUMBERS의 리스트에 위에서부터 차례대로 1, 2, 3, ..., 15까지 미리 ID를 할당한다. 그리고 분석한 수신 데이터에서 ID를 확인한 후, 그 값에 맞는 위치에 ID를 출력해준다. 따라서 ID 데이터가 없는 경우는 빈 공간으로 남겨둬야 하며, ID 번호가 15가 넘어가면 화면에 출력할 수 없다.

본 시스템에서는 두 번째의 방법을 사용하여 구현한다. 피뢰기 계측 장비의 ID를 순차적으로 할당할 것으로 가정했을 때, 피뢰기 계측 장비 ID 출력창에 ID 순서대로 데이터가 출력된다. 따라서 출력창에 비어있는 리스트가 발생하면 피뢰기 계측 장비가 제대로 동작하지 않음을 바로 확인할 수 있으며, ID 순서대로 데이터를 화면에 출력함으로써 원하는 피뢰기의 데이터를 쉽게 찾을 수 있다는 장점도 있기 때문이다.

그림 3.4의 오른쪽은 여러 대의 피뢰기 계측 장비로부터 수신 받은 데이터 전체를 출력하는 창이다. 이 출력창의 특징은 다음과 같다.

- 정상적인 값인 경우에는 검은색으로 값을 출력한다.
- 비정상적인 값이 들어온 경우, 피뢰기 ID와 비정상적인 값 부분을 표시해주고 경고 메시지 출력창에 경고 메시지를 출력해준다.
- 피뢰기 계측 장비 ID 출력창에서 ID를 더블클릭하면 상세 데이터 출력 화면으로 전환한다.

그림 3.4의 아래 부분은 경고 메시지를 출력하는 창이다. 경고 메시지의 종류는 다음과 같다.

a) 비정상적인 값이 발생한 경우

실시간으로 들어오는 데이터를 바탕으로 비정상적인 값이 발생한 경우, 경고를 출력한다. 예를 들어 GIS용 피뢰기의 경우, 전체 누설전류 최대값은 정상 값의 범위가 $200\mu\text{A} \sim 500\mu\text{A}$ 이다. 하지만 $700\mu\text{A}$ 가 넘어가면 이상 발생하였다고 볼 수 있기 때문에 경고를 출력해 준다.

b) 열화 진단 결과를 출력할 경우

데이터베이스에 저장된 계측 데이터를 이용하여 피뢰기의 열화를 진단한 후 진단 결과를 출력한다.

c) 데이터베이스 처리 결과를 출력할 경우

데이터베이스의 연결 유무, 데이터 삭제 유무, 저장 주기 유무 등의 데이터베이스 처리와 관련된 메시지를 출력한다.

상세 데이터 출력 화면은 그림 3.5와 같다. 그림 3.4의 피뢰기 계측 장비 ID 출력창에 나타난 ID를 더블클릭하면 클릭한 ID의 피뢰기 계측 데이터를 출력한다. 전체 화면이 텍스트 위주로 출력된 것에 반해, 상세 데이터 화면은 막대그래프를 사용함으로써 좀 더 보기 편하게 구현한다. 이 화면의 특징은 다음과 같다.

- 막대그래프는 표 2.1의 전기적 특성을 바탕으로 구현하는데, 같은 범위의 값에 대해서는 단위가 함께 변하도록 한다. 예를 들어 Total Rms가 2mA이고 Total Peak가 $600\mu\text{A}$ 가 되면 두 데이터의 그래프에 표시되는 단위를 0 ~ 3mA로 바꿔서 값의 차이를 확연히 확인할 수 있도록 한다.

- 비정상적인 값이 발생한 경우, 그래프의 색깔을 정상적인 값과 구별 되도록 표현해서 이상이 발생했음을 알릴 수 있도록 한다.
- 서지 이벤트의 경우, 값의 크기보다 발생한 횟수가 중요하기 때문에 0 ~ 5KA까지 10단위로 나뉘서 발생 범위에 따라 누적된 횟수를 출력하도록 한다. 또한 양극 서지 이벤트 값과 음극 서지 이벤트 값의 분포를 함께 볼 수 있도록 왼쪽의 막대그래프는 양극 서지 이벤트 값, 오른쪽의 막대그래프는 음극 서지 이벤트 값으로 표현한다.
- 가장 마지막에 발생한 서지 이벤트는 발생한 시간, 극성, 크기를 보여 준다.

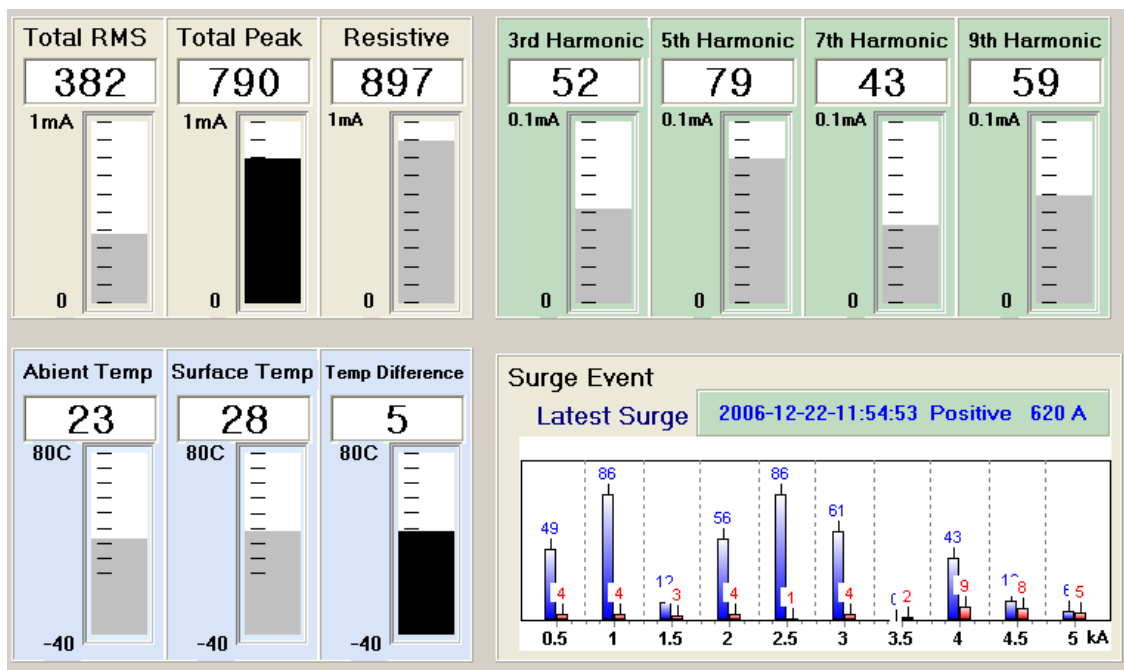


그림 3.5 상세 데이터 출력 화면

Fig. 3.5 Output display of detailed data

3.3 상태감시 시스템 실행 화면

우선, 실제 변전소의 GIS용 피뢰기가 설치된 환경에서는 피뢰기 계측 장비들에게 ID 번호와 시간 값을 전송하여 초기화시켜 주어야 한다. 그림 3.6에서 시간설정 버튼과 ID설정 버튼을 클릭하면 피뢰기 계측 장비로 시간과 ID 값을 전송한다. 2장에서 소개한 피뢰기 계측 장비로 테스트해 본 결과 문제없이 시간과 ID가 변경됨을 확인할 수 있었다.

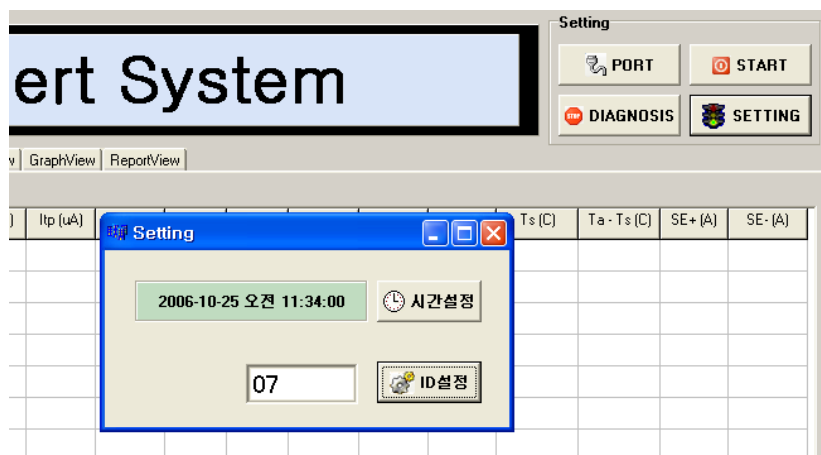


그림 3.6 피뢰기 계측 장비의 ID와 현재 시간 설정

Fig. 3.6 Setting of ID and current time for lightning arrester measurement equipments

하지만 실제 현장의 GIS용 피뢰기를 대상으로 테스트를 할 수 없어 XBee 모듈과 계측 데이터 생성 프로그램을 이용하여 실제 현장의 피뢰기 계측 데이터와 유사한 데이터를 10초마다 한 번씩 전송하도록 구축하였다. 그림 3.7은 컴퓨터에 연결 가능한 XBee 모듈 장치이고 그림 3.8은 계측 데이터를 생성해주는 프로그램 화면이다. XBee 모듈 장치는 무선으로 데이터를 전송함으로써 실제 피뢰기 계측 장비의 역할을 수행한다.

본 논문에서는 상태감시 시스템의 테스트를 위해 실제 변전소 환경을

모델로 하여 XBee 모듈 장치 3대를 각각 컴퓨터에 연결하였다. 각 컴퓨터에 설치된 피뢰기 계측 데이터 생성 프로그램에서는 각각 ID 1과 2, ID 4와 5, ID 7과 10의 데이터를 5초마다 전송되게 함으로써 총 6대의 피뢰기 계측 장비로부터 데이터를 수신받는 환경을 구현하여 시스템을 테스트하였다.



그림 3.7 XBee 모듈 장치

Fig. 3.7 The XBee module devices

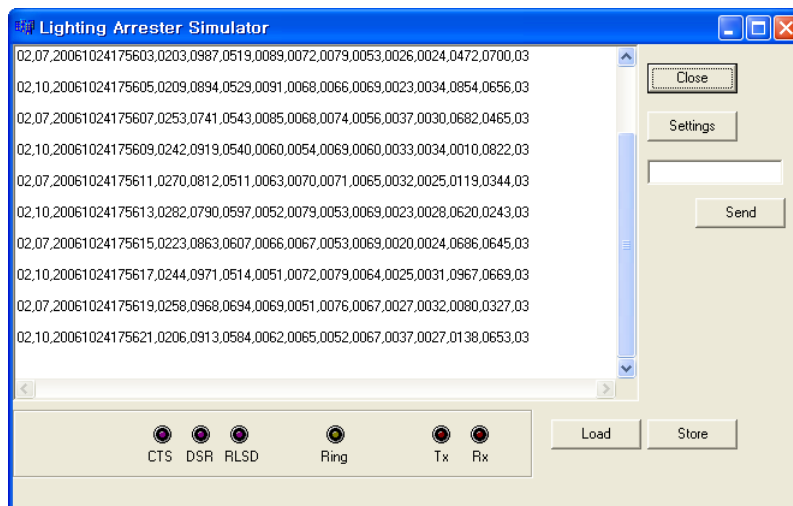


그림 3.8 피뢰기 계측 데이터 생성 프로그램

Fig. 3.8 The generator program of lightning arrester measurement data

그림 3.9는 시뮬레이터 환경으로부터 데이터를 수신받아 전체 출력하는 화면이다. 비정상적인 값이 발생하면 어느 데이터에서 발생하였는지를 나타내고 경고 메시지를 출력한다. 왼편의 ID 번호를 클릭하면 그림 3.10과 같은 상세 정보 창으로 넘어간다. 상세 정보 창에서는 선택한 피뢰기의 정보를 막대그래프 형태로 보여준다. 서지 이벤트의 경우에는 누적된 횟수를 계속 보여줌으로써 자주 유입되는 서지의 크기를 확인할 수 있다.

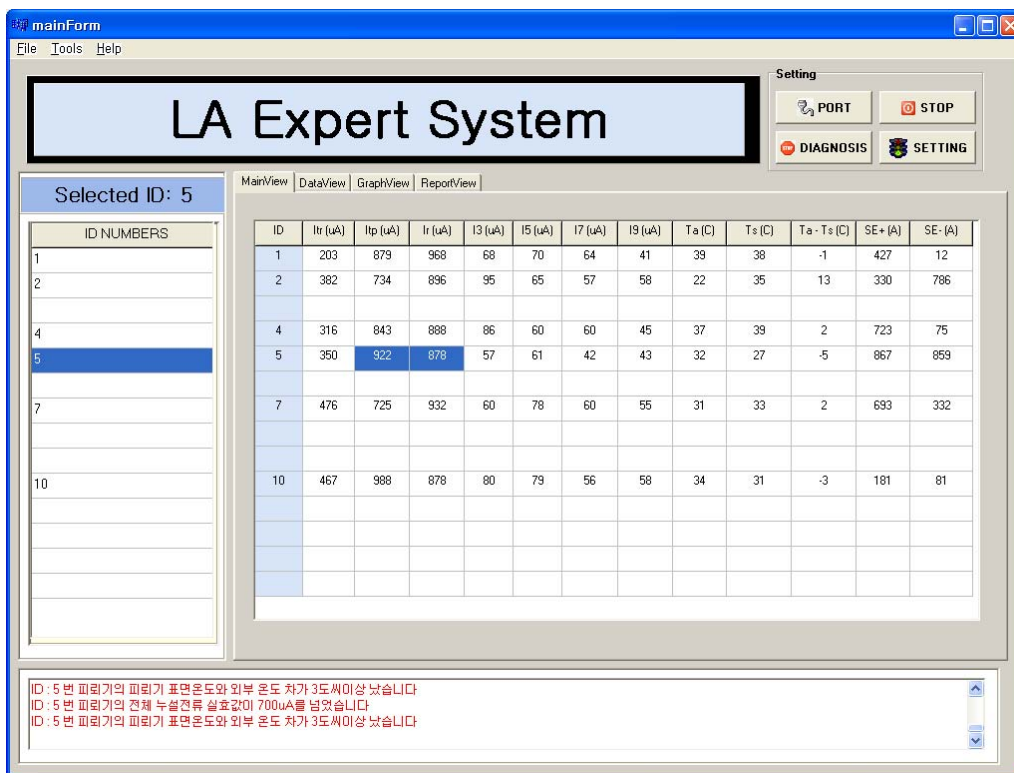


그림 3.9 전체 데이터 화면

Fig. 3.9 Display of whole data

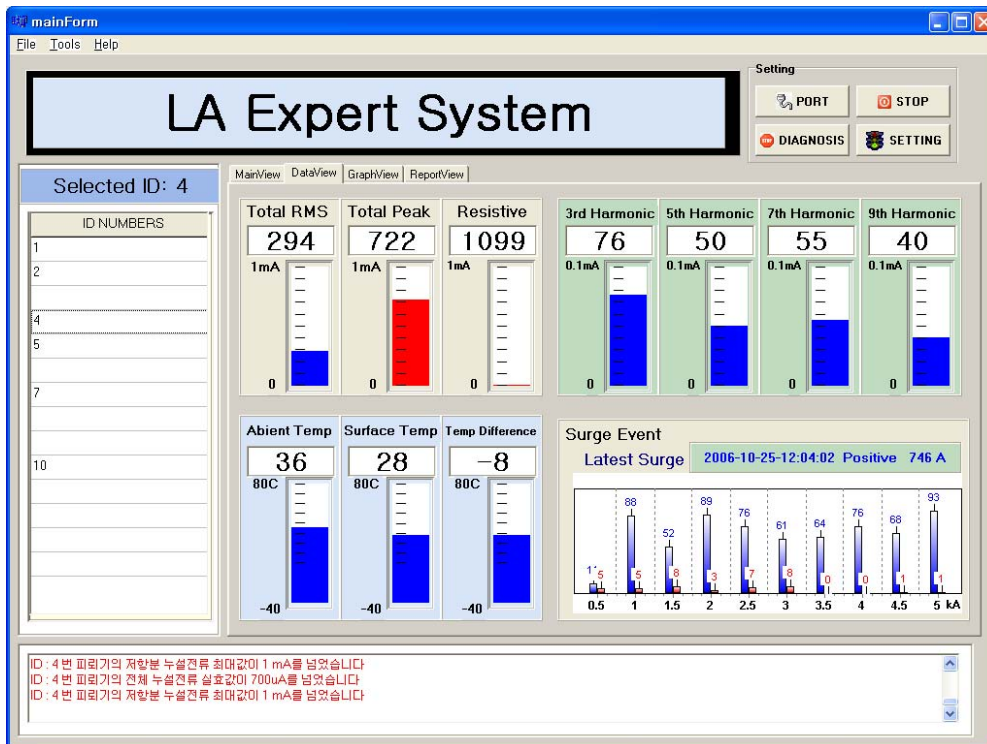


그림 3.10 상세 데이터 화면

Fig. 3.10 Display of detailed data

제 4 장 열화진단 시스템의 설계 및 구현

그림 4.1에서 열화진단 시스템과 관련된 모듈은 데이터베이스 모듈과 열화진단 모듈이다. 데이터베이스 모듈은 데이터베이스에 피뢰기 계측 데이터를 저장하거나 저장된 데이터를 그래프로 보여주는 역할을 수행하고 열화진단 모듈에서는 데이터베이스에 저장된 데이터를 사용하여 피뢰기의 열화 유무를 판단한다.

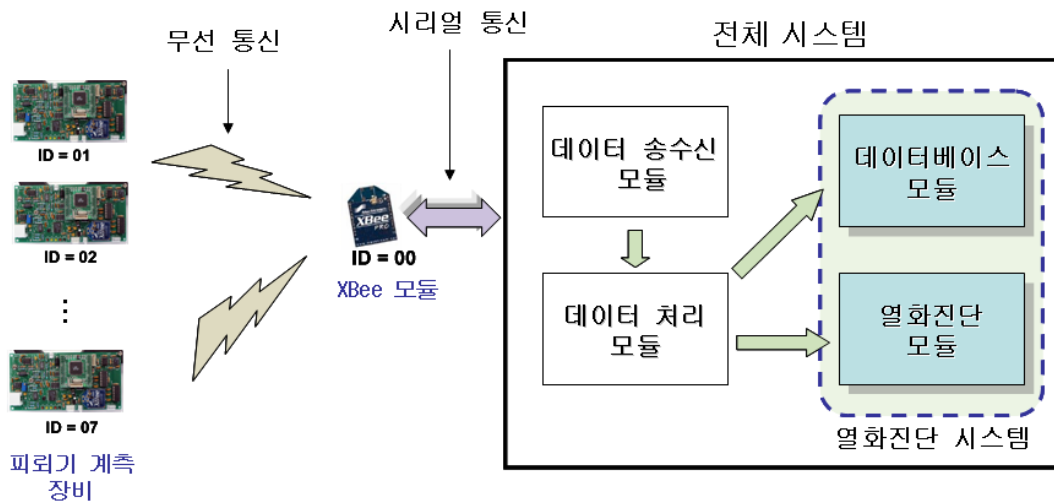


그림 4.1 열화진단 시스템의 모듈 구성

Fig. 4.1 The consist of module of aging diagnosis system

4.1 데이터베이스 모듈

피뢰기 계측 장비로부터 수신받은 계측 데이터를 데이터베이스에 저장함으로써 열화 진단을 위한 기반으로 사용한다. 또한 데이터베이스에 누적된 계측 데이터를 바탕으로 누설전류가 증가하는 시간대나 서지 유입이 많이 발생하는 시간 등 피뢰기의 상태 정보를 좀 더 상세히 관찰할 수 있

을 것이다. 따라서 데이터베이스 모듈에서는 피뢰기 계측 데이터를 데이터베이스에 저장하거나 삭제한다. 그리고 계측 데이터의 변화량을 그래프로 출력해 주는 역할을 처리한다. 본 열화진단 시스템에서는 MySQL 5.0 데이터베이스를 사용한다. 표 4.1은 데이터베이스에 저장되는 데이터, 컬럼 이름 그리고 저장형태를 보여준다.

표 4.1 피뢰기 데이터베이스의 특징

Table 4.1 Characteristics of lightning arrester database

컬럼 이름	저장 데이터	저장형태
time	현재 시간	text(300)
id	피뢰기 ID	int(10)
itr	전체 누설전류 실효값	int(10)
itp	전체 누설전류 최대값	int(10)
ir	저항분 누설전류 최대값	int(10)
i3	제 3 고조파 누설전류	int(10)
i5	제 5 고조파 누설전류	int(10)
i7	제 7 고조파 누설전류	int(10)
i9	제 9 고조파 누설전류	int(10)
ta	피뢰기 외부 온도	int(10)
ts	피뢰기 표면 온도	int(10)
sepos	양극 서지 이벤트	int(10)
seneg	음극 서지 이벤트	int(10)

그림 4.2는 데이터베이스의 연결 및 그래프 출력 화면이다. 데이터베이스 모듈은 크게 데이터베이스 연결, 데이터베이스 데이터 저장, 데이터베이스 데이터 삭제, 그래프 출력 부분으로 나누어진다. 각 부분에서 처리하는 일을 살펴보면 다음과 같다.



그림 4.2 데이터베이스 처리 및 그래프 출력 화면

Fig. 4.2 Output display of database processing and graph

(1) 데이터베이스 연결

MySQL 데이터베이스와 열화진단 시스템을 연결한다. 그리고 데이터를 입력하거나 삭제할 때 SQL 질의문(SQL query)을 사용하여야 하는데, 그와 관련된 초기화를 처리하는 부분이다.

(2) 데이터베이스 데이터 저장

표 4.1의 13개의 데이터는 SQL 질의문 중 'insert' 질의문을 사용하여 데이터베이스에 저장한다. 피뢰기 계측 장비로부터는 10초마다 한 번씩 데이터를 수신받게 되고 피뢰기도 여러 대이기 때문에 모든 수신 데이터를 저장하려고 하면 데이터베이스의 크기가 엄청나게 늘어난다. 피뢰기의 수명이 10 ~ 15년 사이임을 감안할 때 모든 데이터를 저장할 필요성은

없다. 따라서 데이터는 기본적으로 10분마다 그때 수신받은 피뢰기 계측 장비의 데이터를 데이터베이스에 저장한다. 그리고 저장주기는 10분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간으로 사용자가 선택할 수 있도록 구현한다. 또한 이상 값이 발생한 경우에는 자동적으로 데이터베이스에 저장되도록 한다.

(3) 데이터베이스 데이터 삭제

데이터베이스를 백업하였거나 시스템을 초기화시킬 때와 같이 특별한 경우나 사용자의 필요에 의해 데이터베이스에 든 데이터를 삭제할 경우가 발생한다. 따라서 본 시스템에서는 1개월, 3개월, 6개월, 1년, 3년, 5년 이전의 자료를 사용자가 선택하여 삭제할 수 있도록 구현한다.

데이터베이스의 데이터 삭제의 경우 'time' 컬럼을 이용하여 삭제한다. 현재시간이 2006년 11월 23일 17시 35분 22초일 경우, 데이터베이스에서 3개월 이전의 데이터를 삭제방법은 그림 4.3과 같다. 이 예를 실행하게 되면 2006년 11월, 2006년 10월, 그리고 2006년 9월이 아닌 모든 데이터를 삭제한다.

```
delete from 'ar_table' where 'time' NOT IN (select 'time' from 'ar_table'  
where 'time' like "200611%" and "200610%" and "200609%")
```

그림 4.3 데이터베이스의 데이터 삭제의 예

Fig. 4.3 An example of data delete from database

(4) 그래프 출력

그림 4.2의 아래 화면은 피뢰기의 계측 데이터들 중에서 선택한 데이터의 변화량 그래프가 출력되는 화면이다. 데이터베이스에 저장된 데이터를

하루, 1주일, 한 달, 1년 단위로 그래프를 보여줌으로써 피뢰기의 상태 변화를 관찰할 수 있으므로 피뢰기의 열화를 판단하는데 도움을 준다. 각 단위별로 그래프를 출력하는 방법은 다음과 같다.

- 하루(Day)인 경우, 데이터베이스에서 하루 동안 저장된 값을 가져와 1시간 단위로 평균을 구하여 24개의 값을 구한 후, 그래프로 나타낸다.
- 일주일(Week)인 경우, 데이터베이스에서 하루 단위로 평균을 구하여 7개의 값을 구한 후, 그래프로 나타낸다.
- 한 달(Month)인 경우, 데이터베이스에서 하루 단위로 평균을 구하여 30개의 값을 구한 후, 그래프로 나타낸다.
- 1년(Year)인 경우, 데이터베이스에서 한 달 단위로 평균을 구하여 12개의 값을 구한 후, 그래프로 나타낸다.

그림 4.4는 'id'가 1번인 피뢰기의 저항분 누설전류의 한달동안의 변화량을 그래프로 보여주기 위한 의사코드(pseudocode)이다. x축이 1인 경우, y축은 'ar_table'에서 'id'가 1번이고 'time'에 20061023이 들어 있는 데이터 중에서 'ir' 컬럼만을 선택하게 된다. 즉, 20061023의 데이터는 2006년 10월 23일의 데이터를 나타내므로 선택된 데이터의 평균을 구하면 하루 동안의 저항분 누설전류를 구하게 되는 것이다. 이런 방법으로 30일 이전까지의 하루하루의 평균 모두를 구하여 그래프로 출력한다.

```

현재시간 = 2006년 10월 23일
days = 0
while (days < 30) {
    x축 = 30 - days
    y축 = select avg('ir') from 'ar_table' where 'id=1' and
        time='(현재시간 - days)%'
    days = days + 1
}

```

그림 4.4 데이터 변화량 그래프 출력 의사코드의 예

Fig. 4.4 An example of pseudocode of data trend graph

4.2 열화진단 모듈

그림 4.5는 피뢰기의 열화 진단 구조를 보여준다. 우선 피뢰기의 열화와 관련된 진단 지식을 수집하여야 하는데, 피뢰기의 열화를 진단하는 방법은 피뢰기가 설치되는 장소, 환경, 보호하고자 하는 장비의 특성에 따라서 진단 방법이 조금씩 달라진다.

본 논문에서는 변전소의 GIS용 피뢰기를 대상으로 열화진단 시스템을 구현하기 때문에 전문가로부터 변전소의 GIS용 피뢰기의 열화를 진단하는 방법을 수집한다[11,12].

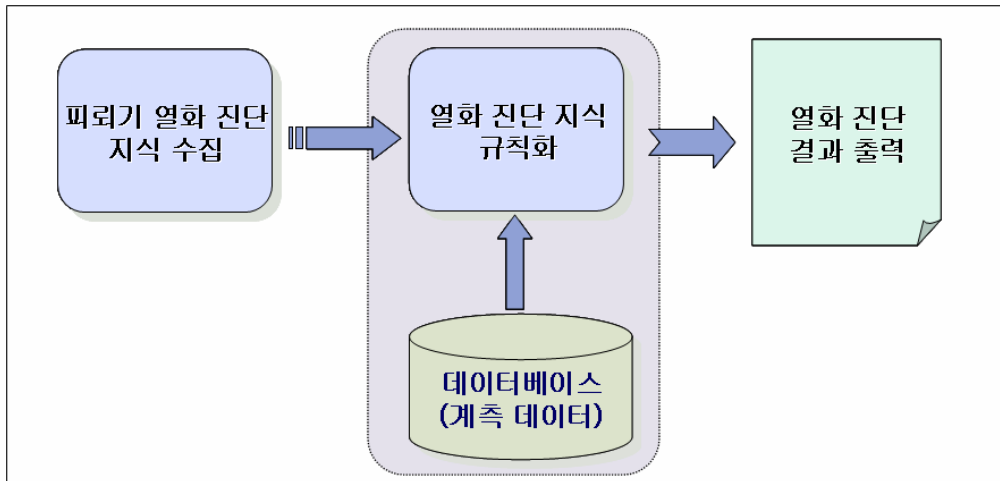


그림 4.5 피뢰기 열화 진단 구조

Fig. 4.5 The structure of aging diagnosis of lightning arrester

표 3.2는 수집한 열화 진단 방법을 6가지로 정리하여 나타낸 것이다.

표 4.2 GIS용 피뢰기의 열화 진단 방법

Table 4.2 Methods of aging diagnosis of GIS lightning arresters

No	열화 진단 방법
1	전체 누설전류가 증가했으면, 전체 누설전류의 실효값 또는 최대값을 확인한다.
2	저항분 누설전류가 증가했으면, 저항분 누설전류 최대값을 확인한다.
3	인가전압이 증가했으면, 전체 누설전류의 실효값 또는 최대값을 확인한다.
4	피뢰기 표면온도와 주위온도가 3도차 이상이면 피뢰기 상태를 확인한다.
5	고조파의 증가가 나타나면, 제 3고조파 누설전류 값을 확인한다.
6	서지 발생 횟수가 증가하면 피뢰기 상태를 확인한다.

이렇게 수집한 열화 진단 지식을 바탕으로 열화진단 모듈에서 사용 가능하도록 열화 진단 규칙을 생성하고 데이터베이스에 저장된 계측 데이터를 생성한 규칙에 적용함으로써 열화 진단 결과를 출력한다. 본 시스템에서 사용한 열화 진단 규칙은 총 5가지로 각 규칙에 대해 살펴보면 다음과 같다.

(1) 규칙 1: 전체 누설전류 증가

전체 누설전류의 경우 실효값과 최대값으로 나누어진다. 전체 누설전류 실효값이 증가하면 최대값도 증가하므로 실효값만을 이용하여 열화 판단에 이용한다. GIS용 피뢰기의 경우 실효값이 평균 $200\mu A \sim 500\mu A$ 정도이다. 따라서 처음의 실효값보다 2배 이상 증가하였을 진단 메시지를 출력한다. 그림 4.6은 MySQL 문법으로 작성한 의사코드이다. 열화를 진단하기 위해 선택한 피뢰기의 전체 누설전류 실효값을 초기의 100개와 마지막의 100개의 평균을 구하고 비교한다.

```

s_id = 선택한 피뢰기 id 값
초기값 = select avg('itr') from 'ar_table' where 's_id' order by 'time'
        asc limit 0,100
최근값 = select avg('itr') from 'ar_table' where 's_id' order by 'time'
        desc limit 0,100
if ( 최근값 >= 초기값 * 2 )
    "전체 누설전류 증가폭이 크므로 피뢰기를 점검하라"
    
```

그림 4.6 규칙 1의 의사코드

Fig. 4.6 The pseudocode of rule 1

(2) 규칙 2: 저항분 누설전류 증가

정상 동작중의 피뢰기 저항분 누설전류의 최대값은 $500\mu A$ 정도이다.

규칙 1에서와 같이 2배 이상 증가하였을 경우 진단 메시지를 출력한다.

(3) 규칙 3: 피뢰기 표면온도와 외부온도 차 증가

피뢰기의 전체 누설전류가 증가하면 피뢰기의 표면온도가 증가한다. 따라서 피뢰기의 표면온도와 외부온도의 차이가 3도 이상이 되면 진단 메시지를 출력하도록 한다. 그림 4.7의 의사코드는 열화 진단을 위해 선택한 피뢰기의 최근 100개의 데이터를 가져와 외부온도와 표면온도를 비교한다. 이때 온도 차가 3도 이상 나는 경우가 50번이상이면 열화 진단 메시지를 출력하는 코드이다.

```
s_id = 선택한 피뢰기 id 값
count = 0
while (100번) {
    표면온도 = select 'ts' from 'ar_table' where 's_id' order by 'time'
                desc limit 0,100
    외부온도 = select 'ta' from 'ar_table' where 's_id' order by 'time'
                desc limit 0,100
    if ( (표면온도 - 외부온도) >= 3) count++
}
if ( count >=50 )
    "피뢰기의 표면온도가 증가했으므로 피뢰기를 점검하라"
```

그림 4.7 규칙 3의 의사코드

Fig. 4.7 The pseudocode of rule 3

(4) 규칙 4: 제 3고조파 누설전류 증가

제 3고조파 누설전류의 파형은 저항분 누설전류의 파형과 크기만 다르고 동일한 변화를 가진다. 따라서 저항분 누설전류가 증가하면 제 3고조파 누설전류도 증가하므로 진단에 이용가능하다. 제 3고조파 누설전류는

정상 상태인 경우 $100\mu\text{A}$ 미만으로 흐른다. 규칙 1과 마찬가지로 2배 이상 증가하였을 경우 진단 메시지를 출력한다.

(5) 규칙 5: 서지 횟수 증가

피뢰기의 서지 유입 횟수가 많을수록 피뢰기의 열화가 빨리 진행된다. 따라서 서지 유입횟수가 100회 이상이면 진단 메시지를 출력하도록 한다. 그림 4.8은 서지 유입 횟수를 체크하고 진단 메시지를 출력하는 코드이다.

```
s_id = 선택한 피뢰기 id 값
count = 0
양극서지 = select count('sepos') from 'ar_table' where
           's_id' and 'sepos' != 0
음극서지 = select count('seneg') from 'ar_table' where
           's_id' and 'seneg' != 0
count = 양극서지 + 음극서지
if ( count >= 100 )
    "서지 유입횟수는 count 회이므로, 피뢰기를 점검하라"
else "서지 유입횟수는 현재까지 count 회 입니다"
```

그림 4.8 규칙 5의 의사코드

Fig. 4.8 The pseudocode of rule 5

위의 규칙 중 하나라도 적용되면 열화의 가능성이 있으니 피뢰기를 점검하라는 메시지를 출력하도록 한다. 또한 적용되는 규칙이 많을수록 열화의 가능성이 높다는 판단을 내릴 수 있다.

4.3 열화진단 시스템 실행 화면

그림 4.9는 피뢰기 5번의 저항분 누설전류 최대값에 대하여 하루 동안의 변화량을 그래프로 출력한 화면이다. 위쪽의 메모 상자에는 데이터베이스에 저장된 하루 동안의 저항분 누설전류 최대값들을 보여준다.

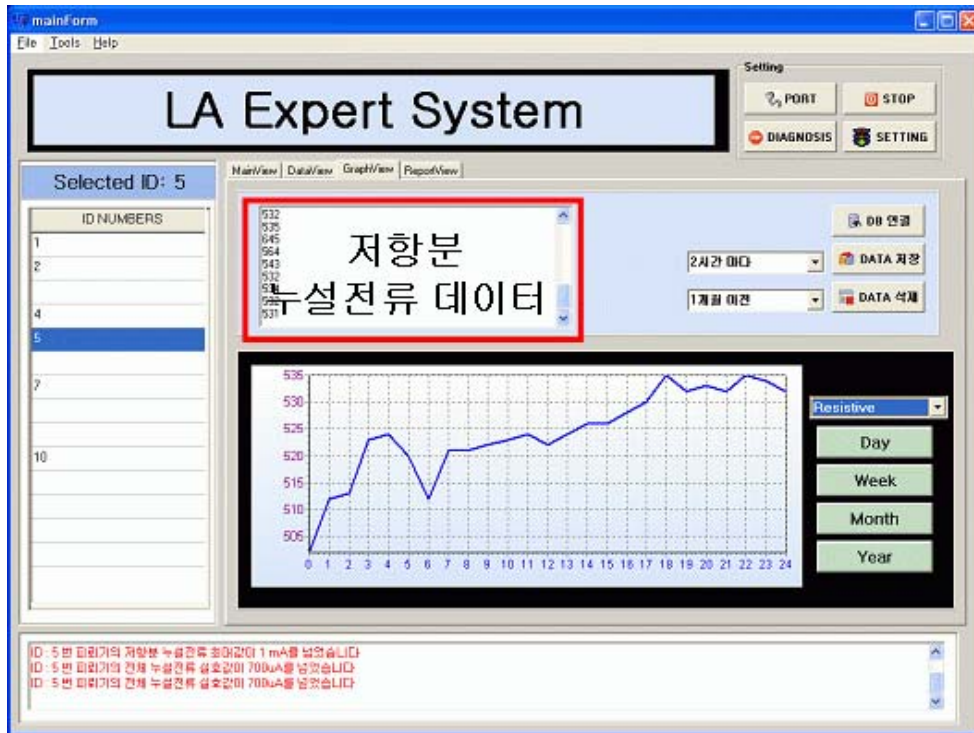


그림 4.9 데이터베이스 저장 및 그래프 화면

Fig. 4.9 Display of database save and graph

그림 4.10은 데이터베이스에 저장된 데이터를 바탕으로 피뢰기의 열화를 진단하는 화면이다. 4번 피뢰기를 선택하여 피뢰기 진단 버튼을 클릭하면 데이터베이스에 저장된 4번 피뢰기의 데이터들을 4.2장에서 정의한 열화 진단 규칙에 적용시킴으로써 피뢰기의 진단 결과를 출력한다.

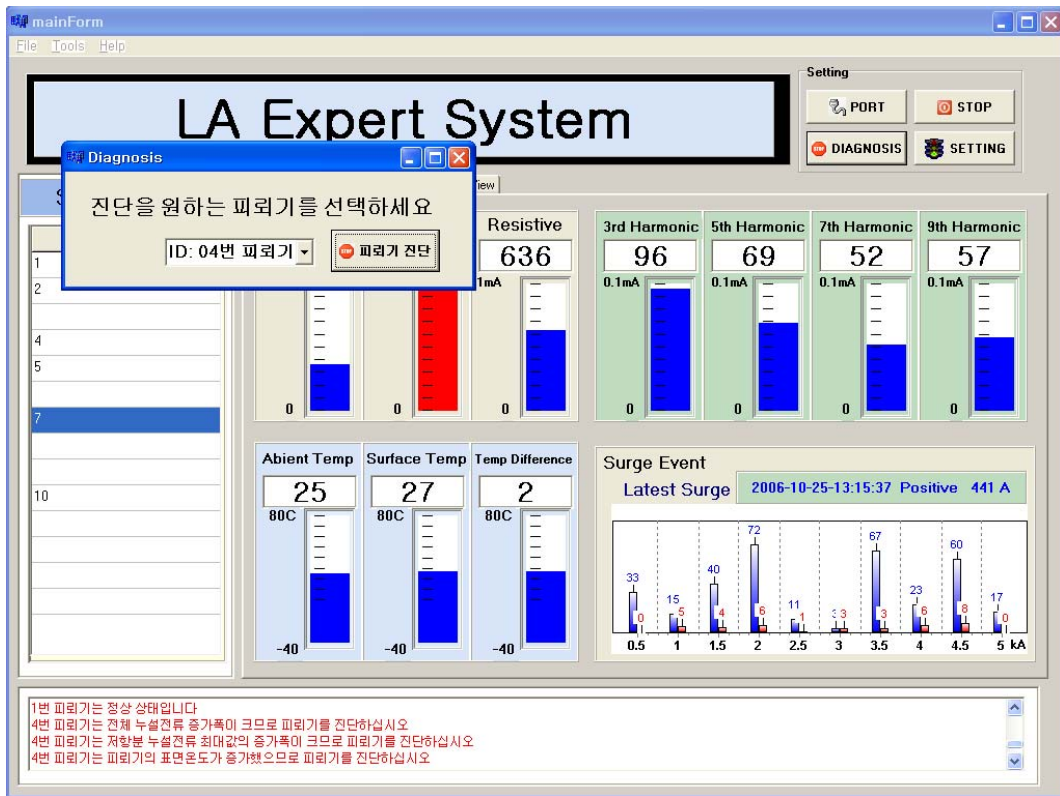


그림 4.10 피뢰기 열화 진단 화면

Fig. 4.10 Display of aging diagnosis of lightning arresters

제 5 장 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 변전소의 GIS용 피뢰기의 상태감시 및 열화진단을 위한 시스템을 설계하고 구현하는 방법에 대하여 논하였다. 기존의 피뢰기 관련 시스템의 경우, 저항분 누설전류 값만을 관측하여 피뢰기의 상태를 감시하였다. 따라서 전문가가 아니면 피뢰기의 열화 상태를 판단하기가 어려웠고 피뢰기의 계측 데이터를 유선 연결을 통하여 수신받았기 때문에 설치 장소에 제약을 받았다. 또한 하나의 피뢰기만을 대상으로 하기 때문에 변전소에 존재하는 모든 GIS용 피뢰기를 연결하려면 선로 가설 비용이 많이 든다.

본 논문에서 제한하는 시스템에서는 유선 연결의 한계를 극복하기 위해 XBee 무선 모듈을 사용하여 여러 대의 피뢰기를 동시에 상태 감시할 수 있도록 하였다. 이로 인해, 피뢰기의 추가 확장이나 교체시에도 무선 모듈 장비만 추가해주면 되기 때문에 설치비용이 적게 든다. 그리고 데이터 베이스를 이용하여 전문가의 도움 없이도 피뢰기의 열화를 진단할 수 있도록 구현하였고 저항분 누설전류뿐만 아니라 온도, 고조파 성분, 그리고 서지 이벤트도 함께 계측함으로써 피뢰기의 상태를 상세하게 관찰할 수 있도록 하였다.

현 시스템의 통신 네트워크는 P2P이기 때문에 거리의 제약이 발생한다. 향후에는 라우팅 기술을 사용하여 거리가 멀어도 통신이 가능하도록 구현할 필요가 있다. 또한 데이터베이스에 저장된 계측 데이터를 웹에서도 볼 수 있도록 구현함으로써 거리와 공간의 제약을 넘어 언제 어디서든 피뢰기의 상태를 감시하고 진단할 수 있도록 시스템을 발전시킬 수도 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 한주섭 외 5명, "GIS용 피뢰설비의 전문가시스템 설계에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 2005년도 추계학술대회논문집, pp. 319~320, 2005.
- [2] 기초전력연구원, "GIS용 피뢰설비 열화감시 시스템 개발", 산업자원부, 연구보고서 r-2005-b-138, 2006.
- [3] 김석수, 조한구, 임기조, "피뢰기 시험 및 진단기술", 전기전자재료학회지, Vol. 11, No. 7, pp. 24~30, 1998.
- [4] 김동배, "저압 ZnO 바리스터의 전기적 특성 및 응용", 전기전자재료학회지, Vol. 11, No. 7, pp. 31~36, 1998.
- [5] 정호성, 길경석 "산화아연형 피뢰기 진단기술", 한국철도기술, 테마기획 part 1, 2004.
- [6] 길경석 외 5명, "온도측정에 의한 산화아연형 피뢰기 진단", 대한전기학회논문지, Vol. 54, No. 8, pp. 361~364, 2005.
- [7] 김일권 외 5명, "피뢰기 열화진단에 있어 전원 고조파의 영향과 보정에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol. 54, No. 8, pp. 493~497, 2005.
- [8] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", IEEE Std 802.11-1999, 1999.
- [9] J. Zheng and M. J. Lee, "A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4", IEEE Press, 2004.
- [10] 서창수, 정환수, 유비쿼터스 센서 네트워크의 기술 동향, 한백전자 R&D 개발부서, 2005.

- [11] 김성인 외 3명, "그림에 의한 심리진단 전문가 시스템의 지식체계", 한국지능정보시스템학회논문지, Vol. 11, No. 1, pp. 65~93, 2005.
- [12] B.G. Raggad, "Expert System Quality Control", Information Processing & Management, Vol. 32, pp. 171~183, 1996.